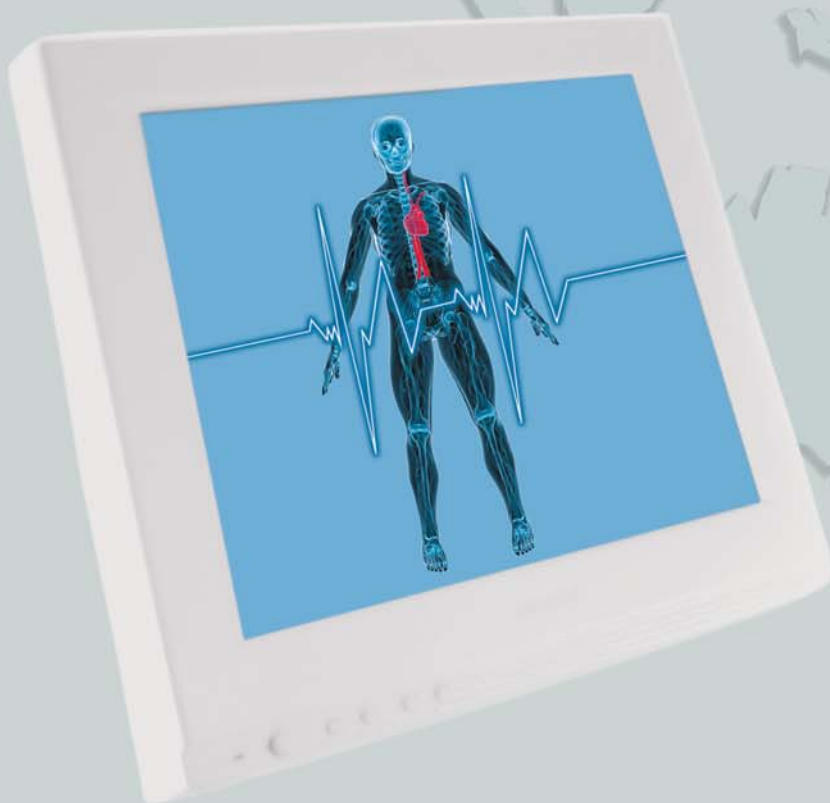


КИТ

www.uacm.kharkov.ua

КЛИНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА И ТЕЛЕМЕДИЦИНА

Официальный журнал Украинской Ассоциации «Компьютерная Медицина»



10/2013

Научно-методический журнал
Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.1–208

Цели и задачи

Междисциплинарный научно-методический журнал «Клиническая информатика и Телемедицина» публикует работы по всем разделам медицинской информатики, фармакоинформатики, биоинформатики, телемедицины. В журнале освещаются новейшие технологии в клинической информатике: госпитальные системы, компьютерные технологии в клинической нейрофизиологии и функциональной диагностике, анализ медицинских изображений и мн. др. Статьи рецензируются. Журнал зарегистрирован в ВАК Украины по четырем направлениям науки. Утверждено постановлениями президиума ВАК Украины от 10.02.10 № 1-05/1 (медицинские), 14.04.10 № 1-05/3 (фармацевтические), 26.05.10 № 1-05/4 (биологические, информатика и приборостроение). Журнал цитируется и индексируется в наукометрической базе данных *Index Copernicus*. Журнал — официальный партнер *The European Journal of Biomedical Informatics (EJBI)*, ISSN 1801-5603. Публикуются следующие типы материалов: (1) Оригинальные научные статьи; (2) Методические работы, содержащие описание новых методов и подходов; (3) Аналитические обзоры; (4) Технические замечания; (5) Письма редактору; (6) Сообщения о конгрессах и конференциях; (7) Рецензии на книги.

Редакторы

Главный редактор: О. Ю. Майоров (Харьков)
Заместители главного редактора: В. В. Кальниш (Киев), О. П. Минцер (Киев),
А. А. Морозов (Киев).

Редколлегия

Медицинские науки: М. Ю. Антамонов (Киев), А. Aubert (Belgium), Р. М. Баевский (Россия), В. М. Белов (Киев), Булах И. Е. (Киев), W. Wiertelcki (USA), А. П. Волосовец (Киев), Ю. В. Вороненко (Киев), Л. С. Годлевский (Одесса), М. В. Голубчиков (Киев), А. И. Григорьев (Россия), Т. В. Зарубина (Россия), Ю. А. Зозуля (Киев), Г. Г. Иванов (Россия), Б. А. Кобринский (Россия), А. С. Коваленко (Киев), Л. А. Ковальчук (Тернополь), Ю. М. Колесник (Запорожье), Н. М. Коренев (Харьков), Г. В. Кнышов (Киев), I. Masic (Sarajevo), I. Malmros (Sweden), В. Ф. Москаленко (Киев), О. И. Орлов (Россия), О. А. Панченко (Донецк), Е. Г. Педаченко (Киев), А. В. Пидаев (Киев), Н. Е. Полищук (Киев), Н. Г. Проданчук (Киев), Gianfranco Raimondi (Italy), А. М. Сердюк (Киев), В. Н. Соколов (Одесса), U. Tap (Turkey), А. В. Фролов (Республика Беларусь), А. Н. Хвисьюк (Харьков), А. П. Чуприков (Киев), Б. М. Штарк (Россия), Е. А. Юматов (Россия), Н. И. Яблчанский (Харьков), В. П. Яценко (Киев).

Биологические науки: А. И. Божков (Харьков), Т. М. Воробьева (Харьков), В. В. Гнездицкий (Россия), М. Л. Кочина (Харьков), О. А. Кришталь (Киев), Ю. Е. Лях (Донецк), В. А. Лищук (Россия).

Фармацевтические науки: Т. А. Бухтиарова (Киев), Ю. И. Губский (Киев), В. И. Кабачный (Харьков), В. Н. Ковалев (Харьков), Б. Л. Парновский (Львов), Н. С. Пономаренко (Киев), А. А. Рыжов (Запорожье), А. И. Тихонов (Харьков), В. М. Толочко (Харьков), В. П. Черных (Харьков).

Информатика и приборостроение (технические науки): А. М. Ахметшин (Днепропетровск), М. J. Ball (USA), А. И. Бых (Харьков), А. П. Герасимов (Киев), В. Т. Гринченко (Киев), J. Gutknecht (Switzerland), P. Degoulet (France), G. Dietzel (Germany), R. Engelbrecht (Germany), J. Zvarova (Czech Republic), А. А. Зеленский (Харьков), М. Д. Кац (Северодонецк), В. Г. Книгавко (Харьков), J. Mantas (Greece), В. П. Марценюк (Тернополь), G. I. Mihalas (Romania), S. Olsson (Sweden), Ю. М. Пенкин (Харьков), И. Г. Прокопенко (Киев), Ю. А. Прокопчук (Днепропетровск), Л. Г. Раскин (Харьков), В. Richards (Great Britain), А. П. Столбов (Россия), Takashi Takahashi (Japan), Л. С. Файнзильтберг (Киев), И. И. Хаимзон (Винница), А. Hasman (Netherlands), С. К. Шукурян (Армения).

Редакция

Выпускающий редактор: Т. К. Винник (Харьков)
Технический редактор и реклама: Е. В. Егорова (Харьков)
Адрес редакции: а/я 7313, Харьков, 61002, Украина
тел. +38 (057) 700 68 81, эл.почта: kit-journal@ukr.net

Заказ журнала

Осуществляется в режиме «Книга — почтой»
Анкеты-заявки для Украины и стран СНГ направлять по адресу: kit-journal@ukr.net

**Авторские
права**

Все содержание защищено авторским правом издателей — УАКМ и Института МИТ. Перевод и копирование работ разрешается при условии, что это делается не в коммерческих целях или для некоммерческого образования. Однако, в любом случае, необходимо делать ссылку на журнал «Клиническая информатика и Телемедицина».

Издатели

© Общественная организация Украинская Ассоциация «Компьютерная Медицина» (УАКМ)
© Институт Медицинской информатики и Телемедицины (Институт МИТ)
Журнал зарегистрирован в Госкомитете телевидения и радиовещания Украины
Свидетельство КВ №8134 от 14.11.2003 г.
тел. +38 (057) 700 68 81, эл.почта: institute-mit@ukr.net, Веб-портал: www.uacm.kharkov.ua

Печать

Номер рекомендован к печати решением Ученого Совета УАКМ (протокол №9 от 17.10.2013).
Подписано в печать 21.10.2013. Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Заказ № Тираж 2500 экз.
Типография ИПП «Контраст». Свидетельство ДК №1778 от 05.05.04
тел. +38 (057) 719 4913

CONTENT IN ENGLISH

3

Редакционные материалы**Информация о Международной конференции «Информационные технологии в кардиологии» 11–12 апреля 2013, Харьков, Украина**

5

Оригинальные статьи**Электронное здравоохранение**
*Информационные системы здравоохранения***Б. О. Ледощук, М. Д. Ледощук**

Концепція створення та розвитку інформаційної системи в Національному науковому центрі радіаційної медицини НАМН України на період з 2012 до 2020 року

9

ИТ в кардиологии*Экспериментальная кардиология***О. Ю. Майоров**

Количественная оценка стрессорных и ишемических повреждений миокарда в норме и в условиях моделирования эмоционального стресса в эксперименте: факторная модель

13

Клиническая кардиология
*Новые методы анализа ЭКГ***Г. Г. Иванов, Р. М. Баевский, Г. Гази, Е. Ю. Берсенов, В. Б. Русанов**
Минутные, циркадные и сезонные колебания микроальтернатив ЭКГ-сигнала по данным дисперсионного картирования

25

Л. С. Файнзильберг, Е. Н. Минина

Исследование диагностической ценности угла ориентации фазового портрета одноканальной ЭКГ, как индикатора функционального состояния миокарда

33

А. М. Ахметшин, К. А. Ахметшин

Синтез фазовых портретов многоканальных ЭКГ как ярких изображений в информационных базисах сингулярных векторов

43

*ИТ в функциональной диагностике***И. А. Чайковский**

Анализ электрокардиограммы в одном, шести и двенадцати отведениях с точки зрения информационной ценности: электрокардиографический каскад

48

*Экспресс-анализ и мониторинг функционального состояния***И. И. Фунтова, Е. С. Лучицкая, И. Н. Слепченкова, А. Г. Черникова, Р. М. Баевский**

Исследование функционального состояния организма во время сна в условиях длительной невесомости. Космический эксперимент «Сонокард»

59

*Вариабельность сердечного ритма***Г. Б. Широкий, А. В. Иляхинский, В. М. Леванов, И. С. Мухина**

Распределение Дирихле как модель состояния адаптационных регуляторных систем организма человека при анализе вариабельности сердечного ритма

75

*Контроль кровообращения***Р. М. Баевский, И. И. Фунтова, Е. С. Лучицкая, А. Г. Черникова**

Изучение влияния длительной невесомости на вегетативную регуляцию кровообращения у членов экипажей международной космической станции. Космический эксперимент «Пневмокард»

79

Прогнозирование в клинике**А. О. Матвійчук, Є. А. Настенко, Є. О. Лебедєва, О. Г. Кисельова**

Прогнозування виникнення факторів ризику склерозу коронарних артерій

90

В. В. Бокатуева

Оценка структуры взаимосвязей клинических показателей пациентов с благоприятным и фатальным исходом кардиоэмболического инсульта

97

М. Н. Нессонова, М. Л. Кочина

Результаты использования информационной технологии оценки тяжести состояния пациентов и прогноза исхода при травме поджелудочной железы

102

Н. С. Рогозинская, Л. М. Козак

Комплексные индикаторы для анализа причинной смертности населения

108

С. О. Соловйов

Створення та аналіз динамічної моделі захворюваності на ротавірусну інфекцію та оцінка можливих наслідків її специфічної профілактики в Україні

117

ИТ в психофизиологии	В. В. Кальниш, А. В. Швець Особливості оцінки якості операторської діяльності з використанням профілю надійності	123
ИТ в неврологии	О. А. Иванцова Особенности нейродинамических и структурных изменений головного мозга при формировании когнитивных нарушений у больных с последствиями черепно-мозговой травмы	131
ИТ в офтальмологии	М. Л. Кочина, А. В. Яворский, С. Н. Лад, А. С. Евтушенко Возрастные особенности функциональной организации системы получения и первичной обработки визуальной информации	136
ИТ в медицинской библиографии	Д. В. Ланде, И. В. Горбов, И. В. Балагура Характеристики сети соавторов медицинских наук	141
Некрологи	<i>Пам'яті Юрія Леонідовича Волянського</i>	145
	<i>Пам'яті Павла Михайловича Сіверського</i>	147
Нормативно-правовая база	Концепція інформатизації сфери охорони здоров'я України на 2013–2018 роки	148
Научные общества мединформатики	Украинская Ассоциация «Компьютерная Медицина» (УАКМ)	155
Юбилейные даты	<i>К 100-летию Юбилею Николая Михайловича Амосова</i>	158
	<i>К Юбилею Романа Марковича Баевского</i>	160
	<i>К Юбилею Евгения Антоновича Юматова</i>	162
Материалы Конференции	Международная конференция «Информационные технологии в кардиологии» 11–12 апреля 2013, Харьков, Украина	164
	<i>Авторский указатель</i>	208

Editorial	Information on International Conference «Information Technologies in Cardiology» 11–12 April, 2013, Kharkiv, Ukraine	5
------------------	---	---

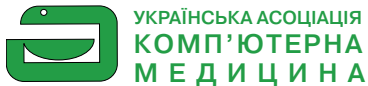
Original Articles	B. Ledoshchuk, M. Ledoshchuk	
E-health	The concept of creation and development of information systems at the National Research Center for Radiation Medicine NAMS of Ukraine for the period from 2012 to 2020	9
<i>Health information systems</i>		
IT in cardiology	O. Mayorov	
<i>Experimental cardiology</i>	Quantitative assessment of stress and ischemic myocardial damages in normal conditions and during experimental stress: factor model	13
<i>Clinical cardiology</i>	G. G. Ivanov, R. M. Baevskiy, Ghazi Halabi,	
<i>New methods of ECG analysis</i>	E. J. Bersenev, V. B. Rusanov	
	Minute, circadian and seasonal fluctuations of microalternations of an electrocardiogram-signal according to dispersive mapping	25
	L. S. Fainzilberg, E. N. Minina	
	Study of the diagnostic value of the orientation angle of the phase portrait of the one-lead ECG as an indicator of the functional state of the myocardium	33
	A. M. Akhmetshyn, K. A. Akhmetshyn	
	Phase portrait synthesis of multichannel ECG as brightness images at information bases of singular vectors	43
<i>IT in functional diagnostics</i>	I. A. Chaikovskiy	
	The analysis of the electrocardiogram in one, six and twelve leads in terms of information value: a electrocardiographic cascade	48
<i>The express analysis and functional state monitoring</i>	I. I. Funtova, E. S. Luchitskaya I. N. Slepchenkova,	
	A. G. Chernikova, R. M. Baevsky	
	The research of functional conditions in humans during night sleep during prolonged exposure to microgravity. Space experiment «Sonocard»	59
<i>Heart Rate Variability</i>	G. B. Shiroky, A. V. Ilyahinsky, V. M. Levanov, I. S. Mukhina	
	Dirichlet distribution as a state model of adaptive regulatory systems of the human body in the analysis of heart rate variability	75
<i>Control of circulation</i>	R. M. Baevsky, I. I. Funtova E. S. Luchitskaya, A. G. Chernikova	
	Studying of long weightlessness influence on autonomic regulation of blood circulation at crew members of the international space station. Space experiment «Pneumocard»	79
Prediction in the clinic	A. O. Matviychuk, E. A. Nastenko, E. O. Lebedeva, O. G. Kyselova	
	Prediction of risk factors for coronary sclerosis	90
	V. V. Bokatueva	
	Evaluation structure of interrelation of clinical indexes of cardioembolic stroke patients with favourable and fatal outcome	97
	M. N. Nessonova, M. L. Kochina	
	Applying results of the information technology for grade of severity estimation and clinical outcome prediction in a case of pancreas trauma	102
	N. S. Rogozynska, L. M. Kozak	
	The integrated indicators for analysis of cause-specific mortality	108
	S. Solovyov	
	Development and analysis of dynamic model of morbidity of rotavirus infection and evaluation of possible consequences of its specific prevention in Ukraine	117
IT in psychophysiology	V. Kalnysh, A. Shvets	
	Peculiarities of operator's activity quality estimation using reliability's profile	123

IT in neurology	O. A. Ivantsova Peculiarities of neurodynamic and structural changes of the cerebrum caused by cognitive impairments of the patients with consequences of the traumatic brain injury	131
IT in ophthalmology	M. L. Kochina, A. V. Yavorsky, S. N. Lad, A. S. Yevtushenko Age features of functional organization of reception and the primary processing of visual information	136
IT in the medical bibliography	D. V. Lande, I. V. Gorbov, I. V. Balagura Characteristics in co-author network of medical sciences	141
Obituaries	<i>Yuriy L. Volianskiy (1940–2013)</i>	145
	<i>Pavlo M. Siverskij (1940–2013)</i>	147
The Legislation	The Concept of Public Health Informatization in Ukraine for 2013–2018 years	148
Scientific Societies of Medical Informatics	The Ukrainian Association for Computer Medicine (UACM)	155
Anniversaries	<i>On the 100th anniversary of Nikolai M. Amosov</i>	158
	<i>Roman M. Baevsky – anniversary</i>	160
	<i>Evgenij A. Umatov – anniversary</i>	162
Conference Proceedings	International Conference «Information Technologies in Cardiology» 11–12 April 2013, Kharkiv, Ukraine	164
	The author's index	208

МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ
«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В КАРДІОЛОГІЇ»

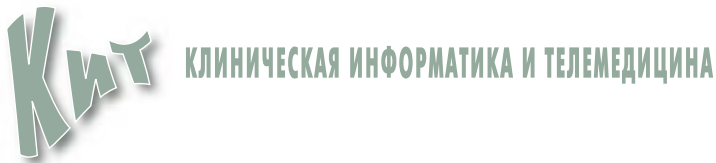
11–12 квітня 2013, Харків, Україна

ОРГАНІЗАТОРИ:



УКРМЕДПАТЕНТІНФОРМ

ПАРТНЕРИ:



Media.med

11–12 квітня 2013 р. в Харкові відбулася міжнародна Конференція «Інформаційні технології в кардіології», присвячена 90-річчю Харківської медичної академії післядипломної освіти (ХМАПО). Засідання проходили в актовому залі ХМАПО.

Конференцію організували ГО Українська Асоціація «Комп'ютерна Медицина» і члени УАКМ – Харківська медична академія післядипломної освіти МОЗ України, Український центр наукової медичної інформації і патентно-ліцензійної роботи МОЗ України (Укрмедпатентінформ). Партнерами були Науково-методичний Журнал «Клінічна інформатика і Телемедицина» та Компанія «MEDIA.med».

До Наукового програмного комітету увійшли д.м.н., проф. Майоров О. Ю., співголова (Харків); д.м.н., проф. Целуйко В. Й., співголова (Харків); д.фіз.-мат.н., проф. Ахметшин О. М. (Дніпропетровськ); д.м.н., проф. Баєвський Р. М. (Москва); д.тех.н., проф. Бих А. І. (Харків); д.м.н. Воробйов К. П. (Луганськ); к.м.н., доцент Горбань А. Є. (Київ); д.тех.н., проф., академік НАНУ Грінченко В. Т. (Київ); д.м.н., проф. Долженко М. М. (Київ); д.м.н., проф. Іванов Г. Г. (Москва); д.м.н., проф. Кобрінський Б. А. (Москва); д.б.н., проф. Ліщук В. О. (Москва); д.фіз.-мат.н., проф. Марценюк В. П. (Тернопіль); д. фіз.-мат.н., проф. Мартиненко О. В. (Харків);



Фото 1. Відкриття Конференції. Президія (зліва — направо): професор В. Й. Целуйко, професор О. Ю. Майоров, Почесний ректор ХМАПО, професор М. І. Хвисьюк (вітальне слово), академік РАН М. Б. Штарк.

д.м.н., проф. Мінцер О. П. (Київ); д.м.н., проф. Міронова Т. Ф. (Челябінськ); д.м.н., проф. Нетяженко В. З. (Київ); д.м.н., проф. Панченко О. А. (Донецьк); д.м.н., проф. Соколов В. Н. (Одеса); д.м.н., проф. Сичов О. С. (Київ); д. фіз.-мат.н. Файнзільберг Л. С. (Київ); д.м.н., проф. Фролов О. В. (Мінськ); д.м.н., проф. Юматов Є. А. (Москва); д.м.н., проф. Яблунський М. І. (Харків).

У Конференції взяли участь співробітники провідних наукових інститутів, учбових закладів, медичних установ – фахівці в області інформаційних медичних технологій – медики, математики, інженери (Програма Конференції представлена на Веб-порталі УАКМ www.uacm.kharkov.ua).

Фото 2–12. Виступають доповідачі.



Фото 2. Доповідає професор О. М. Ахметшин (Дніпропетровськ)



Фото 3. Доповідає академік М. Б. Штарк (Новосибірськ)



Фото 4. Доповідає професор Gianfranco Raimondi (Рим, Італія)



Фото 5. Доповідає професор О. Ю. Майоров (Харків)

Серед тих, що виступали і учасників були представники різних організацій: ДУ «Харківська медична академія післядипломної освіти» МОЗ України, ДУ «Національна медична академія післядипломної освіти ім. П. Л. Шупика» МОЗ України, Університет Рима (Universiteta di Roma), ДУ «Інститут математичних машин і систем» НАН України, ДУ «Національний технічний університет «КПІ», ДУ «Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна», ДУ «Дніпропетровський національний університет», ДУ «Інститут Кібернетики» НАН України, ДУ «Запорізький державний медичний університет», Перший МГМУ ім. І. М. Сече-

нова (Москва, Росія), Інститут медико-біологічних проблем РАН (Москва, Росія), ДУ «Інститут невідкладної та відновної хірургії ім. В. К. Гусака» НАМН України, ДУ «Донецький національний медичний університет ім. М. Горького», ФГБУ «НДІ молекулярної біології і біофізики» СО РАМН (Новосибірськ, Росія), Республіканський науково-практичний центр «Кардіологія» (Мінськ, Республіка Біларусь), «Національний фармацевтичний університет МОЗ України, «Інститут проблем криобіології і криомедицини» НАН України, ДУ «Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем» НАН и МОН України та ін.



**Фото 6. Доповідає професор В. Й. Целуйко
(Харків)**



**Фото 7. Доповідає професор М. М. Долженко
(Київ)**



**Фото 8. Доповідає к.т.н., в.н.с. В.В. Вишневський
(Київ)**



**Фото 9. Доповідає професор М. Л. Кочина
(Харків)**



Фото 10. Доповідає професор М. І. Яблучанський (Харків)



Фото 11. Доповідає д.м.н. К. П. Воробйов (Луганськ)



**Фото 12. Доповідає к.м.н. І. А. Чайковський
(Київ)**



**Фото 13. Доповідає к.т.н. Ю. А. Прокопчук
(Дніпропетровськ)**

УДК 681.518.004.9

Концепція створення та розвитку інформаційної системи в Національному науковому центрі радіаційної медицини НАМН України на період з 2012 до 2020 року

Б. О. Ледошук, М. Д. Ледошук

ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України», Київ

Резюме

Концепція створення та розвитку інформаційної системи в ННЦРМ на період з 2012 до 2020 року визначає цілі, принципи, загальну архітектуру, основні етапи створення інформаційної системи, механізм управління та ресурсного забезпечення створення і супроводу Системи, а також очікуваний науковий, медичний, організаційний, технологічний та соціально-економічний ефект.

Ключові слова: ННЦРМ, інформаційні системи, моніторинг, реєстри, бази даних, аналіз, інтеграція інформаційних систем, технічне та програмне забезпечення.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.9–12

1. Введення

Інформаційною системою в Національному науковому центрі радіаційної медицини НАМН України далі (ННЦРМ) є сукупність організаційного, методичного, нормативно-правового забезпечення та наукового супроводу діяльності наукових, фінансово-економічних, клініко-статистичних підрозділів ННЦРМ, а також програмно-технічних засобів, що проектується з урахуванням державних, галузевих стандартів та технічних регламентів, які використовують єдину систему нормативно-довідкової інформації та розвиваються в рамках єдиної інформаційно-технічної політики. Концепція визначає мету, принципи, загальну архітектуру, основні етапи створення інформаційної системи в ННЦРМ (далі — Система), механізм управління та ресурсного забезпечення створення та супроводження Системи, а також очікуваний науковий, медичний, організаційний, технологічний і соціально-економічний ефект [1, 2, 3].

2. Передумови створення Системи

В рамках реалізації наукових програм ліквідації наслідків Чорнобильської

катастрофи, за 26 років досягнуті певні результати у зміцненні матеріально-технічної бази ННЦРМ і його наукових і лікувально-профілактичних установ. В цілому вирішено питання оснащеності мінімально необхідною обчислювальною технікою органів управління ННЦРМ, наукових підрозділів та поліклінічної ланки клініко-епідеміологічного реєстру далі (КЕР). Незважаючи на це, результати попереднього обстеження, показують, що більша частина обчислювальної техніки знаходиться в наукових підрозділах, поліклініки реєстра і в апараті управління дирекцією ННЦРМ. При цьому, комп'ютерна техніка, яка в більшості випадків купувалася 15–20 років назад, морально і фізично застаріла. Особливо це торкається програмно-технічного комплексу АСУ поліклініки реєстру. У наукових підрозділах комп'ютерна техніка купувалася за рахунок договірних коштів для вирішення вузьких наукових проблем, але в ННЦРМ відсутній єдині підходи у формуванні наукових баз даних, систем контролю якості наукової інформації, немає системи архівування та контролю завершених наукових робіт, представлених в електронному форматі. Немає описів стандартних процедур усього циклу інформаційного забезпечення, немає системи оновлювання, повторення, узагальнення даних. Усе це призводить не тільки до відсутності можливості експертизи наукових даних, а й не дає можливості залучити зарубіжних вчених для узагальнення даних та користування на взаємно вигідних умовах. Науково клінічні та адміністра-

тивні підрозділи ННЦРМ акумулюють значні обсяги інформації, яка є конфіденційною. Але питання інформаційної безпеки при проектуванні та експлуатації інформаційних систем історично не були пріоритетними. Перераховані проблеми свідчать про необхідність докорінної зміни підходу до інформатизації всіх підрозділів наукового центру, посилення координуючої ролі адміністрації та центральної підрозділів і створення єдиного інформаційного простору в ННЦРМ.

3. Мета створення Системи

Основною метою створення Системи є забезпечення ефективної інформаційної підтримки адміністративних, наукових і клінічних підрозділів ННЦРМ, а також населення, постраждалого внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС в рамках процесів адміністративного, наукового управління медичною допомогою і її безпосереднього надання.

Система дозволить забезпечити вирішення комплексу завдань за такими напрямками:

- підвищення ефективності управління якістю в сфері наукових фундаментальних, прикладних, галузевих та регіональних досліджень по вивченню наслідків аварії на ЧАЕС та професійного опромінення працівників атомної енергетики та уранової промисловості України на основі інформаційної підтримки задач планування, проектування інформаційних баз даних, інтеграція баз знань, використання стандартів автоматизованого аналізу даних, застосування автоматизованих спеціалізованих програм статистичного аналізу і прогнозу здоров'я та його основних показників;
- об'єднання джерел інформаційної підтримки клінічних, поліклінічних та популяційних епідеміологічних даних з метою скорочення розбіжностей у показниках і персоналізації результатів клінічних та наукових лабораторно-діагностичних параметрів пацієнтів вдосконалення системи захисту та безпеки інформаційних систем прогнозування і витрат на надання медичної допомоги, а також контролю за дотриманням державних гарантій за обсягом та якістю надання медичної спеціалізованої допомоги в умовах підрозділів ННЦРМ;
- підвищення якості надання лікувально-профілактичної медичної допомоги на основі вдосконалення інформаційного забезпечення діяльності науко-

вих та медичних підрозділів ННЦРМ, і їх персоналу;

- підвищення інформованості населення з питань ведення здорового способу життя, профілактики захворювань та отримання медичної допомоги, а також якості обслуговування організацій з питань здійснення діяльності у сфері медичної науки та охорони здоров'я на основі забезпечення можливостей електронної взаємодії з відповідними уповноваженими органами. (НАМН, МОЗ, МНС та ін).

4. Принципи створення Системи

Створення єдиної інформаційної системи в ННЦРМ ґрунтується на принципі Трьох модульного підходу в проектуванні системи:

- перший модуль — адміністративно-фінансовий,
- другий модуль — науково-методичний,
- третій модуль — клініко-профілактичний,
- інтеграція інформаційних ресурсів трьох модулів з інформаційними ресурсами інших установ та відомств в частині спільного використання персональних даних та електронного обміну документами в рамках чинного законодавства;
- одноразове введення (при необхідності дворазове) і багаторазове використання первинної інформації усередині інтегральної автоматизованої системи ННЦРМ, в тому числі для цілей управління охороною здоров'я;
- використання електронних юридично значущих документів як основного джерела первинної інформації та розробка спеціальних документів для наукових досліджень із збереженням їх в науковому архіві Центру;
- забезпечення сумісності (інтероперабельності) медичних інформаційних систем, що розробляються різними виробниками;
- забезпечення ешелюваної системи інформаційної безпеки та захисту персональних даних, у тому числі за рахунок використання електронних засобів ідентифікації лікаря, пацієнта (електронна карта лікаря, соціальна карта пацієнта) співробітників наукових підрозділів та апарату управління;
- централізоване управління розробкою, впровадженням і супроводом

Системи на підставі єдиної технологічної політики з урахуванням галузевих державних, національних і адаптованих до вітчизняних умов міжнародних стандартів у галузі медичної інформатики;

- прийняття рішення про модернізацію і розробку нових компонентів Системи з урахуванням максимально можливого збереження існуючих програмно-технічних засобів на основі аналізу сукупної вартості;
- підтримка конкуренції серед виробників медичних інформаційних систем, забезпечення поетапного переходу на принципи саморегулювання в цій сфері.

5. Загальна архітектура інтегральної інформаційної Системи

1. Сектор прикладних систем учасників системи.

2. Сектор єдиного інформаційного простору, що включає загальносистемні компоненти обчислювальної, телекомунікаційної та інтеграційної інфраструктури, бази даних і електронних документів, сервіси доступу та обробки даних.

3. Зовнішній сектор, що включає інформаційні системи недержавних організацій, атакою приватних осіб, що надають громадянам і організаціям інформаційні послуги та сервіси в галузі охорони здоров'я на безоплатній або платній основі.

6. Забезпечення інформаційної безпеки Системи

Захист персональних даних пацієнтів в Системі забезпечується за рахунок ведення переліку інформаційних ресурсів Системи і відомостей про рівень їх конфіденційності, ведення єдиного каталогу користувачів, їх ролей і категорій, використання інфраструктури відкритих

ключів електронного цифрового підпису та шифрування даних, підтримки обміну юридично відповідальними електронними документами, знеособлення персональних даних про надання в медичній організації допомоги при їх передачі по каналах зв'язу, використання організаційно-режимних заходів управління доступом до Системи і забезпечення фізичного поділу інформації та ресурсів Системи, що вимагають різних заходів і засобів захисту.

7. Забезпечення створення Системи

З метою забезпечення створення Системи передбачається реалізація ряду інформаційно-технологічних, нормативних, методичних та організаційних заходів.

8. Основні етапи створення Системи

На першому етапі в 2012–2014 роках планується забезпечити створення інформаційного ресурсу.

Надругому етапі в 2014–2016 роках планується забезпечити розвиток типового інформаційного ресурсу в частині створення сервісу захищеної електронної пошти, тиражування типових інформаційних ресурсів і засобів інтеграції; подальша реалізація програм стимулювання та популяризації використання інформаційних технологій в медичній науці та охороні здоров'я, сертифікація медичних та фармацевтичних інформаційних ресурсів мережі Інтернет; супровід і розвиток прикладних систем учасників системи ННЦРМ і централізованих прикладних систем, що створюються в їх інтересах; забезпечення управління проектами зі створення Системи.

На третьому етапі в 2016–2020 роках планується забезпечити тиражування типових засобів інтеграції прикладних систем учасників системи з централізованими програмно-технічними компонентами Системи.

9. Управління створення та супроводження Системи

Загальне керівництво реалізацією Концепції здійснює Генеральний директор ННЦРМ, наказом ННЦРМ створюється робоча група з питань використання інформаційно-комунікаційних технологій в системі ННЦРМ. Загальну координацію робіт з реалізації Концепції здійснює лабораторія медико-інформаційних технологій ІРГЕ ННЦРМ. Наукова лабораторія медико-інформаційних технологій ІРГЕ забезпечує координацію структурними підрозділами науки та клініки, охорони здоров'я та здійснює організацію робіт із створення та супроводження Системи ННЦРМ у взаємодії з керівниками наукових підрозділів та адміністрацією клініки, здійснює розробку нормативного та методичного забезпечення створення та використання Системи, підготовку проектів стандартів інформатизації охорони здоров'я. Відділ АСУ поліклініки радіаційного регістру, уповноважена на виконання функцій оператора програмно-технічних компонентів Системи.

10. Ресурсне забезпечення для створення та підтримки Системи

Фінансування загальносистемних робіт, включаючи створення і підтримку централізованих програмно-технічних компонентів Системи, розробку та поставку засобів інтеграції з даними компонентами Системи у НАМН, МОЗ, МНС та інші органи виконавчої влади у сфері охорони здоров'я та медичної науки, позабюджетні фонди, державні та комунальні установи охорони здоров'я, створення і супровід централізованих прикладних систем державного рівня в інтересах учасників системи медичної науки та охорони здоров'я, розробку методичного, організаційного та нормативного правового забезпечення ство-

рення та функціонування Системи, проектів стандартів у галузі інформатизації в медичній науці та охорони здоров'я, розробку і реалізацію програм стимулювання, популяризації та сертифікації здійснюється за рахунок коштів державного бюджету, запланованих на вище перелічені цілі НАМН та МОЗ. Безпосереднє впровадження наукових та медичних інформаційних систем в установах НАМН, відібраних на конкурсній основі та фінансується з коштів Державного і регіональних бюджетів. Фінансування робіт зі створення і підтримки прикладних систем науково-медичних підрозділів, робіт з інтеграції їх з централізованими програмно-технічними компонентами Системи здійснюється з різних відповідних джерел.

11. Очікуваний ефект від створення Системи

Інтеграція програмно-апаратного комплексу в єдину інформаційну систему НЦРМ на основі мінімізації робочих станцій з переходом на концентрацію серверної системи з мінітерміналами і з виходом в Інтернет за допомогою сучасних технологій і діючих терміналів. Єдність і взаємозамінність модулів програмно-апаратних засобів, стандартизація програм, єдність класифікаторів, норм і правил при аналізі науково-клінічних та експериментальних даних, загальний методологічний підхід в обробці і статистичному аналізі наукових даних, систематизація баз даних, їх проектування та обробка, контроль якості баз, система автоматизованого зберігання, поповнення та архівування даних для подальшого наукового узагальнення та обміну інформацією. Підвищення якості наукових досліджень та їх достовірність. Єдина система безпеки і доступу до інформації, вихід на всесвітню електронну мережу з метою пропаганди наукових і медичних результатів, Нагромадження інформації в галузі радіаційної медицини і охорони здоров'я. Поліпшення повноти та достовірності інформації про стан здоров'я пацієнтів і наявних ресурсах в системі ННЦРМ та охорони здоров'я; підвищення точності планування і розподілу необхідних обсягів медичної допомоги і ресурсів у системі клініки та поліклініки ННЦРМ, зниження витрат за рахунок централізації і скорочення дублювання компонентів

обчислювальної та телекомунікаційної інфраструктури в рамках єдиного інформаційного простору в ННЦРМ.

Література

1. Про Концепцію Національної програми інформатизації. Закон України (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, N 27–28, ст.182).
2. Про затвердження Державної програми «Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці» на 2006–2010 роки. Постанова КМ України від 7 грудня 2005 р. N 1153 Київ. Офіційний вісник України від 21.12.2005 – 2005 р., № 49, стор. 40, стаття 3058.
3. Про схвалення Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні. Кабінет Міністрів України; Розпорядження, Стратегія від 15.05.2013 № 386-р. Офіційний вісник України, офіційне видання від 21.06.2013р., № 44, стор. 79, стаття 1581.

The concept of creation and development of information systems at the National Research Center for Radiation Medicine NAMS of Ukraine for the period from 2012 to 2020

B. Ledoshchuk, M. Ledoshchuk
SI «National Research Center for Radiation Medicine NAMS Ukraine», Kyiv

Abstract

Concept creation and development of information systems in NTCRM the period from 2012 to 2020 defines the purpose,

principles, common architecture, the basic steps of creating an information system, management mechanism and resources for the creation and maintenance of systems, and the expected scientific, medical, organizational, technological and socioeconomic impact.

Key words: NRCRM, information systems, monitoring, registers, databases, analysis and integration of information systems, hardware and software.

Концепция создания и развития информационной системы в Национальном научном центре радиационной медицины НАМН Украины на период с 2012 до 2020 года

Б. А. Ледошчук, М. Д. Ледошчук
ГУ «Национальный научный центр радиационной медицины НАМН Украины», Киев

Резюме

Концепция создания и развития информационной системы в ННЦРМ на период с 2012 до 2020 года определяет цели, принципы, общую архитектуру, основные этапы создания информационной системы, механизм управления и ресурсного обеспечения создания и сопровождения Системы, а также ожидаемый научный, медицинский, организационный, технологический и социально-экономический эффект.

Ключевые слова: ННЦРМ, информационные системы, мониторинг, регистры, базы данных, анализ, интеграция информационных систем, техническое и программное обеспечение.

Листування

д.м.н., професор **Б. О. Ледошчук**
ДУ «Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України»
вул. Мельникова, 53
Київ, 04050, Україна
тел.: +380 (44) 451 82 18
+380 (50) 331 83 07
ел. пошта: borysled@gmail.com

УДК 616.127 – 005.4 – 001 + 612.176] – 092.9

Количественная оценка стрессорных и ишемических повреждений миокарда в норме и в условиях моделирования эмоционального стресса в эксперименте: факторная модель

О. Ю. МайоровХарьковская медицинская академия последипломного образования МЗ Украины
ДУ «Институт охраны здоровья детей и подростков» НАМН Украины, Харьков

Резюме

Разработан комплексный подход, который позволяет в условиях хронического эксперимента в целостном организме по сложной мозаике изменений многочисленных параметров ЭКГ объективно количественно ранжировать животных по степени стрессорных и ишемических повреждений миокарда под влиянием эмоционального стресса. Комплексный подход объединяет ЭКГ, многомерный факторный анализ и интерпретацию выделенных главных факторов с привлечением достижений клеточной физиологии. Это дает возможность выявлять и измерять скрытые за переменными (параметры ЭКГ) явления, не поддающиеся непосредственному измерению в целостном организме. На основе применения предлагаемого метода проведен анализ факторной структуры и дана количественная оценка состояния миокарда — одного из уровней устойчивости, являющегося составной частью ее висцерального компонента.

Ключевые слова: эмоциональный стресс, ЭКГ, факторная модель, стрессорные и ишемические повреждения миокарда, индивидуальная устойчивость.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.13–24

Введение

В настоящее время не вызывает сомнений роль отрицательных эмоций, эмоциональных стрессов (ЭС), неврозов, как основного (иногда вспомогательного) фактора в генезе нарушений функции и структуры ранее здорового и в еще большей мере больного сердца [1–21]. Такой вывод сделан на основании эпидемиологического анализа [21–26], клинических исследований [27–38] и многочисленных экспериментальных данных [3, 4, 39–54].

В последнее время в свете повышенного интереса к раскрытию механизмов индивидуальной устойчивости или предрасположенности к однопипным конфликтным ситуациям возникло несколько новых аспектов этой проблемы.

При изучении центральных механизмов индивидуальной устойчивости важно количественно оценить степень (глубину) стрессорных повреждений миокарда в условиях целостного организма, способность сердца различных индивидов адаптироваться к эмоциональному стрессу, для сопоставления этих данных с характером интегративной деятельности мозга. С этим тесно связано исследование, так называемых, центральных стресс-лимитирующих систем, наличие которых экспериментально доказано Ф. З. Меерсон [10–12]. Активация последних повышает рези-

стентность органа-мишени (сердца) к стресс-воздействиям. Поэтому при исследовании этих систем, эффективности медикаментозных и немедикаментозных воздействий, используемых для их активации, также необходимо дать объективную количественную характеристику состояния сердечной деятельности на уровне целостного организма.

Можно привести несколько способов оценки резистентности сердца к стресс-воздействиям — по морфологическим и биохимическим изменениям миокарда погибших или забытых на разных этапах эксперимента животных [55], по проценту гибели животных в разных опытных группах [56]. Для исследования механизмов индивидуальной устойчивости перечисленные способы не являются вполне адекватными. Как известно, в большинстве случаев люди или животные в условиях эмоционального стресса не погибают, а в той или иной мере адаптируются к стрессовой ситуации, т. е. проявляют определенную устойчивость. Не следует забывать также, что стресс в первую очередь является важным звеном адаптации организма, это его основная эволюционно детерминированная роль [11].

При изучении влияния эмоционального стресса на деятельность сердца часто прибегают к доступному и хорошо зарекомендовавшему себя в клинике и эксперименте методу электрокардиографии [57–60; и мн. др.]. Однако традиционное использование мето-

дики ЭКГ позволяет получить скорее качественную характеристику состояния миокарда, чем количественно оценить произошедшие в нем изменения, в этих условиях трудно говорить о надежном сопоставлении различных индивидов и, тем более, о ранжировании исследуемых индивидов по глубине и характеру повреждений миокарда. Так, как указывает Ф. З. Меерсон [10], тяжелые стрессорные воздействия часто проявляются лишь вполне нормальными явлениями, такими как тахикардия и брадикардия. Даже при нарушениях метаболизма и структуры миокарда электрокардиографические изменения могут быть слабо выражены из-за диффузности повреждений [10]. Подробный клинический анализ ЭКГ у людей также не дает однозначных результатов и позволяет получить множество разнообразных показателей, сочетание которых трактуется авторами иногда прямо противоположно [13, 30, 31]. В этих условиях увидеть за ЭКГ-показателями стрессорные повреждения или отражение метаболических сдвигов практически невозможно.

Возникает парадоксальная ситуация. С одной стороны, достижения клеточной физиологии позволяют вплотную приблизиться к пониманию молекулярных стрессорных и ишемических повреждений миокарда, понять деятельность стресс-реализующих систем. При этом сведения об отдельных звеньях и путях метаболизма, запускаемых или ингибируемых повышением уровня катехоламинов (КА), или ишемией, возможно получить при исследовании изолированного сердца, его отделов, перфузатов [43, 55, 61, 62], клеточных и субклеточных элементов [63]. Предпринимаются попытки изучать состояние этих механизмов в условиях целостного организма — в остром эксперименте [11–13, 64]. В то же время, в условиях хронического эксперимента с помощью традиционного использования метода ЭКГ исследовать эти механизмы невозможно. По-видимому, выход состоит в применении для анализа качественно более высокого уровня обработки получаемых при ЭКГ-исследовании переменных, отражающих состояние процессов, протекающих в разных отделах сердца, методами многомерного статистического анализа.

Цель работы

Разработать комплексный подход, который позволял бы в условиях хронического эксперимента в целомом

организме по сложной мозаике изменений параметров ЭКГ объективно количественно ранжировать животных по степени стрессорного повреждения миокарда. Таким требованиям, как нам представляется, отвечает сочетание традиционной ЭКГ, многомерного факторного анализа и последующей интерпретации выделенных главных факторов с привлечением достижений клеточной физиологии. Именно факторный анализ позволяет выявлять и измерять скрытые за переменными (в данном случае различные параметры ЭКГ) явления, не поддающиеся непосредственному измерению [65, 66].

Объект и методы исследования

Опыты проведены на 352 половозрелых белых крысах-самцах (4-месячного возраста).

В качестве объекта исследования использовались беспородные крысы, что обусловлено неодинаковой устойчивостью сердечно-сосудистых функций различных генетических линий крыс (Вистар, Август и некоторых других) к эмоциональным стрессам [4]. Для достижения цели и решения задач настоящего исследования необходимы животные без генетически детерминированной устойчивости, той или иной системы (сердечно-сосудистой, пищеварительной или другой). Этим требованиям наиболее полно отвечают беспородные белые крысы.

Для моделирования ЭС использовалась реалистическая аналитическая модель «стресс ожидания» (Ведяев Ф. П., Воробьева Т. М., [67]) в нашей модификации (Майоров О. Ю., [68, 69]).

ЭКГ регистрировалась с помощью 6-канального электрокардиографа («Элкар-6», модель 085) в первый и пятый опытные дни на разных этапах исследования: запись производилась в течение первого цикла стрессования, через 1, 2,5 и 5 часов от начала моделирования, что позволило проследить динамику изменений в процессе формирования эмоционального стресса. Сочетанное применение раздражителей (светового, звукового, электрокожного (ток частотой 1 кГц надпороговой величины) по жесткой временной схеме (с помощью программного устройства) способствует достижению высокого уровня эмоционального напряжения на основе условного рефлекса на время,

дает возможность животному прогнозировать приближение момента нанесения аверсивного раздражителя.

В наших исследованиях проводился углубленный клинический анализ записанных одновременно шести отведений ЭКГ (трех стандартных и трех усиленных avR, avL, avF). Определялись 24 первичных и вторичных показателя, отражающих различные стороны сердечной деятельности: состояние сократительной функции миокарда, проводящей системы, коронарного кровообращения и пр. Кроме измерения длительности и амплитуды зубцов (P₂, R₂, T_{1,2,3}), ширины интервалов (QRS, QTн.к. — нисходящее колено (н.к.), QTв.к. — восходящее колено (в.к.), T-Q), величины смещения сегментов RS-T_{1,2,3} от изолинии. Вычисляются специальные индексы: 1. Индекс аритмии (ИА); 2. Индекс Макруз (ИМ) (Macruz R., [70]); 3. Индекс Гросс (ИГ) (Gross D., [75]); 4. Индекс Лепешкина (ИЛ) (Lepeschkin E., [77]). Рассчитываются показатели: 1. Фактический систолический показатель (СПФ); 2. Должный систолический показатель (СПд); 3. Разность систолических показателей (СПр = СПд – СПФ).

13 наиболее информативных показателей и индексов подвергались корреляционному и многомерному статистическому анализу с использованием метода выделения главных факторов (главных компонент) (Uberla K., [65]; Afifi A. A., Aezen S. P., [66]). Приведенные результаты основаны на анализе 352 нормальных ЭКГ и 336 ЭКГ, зарегистрированных в условиях хронического эмоционального стресса.

3. Результаты исследований

3.1. Анализ нормальных показателей сердечной деятельности половозрелых белых крыс-самцов

В литературе для крыс отсутствуют нормальные значения индексов аритмии (ИА), индекса Макруз (ИМ), индекса Гросс (ИГ), индекса Лепешкина (ИЛ) и др., а также используемые нами многомерные характеристики ЭКГ показателей. Кроме того, различные популяции имеют особенности. Было проведено исследование нормальной ЭКГ крыс используемой в наших опытах

популяции, результаты которого приведены в табл. 1.

У большинства животных после 30–60 мин адаптации к условиям экспериментальной камеры частота сердечных сокращений (ЧСС) снижается и остается на уровне около 312 уд/мин. Среди обследованных встречаются индивиды с симпатико- или парасимпатикотоническим сдвигом базального ритма.

Менее вариабельны показатели предсердной и внутрижелудочковой проводимости, а также продолжительность электрической систолы. Величина индекса Макруз определялась по формуле [70]:

$$ИМ = \frac{\text{длительность зубца } P}{\text{длительность сегмента } PQ} \quad (1)$$

где сегмент PQ отражает процесс атрио-вентрикулярной проводимости.

У половозрелых крыс он меньше (0,59), чем у человека (1,0–1,6). Это обусловлено иными параметрами времени возбуждения предсердий и атрио-вентрикулярной проводимости и, по видимому, связано с большей (почти в 5 раз) частотой сердечных сокращений у крыс. Подтверждением такого предположения может служить более низкий индекс Макруз (0,54) у крыс пубертатного возраста, имеющих более высокую ЧСС, чем половозрелые животные. Как указывают авторы, уменьшение индекса Макруз ниже нормы свидетельствует о «патологии правого сердца», увеличение выше нормы — о «патологии левого».

Как известно, о длительности электрической систолы желудочков судят по ширине интервала $QT_{н.к.}$, т. е. от начала деполяризации до конца реполяризации. Уменьшение более чем на 10% от нормы указывает на наличие патологии [71].

Для определения должной величины интервала $QT_{н.к.}$, которая неодинакова для разной ЧСС, обычно используют формулу Базетт (Bazett H. [72]):

$$QT_{н.к.} = K \sqrt{RR} \quad (2)$$

где K — константа для данной популяции; RR — длительность сердечного цикла.

Преобразовав формулу (2), можно определить значения константы K для данной популяции:

$$K = \frac{QT_{н.к.}}{\sqrt{RR}} \quad (3)$$

Для половозрелых крыс используемой популяции этот показатель $K = 0,12$. Наличие константы позволяет вычислять должное для каждой ЧСС (ей соответствует определенная длительность RR) значение $QT_{н.к.}$.

Определялся должный и фактический систолические показатели, а также разность между ними ($СПр = СПд - СПф$). При этом используется формула (Фогельсон Л. И., Черногоров А. И., [73]):

$$СП = \frac{QT_{н.к.}}{RR} 100\% \quad (4)$$

СП всегда меньше 50%, а его отклонение от нормы для данной ЧСС более чем на 5% — один из признаков неполноценной функции миокарда [74].

В наших исследованиях у большинства интактных половозрелых крыс в состоянии покоя $СПф = 33\%$.

Разность между СПд и СПф, как правило, 3,8%, имеется тенденция к разделению с возрастом «практически здоровых» индивидов по разной степени полноценности функции миокарда.

О состоянии коронарного кровообращения судят по величине индекса Гросс (ИГ), который вычисляется по формуле (Gross D., [75]):

$$ИГ = \frac{QT_{н.к.}}{T-Q} \quad (5)$$

где $T-Q$ — продолжительность диастолы.

Нормальные значения индекса Гросс для половозрелых крыс 0,46. Это меньше, чем у человека (1,0). Иными словами, у крыс время электрической систолы почти в 2 раза меньше времени диастолы желудочков. Как известно, во время систолы коронарное кровообращение ухудшается за счет повышения сопротивления коронарных сосудов в эту фазу сердечного цикла [76]. Тогда, при исходно значительно более высокой ЧСС у крыс, по сравнению с человеком, большая длительность фазы диастолы биологически целесообразна и способствует лучшему энергообеспечению миокарда. Увеличение индекса Гросс выше нормы — один из признаков нарушения коронарного кровообращения — может быть связано с состоянием ишемии миокарда, вызывающим запаздывание процесса реполяризации (удлинение интервала $QT_{н.к.}$) или укорочением времени диастолы (QT).

Для оценки состояния коронарного кровообращения определялся также индекс Лепешкина (ИЛ) (Lepeschkin E., [77]):

где $T_{в.к.}$ — внутренний край зубца T;

$$ИЛ = \frac{QT_{в.к.}}{QT_{н.к.}} 100\% \quad (6)$$

$T_{н.к.}$ — наружный край зубца T.

У половозрелых крыс-самцов нормальное значение ИЛ = 42,2%. Увеличение длительности фазы реполяризации

желудочков и, как следствие этого, увеличение ширины зубца T приводит к уменьшению индекса Лепешкина, что отражает нарушение коронарного кровообращения.

Величины смещения сегментов $RS-T_{1,2,3}$, соответствующие периоду полной деполяризации, имеют значительные индивидуальные особенности. Поэтому средние значения этих показателей малоинформативны.

Для оценки состояния электрической нестабильности миокарда и проводящей системы сердца вычислялся индекс аритмии (ИА):

$$ИА = \frac{RR_{max} - RR_{min}}{RR_{min}} 100\% \quad (7)$$

где RR_{max} — максимальная; RR_{min} — минимальная длительность сердечного цикла из 3–5 измеренных RR интервалов. Ритм считается правильным, если индекс аритмии не превышает 10% [78]. В состоянии покоя у половозрелых крыс индекс аритмии составляет 3–4%.

3.2. Изменение нормальных показателей ЭКГ, как отражение стрессорных и ишемических повреждений сердца в условиях хронического эмоционального стресса

В наших исследованиях интерпретации средних показателей придается мало значения, так как они не отражают всего многообразия индивидуального спектра изменений, слагающегося из самой разнообразной комбинации переменных, отражающих состояние коронарного кровообращения и метаболизма миокарда, нервных регуляторных влияний на сердечную деятельность. Тем не менее, эти данные дают представление о наиболее характерных выраженных направлениях изменений (табл. 1).

У животных после 4-дневного пребывания в условиях хронического эмоционального напряжения характерно увеличение ЧСС с 312,5 до 367,5 уд/мин.

Наблюдается нарушение ритма сердечной деятельности в виде тахикардий и синусовых экстрасистол, увеличение индекса аритмии.

Достоверно увеличивается индекс Макруз с 0,59 до 0,66, что отражает «патологию левого сердца» [70]. Его увеличение может указывать на ускорение атрио-вентрикулярной проводимости и на увеличение времени

деполяризации предсердий, а также на гипертрофию левого предсердия, хотя в последнем смысле ему придается относительное значение [79].

Значительно увеличивается с 0,46 до 0,63 индекс Гросс, что является одним из признаков нарушения коронарного кровообращения.

О нарушении коронарного кровообращения свидетельствует также уменьшение индекса Лепешкина (с 42,20 до 36,70), что связано с увеличением длительности фазы реполяризации желудочков.

Под влиянием длительного пребывания в условиях эмоционального стресса почти в 2 раза увеличивается СПр – с 3,8 до 8,8%, что указывает на неполноценную сократительную функцию миокарда.

Средние изменения смещения сегмента RS-T от изолинии выражены незначительно и имеют разнонаправленный характер: в I и III отведениях отмечается увеличение смещения сегмента, во II – его уменьшение.

Средние изменения амплитуды зубца T не достоверны ($P \geq 0,05$) из-за значительной индивидуальной вариабельности смещения сегмента RS-T_{1,2,3}.

Выявляется уменьшение амплитуды зубца R₂, отражающее, по-видимому, ослабление инотропной функции миокарда желудочков под влиянием стресса.

3.3. Корреляционный анализ показателей ЭКГ исследуемых животных в условиях хронического эмоционального стресса

Для анализа использована корреляционная матрица, в которой представлена структура зависимости, отражающая скрытую связь между изучаемыми переменными, характеризующими сердечную деятельность половозрелых животных, стрессорные и ишемические повреждения миокарда (табл. 2).

Наиболее тесная положительная корреляционная связь существует (как и в норме, хотя и менее сильная) между индексом Гросс и величиной СПр (0,77). Несколько увеличивается негативная связь между этим показателем и индексом

Лепешкина (-0,54). Почти вдвое уменьшается связь между индексом Гросс и ЧСС (с 0,67 в норме до 0,34 после стресса). Напротив, связь индекса Лепешкина с ЧСС возрастает (с 0,41 до 0,66). Как указывалось ранее, при увеличении ЧСС ухудшается коронарное кровообращение за счет увеличения сопротивления коронарных сосудов [76]. Это отражается величиной индексов Гросс и Лепешкина. По-видимому, увеличение связи индекса Лепешкина с ЧСС при стрессе показывает, что индекс Лепешкина в большей мере, чем индекс Гросс отражает на фоне хронического стресса это явление. В то же время уменьшение связи индекса Гросс и ЧСС обусловлено, по-видимому, большей зависимостью величины этого индекса от постоянных нарушений функции миокарда, обусловленных ишемией. Появляется много новых связей.

Следует отметить, что структура зависимости, отражающая скрытую связь между переменными, характеризующими стрессорные и ишемические изменения сердечной деятельности, имеет значительно больше, по сравнению с нормальной ЭКГ, связей $\geq 0,4$ (13 в норме, 21 при стрессе). Этот прирост

Табл. 1. Динамика показателей сердечной деятельности половозрелых животных под влиянием хронического эмоционального стресса.

Показатели	Нормальные	После 4 дней стрессования	Единица измерения
Частота сердечных сокращений (ЧСС)	312,50 ± 3,2	367,50 ± 3,2*	уд/мин
Индекс аритмии (ИА)	3,80 ± 0,14	4,20 ± 0,18	%
Индекс Макруз (ИМ)	0,59 ± 0,01	0,66 ± 0,01	отн.ед.
Индекс Гросс (ИГ)	0,46 ± 0,01	0,63 ± 0,007*	отн.ед.
Индекс Лепешкина (ИЛ)	42,20 ± 0,58	36,70 ± 0,56*	%
Разность между должным и фактическим систолическим показателем (СПр)	3,80 ± 0,29	8,80 ± 0,26*	%
Смещение сегмента от изолинии RS-T ₁	0,17 ± 0,03	0,31 ± 0,03	мм
Смещение сегмента от изолинии RS-T ₂	0,97 ± 0,08	0,86 ± 0,03	мм
Смещение сегмента от изолинии RS-T ₃	0,76 ± 0,03	0,82 ± 0,03	мм
Амплитуда зубца T ₁	0,10 ± 0,002	0,10 ± 0,003	мВ
Амплитуда зубца T ₂	0,18 ± 0,004	0,17 ± 0,003	мВ
Амплитуда зубца T ₃	0,12 ± 0,003	0,13 ± 0,03	мВ
Амплитуда зубца R ₂	0,94 ± 0,01	0,86 ± 0,001	мВ
Число наблюдений	352	336	

± m – ошибка репрезентативности выборочного показателя;

* – различия двух групп наблюдений достоверны по непараметрическому критерию «U» – Вилкоксона–Манна–Уитни при $p \leq 0,05$ (по Гублер Е. В., [80]).

Табл. 2. Корреляционная матрица измененных под влиянием хронического эмоционального стресса показателей сердечной деятельности половозрелых животных.

Переменная	ЧСС	ИА	ИМ	ИГ	ИЛ	СПр	CRS-T ₁	CRS-T ₂	CRS-T ₃	AT ₁	AT ₂	AT ₃	AR ₂
(ЧСС)	1,00												
Индекс аритмии (ИА)	0,03	1,00											
Индекс Макруз (ИМ)	-0,47	-0,11	1,00										
Индекс Гросс (ИГ)	0,34	-0,12	0,03	1,00									
Индекс Лепешкина (ИЛ)	0,66	-0,00	-0,63	-0,22	1,00								
(СПр)	0,17	-0,10	0,20	0,77	-0,54	1,00							
Смещение RS-T ₁ от изолинии (С RS-T ₁)	0,36	0,01	0,16	0,05	-0,39	0,30	1,00						
Смещение RS-T ₂ от изолинии (CRS-T ₂)	0,08	-0,06	-0,07	0,05	0,04	0,05	0,18	1,00					
Смещение RS-T ₃ от изолинии (CRS-T ₃)	-0,11	-0,02	0,07	-0,02	-0,02	0,01	-0,11	0,37	1,00				
Амплитуда зубца T ₁ (AT ₁)	-0,15	-0,04	0,10	0,10	-0,18	0,21	0,58	-0,03	-0,28	1,00			
Амплитуда зубца T ₂ (AT ₂)	0,42	-0,01	-0,42	0,06	0,51	-0,11	-0,07	0,44	0,32	0,05	1,00		
Амплитуда зубца T ₃ (AT ₃)	0,40	0,01	-0,28	-0,02	0,47	-0,21	-0,38	0,36	0,60	-0,32	0,61	1,00	
Амплитуда зубца R ₂ (AR ₂)	0,08	0,02	-0,20	-0,12	0,11	-0,05	-0,06	0,28	0,38	-0,12	0,34	0,37	1,00

Кoeffициенты корреляции значимы при $p \leq 0,05$, начиная с 0,14 (по Л. Закс. [98], табл. 113, с. 392).

происходит, в основном, за счет появления многочисленных связей между переменными, характеризующими конечную часть желудочкового комплекса — сегментами RS-T, амплитудой зубца Т в разных отведениях. Кроме того, появление отрицательных связей между индексом Макруз и ЧСС (-0,47), этим индексом и индексом Лепешкина (-0,63). Как и в нормальной ЭКГ, отсутствует связь индекса аритмии с другими переменными. Усиливаются связи амплитуды зубца T2 с индексом Макруз (с -0,07 до -0,42) и индексом Лепешкина. Напротив, уменьшается связь величины индекса Лепешкина с амплитудой зубца R_2 — с 0,42 в норме до 0,11 при стрессе.

Таким образом, под влиянием хронического эмоционального стресса изменяется структура зависимости изучаемых переменных. Это сопровождается изменением величины и знака связей, исчезновением существующих в норме и появлением большого числа новых связей, характерных для состояния стресса.

Специфическим проявлением стрессорного изменения сердечной деятельности можно считать, по-видимому, увеличение почти вдвое числа связей, имеющих величину $\geq 0,4$. Это может косвенно отражать включение единого механизма, изменяющего многие звенья и направления метаболизма миокарда, и переход обратимых изменений в необратимые. Подробнее эти механизмы будут рассмотрены при смысловой физиологической интерпретации результатов факторного анализа.

3.4. Факторная модель ЭКГ показателей сердечной деятельности в условиях экспериментального эмоционального стресса

Для определения главных факторов в качестве исходной использована вышеописанная корреляционная матрица (табл. 2), которая, позволяет выделить пять главных факторов, представляющих сжатое описание рассмотренной выше структуры зависимости, отражающей измененную под влиянием хронического эмоционального стресса сердечную деятельность.

Как известно, основной задачей многомерного анализа является, кроме выявления скрытых за переменными явлений (зависимостей), сжатие данных, уменьшение числа показателей, отражающих изучаемое явление. Факторная

модель позволила сжать информацию: 13 переменных образовали пять главных факторов. Полученная факторная модель сердечной деятельности может быть использована для формирования опытных групп, отвечающих критерию «нормы» или, напротив, для исследования «крайних» — неблагоприятных в прогностическом отношении групп.

Выделенные главные факторы объясняют 77% общей дисперсии, что дает хорошее представление об информации, содержащейся в исходных переменных (табл. 3).

При этом лишь несколько переменных (от одной до четырех) вносят значительные факторные нагрузки в каждый фактор. Это существенно упрощает смысловую физиологическую интерпретацию последних. Для выделения информации, содержащейся в этих факторах, проведен выбор переменных, имеющих коэффициенты корреляции с главными факторами $\geq 0,4$ (принят порог, равный 0,4 по рекомендации Afifi A. A., Aezon S. P., [66]).

Тогда правилу отбора для первого фактора (F_1) будут удовлетворять четыре переменные (помечены в первом столбце табл. 3 номерами в кружках), для второго фактора (F_2) — пять и т. д. Коэффициенты корреляции, помеченные номерами в штрих-пунктирных кружочках, хотя и не удовлетворяют правилу отбора, но приближаются к принятому порогу 0,4 и могут способствовать лучшему пониманию отражаемого явления при смысловой физиологической интерпретации фактора. Факторная модель представлена на рис. 1.

Обоснуем смысловую физиологическую интерпретацию выделенных факторов. Первый фактор (F_1) отражает состояние системы оперативного энергетического (кислородного и гликолитического) обеспечения ишемизированного стрессовыми воздействиями миокарда.

Как следует из табл. 3, наибольший вклад в F_1 вносит индекс Лепешкина, уменьшение которого указывает на замедление процессов реполяризации (увеличение ширины зубца Т). Известно, что процесс реполяризации очень лабилен, чутко реагирует на внешние факторы, а также, даже на кратковременные изменения физико-химических показателей внутренней среды [79]. Поэтому ширина зубца Т служит показателем быстро развивающихся событий в миокарде, в частности его ишемии, обусловленной возникшим спазмом коронарных сосудов, и, как следствием этого, ухудшением кислородного обеспечения. На длительности реполяризации сократительного миокарда желудочков немедленно отражаются

также нарушения гликолиза, который играет важную роль в поддержании целостности мембраны, функции катионных насосов, электрической стабильности сердца [10]. Наконец, оперативное энергетическое обеспечение текущей поведенческой деятельности и доставка в коронарное русло энергообеспечивающих субстратов (глюкозы, насыщенной кислородом крови) осуществляется за счет нервных влияний, вызывающих кратковременные изменения ЧСС (второй переменной, входящей в F_1).

Подтверждением нашей интерпретации первого фактора, как отражающего состояние систем оперативного энергообеспечения миокарда при стрессе, является также значительный вклад индекс Макруз в этот фактор. Как уже отмечалось, этот индекс дает представление о состоянии миокарда предсердий и атрио-вентрикулярной проводимости.

В этом отделе сердца именно гликолиз имеет большее значение в энергетическом обеспечении сократительной функции миокарда, так как в желудочках лучше развита система митохондрий [10]. По этой же причине нарушение гликолиза сразу же влияет на состояние проводящей системы — здесь митохондрий еще меньше, чем в кардиомиоцитах сократительного миокарда предсердий [10]. При введении глюкозы в коронарное русло снижается вероятность возникновения аритмий [81]. Именно с этим механизмом, по нашему мнению, связан вклад индекса Макруз в первый главный фактор.

Значительная факторная нагрузка AT_2 в F_1 также подтверждает предлагаемую интерпретацию фактора. Как видно из табл. 3, эта переменная вносит существенный вклад одновременно в два фактора. При этом ее вклад в первый фактор связан, по-видимому, с нейрогуморальными влияниями, во второй — с ишемическими повреждениями миокарда (см. ниже). Чрезвычайная лабильность этого показателя свидетельствует о том, что он отражает не стойкие метаболические изменения, а «вегетативную лабильность и комплексную реакцию адаптации» [30]. В этом случае изменения амплитуды AT_2 связаны скорее с активацией, эмоциональным возбуждением высших вегетативных центров, что подтверждается сочетанием этой переменной в одном факторе с ЧСС. Связь AT_2 с возбуждением различных отделов вегетативной нервной системы установлена рядом авторов экспериментально. Полученные при этом результаты в разных опытах противоречивы по конечному результату: в одних случаях — это увеличение амплитуды, в других — уменьшение [30].

Табл. 3. Факторная характеристика измененных под влиянием хронического эмоционального стресса показателей сердечной деятельности половозрелых белых крыс-самцов.

Переменная	Факторы				
	1	2	3	4	5
Частота сердечных сокращений (ЧСС)	0,85* (2)	-0,00	0,22	-0,23	-0,03
Индекс аритмии (ИА)	0,05	-0,00	-0,06	-0,01	0,97 (1)
Индекс Макруз (ИМ)	-0,77 (3)	-0,09	0,09	-0,02	-0,17
Индекс Гросс (ИГ)	0,13	-0,04	0,97 (1)	-0,00	-0,08
Индекс Лепешкина (ИЛ)	0,85 (1)**	0,07	-0,34	-0,19	-0,08
Разность между нормальным (СПн) и фактическим (СПф) систолическим показателем (СПр)	-0,28	0,02	0,88 (2)	0,19	-0,01
Смещение сегмента RS-T ₁ от изолинии	-0,27	0,06	0,09	0,85 (2)	0,06
Смещение сегмента RS-T ₂ от изолинии	0,07	0,72 (2)	0,07	0,22	-0,10
Смещение сегмента RS-T ₃ от изолинии	-0,22	0,81 (1)	0,02	-0,30	-0,02
Амплитуда T ₁ (AT ₁)	0,01	-0,14	0,08	0,85 (1)	-0,07
Амплитуда T ₂ (AT ₂)	0,60 (4)	0,62 (5)	0,02	0,14	-0,06
Амплитуда T ₃ (AT ₃)	0,39 (5)	0,69 (3)	-0,04	-0,39 (3)	-0,05
Амплитуда R ₂ (AR ₂)	0,08	0,64 (4)	-0,10	-0,03	0,14
Накопленная дисперсия (Σ=0,77)	0,21	0,19	0,15	0,14	0,08

*) нагрузки для факторов – коэффициенты корреляции переменных с выделенными факторами

**) цифрами в скобках обозначен порядок, в котором переменные вносят наибольший вклад в выделенный фактор; цифры в скобках стоят только возле переменных, удовлетворяющих правилу отбора (выбраны переменные, имеющие коэффициенты корреляции с главными Факторами по абсолютной величине $\geq 0,4$ по Afifi A. A., Aezen S. P., [66].

Так, выделяют четыре синдрома ЭКГ, в два из которых входят AT₂ и ЧСС. Первый из них – бетта-пансимпатикотонический, связан с гиперфункцией ускоряющего и усиливающего нервов. Этот синдром состоит из увеличения ЧСС в сочетании с образованием высокого зубца Т. Второй – гиперамфотонический синдром – по мнению авторов, отражает «активацию центральной холинергической и адренергической регуляции». При этом варианте увеличение амплитуды зубца Т сочетается с брадикардией [82]. В других исследованиях показано, что конечный эффект двухстороннего раздражения симпатических нервов на амплитуду зубца Т зависит от преобладания влияний правых или левых нервов [13]. В то же время другие авторы [83] увеличение амплитуды зубца Т связывают с усилением вагальных влияний. Таким образом, зависимость амплитуды зубца Т от активации различных отделов мозга не вызывает сомнений. В то же

время показана связь амплитуды зубца Т с гуморальным фактором – накоплением катехоламинов (КА) в сократительном миокарде желудочков [18, 84, 85].

Второй главный фактор (F₂) отражает степень постстрессорной ишемии, коронарной недостаточности и нарушение инотропной функции сократительного миокарда желудочков. Все переменные, образующие этот фактор, относятся к желудочковому комплексу (смещение сегментов RS-T_{3,2}, амплитуда зубцов T_{3,2}, R₂). Нейрогуморальные влияния на амплитуду зубца Т рассмотрены выше.

Степень ишемии миокарда отражается амплитудой зубца Т в сочетании с величиной смещения сегмента RS-T в различных отведениях [18, 30, 31, 79]. Смещение сегмента RS-T вверх связано с более выраженной ишемией, чем его смещение вниз [86]. Эти показатели указывают на диффузные ишемические изменения миокарда, развивающиеся

при этом коронарную недостаточность, ее начальный период [79]. На связь амплитуды зубца T_{2,3} с гипоксией и ишемией миокарда указывают данные о наличии высокоамплитудного зубца Т у больных с частыми приступами стенокардии, у которых другие ЭКГ признаки ишемии отсутствуют. Указанные смещения сегмента RS-T и увеличение амплитуды зубца Т связаны, по-видимому, локализацией ишемии в субэндокардиальных слоях переднебоковой стенки левого желудочка [87]. Таким образом, только сочетанные изменения двух переменных – смещение сегмента RS-T и величина амплитуды зубца Т – могут отражать степень ишемии, сократительного миокарда желудочков [99]. При этом необходимо учитывать, что ишемия кардиомиоцитов желудочков связана уже с более глубокими нарушениями обмена, вызванными кардиотоксическим действием катехоламинов, изменением гликолитического

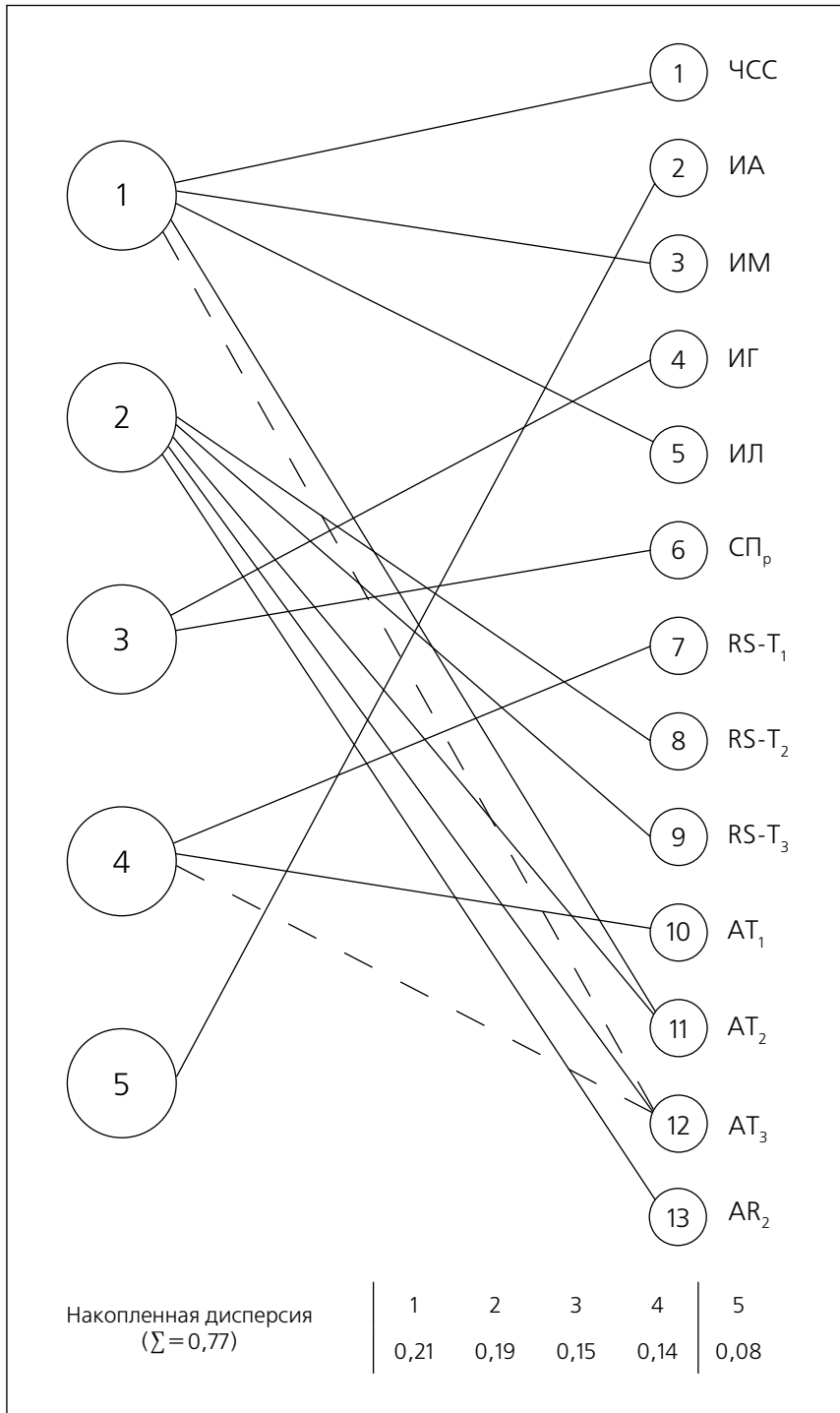


Рис. 1. Структура гипотезы факторного отображения измененных под влиянием хронического эмоционального стресса показателей сердечной деятельности половозрелых животных.

энергообеспечения, гипоксией и, как следствием этого, выключением функции митохондрий и ингибированием основных метаболических путей дыхательной цепи [12, 23, 88].

Этот фактор отражает, по-видимому, изменения, соответствующие

второй и третьей стадиям формирования патогенетических звеньев ишемического повреждения миокарда. При этом тормозится цикл трикарбоновых кислот и нарастает дефицит богатых энергией фосфорных соединений (АТФ) [10, 12].

Наконец, переменная, характеризующая амплитуду зубца R_2 , также связана со степенью ишемии миокарда. Связь этой переменной с фактором, характеризующим ишемию, обусловлена мгновенной обратимой депрессией сократительной функции миокарда (сокращения и расслабления), которая возникает в результате снижения резистентности к контрактуре, вызванной гипоксией [89, 90; и др.]. Эти же явления могут быть связаны с избытком Ca^{2+} . Однако связь амплитуды R_2 с другими переменными, образующими F_2 , указывает именно на роль гипоксии. Это подтверждается исследованиями, где явления такого порядка — депрессия силы и амплитуды сокращения миокарда желудочков — могут быть устранены путем активации гликолиза. Такой положительный инотропный эффект глюкозы хорошо известен: он обеспечивается поступлением в миофибриллы аденозинтрифосфата (АТФ) [91–93], а также неразрывно связанным с этим процессом функционированием Са-насоса сарколеммы и саркоплазматического ретикулула (т. е. удалением Ca^{2+} из миофибрилл [10]).

Третий главный фактор (F_3) мы интерпретируем, как отражающий степень ишемических и стрессорных повреждений сократительной функции миокарда в процессе полного сердечного цикла (фактор, отражающий итоговые метаболические и функциональные Ca^{2+} -зависимые эффекты эмоционального стресса). Этот фактор образуется, главным образом, двумя переменными — индексом Гросс и СПр.

Увеличение индекса Гросс связано в большей степени с уменьшением времени электрической диастолы (интервала Т-Q), что указывает на нарушение коронарного кровообращения [75]. В то же время отклонение СПр более чем на 5% является одним из признаков неполноценной функции миокарда [74]. Из выражений (4) и (5) следует, что и тот, и другой показатели зависят от соотношения длительностей электрической систолы и диастолы.

Указанные показатели отражают динамику всего сердечного цикла и является, в значительной степени, интегральными. Они характеризуют, кроме сократительной функции миокарда, коронарное кровообращение, координацию всех отделов сердца, его функцию в целом. Действительно, в этих индексах отражается соотношение фаз систолы (напряжения и изгнания) и фаз диастолы (расслабления и накопления) [94, 95]. Можно считать, что интерпретируемые показатели будут отражать состояние сократительной функции миокарда обоих отделов сердца — предсер-

дий и желудочков, а также проводящей системы, от состояния которой зависит во многом электрическая стабильность и согласованность различных отделов сердца.

Хотя стрессорные и ишемические повреждения миокарда вызывают депрессию основных параметров сокращения и расслабления, длительные стрессовые воздействия в большей степени нарушают процесс расслабления [10]. Во время диастолы в миофибриллах сохраняются остаточные актомиозиновые мостики, влияющие на напряжение покоя [96]. Этот процесс играет ведущую роль во время диастол.

Третий фактор (F_3), таким образом, отражает результат глубоких метаболических изменений, затрагивающих практически все стороны деятельности кардиомиоцитов — сокращение миофибрилл, энергообеспечение (гликолиз и распад гликогена), процессы ионного транспорта, ответственные за ритмический характер функционирования клеток (кальциевый насос и процесс расслабления в кардиомиоцитах). Таким полиэффекторным свойством обладает Ca^{2+} , активирующий универсальный регуляторный белок — кальмодулин, посредством протеинкиназ запускающий и ограничивающий все вышеперечисленные механизмы. Следовательно, можно предположить, что F_3 отражает состояние Ca^{2+} зависимых эффектов эмоционального стресса.

Четвертый главный фактор (F_4) интерпретируется как отражающий положение электрической оси сердца.

Такая трактовка основана на гипотезе Эйнтховена о зависимости амплитуды зубцов ЭКГ в стандартных отведениях от положения сердца в грудной клетке (от положения средней электрической оси (т. е. от угла α). Как известно, при горизонтальном положении сердца максимальная амплитуда зубцов регистрируется в первом стандартном отведении, а минимальная — в третьем. Обратные соотношения характерны для вертикального положения сердца [71]. Однако, этот метод дает неполную информацию, так как учитывает повороты сердца только вокруг одной переднезадней оси [86].

F_4 образован, главным образом, переменными — амплитудой зубцов T_1 и T_3 . При этом, как следует из табл. 3., эти переменные имеют противоположные по знаку коэффициенты корреляции с F_4 . Тогда увеличение собственного значения F_4 будет указывать на более горизонтальное положение оси сердца, уменьшение этого фактора на более вертикальное.

Именно наличие противоположных по знаку коэффициентов корреляции

этих переменных с F_4 подтверждает его связь с положением электрической оси сердца, а не со степенью ишемии миокарда, на что могло бы указывать участие переменной $RS-T_1$ в образовании данного фактора. Если принять такую интерпретацию, то становится понятным отсутствие в этом факторе переменной, характеризующей амплитуду R_2 .

Наконец, F_4 мог бы отражать еще один механизм — конечный эффект двухсторонней активации симпатических нервов. Как показали исследования Б. М. Федорова [13], при преобладании влияния левых симпатических нервов происходит снижение амплитуды зубцов T_1 и T_3 . В этом случае направление изменений этих зубцов должно иметь однонаправленный характер. Однако, наличие противоположных знаков у коэффициентов корреляции заставляет отказаться от этой интерпретации.

Участие в образовании интерпретируемого фактора величины смещения от изолинии сегмента $RS-T_1$ обусловлено ее значительной корреляцией с амплитудой зубца T_1 (см. табл. 2). Мы придаем анализу величины этого фактора небольшое значение, так как регистрация ЭКГ в наших исследованиях проводится в условиях относительно свободного поведения, когда расположение оси сердца меняется в зависимости от позы животного, и, таким образом, может не зависеть от гипертрофии того или иного отдела сердца.

Интерпретация пятого фактора (F_5), как аритмогенного, не нуждается в доказательствах, так как последний образован одной переменной — индексом аритмии. Это — индивидуальный (характерный) фактор.

Известно, что повышенный уровень КА при стрессе повышает возбудимость проводящей системы и увеличивает вероятность возникновения аритмий [81]. Другим важным аритмогенным фактором является ишемия миокарда. Как показано Ф. З. Меерсон [10, 12], роль стресса в возникновении электрической нестабильности сердца (экстрасистолии, фибрилляции) реализуется в результате нарушения механизмов ионного транспорта, обусловленных липидной триадой. По мнению этого автора, именно увеличение пассивной проницаемости мембран для ионов Na^+ , Ca^{2+} , K^+ является причиной электрической нестабильности сердца. По нашим данным, под влиянием хронического эмоционального стресса число аритмий и экстрасистолий, а следовательно и индекс аритмии (ИА) увеличиваются (см. табл. 1). В то же время известно [97], что при эмоциональном напряжении в результате централизации управления сердечным ритмом уменьшается

вариабельность ряда кардиоинтервалов (при математическом анализе 100–5000 кардиоинтервалов). Это кажущееся противоречие связано с тем, что F_5 отражает обменные изменения в проводящей системе и состояние электрической нестабильности миокарда, возникающее под влиянием стресса и ишемии. Этот фактор, таким образом, не связан с централизацией управления при эмоциональном возбуждении.

На 4-й день пребывания в условиях моделирования эмоционального стресса, на фоне ишемизированного, стрессорными воздействиями миокарда, наблюдается дальнейшее углубление повреждений. Как следует из совокупности переменных, образующих выделенные факторы, и обоснованной выше их физиологической интерпретации, усиливается постстрессорная ишемия, коронарная недостаточность и нарушение инотропной функции миокарда. На это указывает перемещение на первое место F_2 . Более выражены итоговые метаболические и функциональные Ca^{2+} -зависимые эффекты. На второе место в факторной модели перемещается F_3 . Иными словами происходит изменение иерархии выделенных совокупностей показателей. Как известно, изменение порядка расположенных главных факторов показывает изменение информативности переменных, их образующих.

Каждый из исследуемых «квантов поведения» имеет свои особенности. Наиболее значительные изменения выявляются в период «ожидания» аверсивного раздражителя, и, особенно, в межсигнальный период. В этот период в аритмогенный фактор (F_5) существенный вклад вносят переменные — смещение сегмента $RS-T_1$ и амплитуда T_1 , которые в совокупности, как указывалось выше, указывают на ишемию миокарда.

Обсуждение результатов. Заключение

Таким образом, как показывают наши исследования, для количественной оценки стрессорных повреждений миокарда по ЭКГ в условиях хронического эксперимента на животных необходимо: сочетание моделирования эмоционального стресса, клинический анализ ЭКГ в нескольких отведениях и качественно

более высокий уровень обработки полученных при этом переменных методами многомерного (факторного) анализа.

Такой подход позволяет получить факторную модель стрессорных и ишемических повреждений сердца. Факторный анализ дает возможность выявить скрытые за показателями ЭКГ изменения функции и метаболизма, не поддающиеся непосредственному измерению в условиях целостного организма. Так, первый фактор (F_1) отражает состояние системы энергообеспечения и кислородообеспечения; второй (F_2) — степень постстрессорной ишемии, связанной, главным образом, с выключением функции митохондрий; третий (F_3) — итоговые метаболические и функциональные Ca^{2+} -зависимые эффекты эмоционального стресса; четвертый (F_4) — положение электрической оси сердца. Наконец, пятый фактор (F_5) отражает изменения, обусловленные повышенным уровнем катехоламинов и реализацией липидной триады.

Для ранжирования животных по степени изменений миокарда необходимо иметь представление о величине индивидуальных значений выделенных факторов, определяемых с помощью коэффициентов факторных вкладов.

Для каждого индивида, подвергнутого воздействию хронического эмоционального стресса, определяются индивидуальные значения факторных вкладов F_1 – F_5 , которые затем подразделяются на три области: минимальных, средних и максимальных значений.

По индивидуальному значению факторных вкладов определяется положение индивида в той или иной области факторного пространства, в котором животные неодинаково распределяются в зависимости от их устойчивости к стрессу.

Анализ величин переменных, обуславливающих индивидуальные значения первого фактора, показывает, что при минимальном значении первого фактора (f_1) характерно менее значительное уменьшение индекса Лепешкина (меньше выражен спазм коронарных сосудов и ишемия, менее замедлены процессы реполяризации), чем у животных, имеющих максимальное значение первого фактора (F_1), более высокая ЧСС, лучше оперативное энергообеспечение, незначительное увеличение индекса Макруз (отсутствие «патологии левого сердца»), увеличение амплитуды T_2 (в сочетании с увеличением ЧСС отражает развитие комплексной реакции адаптации и связано с активацией ускоряющего и усиливающего нервов). Из этого следует, что с точки зрения устойчивости наиболее благоприятно, когда у индивида минимальное значение первого фактора (f_1)

и т. п. Так же можно проанализировать значение увеличения или уменьшения других выделенных факторов. Таким образом, по величине индивидуальных значений выделенных факторов для каждого подопытного животного можно судить о наличии и степени стрессорных и ишемических повреждений миокарда, стадии этих повреждений и, что особенно существенно, о наиболее пораженном звене или звеньях патогенетического процесса.

Это крайне важно для целенаправленного выбора средств активации или дублирования конкретных естественных антистрессорных и антиишемических систем организма. Например, если у обследуемого индивида большое собственное значение F_1 , то для восстановления систем, энергообеспечения ему показано введение смеси глюкозы с инсулином и калием (К); при увеличении F_1 , для уменьшения Ca^{2+} -зависимых эффектов эмоционального стресса — блокаторов вхождения Ca^{2+} через медленный канал, типа ватапамида; при увеличении собственного значения F_5 для уменьшения кардиотоксического эффекта КА и реализации липидной триады — антиоксидантов типа α -токоферола или глюкокортикоидов и т. п. (Способы воздействия на метаболизм миокарда, приведенные для иллюстрации использования собственных (индивидуальных) значений факторов при выборе патогенетической терапии, заимствованы у Ф. З. Меерсон [10]).

Такой подход позволяет количественно оценить степень стрессорных повреждений миокарда и ранжировать индивидов по выраженности изменений их кардиологического «паттерна», сердечно-сосудистого компонента устойчивости к эмоциональному стрессу.

Литература

1. Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональной системы. М.: Наука, 1980. 197 с.
2. Селье Г. Стресс без дистресса. Рига: Виеда, 1992. 109 с.
3. Косицкий Г. И. Нервное напряжение, эмоции, неврозы и сердечно-сосудистая система. Превентивная кардиология. Руководство. / Ред. Г. И. Косицкий. М., Медицина, 1987. С. 147–178.
4. Судаков К. В. Механизмы устойчивости к эмоциональному стрессу: преимущества индивидуального подхода. Вестн. РАМН. 1998. № 8. С. 8.
5. Судаков К. В. Информация в деятельности функциональных систем организма. Вестник Челябинского гос. университета. 2009. № 11 С. 35–46.
6. Вальдман А. В. Молекулярно-биологические процессы динамики

эмоционально-стрессорной реакции. Вестн. АМН СССР. 1987. №6. С. 6–15.

7. Вальдман А. В., Медведев О. С. Фармакологический анализ сопряжения эмоционально-поведенческой и гемодинамических реакций. Вестн. АМН СССР. 1984. №4. С. 22–29.
8. Брайт Д., Джонс Ф. Стресс. Теории, исследования, мифы. 2-е межд. изд.; СПб.: Прайм-Еврознак; М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2003. — 352 с.
9. Медведев В. И. Кровообращение при некоторых физиологических состояниях. Эмоциональные напряжения и стресс. Физиология кровообращения: Регуляция кровообращения. Л.: Наука, 1986. С. 507–525.
10. Меерсон Ф. З. Патогенез и предупреждение стрессорных и ишемических повреждений сердца. М., Медицина, 1984. 269 с.
11. Меерсон Ф. З. Адаптация к стрессорным ситуациям и стресс-лимитирующие системы организма. Физиология адаптационных процессов. М., Наука, 1986. С. 521–632.
12. Меерсон Ф. З. Первичное стрессорное повреждение миокарда и аритмическая болезнь сердца. Кардиология. 1993. № 4, 5. СС. 50–59, 58–64.
13. Федоров Б. М. Стресс и система кровообращения. М., Медицина, 1991. 320 с.
14. Захаржевский В. Б. Физиологические аспекты невротической и психосоматической патологии. Л., Наука, 1990. 175 с.
15. Selye H. Stress and cardiovascular disease. Cardiovasc. Med., 1979. V4. №2. P. 183 - 191.
16. Levi L. Stress and coronary heart disease — causes, mechanisms and prevention. Psychosomatic risk factors and coronary heart disease: Indications for specific preventive therapy. Ed by R.H. Rosenman. Bern — Stuttgart — Vienna, 1983. P.15–21.
17. Lazarus, R. S. Stress and Emotion: A New Synthesis. NY, Springer Publish. Company, Inc. 2006. 342 p.
18. Kreibitz S. D. Autonomic Nervous System Activity in Emotion: A Review. Biological Psychology, 2010. V. 84. P. 394–421.
19. Adams, D. B., Baccelli, G., Mancina, G., and Zanchetti, A. Relation of cardiovascular changes in fighting to emotion and exercise. J. Physiology (London), 1971. V. 212, No.2. P. 321–335.
20. Hijzen T. H., Slangen J. L. The electrocardiogram during emotional and physical stress. Int. J. Psychophysiol. 1985. 2 (4). P. 273–927.
21. Strike P. C. and Steptoe A. Systematic review of mental stress-induced myocardial ischaemia. European Heart Journal, 2003. V. 24, Iss. 8. P. 690–703.
22. Чазов Е. И. Эмоциональные стрессы и сердечнососудистые заболевания. Вестн. АМН СССР. 1975. №8. С. 3–9.
23. Чазов Е. И. Методологические и социальные вопросы кардиологии. Биология и медицина: фило-

- софские и социальные проблемы взаимодействия. М., 1985. С. 46–53.
24. Russek H., Russek L. Behavior Patterns and Emotional Stress in the Etiology of Coronary Heart Disease: Sociological and Occupational Aspects. *Stress and the Heart* / Ed. D. Wheathley. N.Y., Raven Press, 1977. P. 15–33.
 25. Haynes S. G., Levine S., Scotch N., Feinleib M., Kannel W. B. The relationship of psychosocial factors to coronary heart disease in the Framingham study: 1. Methods and risk factors. *Amer. J. Epidemiol.* 1978. Vol. 107, No. 5. P. 362–383.
 26. Nagman M., Wilhemsens L., Wedel H., et al. Risk factors for angina pectoris in a population study of Swedish Men. *J. Chron. dis.* 1987. V.40, №3. P. 265–275.
 27. Шхвацабая И. К. Ишемическая болезнь сердца. М., Медицина, 1975. 298 с.
 28. Шхвацабая И. К., Храмлишвили В. В. Особенности личности больных основными сердечно-сосудистыми заболеваниями. Психиатрические аспекты сердечно-сосудистой патологии. Тез. докл. междунар. симпозиум. М., 1985. С. 111–112.
 29. Everly G. S. and Lating J. M.. *A Clinical Guide to the Treatment of the Human Stress Response*. Springer Science, N.Y. 2013. XX. 486 p.
 30. Соколов Е. И., Белова Е. В. Эмоции и патология сердца. М., Наука, 1983. 302 с.
 31. Соколов Е. И. Эмоции, гормоны и атеросклероз. М., Наука, 1991. 294 с.
 32. Белялов Ф. И. Психосоматические связи при заболеваниях внутренних органов. *Клин. медицина*. 2007. Т.85. №3. С. 21–24.
 33. Гафаров В. В., Пак В. А., Гагулин И. В., Гафарова А. В. Личностная тревожность и ишемическая болезнь сердца. *Терапевт. архив*. 2005. Т. 77. №12. С. 25–29.
 34. Friedman H., Rosenman R.H. Type A Behavior and your Heart. N. Y., Knott, 1974. 302 p.
 35. Laughlin M. An analysis of the risk of human cardiac damage during +G(z) stress: A review. *Aviat. and Space Environ Med.* 1982. Vol. 53. No. 5. P. 423–431.
 36. Pratt L. A., Ford D. E., Crum R.M. et al. Depression, psychotropic medication and risk of myocardial infarction: prospective data from Baltimore ECA follow-up. *Circulation*, 1996. №94: P. 3123–3129.
 37. Погосова Г. В. Депрессия — новый фактор риска ишемической болезни сердца и предиктор коронарной смерти. *Кардиология*. №4. 2002. С. 86–90.
 38. Hamer M., Tanaka G., Okamura H., Tsuda A., & Steptoe, A. The effects of depressive symptoms on cardiovascular and catecholamine responses to the induction of depressivemood. *Biol. Psychology*, 2007. 74, P. 20–25.
 39. Белова Т. И., Кветнянский Р. Катеcholамини мозга в условиях экспериментальных эмоциональных перенапряжений. *Успехи физиол. наук*. 1981. Т.12. №2. С. 67–90.
 40. Симонов П. В. Вегетативные корреляты эмоциональных состояний. *Физиология вегетативной нервной системы*. Л., Наука, 1981. С. 596–617.
 41. Legault S. E., Freeman M. R., Langer A. et al. Patho-physiology and time course of silent myocardial ischaemia during mental stress: clinical, anatomical, and physiological correlates. *Br. Heart J.* 1995.73. P. 242–249.
 42. Вайнштейн И. И., Симонов П. В. Эмоциональные структуры мозга и сердца. М., Наука, 1979. 93 с.
 43. Пшенникова М. Г. Роль генетических особенностей организма в устойчивости к повреждающим воздействиям и в защитных эффектах адаптации. *Патол. физиол. и эксперим. терапия*, 2011, №4. С. 7–16.
 44. Wolf S. Emotions and the autonomic nervous systems. *Arch. Intern. Med.* 1970. Vol.126, No.6. P. 1024–1030.
 45. Gendolla, G. H. E., & Krusken, J. Mood state, task demand, and effort-related cardiovascular response. *Cognition and Emotion*, 2002. 16 (5). P. 577–603.
 46. Gendolla, G. H. E., & Wright, R. A. Motivation in social settings: Studies of effort-related cardiovascular arousal. In J. P. Forgas, K. Williams, & W. von Hippel (Eds.), *Social motivation*. N. Y.: Cambridge Univ. Press. 2005. P. 71–90.
 47. Grossman P., & Taylor E. W. Toward understanding respiratory sinus arrhythmia: Relations to cardiac vagal tone, evolution, and biobehavioral functions. *Biol. Psychology*, 2007. 74. P. 263–285.
 48. Mauss, I. B., & Robinson, M. D. Measures of emotion: A review. *Cognition and Emotion*, 2009. V. 23, P. 209–237.
 49. Guliani, N. R., McRae, K., & Gross, J. J. The up- and down-regulation of amusement: Experiential, behavioral, and autonomic consequences. *Emotion*, 2008. 8. P. 714–719.
 50. Stemmler G., Aue T., & Wacker J. Anger and fear: Separable effects of emotion and motivational direction on somatovisceral responses. *Intern. J. of Psychophysiol.*, 2007. 66. P. 141–153.
 51. Scherer K. R. The dynamic architecture of emotion: Evidence for the component process model. *Cognition and Emotion*, 2009. 23. P. 1307–1351.
 52. Murakami H., & Ohira H. Influence of attention manipulation on emotion and autonomic responses. *Perceptual and Motor Skills*, 2007. 105. P. 299–308.
 53. Rainville P., Bechara A., Naqvi N., & Damasio A. R. Basic emotions are associated with distinct patterns of cardiorespiratory activity. *Intern. J. of Psychophysiol.*, 2006. 61. P. 5–18.
 54. Foley P. & Kirschbaum C. Human hypothalamus-pituitary-adrenal axis responses to acute psychosocial stress in laboratory settings. *Neurosci. and Biobehav. Reviews*, 2010. 35. P. 91–96.
 55. Пшенникова М. Г., Воронцова Е. Я., Меерсон Ф. З. Влияние стресса на растяжимость и сократительную функцию миокарда. *Бюлл. эксперим. биол. и мед.* 1982. №12. С. 15–17.
 56. Судаков К. В. Системные механизмы эмоционального стресса. М., Медицина, 1981. 232 с.
 57. Репин Ю. М., Старцев В. Г. Механизм избирательного поражения сердечно-сосудистой системы при психоэмоциональном стрессе. *Вестн. АМН СССР*. 1975. №8. С. 71–75.
 58. Айраагетянц М. Г., Вейн А. М. Неврозы в эксперименте и в клинике. М., Наука, 1982. 270 с.
 59. Захаржевский В. Б. Экспериментальный невроз. *Физиология кровообращения: Регуляция кровообращения*. Рук. по физиологии. Л., Наука, 1986. С. 526–548.
 60. Hassan M., Mela A., Qin Li, Brumback B., Fillingim R. B., Conti J. B., Sheps D. S. The Effect of Acute Psychological Stress on QT Dispersion in Patients with Coronary Artery Disease. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2009. 32 (9). P. 1178–1183.
 61. Miller D., Mallov S. Quantitative determination of stress-induced myocardial damage in rats. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 1977. Vol. 7. P. 139–143.
 62. Waldenstrom A., Hjalmarson A., Thornell L. A possible role of noradrenaline in the development of myocardial infarction. *Am. Heart J.* 1978. Vol.95. No.1. P. 43–51.
 63. Мальшев В. В., Лифантьев В. И., Меерсон Ф. З. Функциональное состояние митохондрий сердца в динамике эмоционально-болевого стресса. *Кардиология*. 1982. №6. С. 118–120.
 64. Randoll D., Brady J., Martin K. Cardiovascular dynamics during classical appetitive and aversive conditioning in the laboratory primates. *Pavl. J. Biol. Sci.* 1975. V.10. P. 66–75.
 65. Иберла К. (Uberla K.) Факторный анализ. М., Статистика, 1980. 398 с.
 66. Афифи А., Эйзен С. (Afifi A. A., Aezen S. P.) Статистический анализ. М., Мир, 1982. 486 с.
 67. Ведяев Ф. П., Воробьева Т. М. Модели и механизмы эмоциональных стрессов. Киев: Здоров'я, 1983. 136 с.
 68. Майоров О. Ю. Экспериментальная установка для моделирования эмоциональных стрессов, самостимуляция и тестирования мелких лабораторных животных. *Заявка на пат. предл.* N 44, 27.02.1979.
 69. Vedjiaev F., Mayorov O.Yu. Anticipation stress — neurodynamic, vegetative, ontogenetic aspects. XXII Intern. Congr. of Psychologists, Leipzig, V.2. 1980. P. 671–674.
 70. Macruz R., Perloff J. K., Case R. B. A method for the electrocardiographic recognition of atrial enlargement. *Circulation*. 1958. V.17. N5. P. 882–889.
 71. Тумановский М. Н., Бородулин Ю. Д., Никитин А. В., Фуки В. Б. Практическое руководство по электрокардиографии (с теор. основами). – 2-е изд., Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1972. 326 с.
 72. Bazett H. C. An analysis of the time-relations of electrocardiograms. *Heart*. 1920. (7) P. 353–370.
 73. Фогельсон Л. И., Черногоров И. А. Величина желудочкового комплекса

- электрокардиограммы, как показатель функционального состояния миокарда. Медико биол. журнал. 1927. в. 6. С. 3–15.
74. Письменный Р. Я., Соболева Л. В. Электрокардиография в практике экспертизы трудоспособности. – М., Медгиз. 1969. 156 с.
 75. Gross D. Investigations concerning the U wave of the electrocardiogram. *Cardiologia*. 1954. Vol. 24. P. 166–179.
 76. Дьяконова И. Н., Косицкий Г. И., Кузнецова Т. Е. Регуляция деятельности сердца, системного и коронарного кровоснабжения. Превентивная кардиология. Под ред. Г. И. Косицкого. М., Медицина, 1977. С. 85.
 77. Lereschkin E. Das Elektrokardiogramm. Dresden und Leipzig, 1957. 714 s.
 78. Моисеев В. С., Сумароков А. В. Болезни сердца: Рук. для врачей М., Универс. Пабл., 2001. 463 с.
 79. Долабчан З. Л. Гипертрофия миокарда и электромеханическая активность сердца. М., Медицина. 1973. 216 с.
 80. Гублер Е. В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов. Л., Медицина. 1978. 294 с.
 81. Burke W. et al., 1969. /Цит по Меерсон Ф. З. Патогенез и предупреждение стрессорных и ишемических повреждений сердца. М., Медицина, 1984. 269 с.
 82. Исаков И. И., Кушаковский М. С., Журавлева Н. Б. Клиническая электрокардиография. – 2-е изд. Л.: Медицина, 1984. 272 с.
 83. Бобер С., Домбровская В., Добровский А. Практическая электрокардиография. Варшава, 1974. 282 с.
 84. Буянов П. В. Значение эмоциональных влияний на кровообращение при гипертонической болезни. Военно-мед. ж. 1960. №5. С. 81–83.
 85. Wolf S. Emotions and the autonomic nervous systems. *Arch. Intern. Med.* 1970. Vol. 126, No. 6. P. 1024–1030.
 86. Ekmekci A., Toyoshima H., Kwoczynsky J. *Am. J. Cardiol.* 1961. No. 7. P. 521. (Цит. по [79]).
 87. Freundlich J: The diagnostic significance of the tall upright T wave in the chest leads. *Amer Heart J.* 1956. V. 52. P. 749.
 88. Kloner R., Braunwald E. Observations on experimental myocardial ischaemia. *Cardiovasc. Res.* 1980. V. 14. P. 371–395.
 89. Меерсон Ф. З., Гибер Л. М., Марковская Г. И. Профилактика нарушенной сократительной функции сердца и язвенных поражений желудка при эмоциональном стрессе с помощью оксибутирата натрия и витамина Е. Докл. АН СССР. 1977. Т. 237. №5. С. 1238–1243.
 90. Уголев А. А., Голубева Л. Ю., Меерсон Ф. З. Предупреждение стрессорных повреждений сердца с помощью предварительной адаптации к высотной гипоксии. *Кардиология*. 1980. №11. С. 91–94.
 91. Сакс В. А., Розенштраух Л. В. Современные проблемы энергетики клеток сердечной мышцы. *Терап. арх.*, 1977, Т 49, №1, С. 120–132.
 92. Jacobus W., Lehninger A. Транспорт Ca^{2+} митохондриями и его возможная роль в цикле сокращение–расслабление. *Метаболизм миокарда. Матер. 1-го сов.-амер. симп.* 1973. /Ред. Е. И. Чазов, Е. Морган. США. М., Медицина, 1975. С. 118–134.
 93. Jacobus W. E., Tiozzo R., Lehninger A. L., Carafoli E. Aspects of Energy-linked Calcium accumulation by Rat Heart Mitochondria. *J. Biol. Chem.*, 1975. V. 250, N 19. P. 7863–7870.
 94. Карпман В. Л. Фазовый анализ сердечной деятельности. М., Медицина, 1965. 275 с.
 95. Парин В. В., Карпман В. Л. Кардиодинамика. Физиология кровообращения. Физиология сердца. Л., 1980. С. 215–240.
 96. Меерсон Ф. З., Капелько В. И. Современные представления о механизме сокращения и расслабления сердечной мышцы. *Успехи физиол. наук.* 1978. Т. 9. №2. С. 21–41.
 97. Баевский Р. М., Кириллов О. И., Клецкин С. М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М., Наука, 1984. 221 с.
 98. Закс Л. Статистическое оценивание. М., Статистика, 1976. 598 с.
 99. Feinleib M., Kannel W. B., Tedeschi C. G., Landau T. K., Garrison R. J. The relation of antemortem characteristic to cardiovascular findings at necropsy. *Atherosclerosis*, 1979, 34. P. 145–157.

Quantitative assessment of stress and ischemic myocardial damages in normal conditions and during experimental stress: factor model

O. Mayorov

*Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education of Ukraine
Institute of Child and Adolescent Health protection NAMS of Ukraine, Kharkiv*

Abstract

The complex approach allowing objective quantitative ranking based on changes of multiple ECG parameters according to the degree of stress and ischemic myocardial damages applied to animals during the chronic experiment has been developed. This complex approach combines the ECG, multivariate factor analysis and the interpretation of the calculated primary factors involving the achievements of cellular physiology. It enables to reveal and measure phenomena concealed in variables (ECG parameters) which can not be measured directly. On the basis of the proposed method, the analysis of factors and quantitative assessment of myocardium (the level of resistance which is a part of its visceral component) have been carried out.

Key words: emotional stress, ECG, factor model, stress and ischemic myocardial damages, individual resistance.

Кількісна оцінка стресорних і ішемічних пошкоджень міокарда у нормі і в умовах моделювання емоційного стресу в експерименті: факторна модель

О. Ю. Майоров

*Харківська медична академія післядипломної освіти МОЗ України
ДУ «Інститут охорони здоров'я дітей та підлітків» НАМН України, Харків*

Резюме

Розроблено комплексний підхід, який дозволяє в умовах хронічного експерименту в цілісному організмі за складною мозаїкою змін численних параметрів ЕКГ об'єктивно кількісно ранжувати тварин за ступенем стресорних і ішемічних ушкоджень міокарда під впливом емоційного стресу. Комплексний підхід об'єднує ЕКГ, багатовимірний факторний аналіз та інтерпретацію виділених головних факторів із залученням досягнень клітинної фізіології. Це дає можливість виявляти і вимірювати приховані за змінними (параметри ЕКГ) явища, що не піддаються безпосередньому виміру в цілому організмі. На основі застосування запропонованого методу проведено аналіз факторної структури і дана кількісна оцінка стану міокарда — одного з рівнів стійкості, що є складовою частиною її вісцерального компоненту.

Ключові слова: емоційний стрес, ЕКГ, факторна модель, стресорні та ішемічні пошкодження міокарда, індивідуальна стійкість.

Переписка

д.м.н., професор **О. Ю. Майоров**
а.я. 7313, Харків, 61002
Україна
тел.: +380 (57) 711 80 32
ел. пошта: institute-MIT@ukr.net

УДК 613.614:613.693

Минутные, циркадные и сезонные колебания микроальтернаций ЭКГ-сигнала по данным дисперсионного картирования

Г. Г. Иванов^{1,2,3}, Р. М. Баевский³, Г. Гази², Е. Ю. Берсенев³, В. Б. Русанов³¹Отдел кардиологии НИЦ ММА им. И. М. Сеченова, Москва, Россия²Кафедра госпитальной терапии РУДН, Москва³Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

Резюме

Метод ДК ЭКГ связан с изучением низкоамплитудных колебаний ЭКГ сигнала. Исследование минутных, суточных и сезонных ритмов показателей дисперсионного анализа ЭКГ (ДК ЭКГ) открывает новые возможности для не инвазивного изучения процессов на молекулярно-клеточном уровне организации живой системы. В данной публикации впервые представляются материалы по мониторингу показателей ДК ЭКГ.

В статье представлены результаты трех серий исследований, соответственно посвященных изучению минутной, суточной и годовой периодики интегрального показателя «Миокард». Во 2-й и 3-й сериях исследований были использованы материалы наземного эксперимента «МАРС-500», который проводился в Институте медико-биологических проблем РАН с целью моделирования работы экипажа при полете к Марсу. У всех участников эксперимента ежемесячно проводилось ДК ЭКГ.

Наиболее важным результатом исследования явилось выявление сезонных ритмов показателей ДК ЭКГ у испытуемых, длительное время находящихся в гермокамере, в условиях изоляции. Можно полагать, что сезонные изменения электрофизиологических характеристик миокарда обусловлены «управляющими сигналами», возникающими внутри организма (эндогенный механизм), что указывает на внутреннюю природу выявленных колебаний.

Ключевые слова: дисперсионное картирование электрокардиограммы, сезонные биологические ритмы, показатель «Миокард», мониторинг электрофизиологических показателей, эксперимент «Марс-500».

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.25–32

Введение

Временная организация колебаний микроальтернаций ЭКГ-сигнала в течение суток, как и колебаний частоты пульса, артериального давления и других физиологических показателей формируется под влиянием биологических ритмов деятельности симпатического и парасимпатического звеньев вегетативной нервной системы, а также суточной динамики содержания нейроморальных субстанций (кортизола, ТТГ, инсулина, опиоидов, вазоактивных пептидов), прямо или опосредованно участвующих в регуляции сердечно-сосудистой системы. Как известно, циркадные ритмы сформировались в процессе эволюции для синхронизации большинства важнейших функций организма в процессе адаптации к воздействию факторов внешней среды. Исследования последних лет показали, что клетки периферических тканей и органов способны генерировать собственные самоподдерживающие ритмы и изменять их соответственно локальным потребностям. Временная организация физиологических процессов является фундаментальной закономерностью жизнедеятельности организмов, она присуща всем уровням организации живой материи — от молекул до системных структур. Становление биологической временной системы происходит по определенной генетической программе и коррелирует с онтогенезом [9]. У человека отмечено более 100 функций, имеющих суточный ритм [3].

Большое внимание в биоритмологии уделяется исследованию ритмов сер-

дечной деятельности. Сам по себе сердечный ритм — это биоритмологическая категория, которая являлась объектом изучения врачей и ученых еще в древние времена. Пульсовая диагностика возникла в древнем Китае и Тибете и с тех пор ритм сердца рассматривается не только как источник информации о состоянии системы кровообращения, но и как индикатор психических, энергетических, метаболических и многих других процессов, происходящих в организме. За последние полвека пульсовая диагностика получила свое дальнейшее развитие в исследованиях по изучению вариабельности сердечного ритма (ВСР) [2, 5]. Современные компьютерные системы позволяют на основе анализа ВСР получать информацию о функциональном состоянии человека в различных условиях: в клинике, в производственной обстановке, во время спортивных соревнований, в космосе. Созданы носимые миниатюрные системы для непрерывной записи электрокардиограммы в течение суток и более. Но наряду с новыми техническими решениями получают развитие и новые методы и технологии исследований, открывающие новые горизонты в познании структуры и функций живых систем.

В данной публикации будут впервые обнародованы результаты мониторинга микроальтернаций электрокардиографического сигнала, которые расширяют наши представления о роли биологических ритмов в обеспечении процессов адаптации и гомеостаза. Речь идет о развитии и углублении концепции о сердечно-сосудистой системе, как индикаторе адаптационных процессов в целостном организме. Эта концепция, впервые выдвинутая в космической

медицине [6], получает все более широкое применение в различных областях медицины и физиологии. На примере электрокардиографии, которая считается традиционным кардиологическим методом, будет продемонстрирована взаимосвязь и взаимозависимость всех процессов и уровней в живом организме.

Современная электрокардиология далеко ушла от традиционного клинического применения ЭКГ в 12 отведениях и располагает новыми технологиями, позволяющими на основе применения специальных методов анализа ЭКГ-сигнала судить об энергетических и обменных процессах в миокарде на клеточном уровне. Важнейшей тенденцией современного этапа ее развития является расширение круга диагностических задач, которые могут решаться с использованием новых ЭКГ-методов функциональной диагностики. Они разрабатываются на основе и с привлечением последних достижений электрофизиологии, биофизики, информатики, математического моделирования и компьютерных технологий. Эта информация, не видимая на стандартной ЭКГ и не доступная стандартным технологиям анализа ЭКГ сигнала, важна для интегративной оценки состояния сердца, но, главным образом, для не инвазивного изучения процессов на молекулярно-клеточном уровне организации живой системы.

Методика и материалы исследований

Метод дисперсионного картирования ЭКГ (ДК ЭКГ) появился в последнее десятилетие и продолжает активно изучаться [1, 4]. Он связан с изучением низкоамплитудных колебаний ЭКГ-сигнала. Основу диагностики нарушений составляют изменения ионно-транспортной функции структуры клеточных мембран и митохондриального энергооборота, вследствие нарушения микроциркуляции и ряда других факторов. Характер и степень изменения микроальтернаций является новой диагностической областью признаков, отражающих «запас» электрофизиологических компенсаторных ресурсов миокарда. Даже в здоровом сердце периодические процессы де- и реполяризации миокарда при каждом сокращении имеют незначительные

колебания, которые отражаются в низкоамплитудных колебаниях ЭКГ-сигнала (низкоамплитудная альтернация ЭКГ). Как и любые флуктуации в нелинейном объекте регулирования, микроальтернации зубцов ЭКГ являются эффективными маркерами скрытых процессов в миокарде, предшествующих патологическим изменениям.

Метод анализа микроальтернаций ЭКГ сигнала позволяет развивать доклиническую диагностику, направленную на исследование состояний, пограничных между нормой и патологией, а также использовать его при мониторинге любых клинических ситуаций, требующих простого и достоверного динамического наблюдения за состоянием миокарда. Показана возможность применения этого метода для выявления самых ранних отклонений электрофизиологических характеристик миокарда [4]. В микроальтернациях полностью утрачивается информация об амплитудных особенностях исходных волн ЭКГ, т. е. микроальтернации имеют вид случайного низкоамплитудного процесса, который уже не содержит исходных морфологических признаков зубцов ЭКГ в анализируемом отведении. Микроальтернации регистрируются, как микроколебания ЭКГ-сигнала в последовательных сокращениях сердца.

Метод ДК ЭКГ основан на компьютерном формировании карты электрических микроальтернаций ЭКГ-сигнала, отнесенных к определенным камерам сердца (два предсердия, два желудочка). Для реализации метода ДК ЭКГ разработаны прибор «Кардиовизор» в РФ и его аналог HeartVue™ 6S в США. Как показано в настоящее время, микроальтернации ЭКГ во многих клинических случаях являются эффективными предикторами, т. е. предсказателями скрытых, никак клинически не проявляющихся патологических изменений миокарда. Измерители микроальтернаций предназначены не для диагностики вида патологии, а для констатации ее наличия и предсказания патологических или жизнеугрожающих состояний миокарда на доклиническом или скрытом периоде развития патологии.

Амплитуды микроальтернаций могут быть на два порядка меньше амплитуд зубцов стандартной ЭКГ. Так, при анализе Т-зубцов средние амплитуды микроальтернаций составляют ~2...15 мкВ, в то время как исходные амплитуды Т-волн составляют 0,3...0,7 мВ, т. е. 300...700 мкВ.

Прибор «Кардиовизор» работает от 4-х обычных по конструкции электродов, накладываемых по классической схеме регистрации 3-х стандартных отведений от конечностей. Основное

время одной измерительной процедуры составляет 30 сек. Для регистрации низкоамплитудных дисперсий электрокардиосигнала от цикла к циклу, которые являются предметом изучения в методе ДК ЭКГ, в течение 30 сек. регистрируется ЭКГ-сигнал шести стандартных отведений от конечностей: I, II, III, aVL, aVF, aVR с последующим анализом и расчетом и трехмерной визуализацией электромагнитного излучения миокарда по параметрам этой амплитудной дисперсии стандартного ЭКГ-сигнала от конечностей.

Таким образом, метод основан на информационно-топологической модели малых колебаний ЭКГ. Амплитуды этих колебаний (дисперсия колебаний) составляет всего 3–5% от амплитуды зубца R. Термин дисперсия соответствует общепринятому в кардиологии определению разности между наибольшим и наименьшим значениями варьирующей величины. Дисперсионные характеристики, при возникновении патологии миокарда, начинают изменяться раньше, чем зубцы ЭКГ-12. Поэтому при их контроле можно получить информацию о патологическом процессе уже на ранних стадиях его развития [4].

Амплитуда анализируемых колебаний очень мала и для их количественного анализа невозможно использование общепринятой (дипольной) модели возникновения поверхностных потенциалов, поэтому применяется качественно новая модель — электродинамическая. Дисперсионные характеристики в программе «Кардиовизор» рассчитываются по 9 группам отклонений. В группах G1–G9 анализируются дисперсии, отражающие степень выраженности и локализацию электрофизиологических нарушений в миокарде предсердий и желудочков в фазы де- и реполяризации. Используются ранговые (интервальные) критерии изменений флуктуаций показателей PQRST и определяется площадь под кривой, огибающей эти флуктуации (рис. 1).

Суммарная величина этой площади (мкВ × мс) по всем группам дисперсионных отклонений, т. е. фактически выраженность этих отклонений, оценивается интегральным индикатором, который получил наименование индекс микроальтернаций «Миокард» (ИММ, в %). Показатель «Миокард» изменяется в относительном диапазоне от 0% до 100% и выводится на экран дисплея, как относительный показатель величины отклонения от нормы. Показатель «Миокард» = 0% соответствует полному отсутствию каких либо значимых отклонений, т. е. положению всех дисперсионных линий внутри границ нормы. При отсутствии клинически значимых

изменений показатель «Миокард» имеет величину 0–15% и чем больше значение этого индикатора, тем больше отклонение от нормы.

Переход от одного измерительного цикла к многократному последовательному измерению микроальтернаций, к их мониторингу, является технологически новой процедурой. Мониторинг показателей дисперсионного картирования не имеет аналогов, так как ни один из известных методов этот ресурс не измеряет. Исследований, посвященных изучению минутной, суточной и годовой периодики микроколебаний ЭКГ-сигнала на протяжении кардиоцикла P–QRS–T у здоровых лиц и больных с различной патологией практически не проводилось.

Ниже представлены результаты трех серий исследований, соответственно посвященных изучению минутной, суточной и годовой периодики интегрального показателя «Миокард».

В 1-ю серию исследований для анализа микроальтернаций в мониторинговом режиме минутных колебаний были включены данные обследования 33 здоровых лиц и 74 больных с острым инфарктом миокарда (ОИМ). Больных ОИМ (средний возраст – 54,5 ± 8,6 лет) обследовали в 1–3 сутки заболевания. Было выполнено 91 мониторирование длительностью от 20 до 90 мин. Анализировали значения ИММ в 30 секундных отрезках последовательно на протяжении времени мониторинга. На рис. 2 представлен пример анализа микроальтернаций в мониторинговом режиме.

Во 2-й серии исследований оценивались циркадные (суточные) изменения показателей ДК. Для изучения суточной динамики микроколебаний ЭКГ использовались записи суточного холтеровского мониторирования, из которых «нарезались» участки длительностью в 15–20 минут (без значимых артефактов) из каждого часа и анализировались их средние значения. Прово-

дился стандартный анализ показателей ДК в 30-секундных отрезках времени. Вычислялись интегральный показатель ИММ и расчетный индекс частотно-метаболической адаптации (индекс $ЧСС_{\max}/ИММ_{\max}$). Проанализированы записи в 2-х группах лиц:

1) у 6 участников наземного эксперимента МАРС-500 (возраст 32–40 лет), в котором испытуемые находились 520 суток в гермокамере, моделируя работу

экипажа при полете к Марсу [10]. Общее число проанализированных суточных записей = 32;

2) у 10 практически здоровых лиц (сотрудников клиники).

В 3-й серии исследований оценивали сезонную динамику изменений показателей ИММ и ЧСС/ИММ 4 раза в год (зима, весна, лето и осень). Группы лиц, включенных в эту серию исследований, представлены в табл. 1.

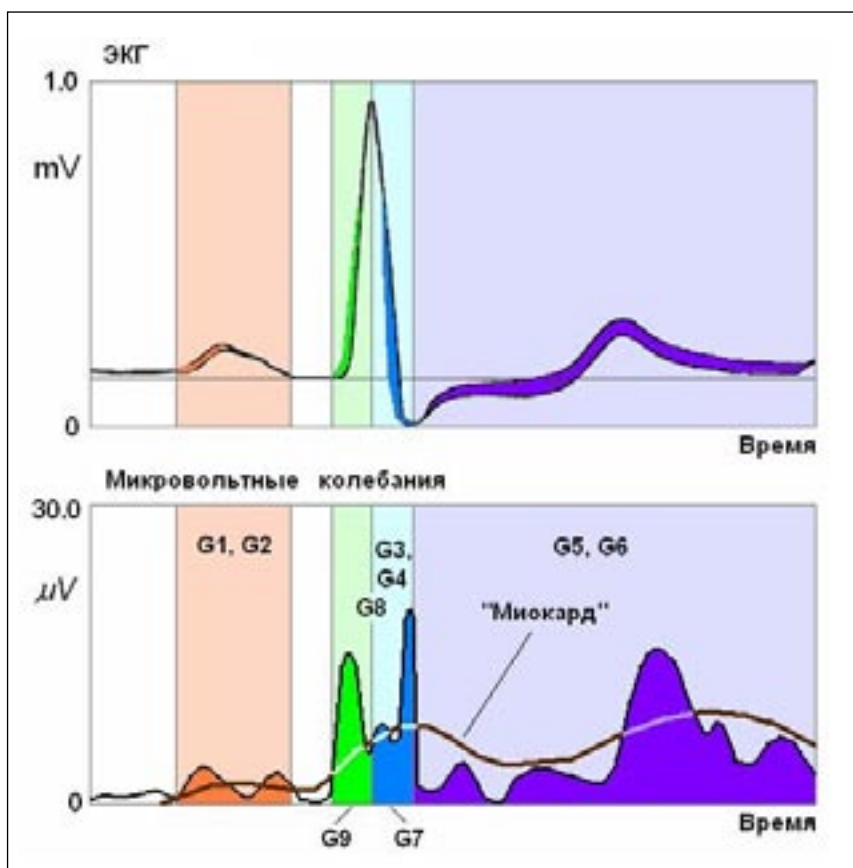


Рис. 1. Исходная ЭКГ и соответствующие ей интервалы расчета амплитуд микроколебаний ЭКГ-сигнала по группам G1–G9 [4].

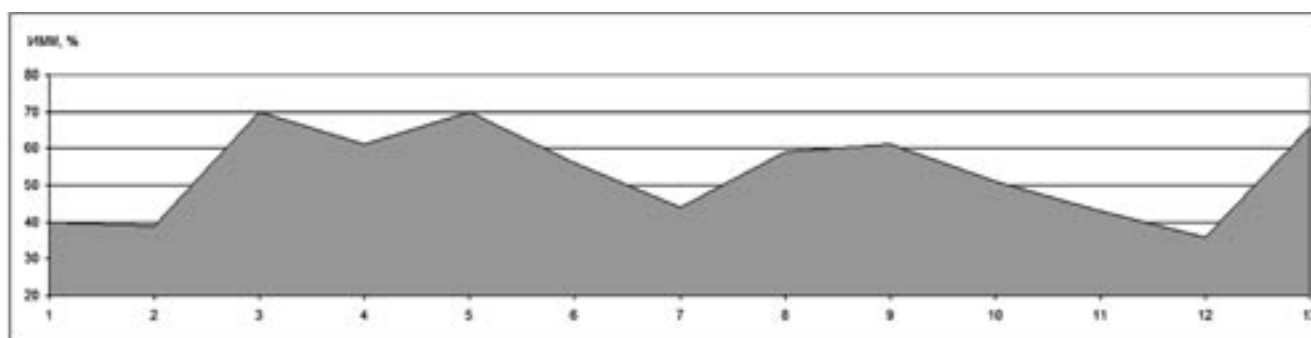


Рис. 2. Пример работы в мониторинговом режиме анализа микроальтернаций. Слева шкала текущих измерений показателя ИММ (в %).

Табл. 1. Сезонная динамика изменений показателей ИММ и ЧСС/ИММ четыре раза в год (зима, весна, лето и осень).

Группы	Научные программы	Подгруппы	Число исследований	Место исследования
Практически здоровые лица	Программа МАРС-500 ГНЦ РФ – ИМБП РАН	Испытатели в течение 520 дней, находившиеся в гермокамере (www.imbp.ru/mars500)	26	г. Москва ГНЦ РФ – ИМБП РАН
		Испытатели, живущие в естественной социально-производственной обстановке (Контрольные группы (www.iki.rssi.ru/mars500))	29	г. Москва г. Магадан г. Минск
Больные ИБС	Научная программа НИЦ ММА им. И. М. Сеченова и РУДН	Лица, живущие в естественной социально-производственной обстановке	51	г. Бейрут
		Больные ИБС	138	

У испытуемых, участвующих в программе МАРС-500, запись ЭКГ и исследования с помощью прибора «Кардиовизор-Обс» проводились ежемесячно в течение 520 суток (исследования проводились синхронно у испытуемых в гермокамере и в контрольных группах). У здоровых лиц и у больных в г. Бейруте дисперсионное картирование ЭКГ проводилось в течение года 4 раза с интервалом в 3 месяца (весна, лето, осень и зима). Анализ данных в группе больных ИБС проводился без индивидуальной оценки влияния проводимой поливалентной терапии, (в случае ее необходимости), которая, как правило, включала в себя бета-блокаторы, ингибиторы АПФ, статины, диуретики.

Результаты исследований

1-я серия исследований. При визуальном анализе результатов мониторинга показателей ИММ выявлены колебания его значений с периодами от 2–5 до 6–15 минут. Контрольную группу составили 33 человека. У больных эти колебания не модулировались медикаментозными воздействиями. Больные ОИМ были разделены на 2 группы: 1-я группа представлена 39

Табл. 2. Частота изменений показателя ИММ с различными периодами колебаний в группах здоровых лиц и больных с ОИМ при мониторинге режиме.

Диагноз	Период колебаний, (мин)	
	1,0–4,0	> 4,0
Здоровые (n = 33)	66%	34%
1 гр (n = 39) ОИМ	63%	37%
2 гр. (n = 35) ОИМ с осложнениями	77%	23%

обследованиями у больных с ОИМ без осложнений, 2-я группа – 35 обследованиями с осложненным течением. Анализ во всех группах проводился без индивидуальной оценки влияния проводимой поливалентной терапии. В табл. 2 представлены результаты анализа периодических компонентов мониторинговой записи микроальтернатив. Выделены типы периодик:

а) с периодами до 4-х минут, так называемые ультранизкочастотные колебания, отражающие состояние сегментарных и надсегментарных нервных центров, регулирующих в основном энерго-метаболические процессы;

б) с периодами выше 4-х минут, характеризующими гормональный уровень регуляторного механизма (7).

Как видно из представленных данных, различие между группами выявляется только по числу случаев с более

длинными периодами (> 4,0 мин.). При этом, больные с осложненным течением ОИМ отличаются значительно более низкой активностью гормонального уровня регуляции и ростом активности энерго-метаболического уровня. Можно предполагать, что это обусловлено перенапряжением и истощением регуляторных механизмов.

2-я серия исследований. Результаты анализа исследований суточной динамики микроколебаний ЭКГ сигнала у участников эксперимента МАРС-500, находящихся в условиях длительной изоляции и у группы здоровых лиц, живущих в естественной социально-производственной обстановке, представлены на рис. 3. Важно отметить, что суточная динамика индекса $ЧСС_{\max}/ИММ_{\max}$ в обеих группах почти идентична. Минимальные значения индекса наблюдаются в районе 5 часов утра. Абсолютные зна-

чения этого показателя в группе участников эксперимента МАРС-500 в ночные часы несколько ниже, в остальное время практически аналогичны группе здоровых людей, живущих в естественной социально-производственной обстановке.

3-я серия исследований. На рис. 3 представлены в одинаковом масштабе средние значения ИММ у испытуемых, находившихся в гермокамере и суммарные средние данные у испытуемых-добровольцев в трех городах (Москва, Магадан, Минск). У испытуемых в гермокамере, начиная с первого месяца изоляции величина ИМ отклонялась на 3–5%, достигая в отдельных случаях 18–20%. В большей степени это происходило только у двух испытуемых из шести. В остальных случаях величина ИММ не превышала 15%, а у одного из испытуемых она снижалась до 6–8%. После окончания эксперимента ИММ нормализовался у всех испытуемых. Средние значения ИМ в течение всего эксперимента находились в пределах 13,2–15%.

В табл. 3 представлены данные о годовых средних значениях ИММ и их сезонном разбросе. Следует отметить, что среднегодовые значения ИММ в указанных городах существенно не отличались и находились в тех же пределах (13,2–14,2%), что изменения ИММ у испытуемых в гермокамере. В целом ИММ имеет наименьшие значения в Минской группе и примерно одинаковые значения в Московской и Магаданской. Последние различаются лишь в осенне-зимний период. Максимумы ИММ приходятся на осенний (Москва и Минск) и весенний (Магадан) периоды, а минимумы на лето. Результаты исследований показывают, что во всех городах отмечаются осенние и весенние подъемы величины ИММ. Характер этих изменений разный, но их сезонность достаточно наглядна. Поэтому наличие однотипных изменений в трех разных группах испытуемых, живущих в различных экологических условиях, однозначно указывает на связь этих изменений с энерго-метаболическими изменениями в миокарде. Весной и особенно осенью организм вынужден перестраивать свою энергетическую систему и соответственно к увеличению нагрузки на сердечно-сосудистую систему и соответственно к повышенным энергозатратам миокарда. Таким образом, рост дисперсии микроколебаний электрического потенциала сердца в осенний и весенний период, по-видимому, связан с повышенными энергетическими затратами миокарда при перестройке адаптационных реакций организма.

Испытуемые, находящиеся в стабильных условиях гермокамеры, казалось

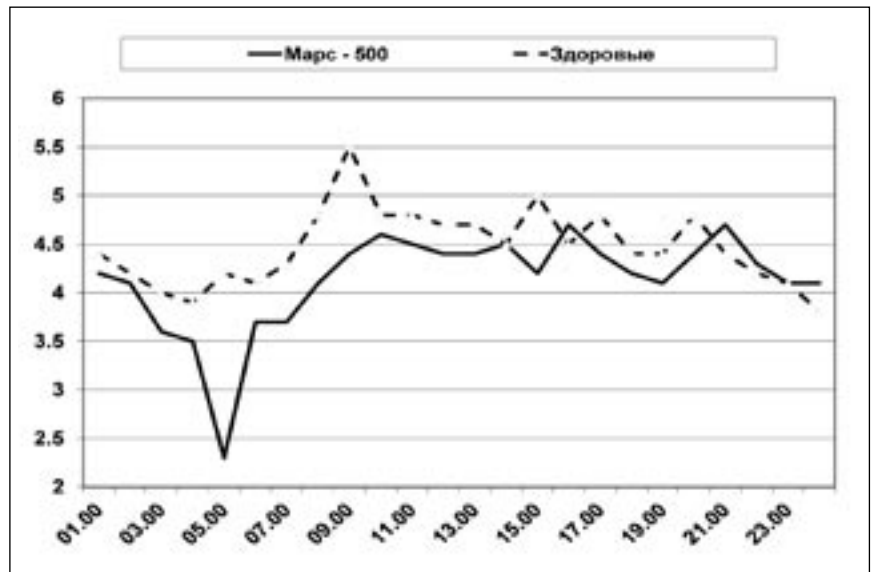


Рис. 3. Циркадная динамика индекса $ЧСС_{\max}/ИММ_{\max}$ в обследованных группах лиц.

Табл. 3. Средние значения индекса «Миокард» в трех городах.

Города	Средние значения ИММ, %	Максимальное значение	Минимальное значение
Минск	13,17	16,2 (октябрь)	12,1 (июнь)
Москва	14,07	14,9 (ноябрь)	12,3 (июль)
Магадан	14,17	14,8 (март)	13,2 (Июль)

бы, не должны испытывать влияния изменений окружающей среды. Однако, как показывают представленные на рис. 4. данные, в годовой динамике ИММ в гермокамере выявляются увеличения этого показателя в осенний и в весенний периоды

Более подробное обсуждение сезонных изменений ИММ может быть проведено на основе сравнения **годовой** динамики ИММ у испытуемых в эксперименте МАРС-500 (гермокамера и контрольные группы) и в г. Бейруте (здоровые и больные). Здесь важно рассмотреть следующие три аспекта проблемы:

- 1) связь сезонных изменений ИММ в гермокамере и в контрольных группах;
- 2) связь сезонных изменений ИММ в контрольных группах с изменениями у здоровых лиц в г. Бейруте;
- 3) связь между сезонными изменениями ИММ у здоровых людей и у больных в г. Бейруте. Конкретные данные исследований в виде индекса $ЧСС_{\max}/ИММ_{\max}$ представлены в табл. 3.

Значения индекса $ЧСС_{\max}/ИММ_{\max}$ в контрольных группах были достоверно выше, чем у испытуемых, находившихся в условиях длительной изоляции. При этом минимальные значения индекса у испытуемых в гермокамере наблюдались весной, а в контрольных группах летом, максимальные же значения в обеих группах были зимой. Разность между максимальными и минимальными значениями была незначительной (0,68 и 0,54).

Сравнение испытуемых контрольных групп со здоровыми людьми в г. Бейруте показывают, что разница между абсолютными значениями индекса $ЧСС_{\max}/ИММ_{\max}$ была незначительной. Максимумы значений были зимой, а минимумы летом (у испытуемых контрольных групп) и осенью (в Бейруте). Разность между максимальными и минимальными значениями в первом случае была значительно выше (0,54), чем во втором (0,27).

Абсолютные значения индекса $ЧСС_{\max}/ИММ_{\max}$ у больных были в два

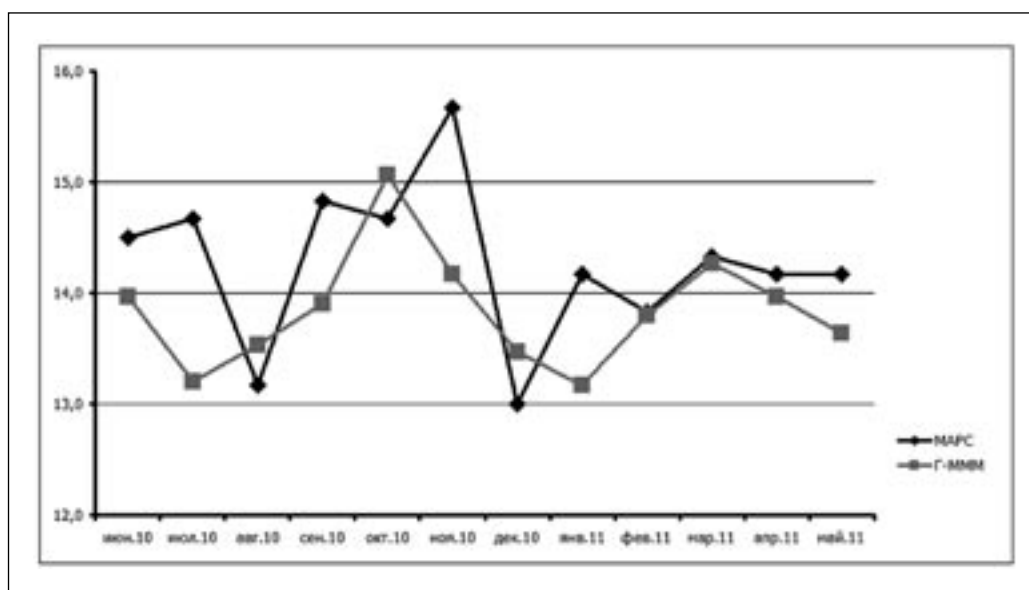


Рис. 4. Сравнение годовой динамики ИММ у испытуемых в гермокамере (МАРС) и у испытуемых в трех городах (Г-ИММ), находящихся в естественной социально-производственной обстановке.

Табл. 4. Сравнение годовой динамики ЧСС_{макс}/ИММ_{макс} у испытуемых в эксперименте МАРС-500 (гермокамера и контрольные группы) и в г. Бейруте (здоровые и больные).

Группа	Зима	Весна	Лето	Осень
МАРС-500 – гермокамера (n = 26)	4,45±0,12	3,77±0,11*	3,90±0,14*	4,10±0,15
МАРС-500 – контрольные группы (в трех городах) (n = 29)	5,74±0,13**	5,45±0,14*,**	5,20±0,11*,**	5,30±0,12*,**
Бейрут (здоровые, n = 51)	5,75±0,14	5,77±0,3*	5,55±0,15	5,50±0,11*
Бейрут (больные, n = 138)	2,7±0,4**	2,8±0,4**	2,8±0,4**	3,1±0,3**

Примечание: * – достоверность различий с зимним периодом, ** – то же между данными в эксперименте «МАРС-500» и между группами здоровых и больных в г. Бейруте.

раза ниже, чем у здоровых. Их максимальное значение у больных наблюдалось осенью, в то время как у здоровых лиц весной. Разность между максимальными и минимальными значениями была незначительной (0,27 и 0,21).

Обсуждение и заключение

В процессе жизнедеятельности уровень функционирования организма подвергается непрерывной перестройке внутренних связей между

физиологическими системами, которая проявляется изменениями их активности. Было показано, что метаболические процессы характеризуются периодическими колебаниями [7], в частности колебаниями с периодами в 2–3 минуты на молекулярном уровне в том числе при ферментативных реакциях, связанных с расщеплением глюкозы с образованием АТФ. Нарушение этих процессов ведет к недостаточности синтеза АТФ и, следовательно, к метаболическому энергодефициту. Между биохимическими и биофизическими колебательными изменениями в тканях существует несомненная связь П. Хочачка, Дж. Семеро [8] выявили, что на уровне клетки субмикроскопические колебания структуры совпадают с ритмикой окислительных процессов. Разработка мониторинго

режима регистрации показателей дисперсионного картирования ЭКГ позволило неинвазивным путем наблюдать за биологическими ритмами электрофизиологических процессов в миокарде на молекулярно-клеточном уровне.

Как показано в 1-й серии исследований, именно у больных с осложненным течением ОИМ более часто наблюдаются ритмы с периодами 1–4 минуты, характерные для активации энерго-метаболического уровня регуляции физиологических функций. Наличие циркадных ритмов изменений ИММ, характерных для здоровых людей и сохраняющихся даже в условиях длительной изоляции показывает, что регуляция энерго-метаболических процессов в миокарде обеспечивается многими звеньями регуляторного механизма. Эти факты

могут служить хорошей иллюстрацией положения о сердечно-сосудистой системе как индикаторе адаптационных реакций всего организма.

Еще более наглядные подтверждения этого положения дают результаты изучения сезонной периодики показателей ДК ЭКГ. Как известно, сезонные ритмы необходимы для синхронизации биологических явлений с годовым циклом внешних условий, что особенно важно в умеренных и северных широтах с резкой годовой изменчивостью климата. В 3-й серии исследований эта роль сезонных колебаний видна на примере сравнения амплитуды сезонных колебаний ритма индекса $ЧСС_{\max}/ИММ_{\max}$ в городах Москва, Минск и Магадан с амплитудой колебаний у здоровых лиц в южном городе Бейруте. Наряду с функциями биоритмов, направленными на компенсацию сезонных колебаний основных параметров окружающей среды важное значение имеют и эндогенные механизмы сезонных биоритмов. Их действие является адаптивным, обеспечивая полноценное приспособление организма к циклическим изменениям параметров окружающей среды. Резкое снижение абсолютной величины индекса $ЧСС_{\max}/ИММ_{\max}$ у больных с ОИМ и уменьшение амплитуды сезонных колебаний свидетельствует об ослаблении эндогенного механизма сезонных биоритмов.

Наконец, наличие сезонных ритмов показателей ДК ЭКГ у испытуемых, длительное время находящихся в гермокамере, в условиях изоляции подтверждает важную роль эндогенного механизма в необычных условиях окружающей среды. Не менее интересным является то, что и у испытуемых в гермокамере и у людей, живущих в естественных социально-производственных условиях наблюдаются одинаковые по величине сезонные колебания ИИМ, которые находятся в пределах 13–15%. Этот факт является очень важным, поскольку показывает наличие отчетливых сезонных колебаний ИИМ у испытуемых, защищенных от прямого воздействия факторов окружающей среды, в том числе от климатических влияний. Следовательно, можно полагать, что сезонные изменения электрофизиологических характеристик миокарда обусловлены «управляющими сигналами», возникающими внутри организма (эндогенный механизм), что указывает на внутреннюю природу выявленных колебаний. Создается впечатление, что сезонные колебания электрофизиологических характеристик миокарда «записаны» в кардиомиоцитах подобно генетической информации. Установление этого нового факта расширяет наши пред-

ставления о биологической организации системы управления в живом организме и может быть отнесено к фундаментальным результатам исследования.

Литература

1. Аносов О. Л., Хасанов И. Ш., Хензель Б. и др. Метод мониторинга изменений паттерна возбуждения в миокарде *in vivo* // Вестник аритмологии, 48, 2007, с. 28–34.
2. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. Вестник аритмологии, 2001, 24, с.69–85
3. Заславская Р. М. Хронодиагностика и хронотерапия заболеваний сердечно-сосудистой системы. – М.: Медицина, 1991. – 319 с.
4. Иванов Г. Г., Сула А. С. Дисперсионное ЭКГ-картирование: теоретические основы и клиническая практика. – М. Техносфера 2009, 192 с.
5. Никулина Г. А. К вопросу о «медленных» ритмах сердца // В кн.: Математические методы анализа сердечного ритма. – М: Наука, 1968, с 56.
6. Парин В. В., Баевский Р. М., Волков Ю. Н., Газенко О. Г., Космическая кардиология, – Л., Медицина, 1967, 298 с.
7. Флейшман А. Н. Медленные колебания гемодинамики-Новосибирск: Наука, 1998. 234 с.
8. Хочачка П., Семеро Дж. Биохимическая адаптация: Пер. с англ. 1988. М.: Мир. 568 с.
9. Lakatua D. Molecular and genetic aspects of chronobiology. – Heidelberg: Springer – Verlag, 1992. – 216 p.
10. www.imbp.ru/mars500
11. www.iki.rssi.ru/mars500

Minute, circadian and seasonal fluctuations of microalternations of an electrocardiogram-signal according to dispersive mapping

G. G. Ivanov^{1,2,3}, R. M. Baevskiy³
Ghazi Halab², É. J. Bersenev³
V. B. Rusanov³

¹Cardiology department of Moscow Medical Academy of I. M. Sechenova Russia

²Chair of hospital therapy of Russian University of People Friendship, Moscow

³Institute of biomedical problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract

The method of an electrocardiogram dispersive mapping (ECG DM is connected with studying low amplitude fluctuations of an electrocardiograms signal. A basis of these fluctuations infringements of ionic-transport function, structure of cellular

membranes and mitochondrial power formations, infringements of microcirculation and a number of other factors. Character and degree of change of microalternations is new diagnostic area of the signs reflecting «stock» electrophysiological compensatory resources of a myocardium. Research of minute, daily and seasonal rhythms of indicators of the dispersive analysis of an electrocardiogram (electrocardiogram recreation centre) opens new possibilities for not invasive studying of processes at moleculo-cellular level of the live system organization.

In these publication materials on monitoring of ECG dispersive mapping for the first time are represented. Transition from one measuring cycle to repeated consecutive measurement of microalternations, to their monitoring, is technologically new procedure and has no analogues. In article results of three series of the researches accordingly devoted to studying of the minute, daily and annual periodical press of an integrated indicator «Myocardium» are presented. The data of 33 healthy people and 74 patients with a sharp heart attack of a myocardium have been included. In 1st series of researches for the analysis of microalternations in a monitor mode of minute. In the 2nd and 3rd series of researches materials of experiment «MARS-500» which was spent at Institute of bio-medical problems of the Russian Academy of Sciences for the purpose of modelling of work of crew at flight to Mars have been used. 6 verifiers within 520 days were in it in hermochamber, simulating the interplanetary ship, and as control groups almost healthy people-volunteers in various regions were simultaneously investigated. All participants of experiment it was monthly spent an DM ECG. Besides in 3th series of researches the data received by employees of the Russian University of People Friendship in Beirut (51 the healthy person and 138 patients) has been used.

The most interesting are results is presence of seasonal rhythms of indicators of ECG DM at verifiers, long time being in hermochamber, in the conditions of isolation. This fact is very important as shows presence of distinct seasonal microfluctuations of an electrocardiogram of a signal at the verifiers protected from direct influence of factors of environment, including from climatic influences. Hence, it is possible to believe that seasonal changes of electrophysiological characteristics of a myocardium are caused by «operating signals», arising in an organism (the endogen mechanism) that specifies in the internal nature of the revealed fluctuations. The Establishment of this new fact expands our representations about the biological organization of a control system in a live organism and can be carried to fundamental results of research.

Key words: dispersive mapping of electrocardiograms, seasonal biological rhythms, an indicator «Myocardium», electrophysiological indicators monitoring, experiment «Mars-500».

Хвилинні, циркадні та сезонні коливання мікроальтернацій ЕКГ-сигналу за даними дисперсійного картування

Г. Г. Іванов^{1,2,3}, Р. М. Баєвський³
Г. Газр, Є. Ю. Берсенєв³, В. Б. Русанов³

¹Відділ кардіології НДЦ ММА

ім. І. М. Сеченова, Москва, Росія

²Кафедра шпитальної терапії РУДН, Москва

³Інститут медико-біологічних проблем РАН, Москва

Резюме

Метод ДК ЕКГ пов'язаний з вивченням низькоамплітудних коливань ЕКГ сигналу. Дослідження хвилинних, добових і сезонних ритмів показників дисперсійного аналізу ЕКГ (ДК ЕКГ) відкриває нові можливості для неінвазивного вивчення процесів на молекулярно-клітинному рівні організації живої системи. У даній публікації вперше представляються матеріали з моніторингу показників ДК ЕКГ.

У статті представлені результати трьох серій досліджень, відповідно при-

свячених вивченню хвилиної, добової та річної періодики інтегрального показника «Міокард». У 2-й і 3-й серіях досліджень були використані матеріали наземного експерименту «МАРС-500», який проводився в Інституті медико-біологічних проблем РАН з метою моделювання роботи екіпажу при польоті до Марса. У всіх учасників експерименту щомісячно проводилося ДК ЕКГ.

Найбільш важливим результатом дослідження стало виявлення сезонних ритмів показників ДК ЕКГ у випробувачів, які тривалий час знаходяться в гермокамері, в умовах ізоляції. Можна вважати, що сезонні зміни електрофізіологічних характеристик міокарда обумовлені «керуючими сигналами», виникаючими всередині організму (ендогенний механізм), що вказує на внутрішню природу виявлених коливань.

Ключові слова: дисперсійне картування електрокардіограми, сезонні біологічні ритми, показник «Міокард», моніторингування електрофізіологічних показників, експеримент «Марс-500».

Переписка

д.м.н., професор Р. М. Баєвський

Государственный научный центр

РФ – Институт медико-биологических проблем РАН

Хорошевское шоссе, 76 А

Москва, 123007, РФ

эл. почта: rmb1928@mail.ru

УДК 616.12-008.318.1

Исследование диагностической ценности угла ориентации фазового портрета одноканальной ЭКГ как индикатора функционального состояния миокарда

Л. С. Файнзильберг¹, Е. Н. Минина²

¹Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, Киев

²Таврический Национальный университет имени В. И. Вернадского кафедра физической реабилитации и здоровья человека Симферополь, Украина

Резюме

Развивается новый подход к построению медицинской информационной технологии оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы при скрининговых обследованиях, основанный на анализе признаков фазового портрета одноканальной ЭКГ. Исследуется диагностическая ценность угла ориентации фазового портрета как индикатора нарастания патологических процессов в миокарде и уровня тренированности спортсменов. Приведены результаты клинических испытаний на различных категориях обследованных в покое и при увеличении внешней нагрузки. Предложена схема принятия решений при скрининговых исследованиях для выявления групп риска кардиологической патологии по совокупности двух диагностических признаков фазового портрета ЭКГ первого стандартного отведения.

Ключевые слова: информационная технология, фазовый портрет ЭКГ, диагностический признак, электрическая ось сердца, деполяризация, реполяризация.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.33–42

Введение

Электрокардиография по-прежнему остается наиболее распространенным, доступным и дешевым методом объективного обследования сердца. Однако чувствительность и специфичность обычного электрокардиографического обследования недостаточно высоки, что побуждает исследователей постоянно искать новые подходы к решению задачи анализа и интерпретации ЭКГ.

Один из таких перспективных подходов, который разработан в Международном научно-учебном центре информационных технологий и систем НАН и МОН Украины и реализован в портативном диагностическом комплексе ФАЗАГРАФ[®], основан на переходе от представления ЭКГ $z(t)$ во временной области к ее фазовому портрету в координатах $z(t), \dot{z}(t)$, где $\dot{z}(t)$ — первая производная сигнала об электрической активности сердца [1].

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что проектирование усредненной фазовой траектории на временную ось обеспечивает более точную оценку формы полезного сигнала (эталонного цикла) по сравнению с традиционно используемым в электрокардиографах [2] прямым методом

усреднения сигнала во временной области, который из-за несинхронности усредняемых фрагментов сигнала приводит к эффекту «размытия» формы зубцов P, Q, R, S, T [3], и как следствие, к ошибочной диагностике.

Переход к фазовому портрету ЭКГ на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$ обеспечил также введение ряда дополнительных диагностических признаков, которые не использовались ранее в цифровых электрокардиографах. В частности, результаты исследований, опубликованные в [4], позволили выдвинуть гипотезу о диагностической ценности признака β_T , характеризующего симметрию зубца T , который определяется по фрагменту реполяризации усредненной фазовой траектории, но почти незаметен на ЭКГ во временной области. Эта гипотеза нашла подтверждение в наших многочисленных экспериментах, проведенных на различных группах испытуемых и в условиях искусственной ишемии на животных [5], в том числе при исследовании функциональных резервов миокарда [6].

Кроме того, в работе [7] впервые была выдвинута гипотеза о диагностической ценности других диагностических признаков фазового портрета ЭКГ, в частности угла α , характеризующего ориентацию фазового портрета на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$. Последующие эксперименты, результаты которых пред-

ставлены в работе [8], показали, что отклонения $\Delta\alpha_i = \alpha_i - \alpha_1$, ($i = 2, \dots, 12$) углов ориентации фазовых портретов ЭКГ в 12 традиционных отведениях по отношению к углу α_1 первого стандартного отведения несут статистически значимые различия у больных ревматоидным артритом и здоровых волонтеров, а также имеют высокую степень корреляции с параметрами крови, отражающими степень активности воспалительного процесса.

Возникает естественный вопрос: имеют ли сами по себе значения угла ориентации α_1 диагностическую ценность?

Постановка задачи

Цель настоящей статьи — дальнейшие исследования, направленные на изучение диагностической ценности абсолютных значений углов α_1 ориентации фазового портрета ЭКГ первого стандартного отведения у различных категорий обследованных в покое и при увеличении внешней нагрузки.

Предлагаемые методы

Для проведения исследований использовался программно-аппаратный комплекс, реализующий информаци-

ную технологию ФАЗАГРАФ® анализа и интерпретации ЭКГ в фазовых координатах [5].

В основу информационной технологии (ИТ) положен метод изучения поведения динамической системы, описываемой конечным набором параметров состояния x_1, \dots, x_N , когда анализ проводится в N -мерном пространстве с фазовыми координатами x_1, \dots, x_N . Семейство фазовых траекторий, отображающих изменения состояния системы, называется фазовым портретом. Если для описания поведения системы достаточно двух переменных x_1, x_2 , то фазовый портрет отображается на плоскости.

В подавляющем числе известных публикаций, в которых изучается фазовый портрет ЭКГ одного отведения, координаты фазовой плоскости представляют собой амплитуды временного сигнала $z(t)$ в моменты времени t и $t-\tau$, где $\tau = \text{const}$ — временная задержка (лаг преобразования). Главным образом такие исследования направлены на анализ варибельности сердечного ритма, оценку степени хаотичности сигнала и классификацию аритмий [9-12].

В ИТ ФАЗАГРАФ® реализована более прогрессивная идея: при построении фазового портрета в явном виде использовать скоростные показатели исследуемого процесса. Иными словами, фазовый портрет ЭКГ строится не в координатах $z(t), z(t-\tau)$, а в координатах $z(t), \dot{z}(t)$, где $\dot{z}(t)$ — скорость изменения сигнала об электрической активности сердца в момент времени t .

Несмотря на то, что уже давно в исследованиях кардиологов [13-15] указывалось на диагностическую ценность скоростных показателей ЭКГ, анализ

фазового портрета ЭКГ в координатах $z(t), \dot{z}(t)$ до последнего времени не использовался в цифровых электрокардиографах. Некоторые авторы [16] даже отрицают возможность такого подхода только лишь из-за трудностей оценки производной $\dot{z}(t)$ реальных ЭКГ, искаженных помехами.

По-видимому, такое убеждение основано на том, что оценка производной сигнала $z(t)$ на фоне помехи действительно является не простой задачей. Более того, в общем случае дифференцирование зашумленных сигналов относится к числу некорректно поставленных математических задач [17].

Тем не менее, при использовании оригинальных процедур фильтрации и регуляризации нам удалось для дискретно заданной функции $z[k]$, $k = 0, 1, \dots, K-1$ получать приемлемые оценки $\dot{z}[k]$ [18, с. 157-160]. Этот результат позволил перейти от скалярного представления ЭКГ $z(t)$ в любом из отведений, заданной в дискретные моменты времени $t_k \equiv k\Delta$, $k = 0, 1, \dots, K-1$, где Δ — шаг квантования по времени, к последовательности двумерных векторов (точек)

$$(z(t_0), \dot{z}(t_0)), (z(t_1), \dot{z}(t_1)), \dots, (z(t_{K-1}), \dot{z}(t_{K-1}))), \quad (1)$$

лежащих на фазовой плоскости $z(t), \dot{z}(t)$, которые используются для последующей компьютерной обработки (рис. 1).

Хотя ЭКГ (рис. 1, а) не является периодической функцией времени в большинстве случаев траектории отдельных циклов (рис. 1, б) притягиваются к некоторой локальной области фазовой плоскости $z(t), \dot{z}(t)$ — аттрактору в виде предельного цикла.

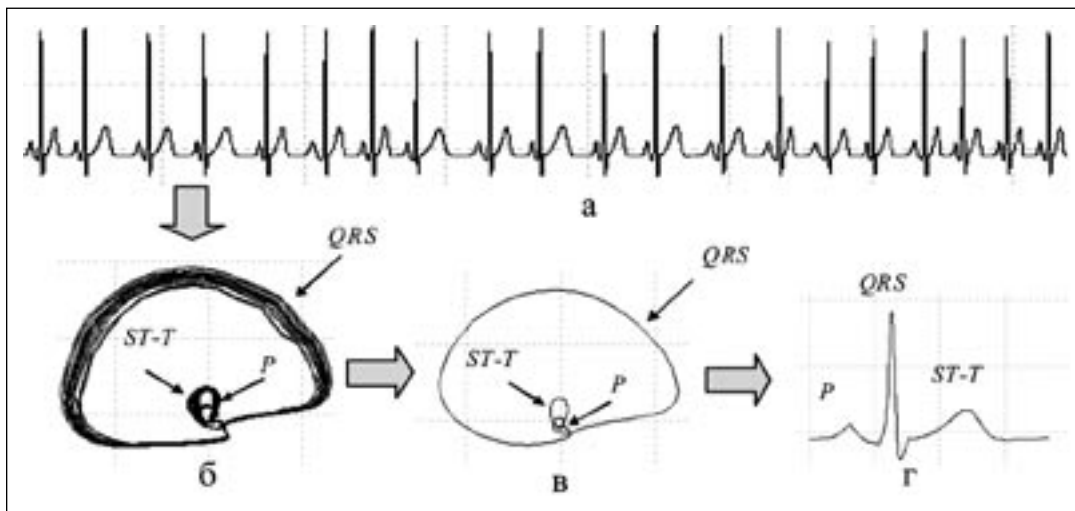


Рис. 1. Последовательность этапов обработки ЭКГ: исходная ЭКГ (а); ее фазовая траектория (б); усредненная фазовая траектория (в); эталонный цикл ЭКГ во временной области (г).

Отличительной особенностью ИТ ФАЗАГРАФ® является то, что для селекции нетипичных циклов ЭКГ (экстрасистол и артефактов) и оценки усредненной фазовой траектории (рис. 1, в) используются хаусдорфовы расстояния

$$R_H(Q_n, Q_m) = \max \left\{ \max_{q_n \in Q_n} \min_{q_m \in Q_m} \rho(q_n, q_m), \max_{q_m \in Q_m} \min_{q_n \in Q_n} \rho(q_n, q_m) \right\}, \quad (2)$$

между всеми парами фазовых траекторий Q_n и Q_m отдельных циклов ЭКГ, где $\rho(q_n, q_m) = \|q_n - q_m\|$ — евклидово расстояние между точками (нормированными векторами) $q_n = (z_n, \dot{z}_n) \in Q_n$ и $q_m = (z_m, \dot{z}_m) \in Q_m$, лежащими на фазовой плоскости.

Заметим, что фазовый портрет ЭКГ подобно векторкардиограмме содержит петли зубцов P , T и комплекса QRS , но, в отличие от традиционной векторкардиограммы, может быть построен по сигналу *одного отведения*, например, первого стандартного отведения. Оригинальные компьютерные алгоритмы обработки ЭКГ, описанные в работе [19], позволяют по двум характерным точкам, принадлежащим петле комплекса QRS усредненной фазовой траектории, оценить угол α ориентации фазового портрета ЭКГ (рис. 2).

По фазовому портрету ЭКГ легко может быть также вычислен показатель S_{TR} , представляющий собой отношение площадей петель зубца T и комплекса QRS , который, по аналогии с традиционной векторкардиограммой, несет информацию о соотношении процессов реполяризации и деполяризации.

Базовые предпосылки и гипотезы

Многолетние наблюдения за постоянной группой испытуемых, в которую входило более 100 человек в возрасте от 14 до 75 лет без острой кардиологической патологии, позволили обнаружить следующие любопытные свойства фазовых портретов ЭКГ:

1. Форма фазового портрета, и особенно его угол ориентации на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$, интегрально отражает индивидуальные характеристики испытуемого (рис. 3).
2. В большинстве случаев угол ориентации α_1 сохранялся практически неиз-

менным на протяжении достаточно большого промежутка времени (рис. 4).

3. Если в период наблюдений происходила кратковременная бифуркация (смена аттрактора) и угол ориентации α_1 фазового портрета конкретного испытуемого заметно изменялся по сравнению с его обычными значениями (рис. 5), то чаще всего при такой перестройке испытуемый субъективно предъявлял жалобы на дискомфорт в грудной клетке.

Эксперименты, проведенные с использованием генеративной модели порождения искусственной ЭКГ реалистической формы показали [1, с. 121], что фазовый портрет ЭКГ разворачивается по часовой стрелке почти на 90 градусов при имитации патологического (глубокого и широкого) зубца Q (рис. 6.).

Модельные эксперименты показали также, что существует тесная корреляционная связь между углом α и соотношением зубцов Q и S , которая с высоким коэффициентом детерминации $R^2 = 0,986$ может быть описана уравнением регрессии [1, с. 123]

$$\alpha = 200,85e^{-0,7928\rho}, \quad (3)$$

где $\rho = Q/S$.

Приведенные факты породили гипотезу о том, что кратковременные отклонения угла ориентации α_1 по отношению к его средним значениям, вычисленным для конкретного испытуемого, вызваны интраиндивидуальными изменениями ЭКГ, на которые в последнее время обращают внимание многие исследователи [20], а само значение α_1 может служить интегральным индикатором функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

Анализ работ [21–23] убедительно свидетельствует о том, что изменение электрофизиологических свойства миокарда является одной из составляющих динамики патологического процесса, что обусловлено структурной перестройкой миокарда, причем, как правило,

электрофизиологические феномены опережают механические [21].

Схожесть когнитивных графических образов фазового портрета ЭКГ на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$ и привычной векторкардиограммы даёт основание предположить, что уменьшение угла ориентации α_1 фазового портрета ЭКГ несет важную информацию о формировании электронегативной ткани в ущерб электропозитивной и свидетельствует об увеличении доли несократительных элементов в миокарде.

Для исследования сформулированных гипотез проводились эксперименты на различных группах испытуемых в покое и при увеличении внешней нагрузки. Задачами исследований было:

- а) оценка распределений показателя α_1 в группах условно здоровых людей, спортсменов высокой квалификации, пациентов с острой и хронической кардиальной патологией;
- б) определение физиологической основы показателя α_1 и вероятных взаимосвязей с показателями, отражающими функциональное состояние миокарда и регуляторные механизмы сердечно-сосудистой системы;
- в) оценка диагностической значимости показателя α_1 фазового портрета ЭКГ.

Клинический материал и результаты исследований

Всего было обследовано 181 человек, которые были разделены на четыре группы. В группу А (21 человек) были

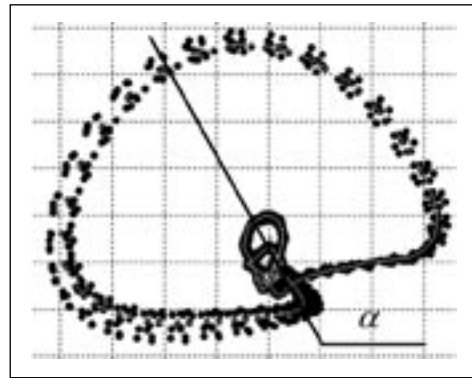


Рис. 2. Угол ориентации фазового портрета ЭКГ.

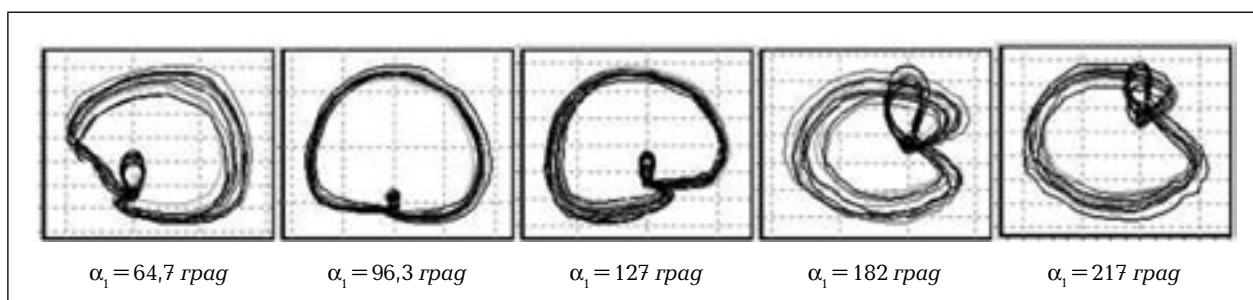


Рис. 3. Примеры фазовых портретов пяти испытуемых.

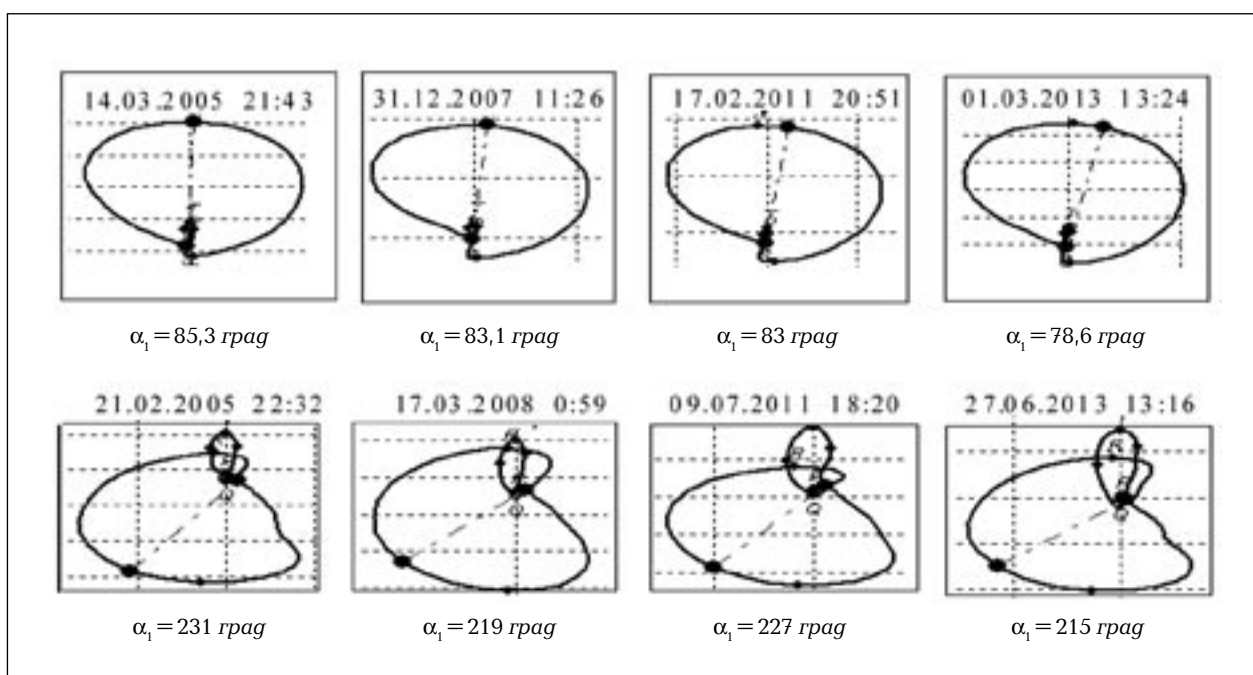


Рис. 4. Динамика изменений угла ориентации фазовых портретов испытуемых Ф. (вверху) и Т. (внизу) за 8 лет.

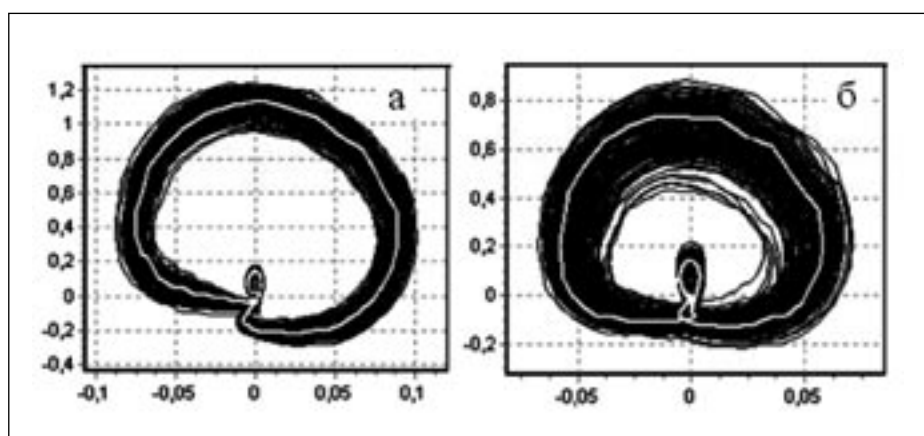


Рис. 5. Типичные формы фазовых портретов ЭКГ в покое испытуемого Ф. в период 8-летних наблюдений: 1732 случая (а), 2 случая (б).

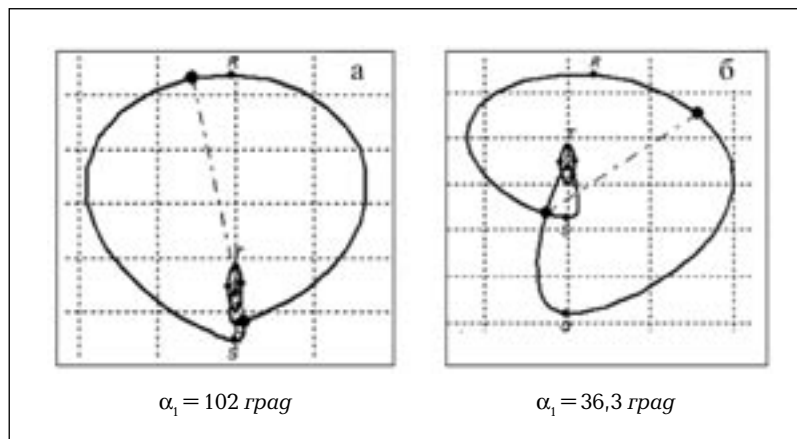


Рис. 6. Форма фазового портрета ЭКГ при нормальных параметрах цикла (а) и патологическом зубце Q (б).

включены пациенты с острой коронарной патологией. В группу Б (77 человек) вошли пациенты с хронической коронарной патологией. Группа В состояла из 31 условно здоровых лиц (студенты возраста 20–22 года). В группу Г были включены 52 спортсмена высокой квалификации (футболисты и боксёры возраста 20–27 лет).

Для всех обследованных с помощью комплекса ФАЗАГРАФ® определялись традиционные показатели ЭКГ первого отведения в покое, в частности, частота сердечных сокращений (ЧСС), интервалы PQ и QT, ширина и глубина зубца Q, продолжительность комплекса QRS, смещение сегмента S–T, амплитуда и симметрия зубца T, а также стандартные статистические и спектральные параметры variability сердечного ритма (всего 37 параметров). Оценивался также угол ориентации α_1 фазового портрета и показатель S_{TR} .

В группах В и Г указанные показатели дополнительно определялись также при физической нагрузке (тест PWC-170). При помощи компьютерного ЭКГ-комплекса «Cardiolife» (Харьков) параллельно регистрировалась также ЭКГ в 12 отведениях.

Обработка экспериментальных данных проводилась с помощью пакета STATISTICA-6.0. Оценки расхождения распределений признаков проводились с помощью критерия согласия Колмогорова–Смирнова. Для оценки взаимосвязи между исследуемыми признаками применяли критерий ранговой корреляции Спирмена. Анализ различий выраженности признаков между исследуемыми группами проводили с помощью критерия Манна–Уитни.

Исследования показали, что распределения угла ориентации α_1 имеют статистически значимые различия толь-

ко между группами условно здоровых (группы В, Г) и пациентов с кардиологической патологией (группы А, Б) (рис. 7). Исследования не выявили возрастные особенности распределения угла ориентации α_1 в подгруппах спортсменов возрастов 20–22 года и 22–27 лет.

Важно отметить, что при увеличении внешней нагрузки (при выполнении теста PWC-170) в конце нагрузочного тестирования наблюдались достоверные различия ($p < 0,05$) в приросте значения угла α_1 у спортсменов и у лиц, не занимающихся спортом (рис. 8). Так, при увеличении мощности физической нагрузки в группе спортсменов увеличение значения угла α_1 в среднем происходило на 20,5 градусов. При этом у лиц, не зани-

мающихся спортом, наблюдались лишь незначительные увеличения α_1 . Данный факт подтверждает гипотезу о том, что показатель α_1 в большей степени несет информацию о функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы, чем об антропометрических особенностях испытуемого.

Как видно из рис. 7, группы пациентов с патологией характеризовались снижением значения угла α_1 , тогда как у молодых людей и спортсменов этот показатель имел тенденцию к увеличению.

Сопоставление данных 12-канальной ЭКГ-диагностики и значений показателя угла ориентации α_1 фазового портрета ЭКГ первого отведения показали, что

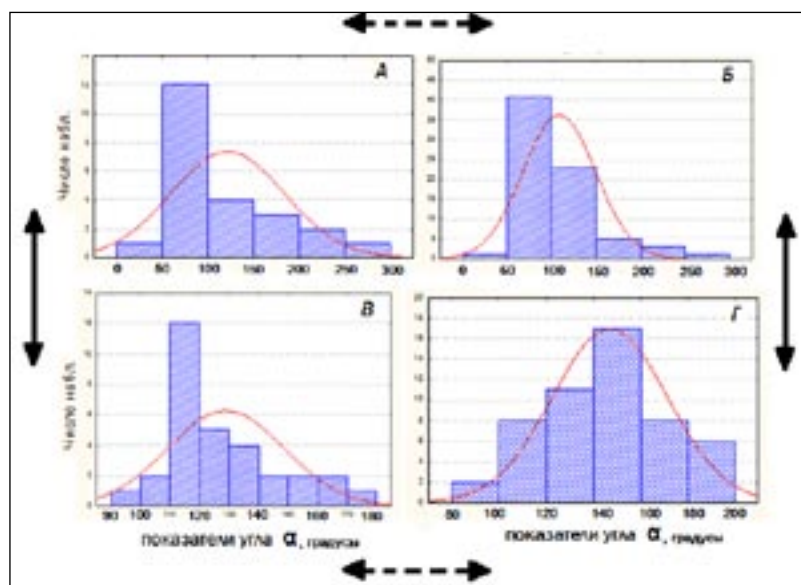


Рис. 7. Оценка распределения показателя α_1 в обследованных группах: (различия достоверны \longleftrightarrow ; различия не достоверны \dashrightarrow).

увеличение α_1 сопровождалось отклонением электрической оси сердца вправо. У 80,2% исследуемых спортсменов наблюдалась вертикальная миграция оси сердца, что, как известно, является следствием увеличения в первую очередь правых отделов сердца под влиянием спортивных тренировок [24, 25]. На ЭКГ спортсменов, как правило, выделяют не прямые признаки гипертрофии правого желудочка, характерные для так называемой систолической перегрузки при патологии, а косвенные, указывающие на увеличение объема правого желудочка, характерного для спортсменов, тренирующих выносливость. К ним относятся отклонение электрической оси вправо, появление признаков неполной блокады правой ножки пучка Гиса и выраженных зубцов S в правых прекардиальных отведениях.

Полученные нами данные подтверждают, что деформированные морфофункциональные особенности ремоделированного миокарда влияют на разворот фазового портрета по часовой стрелке (рис. 9), что напрямую согласуется с модельными экспериментами, представленными на рис. 6. Так, например, на рис. 9 а представлен фазовый портрет ЭКГ больного Ж., 86 лет с диагнозом ишемическая болезнь сердца (ИБС), постинфарктный кардиосклероз (ПИКС), а на рис. 9 б – фазовый портрет больного Х., 82 года с диагнозом диффузный кардиосклероз без инфаркта миокарда в анамнезе. Для сравнения на рис. 9 в, г представлены фазовые портреты спортсменов высокой квалификации, угол ориентации которых значительно превышает таковой у пациентов с кардиальной патологией.

Таким образом, результаты наших клинических исследований указывают на взаимосвязь угла ориентации α_1 с электрофизиологическим состоянием миокарда, а его значения несут информацию как об увеличении уровня тренированности, так и о нарастании патологического процесса.

Известно, что состояние пучка Гиса сердечной мышцы и, в определенной мере, анатомическая позиция сердца определяют электрическую ось сердца (ЭОС). Сопоставление данных α_1 с результатами обработки 12-канальной ЭКГ показали, что у 12,3% исследованных значительное изменение ЭОС сопровождалось смещением петель фазового портрета относительно нулевой горизонтальной оси вверх или вниз и соответственно уменьшением (рис. 10 а, б) или увеличением (рис. 10 в, г) угла α_1 .

Статистическая обработка зарегистрированных данных выявила достаточно высокую степень корреляции $r=0,659$ ($p < 0,001$) между направлени-

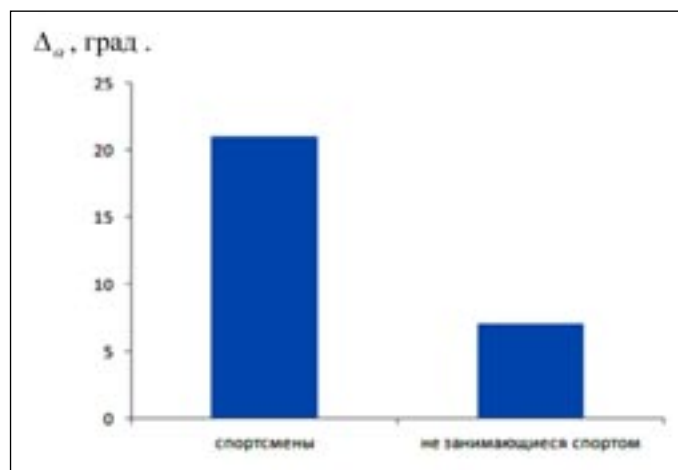


Рис. 8. Средние изменения показателя α_1 в группах после выполнения физической нагрузки мощностью 75 % МПК в течение 5 минут.

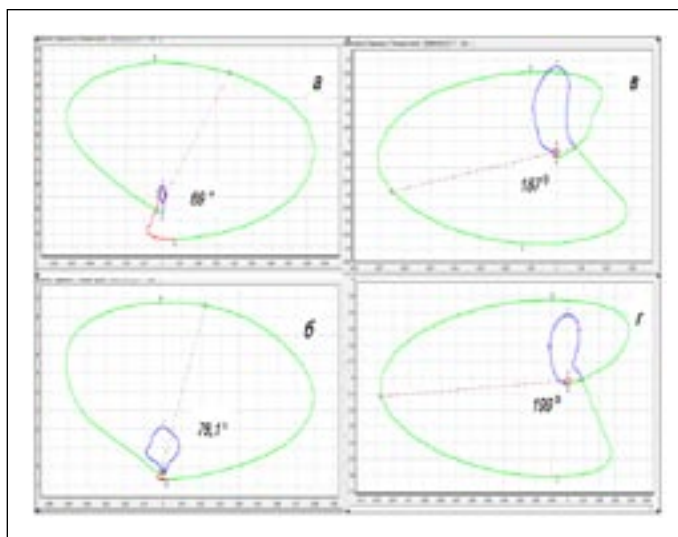


Рис. 9. Сравнение форм фазовых портретов ЭКГ первого стандартного отведения: пациенты с диагнозом ИБС и кардиосклероз с инфарктом миокарда в анамнезе (а); без инфаркта миокарда в анамнезе (б); спортсмены высокой квалификации (в, г).

ем $\alpha_{ЭОС}$ электрической оси сердца, которое определялось традиционным способом по 12-канальной ЭКГ, и углом ориентации α_1 фазового портрета ЭКГ первого стандартного отведения. Указанная зависимость (рис. 11) может быть описана линейным уравнением регрессии

$$\alpha_{ЭОС} = 0,49339 \alpha_1 - 11,95811. \quad (4)$$

Таким образом с помощью ИТ ФАЗА-ГРАФ® можно с относительно высокой точностью по *одноканальной* ЭКГ оценивать направление электрической оси сердца при скрининговых обследовани-

ях, используя выражение (4), что еще раз подтверждает диагностическую ценность анализа фазового портрета ЭКГ.

Оптимальность электрической активности миокарда в течение сердечного цикла так же можно количественно оценить показателем S_{TR} – отношением площади петли реполяризации (зубца T) к площади петли деполяризации (комплекса QRS). Однако хорошо известно, что при патологических проявлениях довольно часто в период реполяризации наблюдается плоский зубец T. Поэтому, несмотря на достоверные различия этого показателя у различных категорий

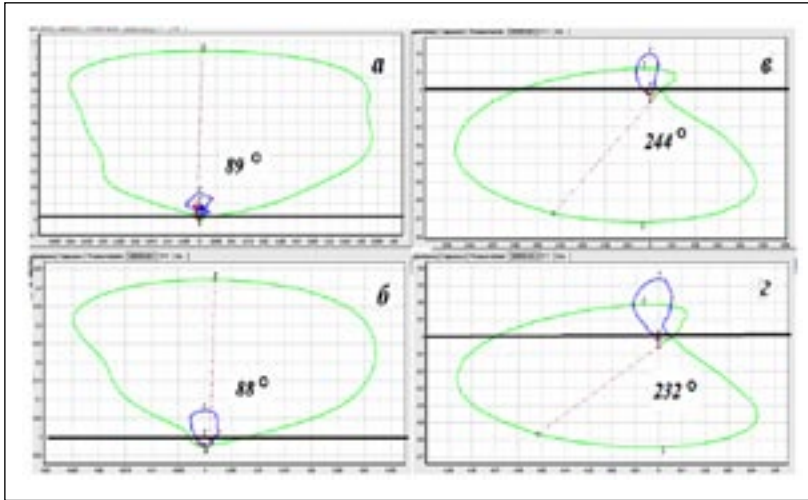


Рис. 10. Расположение петель фазового портрета ЭКГ относительно нулевой горизонтальной оси.

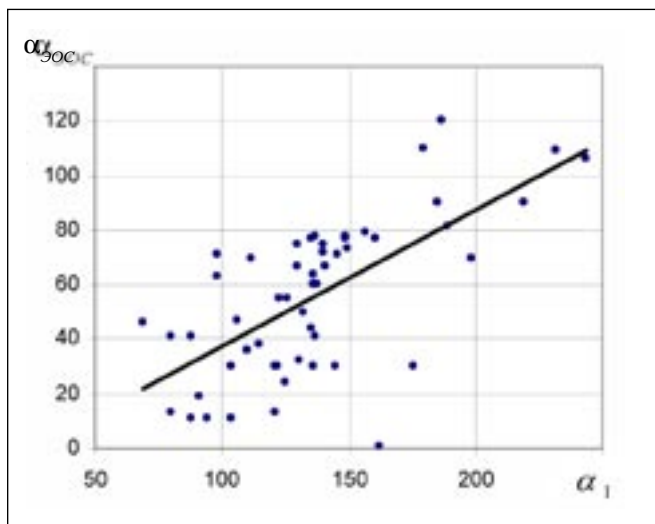


Рис. 11. Взаимосвязь направления электрической оси сердца $\alpha_{ЭОС}$ и угла α_1 .

Табл. 1. Показатель S_{TR} у различных категорий обследованных.

№ п/п	Категория обследованных	Группа	Число обследованных	Значения показателя S_{TR} ($\bar{X} \pm SX$)
1	Пациенты с острой кардиальной патологией	А	21	0,004 ± 0,001
2	Пациенты с хронической кардиальной патологией	Б	77	0,01 ± 0,004
3	Условно здоровые 20–22 лет	В	31	0,02 ± 0,006
4	Спортсмены высокой квалификации 20–27 лет	Г	52	0,04 ± 0,005

Примечание: достоверность различий в группах: А–В ($p < 0,05$); А–Г ($p < 0,01$); Б–В ($p < 0,05$); Б–Г ($p < 0,001$); В–Г ($p < 0,01$).

обследованных (табл.1), значимость показателя S_{TR} снижается при увеличении патологических проявлений по причине его малых значений, приближающихся к нулю.

Известно также [25], что интенсификация тренировочного процесса в спорте приводит к ряду функциональных изменений, в частности, к нарушению проводимости и гипертрофии сердечной мышцы, которые для спортсменов считаются вариантом нормы.

Разумеется, такие функциональные изменения также влияют на значения угла α_1 . Поэтому для повышения диагностической ценности показателя α_1 в дифференциальной диагностике функционального состояния миокарда целесообразно параллельно с анализом угла α_1 оценивать показатель S_{TR} .

Как уже отмечалось, площадь петель комплекса QRS и зубца T фазового портрета ЭКГ на плоскости $z(t), \dot{z}(t)$ связаны с электрофизиологическими процессами в соответствующих отделах миокарда, но, в отличие от скалярной ЭКГ $z(t)$ во временной области, практически не зависят от антропометрических особенностей. Полученные нами результаты исследований позволяют заключить, что, фазовый портрет ЭКГ, отражающий скоростные процессы, подобно векторкардиограмме, косвенно несет информацию об объёмном представлении процесса распространения волны возбуждения в отделах миокарда.

В этом плане анализ фазового портрета одноканальной ЭКГ, полученного с помощью ИТ ФАЗАГРАФ®, близок к методу традиционной векторкардиографии, согласно которому, уменьшение площади петли комплекса QRS связывают с патологическим процессом, а увеличение объясняют гипертрофией миокарда. Деполяризация миокарда на фазовом портрете так же связана с размером площади петли комплекса

QRS и может свидетельствовать о различных деформациях этого процесса. Аналогично, уменьшение площади петли зубца T, можно интерпретировать как нарушение процесса реполяризации.

Для сравнения на рис. 12 представлены фазовые портреты ЭКГ спортсмена высокой квалификации (рис. 12, а) и пациента с кардиологической патологией (рис. 12, б). У обоих диагностируется атриовентрикулярная блокада. Значения показателей S_{TR} фазовых портретов спортсмена и пациента с кардиологической патологией существенно отличаются и составляют $S_{TR} = 0,042 \pm 0,005$ и $S_{TR} = 0,004 \pm 0,001$ соответственно, несмотря на близкие значения углов ориентации α_1 .

На основании полученных данных можно предложить следующую схему принятия решений при скрининговых исследованиях по совокупности двух

диагностических признаков α_1 и S_{TR} (табл. 2). При такой схеме анализ показателя S_{TR} дополняет критерий α_1 в оценке функционального состояния миокарда и выделении групп риска для проведения дополнительных углубленных обследований.

Выводы

1. Выявлены различия в значениях показателя угла α_1 фазового портрета ЭКГ первого стандартного отведения в группах условно здоровых и пациентов с кардиологической патологией (рис. 7). Уменьшение показателя α_1 , характеризующего электрофизиологи-

ческие процессы миокарда, косвенно свидетельствует об уменьшении электропозитивных элементов миокарда, а увеличение — о расширении резервных возможностей.

2. Клинические исследования и модельные эксперименты указывает на взаимосвязь угла ориентации α_1 с электрофизиологическим состоянием миокарда, как при увеличении уровня тренированности, так и при нарастании патологического процесса, выраженное в его результирующем векторе — электрической оси сердца.

3. При увеличении физической нагрузки увеличение показателя угла α_1 фазового портрета значительно отличается у спортсменов по сравнению с лицами, не занимающихся спортом (рис. 8), что подтверждает гипотезу о том, что показатель α_1 в большей степени несет информацию о функциональном состо-

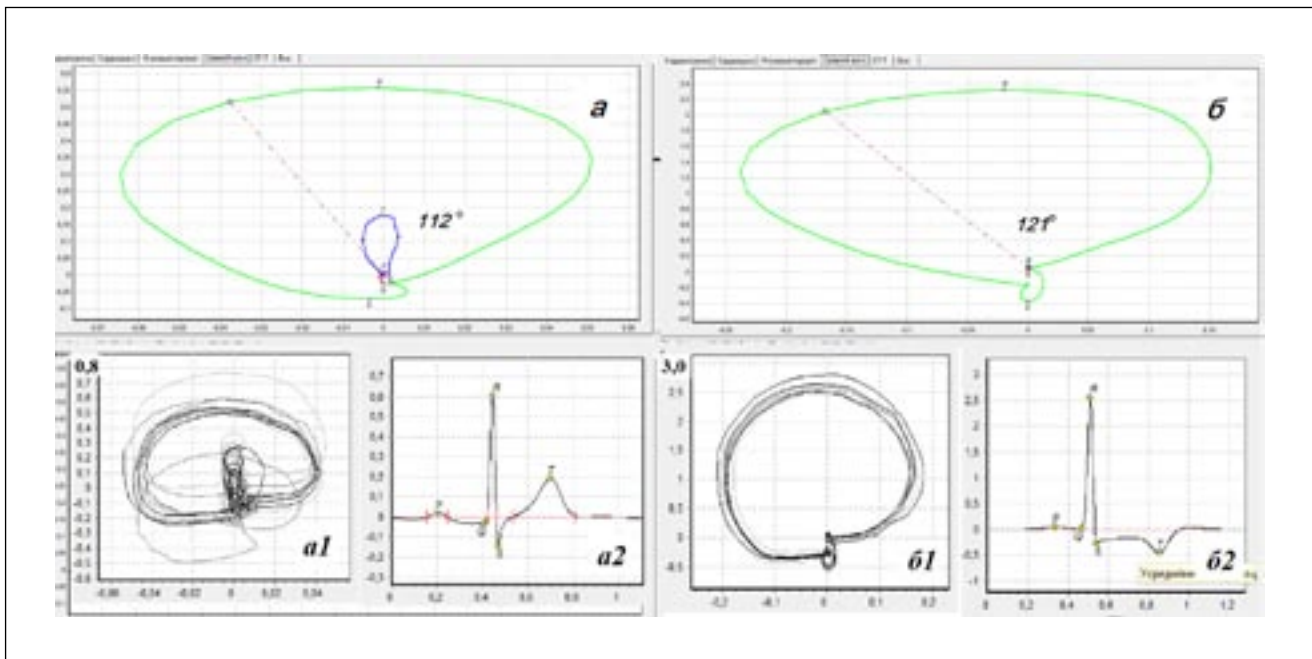


Рис. 12. Характеристики сердечного цикла спортсмена высокой квалификации (слева) и пациента с кардиологической патологией (справа): а, б — усредненная фазовая траектория; а1, б1 — фазовый портрет; а2, б2 — эталонный кардиоцикл во временной области.

Табл. 2. Схема принятия решений при скрининговых обследованиях по совокупности признаков α_1 и S_{TR} .

Значения признака α_1 , град.	Значения признака S_{TR}	Решение
110–180	$\geq 0,02$	Норма
80–110 или 180–200	$\geq 0,02$	Вероятно норма
< 80 или > 200	$\geq 0,02$	Низкий риск патологии
110–180	$< 0,02$	Средний риск патологии
< 110 или > 180	$< 0,02$	Высокий риск патологии

янии сердечно-сосудистой системы, чем об антропометрических особенностях испытуемого.

4. Физиологическая значимость показателя угла ориентации α_1 фазового портрета одноканальной ЭКГ обусловлена его корреляцией с направленностью электрической оси сердца и может быть использована как альтернативная характеристика при скрининговых обследованиях.

5. Показатель S_{TR} , полученный на основании обработки фазового портрета одноканальной ЭКГ, количественно отражает соотношение процессов деполаризации и реполяризации. Показатель S_{TR} может служить дополнительным диагностическим критерием в дифференциальной диагностике функционального состояния миокарда в спортивной медицине и кардиологии при анализе фазового портрета одноканальной ЭКГ (табл. 2).

6. ИТ ФАЗАГРАФ®, совмещая возможности векторного и скалярного анализа одноканальной ЭКГ, расширяет возможности ранней и дифференциальной диагностики функционального состояния миокарда при скрининговых обследованиях.

Литература

1. Файнзильберг Л. С. Компьютерная диагностика по фазовому портрету электрокардиограммы / Л. С. Файнзильберг. – Киев: Освита Украины, 2013. – 191 с.
2. Zywiencz S. Methodology of ECG Interpretation in the Hanover Program / S. Zywiencz, D. Borovsky, G. Goettsch, G. Joseph // Meth. Inf. Med. – 1990. – No. 29. – P. 375.
3. Беркутов А. М. Повышение эффективности регистрации формы электрокардиосигнала корреляционной обработкой в цифровой осциллографии / А. М. Беркутов, С. Г. Гуржин, А. А., Дунаев, Е. М. Прошин // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2002. № 7. С. 4–13.
4. Карамов К. С. К диагностике свежих очаговых поражений миокарда / К. С. Карамов, Ж. А. Базиян, К. П. АLEXIN // Кардиология. – 1978. – № 10. – С. 109–112.
5. Файнзильберг Л. С. ФАЗАГРАФ® — эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца / Л. С. Файнзильберг // Клиническая информатика и телемедицина. – 2010. – Т. 6. – Вып. 7. – С. 22–30.
6. Минина Е. Н. Анализ волны Т ЭКГ в фазовом пространстве в определении функциональных резервов миокарда / Е. Н. Минина // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. – 2013. – Том 26 (65), № 2. – С. 148–153.
7. Fainzilberg L. S. Heart Functional State Diagnostic Using Pattern Recognition of Phase Space ECG-Images / L. S. Fainzilberg // Proceeding of the 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT '98). – Aachen(Germany), September 7-10, 1998. – Vol. 3. – № B-27. – P. 1878–1882.
8. Файнзильберг Л. С. Новый метод анализа ЭКГ больных ревматоидным артритом / Л. С. Файнзильберг, А. Ф. Клубова, Л. А. Стаднюк, И. А. Чайковский, Дитмар Лерхе // Украинський ревматологічний журнал. – 2001. – № 2. – С. 48–51.
9. Фруммин Л. Л. О фазовом портрете электрокардиограммы / Л. Л. Фруммин, М. Б. Штарк // Автоматрия. – 1993. – № 2. – С. 51–54.
10. Afify H. ECG classification using affine invariant characterization of phase space / H. Afify, M. A. Wahed, Y. M. Kadah // Proceeding of the Cairo International Biomedical Engineering Conference. – 2006. – P. 1–4.
11. Perc M. Nonlinear time series analysis of the human electrocardiogram / M. Perc // European Journal of Physics. – 2005. – № 26. – P. 757–768.
12. Salisbury J. I. Assessment of Chaotic Parameters in Nonstationary Electrocardiograms by Use of Empirical Mode Decomposition / J. I. Salisbury, Y. Sun // Annals of Biomedical Engineering. – 2004. – Vol. 32. – No. 10. – P. 1348–1354.
13. Шилинскийте З. И. Дифференцирование электрической активности сердца / З. И. Шилинскийте // Кардиология. – 1965. – № 3. – С. 67–72.
14. Халфен Э. Ш. Клиническое значение исследования скоростных показателей зубца Т ЭКГ / Э. Ш. Халфен, Л. С. Сулковская // Кардиология. – 1986. – № 6. – С. 60–62.
15. Волкова Э. Г. Диагностические возможности первой производной ЭКГ в оценке состояния коронарной артерии у больных ишемической болезнью сердца / Э. Г. Волкова, О. Ф. Калаев, А. Р. Ковынев // Терапевтический архив. – 1990. – № 3. – С. 35–38.
16. Ахметшин А. М. Информационные возможности анализа и отображения электрокардиограммы в базах сингулярного разложения вложенных векторов / А. М. Ахметшин, К. А. Ахметшин // Клиническая информатика и телемедицина. – 2011. – Т. 7. – Вып. 8. – С. 58–64.
17. Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач / А. Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
18. Файнзильберг Л. С. Информационные технологии обработки сигналов сложной формы. Теория и практика. / Л. С. Файнзильберг. – Киев: Наукова Думка, 2008. – 333 с.
19. Файнзильберг Л. С. Компьютерный анализ и интерпретация электрокардиограмм в фазовом пространстве / Л. С. Файнзильберг // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2004. – № 1. – С. 32–46.
20. Schijvenaars B. J. A. Intraindividual variability in electrocardiograms / B. J. A. Schijvenaars, G. Van Herpen, J. A. Kors // Journal of Electrocardiology. – 2008. – Vol. 41. – Issue 3. – P. 190–196.
21. Дорофеева З. З. Корреляционная связь пространственных векторкардиографических и рентгенологических показателей при гипертрофии правого желудочка / З. З. Дорофеева, Ф. У. Гаджаева, И. Ф. Игнатъева // Тер. архив. – 1986. – № 11. – С. 102–106.
22. Беленков Ю. Н. Магнитно-резонансная томография сердца и сосудов / Ю. Н. Беленков, С. К. Терновой, В. Е. Сеницин и др. М.: Видар. – 1997. – С. 58.
23. Мартынов А. И. Артериальная гипертензия и гипертрофия миокарда левого желудочка / А. И. Мартынов, О. Д. Остроумова // Актуальные вопросы артериальной гипертензии. – 2004. – № 6. – С. 2–6.
24. Дембо А. Г. Значение определения давления в малом круге кровообращения у спортсменов / А. Г. Дембо и др. // Теория и практика физ. культуры. – 1971. – № 9. – С. 26–29.
25. Бондарев С. А. Нарушение функции синусового узла у спортсменов / Э. В. Земцовский, С. А. Бондарев. Синдром слабости синусового узла: монография под ред. В. А. Шульмана, Д. Ф. Егорова. – СПб.: Алфавит. – 1995. – С. 167–187.
26. Карпман В. Л. Исследование физической работоспособности у спортсменов / В. Л. Карпман, З. Б. Белоцерковский, И. А. Гудков. – М.: ФИС. – 1974. – 95 с.

Study of the diagnostic value of the orientation angle of the phase portrait of the one-lead ECG as an indicator of the functional state of the myocardium

L. S. Fainzilberg¹, E. N. Minina²

¹The International Research and Training Center of Information Technologies and Systems National Academy of Science and Ministry of Education and Science, Kiev Ukraine

²Tauride National University named after V. I. Vernadsky, department of physical rehabilitation and health, Simferopol Ukraine

Abstract

A new approach to the construction of a health information technology assessment of the functional state of the cardiovascular system during screening examinations, based on the analysis of the phase portrait features a single-channel ECG. We investigate the diagnostic value of the orientation angle of the phase portrait as an indicator of build-up of pathological processes in the myocardium and level of fitness athletes. The results of clinical trials in a variety of categories examined

at rest and with increasing external load. A scheme of decision making in screening studies to identify groups at risk of cardiac disease by a combination of two diagnostic features of the phase portrait of the first standard ECG leads are proposed.

Key words: information technology, the phase portrait of ECG, diagnostic features, electrical axis of the heart, depolarization, repolarization.

Дослідження діагностичної цінності кута орієнтації фазового портрету одноканальної ЕКГ як індикатора функціонального стану міокарда

Л. С. Файнзильберг¹, Е. Н. Мініна²

*¹Міжнародний науково-навчальний
центр інформаційних технологій
та систем НАН та МОН України, Київ*

*²Таврійський Національний університет
імені В. І. Вернадського, кафедра фізичної
реабілітації та здоров'я людини
Сімферополь, Україна*

Резюме

Розвивається новий підхід до побудови медичної інформаційної технології оцінки функціонального стану серцево-судинної системи при скринінгових

обстеженнях, заснований на аналізі ознак фазового портрету одноканальної ЕКГ. Досліджується діагностична цінність кута орієнтації фазового портрету як індикатора наростання патологічних процесів в міокарді і рівня тренуваності спортсменів. Наведено результати клінічних випробувань на різних категоріях обстежених у спокої і при збільшенні зовнішнього навантаження. Запропоновано схему прийняття рішень при скринінгових дослідженнях для виявлення груп ризику кардіологічної патології за сукупністю двох діагностичних ознак фазового портрету ЕКГ першого стандартного відведення.

Ключові слова: інформаційна технологія, фазовий портрет ЕКГ, діагностична ознака, електрична вісь серця, деполяризація, реполяризація.

Переписка

д.т.н. **Л. С. Файнзильберг**

Международный научно-учебный центр
информационных технологий и систем
НАН и МОН Украины

пр. Академика Глушкова, 42

Київ, 03680, Україна

тел.: +380 (44) 526 11 54

ел.почта: fainzilberg@voliacable.com

УДК 612.12: 004.93

Синтез фазовых портретов многоканальных ЭКГ как яркостных изображений в информационных базисах сингулярных векторов

А. М. Ахметшин, К. А. Ахметшин

Днепропетровский национальный университет, Украина

Резюме

Рассмотрены информационные возможности нового метода качественного анализа многоканальных электрокардиограмм в фазовом пространстве, образованном ортонормированными векторами сингулярного разложения, при этом фазовый портрет рассматривается в виде яркостного изображения. Яркость изображения пропорциональна числу пикселей имеющих одинаковые координаты в фазовом пространстве. Метод позволяет использовать математический аппарат теории цифровой обработки изображений и распознавания образов, что увеличивает информативность и достоверность анализа многоканальных ЭКГ.

Ключевые слова: многоканальная электрокардиограмма, фазовый портрет, сингулярное разложение, яркостное изображение, сегментация.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.43–47

Вступление

Традиционный топологический анализ одноканальных ЭКГ базируется на синтезе фазовых портретов в системе координат $\{x(t) \div x'(t)\}$ [1], или на использовании вариантов теоремы Такенса с синтезом двумерного фазового портрета в системе координат $\{x(t) \div x(t+m)\}$ [2], где m — параметр характеризующий глубину вложения временного ряда $x(t)$. Оставляя в стороне достоинства и недостатки обоих подходов отметим лишь, что фазовые портреты представляют собой интерполированные бинарные графики, что не позволяет установить общее количество динамических точек соответствующих одной и той же окрестности фазового пространства.

Помимо этого, при анализе многоканальных ЭКГ необходим синтез обобщенных фазовых портретов, отображающих все особенности анализируемого ансамбля как единого целого в полном яркостном диапазоне, а не только его бинаризованного аналога. В работе [3] для сжатия многоканальных ЭКГ и синтеза обобщенного фазового портрета было предложено использовать первые два сингулярных вектора сингулярного разложения анализируемого сигнального ансамбля. Однако и здесь был использован лишь бинаризованный обобщенный фазовый портрет.

Целью работы является демонстрация информационных возможностей нового метода синтеза обобщенных фазовых портретов многоканальных ЭКГ как полномасштабных яркостных изображений, что открывает возможность использования математических методов

цифровой обработки изображений [4] и теории распознавания образов [5] в целях повышения достоверности идентификации типа кардиологического заболевания.

Материалы, методы исследования, анализ результатов

1. Отображение и анализ многоканальных ЭКГ

Примеры многоканальных ЭКГ с установленными диагнозами были взяты из международной базы данных «Physionet».

На первом этапе проводится сингулярное разложение исходной сингулярной матрицы многоканальной ЭКГ $X(M \cdot N)$, где M — число отсчетов в отдельно взятом измерительном канале, N — общее число измерительных каналов

$$X = USV^T, \quad (1)$$

где S — диагональная матрица сингулярных чисел, характеризующая ранг матрицы X , причем $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_N$, причем $\sum_i S_i = 100\%$. Если, например,

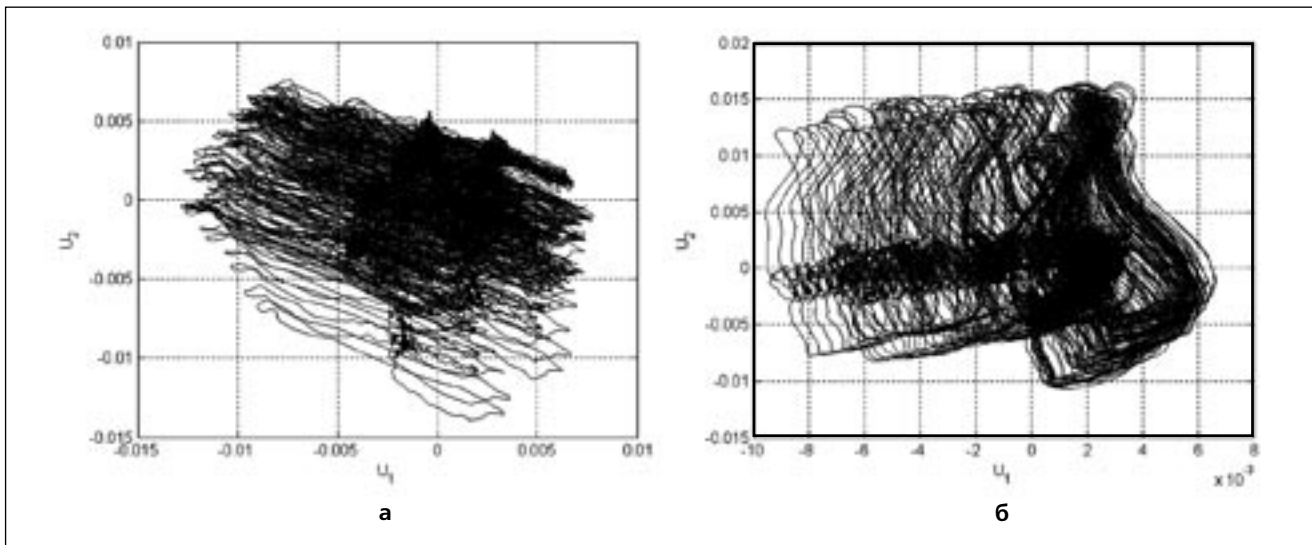


Рис. 1. Бинарные обобщенные фазовые портреты 15-ти канальной ЭКГ в системе координат $U_1(t)$ и $U_2(t)$: а — инфаркт; б — аритмия.

$(S_1 + S_2) \geq 95\%$, то в качестве нового информационного базиса следует выбирать сингулярные вектора U_1 и U_2 (следует отметить, что при проведении экспериментальных исследований ранг 15-ти канальной матрицы X никогда не превышал четырех).

Затем в системе координат $U_1(t)$ и $U_2(t)$ синтезируется обобщенный бинарный фазовый портрет (рис. 1).

Из рассмотрения рис.1 следует, что визуальный анализ не позволяет установить количество точек имеющих одинаковые координаты фазового пространства, что не позволяет осуществить процедуру кластерного анализа в целях выделения наиболее характерных признаков фазового портрета, пригодных для формализации процедуры компьютерного распознавания типа заболевания.

С помощью специально разработанной компьютерной программы был реализован алгоритм синтеза обобщенных фазовых портретов как яркостных изображений, где в качестве третьей координаты выступает число пикселей имеющих одинаковые координаты в фазовом пространстве, т. е. яркость синтезированного изображения пропорциональна их численности.

На рис. 2а, б представлены синтезированные яркостные фазовые портреты, соответствующие бинарным фазовым портретам на рис. 1. Сопоставление рис. 2а, б и рис. 1 показывает, что переход к яркостному восприятию позволяет визуально выделить области максимальной концентрации (т. е. максимально яркие области) и отбросить области соответствующие отдельным дискретным отсчетам, отчетливо прояв-

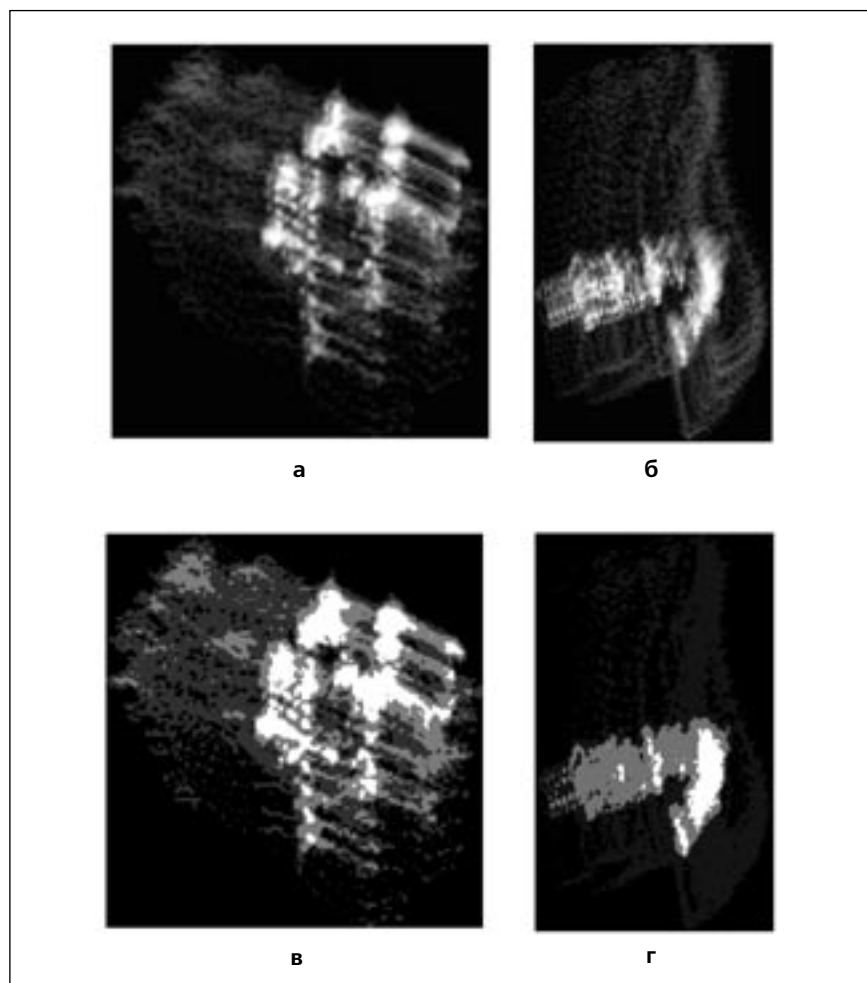


Рис. 2. Синтезированные яркостные фазовые портреты многоканальной ЭКГ соответствующих рис. 1: а — инфаркт; б — аритмия; в, г — сегментация яркостных портретов методом нечетких С-средних на четыре кластера.

ляющихся на рис. 2а, б поскольку, в отличие от фазовых портретов на рис. 1, здесь не используется интерполяция, а осуществляется прямой синтез яркостного портрета.

Эти области хорошо выделяются при использовании метода псевдоцветового кодирования, при адекватном выборе цветовой палитры.

По сравнению с бинарным фазовым портретом, предлагаемый подход основанный на использовании яркостных фазовых портретов, характеризуется следующими преимуществами:

- позволяет визуально идентифицировать область максимальной концентрации отсчетов ЭКГ в заданной области фазового пространства;
- открывается возможность использования псевдоцветового кодирования результирующего фазового портрета в целях облегчения и повышения достоверности результатов анализа;
- открывается возможность использования как математического аппарата цифровой обработки изображений, так и основных идей повышения качества и фильтрации результирующего изображения;
- вопрос фильтрации яркостных фазовых портретов имеет особое значение, поскольку из-за отсутствия интерполяции подобных изображений в них всегда присутствуют отдельные точки (фактически δ -функции), что предопределяет необходимость особой осторожности при фильтрации подобных изображений;
- такой подход позволяет использовать ряд интегральных преобразований, позволяющих выделять дополнительные информационные признаки в целях повышения надежности процедуры идентификации типа кардиологического заболевания;
- возможно использование методов сегментации изображения на основе

метода нечетких С-средних [6] или самоорганизующегося нейросетевого синтеза [7].

На рис. 2в, г представлены результаты нечеткой сегментации на четыре кластера по максимумам функции принадлежности исходных яркостных портретов на рис. 2а, а на рис. 3 представлены изображения функций принадлежности всех четырех кластеров, соответствующих первому яркостному изображению на рис. 2а.

Анализ рис. 3 и его сопоставление с рис. 2а показывает, что фазовый портрет функции принадлежности на рис. 3.2 может служить информационным признаком, возможно — эталоном, соответствующим данному типу кардиологического заболевания.

2. Интегральные преобразования яркостных фазовых портретов

К интегральным преобразованиям, широко используемым в теории цифровой обработки изображений и распознавании образов, относятся:

а) энергетический спектр двумерного преобразование Фурье

$$|I(\omega_x, \omega_y)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) \exp\{-j(\omega_x x + \omega_y y)\} dx dy \right|^2, \quad (2)$$

где $I(x, y)$ — яркостный фазовый портрет; б) автокорреляционная функция (АКФ) изображения яркостного изображения фазового портрета

$$r(u, v) = \frac{\sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^N I(x, y) I(u+x, v+y)}{\sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^N I^2(x, y)}. \quad (3)$$

На рис. 4 представлены изображения энергетического спектра (а, в) и автокорреляционной функции (б, г) для диагнозов инфаркт (рис. 2а) и мерцательная аритмия (рис. 2б) соответственно.

Анализ рис. 4а, в свидетельствует о том, что энергетический спектр Фурье представляет собой широкополосную характеристику, что обусловлено наличием δ -образных точечных составляющих на рис. 2. Поэтому использование этой характеристики представляется нецелесообразным из-за сложности ее интерпретации, тогда как анализ автокорреляционной функции (рис. 4б, г) позволяет выявить характерные топологические особенности изображений фазовых портретов из-за нейтрализации влияния отдельных точек в исходных изображениях $I(x, y)$.

В качестве дополнительного варианта перехода к новому информационному базису возможно использование преобразования Радона исходного анализируемого изображения фазового портрета $I(x, y)$ [8], базирующееся на вычислении проекций изображения вдоль определенных направлений (углов). Проекция функции $I(x, y)$ на ось x' представляет собой линейный интеграл

$$R_\theta(x') = \int_{-\infty}^{\infty} I(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy', \quad (4)$$

где оси x' и y' задаются поворотом на угол θ против часовой стрелки

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (5)$$

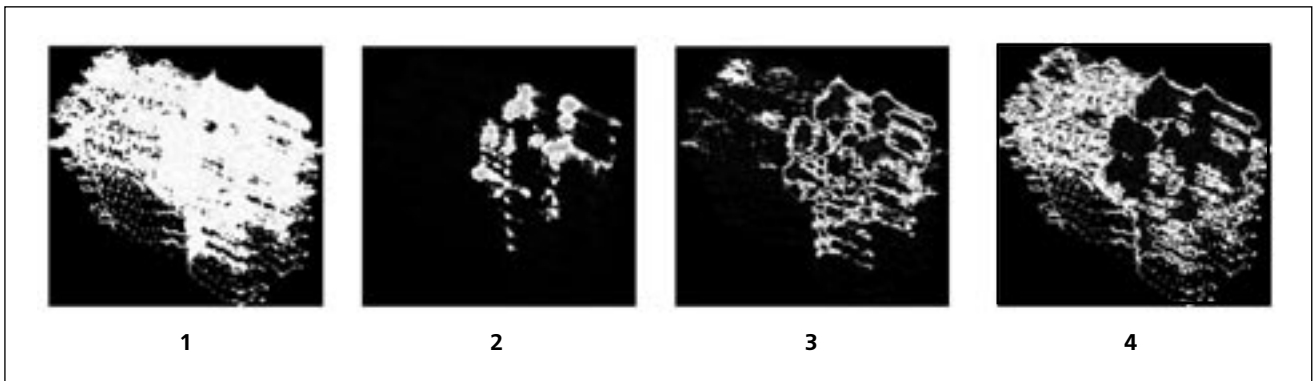


Рис. 3. Яркостные изображения четырех функций принадлежности, соответствующих рис. 2а, полученных в результате процедуры нечеткой сегментации.

Исходное полутоновое изображение рассматривается как двумерная функция. Таким образом, использование преобразования Радона обеспечивает переход к новому информационному базису, где ось «х» соответствует числу углов проецирования исходного изображения, а ось «у» — соответствует яркостным значениям проекций $R_{\theta}(x')$. С физической точки зрения, использование преобразования Радона позволяет «накопить» значения визуально неразличимых участков, в целях облегчения (упрощения) процедуры их последующей идентификации. В каком то смысле, эта операция близка к процедуре «усреднения», используемой в области цифровой обработки сигналов для выделения сигналов неизвестной формы на фоне аддитивных измерительных шумов в условиях, когда отношение сигнал/шум намного меньше единицы.

С практической точки зрения важен тот факт, что имеется как прямое, так и обратное преобразование Радона, что, с практической точки зрения, означает $I(x,y) \equiv R_{\theta}(x')$. Последнее обозначает, что можно анализировать либо $I(x,y)$, либо $R_{\theta}(x')$ и все определяется или силой привычки, либо общепринятыми традициями анализа.

На рис. 5 представлены яркостные изображения преобразования Радона от исходных изображений на рис. 2 соответственно. Как было отмечено выше, с математической точки зрения, информационные возможности рис. 2 и рис. 5 эквивалентны, однако при использовании преобразования Радона влияние большого числа отдельных точек на яркостных фазовых портретах (рис. 2) нейтрализуется, что, по нашему мнению, способствует повышению надежности интерпретации результатов с позиций теории распознавания образов. Для повышения достоверности анализа преобразованию Радона исходного изображения $I(x,y)$ можно использовать методы сегментации изображений рассмотренные выше. С чисто визуальной точки зрения, эффективным является использование псевдоцветовой кодировки синтезированных изображений, позволяющей надежно идентифицировать как визуально неразличимые области, так и зоны максимальной концентрации точек в фазовом пространстве.

Заключение

1. Синтез обобщенных фазовых портретов многоканальных ЭКГ как яркостных изображений в информаци-

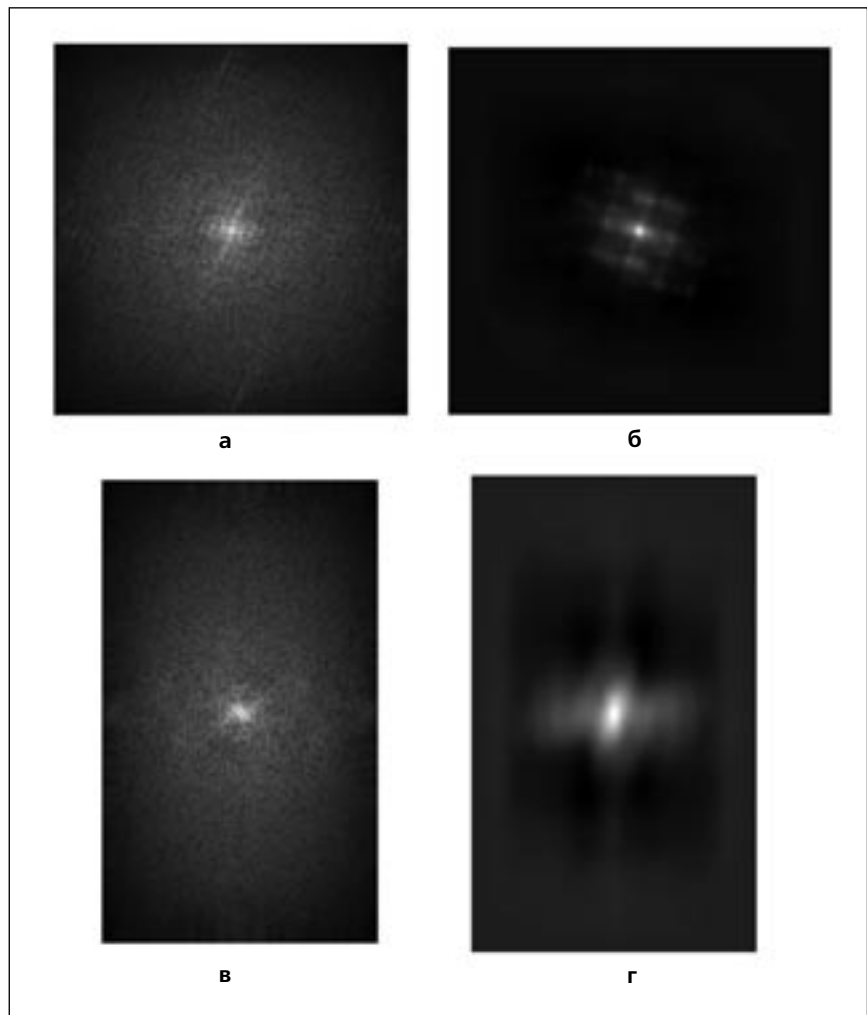


Рис. 4. Изображения энергетического Фурье-спектра (а, в) и автокорреляционной функции (б, г) для диагнозов инфаркт (рис. 2а) и мерцательная аритмия (рис. 2б) соответственно.

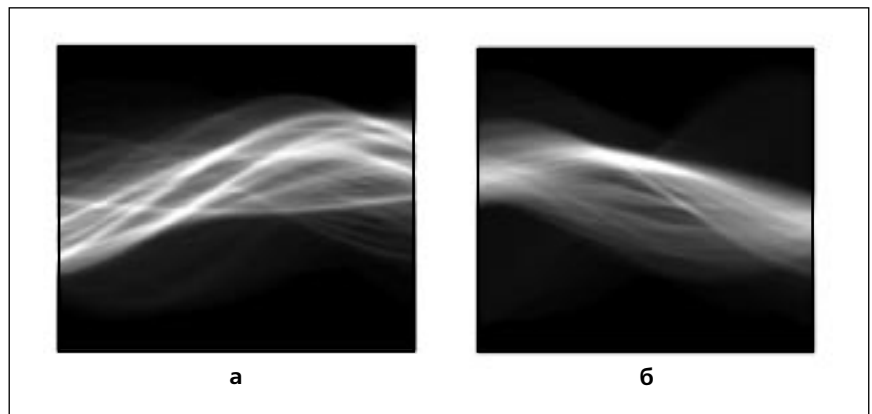


Рис. 5. Преобразование Радона от исходных изображений на рис. 2 соответственно.

онных базисах сингулярных векторов позволяет визуально идентифицировать область максимальной концентрации

отсчетов ЭКГ в заданной области фазового пространства и тем самым повысить общую информативность анализа.

2. Данный подход позволяет использовать весь математический аппарат теории цифровой обработки изображений в целях повышения достоверности идентификации типа кардиологического заболевания.

3. Использование методов сегментации результирующего яркостного фазового портрета анализируемой ЭКГ позволяет выделить наиболее информативные участки, что открывает принципиальную возможность синтеза эталонных фазовых портретов с последующим использованием математического аппарата теории распознавания образов и искусственного интеллекта для облегчения процедуры диагностики заболевания.

Литература

1. Файнзильберг Л. С. Информационные технологии обработки сигналов сложной формы: теория и практика / Л. С. Файнзильберг // – Киев, Наукова думка, 2008. – 333 с.
2. Perc M. Nonlinear time series analysis of the human electrocardiogram / M. Perc // European Journal of Physics. – 2005. – Vol.26. – P.757–768.
3. Ахметшин А. М. Отображение и анализ многомерных медицинских данных в ортогональных информационных базисах / А. М. Ахметшин, К. А. Ахметшин // Клиническая информатика и телемедицина, 2012, Т.8, Вып.9., с.30–34.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс // – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
5. Theodoridis S. Pattern recognition / S. Theodoridis, K. Koutroumbas // – San Diego, Academic Press, 2003. – 682 p.
6. Chi Z., Yan H., Pham T. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Z. Chi, H. Yan, T. Pham // – Singapore; – New Jersey; – London; – Hong Kong: «Word Scientific», – 1998. – 225 p.
7. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты / Т. Кохонен // – Москва, БИНОМ, 2008. – 655 с.
8. Хелгасон С. Преобразование Радона / С. Хелгасон // – Москва, Мир, 1983. – 150 с.

Phase portrait synthesis of multichannel ECG as brightness images at information bases of singular vectors

A. M. Akhmetshyn, K. A. Akhmetshyn
Dnepropetrovsk National University
Ukraine

Abstract

Information possibilities a new method multidimensional electrocardiogram quality analysis in a phase space made by orthonormalized singular vectors are considered. The phase portrait is considered as the brightness image. The image brightness is proportional by number pixels with identical coordinate in a phase spaces. The method give facility for using mathematical apparatus of digital image processing and pattern recognition theories for increasing informativity and validity of multidimensional electrocardiogram analysis.

Key words: multichannel electrocardiogram, phase portrait, singular decomposition, brightness image, segmentation.

Синтез фазових портретів багатоканальних ЕКГ як яскравісних зображень в інформаційних базисах сингулярних векторів

О. М. Ахметшин, К. О. Ахметшин
Дніпропетрівський національний університет, Україна

Резюме

Розглянуті інформаційні можливості нового методу якісного аналізу багатовимірних електрокардіограм у багатовимірному фазовому просторі утворюваним ортонормованими векторами сингулярного розкладу. Фазовий портрет розглядається у виді яскравого зображення. Яскравість зображення пропорційна числу пікселів які мають однакові координати у фазовому просторі. Метод відкриває можливість використання математичного апарату теорії цифрової обробки зображень та розпізнавання образів, що збільшує інформативність та вірогідність аналізу багатоканальних електрокардіограм.

Ключові слова: багатоканальна електрокардіограма, фазовий портрет, сингулярний розклад, яскраве зображення, сегментація.

Переписка

д. ф.-м. н. профессор А. М. Ахметшин
Днепропетровский национальный университет
пр. Гагарина, 72
Днепропетровск, 49000, Украина
эл. почта: akhmlu@mail.ru

УДК 616.12-008.318.1

Анализ электрокардиограммы в одном, шести и двенадцати отведениях с точки зрения информационной ценности: электрокардиографический каскад

И. А. Чайковский

Институт кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины, Киев

Резюме

Проанализированы достижения последних лет в электрокардиографии, объем и существо информации которая может быть получена с помощью электрокардиографических приборов с разным числом отведений. Особое внимание уделено миниатюрным электрокардиографическим программно-аппаратным комплексам. На основании собственного опыта дискутируются вопросы, связанные с оптимальной сферой применения таких комплексов, необходимыми ограничениями, особенно в отношении кардиологического скрининга, основными направлениями их совершенствования. Предложена оптимальная с точки зрения информативности схема применения электрокардиографических устройств разной сложности на последовательных уровнях оказания медицинской помощи.

Ключевые слова: электрокардиография, миниатюрные программно-аппаратные комплексы, электрокардиографический каскад, скрининг.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.48–58

Введение. История

Несмотря на почтенный возраст (серийное производство первых электрокардиографов начато еще в 1905 году), электрокардиография и сегодня остается наиболее распространенным, доступным и дешевым методом объективного исследования сердца.

Ежегодно в мире производятся сотни миллионов, если не миллиарды, электрокардиографических исследований разного рода. По образному выражению известного израильского ученого Ш. Штерна «электрокардиограмма продолжает оставаться лучшим другом кардиолога» [1]. Естественно, эта область продолжает привлекать к себе значительные материальные и интеллектуальные ресурсы и является заметной частью медицинской индустрии.

Еще 10–12 лет назад в профессиональном сообществе бытовало мнение, что электрокардиография как метод достигла своего максимума с точки зрения информативности и ее место в клинической кардиологии окончательно определено.

Однако на протяжении последних 10–15 лет в области электрокардиографии произошло несколько инновационных «прорывов», которые заставили этот стереотип пересмотреть. Эти инновации можно разбить на три группы.

Балльные системы классификации (кодирования) ЭКГ

Разработка новых балльных систем классификации (кодирования) ЭКГ в 12-ти отведениях (ECG scoring systems) и более широкое внедрение таких систем, разработанных ранее.

Эти системы классификации основаны на оценке различных амплитудно-временных параметров электрокардиограммы, при этом каждому амплитудно-временному параметру приписывается определенное количество баллов в зависимости от того, насколько это значение соответствует известной норме.

Такие балльные системы разрабатывались, прежде всего, для определения по данным ЭКГ степени поражения миокарда, функции левого желудочка и прогноза у больных, перенесших инфаркт миокарда. В многочисленных работах показана высокая степень корреляции между электрокардиографическим баллом повреждения миокарда и размером инфаркта, определенным с помощью другого, более сложного метода диагностики, например, МРТ, а также с данными патологоанатомического исследования [2–4].

В последние годы появились данные, что усовершенствованные системы кодирования ЭКГ в 12-ти отведениях имеют большую ценность и в прогнозировании риска сердечно-сосудистых событий у лиц, не переносивших инфаркт миокарда, в том числе у лиц, не имеющих симптомов сердечно-сосудистых заболеваний.

Новые цифровые методы ЭКГ-диагностики. Электрокардиография 4-го поколения

Разработка современных методов цифровой обработки ЭКГ-сигнала, которые позволяют измерять и оценивать параметры, не доступные для стандартного анализа электрокардиограммы.

В течение последних 15–20 лет получили развитие новые методы ЭКГ-диагностики и начал формироваться новое направление – неинвазивная электрофизиология [5]. Эти методы являются результатом современных подходов к математическому описанию и обработке данных измерений электрокардиограммы с использованием в анализе относительно сложных по сравнению с обычными амплитудно-временными показателями характеристик и параметров.

Такие компьютерные технологии анализа ЭКГ позволяют существенно повысить ценность электрокардиографического обследования, то есть обнаруживать патологические изменения на ранних стадиях, когда рутинная электрокардиограмма не информативна. При этом высокой точности удается добиться при исследованиях в состоянии покоя, т. е. наиболее комфортным и безопасным для больного и экономным с точки зрения трудозатрат медицинского персонала, способом.

Эти методы еще иногда называют электрокардиографией 4-го поколения, имея в виду, что электрокардиография первого поколения – это «ручное» измерение амплитудно-временных показателей ЭКГ и визуальный анализ электрокардиографических кривых, 2-е поколение – автоматическое измерение амплитудно-временных показателей ЭКГ и, как и на предыдущем этапе, визуальный анализ кривых, 3-е поколение – автоматическое измерение и автоматическая электрокардиографическая диагностика с формированием синдромального электрокардиографического заключения. Таким образом, автоматизированные средства 2-го и 3-го поколения только дублируют и облегчают функции человека – врача функциональной диагностики. Надо сказать

что надежды, которые возлагались на ЭКГ 3-го поколения, оправдались далеко не в полной мере [6]. Во многих случаях интерпретация ЭКГ опытным врачом на основе упрощенной эвристики значительно достовернее автоматических результатов, с помощью сложных алгоритмов. Некоторые исследователи даже заговорили о «методическом насыщении» метода ЭКГ, т. е. достижении максимально возможных показателей диагностической эффективности ЭКГ покоя, которые невозможно улучшить. Появление методов 4-го поколения анализа ЭКГ опровергли это мнение. Принципиальное отличие 4-го поколения состоит в том, что информация, которую дают эти методы анализа, никоим образом не может быть получена с помощью визуального анализа данных без использования соответствующего программного обеспечения.

Портативные электрокардиографические устройства

Создание миниатюрных портативных электрокардиографических устройств, которыми пациент пользуется в той или иной степени самостоятельно, за пределами офиса врача.

Надо сказать, что все более широкое применение портативных электрокардиографических устройств являются частью более широкой тенденции, которая на английском языке называется point-of-care testing (POST), что в свободном переводе означает медицинский тест, осуществляемый непосредственно в месте нахождения пациента, вне офиса врача.

По-видимому, первыми представителями этого направления являлись портативные автоматические тонометры, широкое распространение которых началось 20–25 лет назад. Серийное производство бытовых тонометров начато фирмой OMRON в 1988 году.

Затем, 5–10 лет назад, появились индивидуальные анализаторы крови, прежде всего определители уровня глюкозы. Портативные электрокардиографы с ограниченным числом электрокардиографических отведений – 3-я волна инструментальных средств для POST, зарождение которой мы наблюдаем сегодня [7].

На рынке в настоящее время имеются около 10–15 типов портативных электрокардиографических устройств для индивидуального использования. В основном это одноканальные электрокардиографы. Перечислим некоторые из них – Health frontier (Канада), Instant Check (Великобритания), ReadMyHeart (США), FP-80 (Китай), MB-100 и MB-100A1 (Китай), «Dimetek» (Китай), «Vitaphone» (Германия), «Гном» (Россия), «Фазаграф» (Украина), Кардиовизор (Россия), Кардиоплюс-Пб (Украина) и другие. Из крупных международных компаний первой наладила выпуск подобных устройств компания OMRON (Япония).

Эти приборы уже получили широкое распространение, а перспективы роста этого сегмента рынка медицинских устройств просто огромны. Так, по мнению аналитиков Global Industry Analyst Inc, объем рынка портативных электрокардиографов в США составляет 1.1 млрд. долларов, российские экономисты из НИУ ВШЭ полагают, что в РФ объем этого рынка как минимум 0.5 млрд. рублей.

Надо сказать, что кроме очевидных преимуществ, такая тенденция несет в себе и определенную опасность. Портативные электрокардиографические программно-аппаратные комплексы (ПАК) отличаются миниатюрностью, привлекательным, броским дизайном, а также легкостью и доступностью

проведения измерения — отсутствует необходимость для наложения грудных электродов. Следовательно, регистрация ЭКГ с помощью такого прибора легко осуществима и вне медицинского учреждения, пользователем, который не обладает профессиональными медицинскими знаниями. Как показывает практика, миниатюрные электрокардиографы производят на такого пользователя сильное впечатление и часто создают ложное ощущение, что электрокардиограмма, зарегистрированная с помощью подобного прибора может, заменить полноценное электрокардиографическое обследование. Поэтому крайне важно правильно позиционировать «карманные» электрокардиографические ПАК, т. е. сформулировать оптимальную нишу применения и необходимые ограничения, а также разработать их классификацию.

Цель настоящей статьи — проанализировать объем и существо информации, которая может быть получена с помощью электрокардиографических приборов с разным числом отведений, возможности использования в разных типах приборов последних достижений в обработке и анализе электрокардиографического сигнала, и на этой основе предложить оптимальную, с точки зрения информативности, схему применения электрокардиографических устройств разной сложности на последовательных уровнях оказания медицинской помощи.

Характеристика особенностей портативных электрокардиографических приборов

В этой связи необходимо более подробно охарактеризовать портативные электрокардиографические приборы. Большинство этих устройств, за исключением последних двух из перечисленных выше, являются одноканальными, т. е. позволяют регистрировать только одно электрокардиографическое отведение, а именно I-е стандартное. При этом на корпусе прибора имеются смонтированные электрокардиографические электроды, которые удерживаются пальцами или ладонями обеих рук. Дизайн электродной площадки некоторых устройств, например, MB-100 и MB-100A1 компании «Choicemed», позволяет кроме I-го стандартного вводить также одно из грудных отведений.

Большая часть этих устройств снабжена также электрокардиографическим кабелем, который позволяет последовательно, одно за другим, регистрировать все 3 стандартных электрокардиографических отведения.

Все без исключения перечисленные приборы снабжены программным обеспечением, и могут общаться с персональным компьютером с помощью интерфейса USB. Кроме того, большинство из этих приборов, за исключением российских и украинских, имеют встроенный микропроцессор, жидкокристаллический экран и автономное питание, т. е. могут работать и не будучи соединенными с персональным компьютером (ПК). Таким образом, все перечисленные электрокардиографы являются программно-аппаратными комплексами, т. е. представляют собой набор технических и программных средств, работающих совместно.

Основной идеей, лежащей в основе применения большинства перечисленных портативных электрокардиографических

устройств, является диагностика угрожающих жизни нарушений ритма сердца (экстрасистолия высоких градаций, желудочковые и наджелудочковые тахикардии, и т. п.), а также рутинный анализ амплитуд и длительностей основных зубцов электрокардиограммы с целью выявления грубых изменений электрокардиограммы.

Анализ тонких изменений электрокардиограммы. Ее интраиндивидуальная изменчивость

Исключением, насколько нам известно, являются лишь три аппаратно-программных комплекса: «Фазаграф», «Кардиовизор», «Кардиоплюс-Пб» Философия их применения несколько иная. Главная их особенность — это анализ тонких изменений ЭКГ, незаметных при обычной визуальной и/или автоматической интерпретации электрокардиосигнала. Немало исследователей в области электрокардиографии обращали внимание на интраиндивидуальную изменчивость электрокардиограммы, т. е. небольшие изменения параметров ЭКГ у одного и того же человека в течение короткого промежутка времени. При этом кардиограмма по общепринятым амплитудно-временным критериям может и не выходить за диапазон нормальных значений [8]. Синонимом интраиндивидуальной изменчивости является термин «серийные изменения ЭКГ». Его принято употреблять больше в отношении патологической ЭКГ, зарегистрированной в клинических условиях. Причины такой изменчивости делят на технические и физиологические. Технические причины обусловлены различием в положении электродов и помехами (артефактами) во время регистрации ЭКГ. Физиологически обусловленная изменчивость отражает изменения функционального состояния обследуемого под влиянием, например, стресса или иных физиологических причин. Однако до сих пор не было инструмента, с помощью которого упомянутые выше изменения можно было бы регистрировать с достаточной частотой (несколько раз в сутки, или хотя бы один раз в сутки). Очевидно, что должная кратность регистрации электрокардиограммы может быть достигнута лишь в амбулаторных условиях, если пациент самостоятельно, без помощи медицинского персонала проводит обследование самого себя или такое обследование проводит человек, находящийся рядом — член семьи, коллега, тренер, если речь идет о спортивной команде.

Самоконтроль ЭКГ

Выполнимо ли это? Здесь следует обратиться к довольно обширному опыту самоконтроля артериального давления (СМАД). Несмотря на первоначальный скепсис части медицинского сообщества, этот метод в последние десятилетия приобрел самое широкое распространение. Современные рекомендации подчеркивают важность измерения артериального давления (АД) в домашних условиях, так как эти

показатели оказались более точно связаны с поражением органов-мишеней и сердечно-сосудистым риском, чем при измерении в клинических условиях. Необходимость многократного измерения АД вне клиники объясняется тем, что АД — постоянно изменяющаяся величина, которая не может быть охарактеризована случайным однократным измерением. Только систематическое измерение АД в течение длительного времени позволяет установить истинные значения АД и улучшает возможности диагностики и контроля эффективности проводимого лечения, дает возможность объективной диагностики при развившихся внезапно приступах плохого самочувствия. Кроме того, самоконтроль АД, увеличивает приверженность пациентов лечению. Пациент становится активным участником лечебно-диагностического процесса [9].

Нам представляется, что основные принципы использования СКАД верны и для самоконтроля ЭКГ, который по аналогии можно обозначить аббревиатурой СКЭКГ. Протицируем в этой связи исключительно образное высказывание «отца» холтеровского мониторирования ЭКГ Джеффри Холтера: «Я подбираю камень у основания горы Хелена, отдаю его на анализ в химическую лабораторию и получаю ответ: 37% цинка, 11% свинца... И я делаю вывод: вся гора Хелена имеет именно такой минеральный состав. Но это же смешно! Разве можно с уверенностью судить о целом по крошечной его части?! А ведь именно этим вы занимаетесь, снимая стандартную электрокардиограмму. На плёнку записывается 12–14 комплексов, в то время как за сутки сердце сокращается 120000 раз. Вы смотрите на 12 из них и говорите: «о, Вы совершенно здоровы» или «хм, Вы очень больной человек; не курите, пожалуйста». Разве жизнь состоит только в неподвижном возлежании? А как насчёт лыжников и парашютистов? Людей, поедающих завтрак, обед и ужин (один обильнее другого)? Спускающихся по лестнице? Напивающихся до скотского состояния? Всё это остаётся за кадром, когда лежишь на кушетке» [10].

Однако, несомненно, полностью, без изменений, переносить опыт СМАД на портативные электрокардиографические комплексы было бы неправильным.

Главное отличие в том, что при использовании бытовых измерителей артериального давления (а также измерителей уровня глюкозы в крови) информация к пользователю поступает в четком, однозначном виде — определяются значения только одного или двух показателей. Электрокардиограмма же, в том числе электрокардиограмма в одном или трех отведениях, позволяет измерять и интерпретировать целый комплекс показателей, отражающих разные стороны работы сердца. В этой связи важным является вопрос о наиболее информативных параметрах, изменения которых следует фиксировать в первую очередь.

Выбор наиболее информативных параметров на примере ПАК «Фазаграф». Анализ формы зубца Т на ЭКГ

Как известно, именно во время реполяризации желудочков, т. е. на протяжении интервала ST-T возникают наиболее

тонкие, малозаметные при визуальном анализе изменения электрокардиограммы. Поэтому наиболее обоснованным и потенциально полезным подходом в изучении интраиндивидуальной изменчивости нам представлялся анализ формы зубца Т на ЭКГ, в частности, симметрии зубца Т. Этот неспецифический показатель известен в электрокардиографии достаточно давно, насколько нам известно, с 1957 года. Примечательно, однако, что в последние десятилетия электрофизиологическая основа симметризации волны Т при патологии интенсивно исследуется в экспериментальной кардиологии [11]. Показана связь этого показателя с формой, длительностью и величиной трансмембранных потенциалов действия в различных зонах миокарда. Симметрия волны Т может быть рассчитана разными способами. В программном обеспечении одноканального ПАК «Фазаграф» реализован наиболее распространенный способ, заключающийся в определении максимальных значений модуля производной, D_2 и D_1 , слева и справа от экстремума амплитуды зубца Т, усредненного кардиокомплекса в его вершине и расчете показателя β_T , который вычисляется как $\beta_T = D_2/D_1$. Особенностью программного обеспечения этого ПАК является то, что вся предварительная обработка и анализ электрокардосигнала проводилась в фазовом пространстве. Суть метода заключается в том, что в каждой временной точке исходного сигнала $u(t)$, который представляет собой запись ЭКГ в I-м отведении, определяется его производная $du(t)/dt$, и вся последующая обработка и анализ сигнала осуществляются на фазовой плоскости в координатах $(u, du/dt)$. Этот методический прием в отношении обработки ЭКГ применяется с конца 80-х годов прошлого века, в русскоязычной научной литературе впервые описан, насколько нам известно, в работе [12].

На протяжении ряда лет эта технология предварительной обработки и анализа ЭКГ развивается в МНУЦ ИтиС НАН и МОН Украины [13].

Во избежание путаницы, следует упомянуть, что понятие «анализ ЭКГ в фазовом пространстве (или на фазовой плоскости)» довольно многозначно. Чаще всего этот термин употребляется в отношении анализа динамических характеристик ЭКГ, а также идентификации различных нарушений ритма с помощью анализа особенностей формы «фазовых портретов» ряда последовательных электрокардиографических комплексов [14]. Иными словами, оригинальный информативный показатель (показатели) исходит собственно из анализа ЭКГ в фазовом пространстве и может быть получен лишь при таком виде анализа. В ПАК «Фазаграф» преобразование ЭКГ из временной области в фазовое пространство используется для предварительной обработки сигнала, а именно разделения фазовой траектории на отдельные сердечные циклы, отбраковки ненадежных траекторий, вызванных артефактами либо эктопическими комплексами, усреднения траекторий в фазовом пространстве с последующей реконструкцией «эталонного» цикла во временной области. Информативный же показатель β_T (отношение максимальных скоростей на восходящем и нисходящем коленах фрагмента фазовой траектории, соответствующего зубцу Т) не является уникальным именно для этого вида анализа. Он аналогичен отношению максимальных значений модуля производной, которое может быть получено и без преобразования ЭКГ из временной области на фазовую плоскость.

Итак, подытоживая, можно сказать что для выбора симметрии зубца Т как наиболее «перспективного» диагностического параметра существовало 3 группы предпосылок:

- теоретические (зубец Т наиболее чувствительный элемент электрокардиограммы);
- клинические (показатель симметрии зубца Т — наиболее клинически изученный параметр формы этого зубца, из известных нам в конце 90-х годов прошлого столетия;

в) «технологические» (В МНУЦ ИТиС была разработана технология преобразования электрокардосигнала в фазовое пространство, которая давала возможность изучать скоростные показатели ЭКГ).

Экспериментальная проверка диагностической полезности показателя β_T

Проверка диагностической полезности этого признака требовала достаточно большой выборки хорошо верифицированных пациентов и здоровых волонтеров. Надо сказать, что на протяжении многих лет нами проводятся исследования возможностей диагностики ишемии миокарда в состоянии покоя с помощью прогрессивных методов анализа электрического генератора сердца, прежде всего с помощью магнитокардиографии (МКГ). Наше внимание было сосредоточено в первую очередь на группе так называемых трудных для диагностики пациентов, т. е. пациентов с нормальной по общепринятым, рутинным критериям электрокардиограммой покоя. Эти исследования проводились нами в Национальном центре «НИИ кардиологии им. Н. Д. Стражеско» НАМН Украины (Киев), а также в четырех клиниках Германии – кардиологической клинике университета Дуйсбург-Эссен (Essen University Hospital), католическом госпитале «Филлипусстифт» (Katholical Hospital «Phillipusstift» (Essen)), Центре сердца земли Северный Рейн-Вестфалия (Heart and Diabetes Center of North Rhein-Weastfalia (Bad-Oeynhausen)), Германском центре сердца (German Heart Center (Berlin)). Группа пациентов с коронарографически верифицированной ишемической болезнью сердца (ИБС) составила 465 человек, здоровых волонтеров – 387 человек. Всем обследованным дополнительно к МКГ однократно, в состоянии покоя регистрировалась ЭКГ в одном отведении. Эти данные и были использованы для проверки полезности параметра β_T , отражающего симметрию зубца Т.

Выявлено, что среднее значение параметра β_T существенно различалось в группе больных ИБС и контрольной группе [15, 16]. Важно отметить, что полученные средние значения симметрии зубца Т, рассчитанной на основании соотношения максимальных значений модуля производной слева и справа от вершины зубца Т, в группе пациентов и у здоровых волонтеров оказались очень близкими к значениям, полученным и в более ранних работах [17] и в современных работах других авторов [18], хотя мы, в отличие от них, использовали только одно отведение ЭКГ и своеобразный метод определения соотношения значений максимальных производных.

Следующим этапом исследований стало изучение диагностических возможностей выбранного параметра уже при однократной регистрации симметрии зубца Т, а в динамике. Прежде всего, исследовались закономерности изменений этого показателя у больных с острым коронарным синдромом [19, 20], а затем и в других клинических ситуациях, в педиатрической кардиологии, практике спортивной медицины, при эмоциональном стрессе [21–25]. Исследовалась связь симметрии зубца Т с внутрисердечной гемодинамикой, с респираторным коэффициентом при нагрузке и в эксперименте на животных [26–29]. Это позволило правильно интерпретировать тонкие изменения зубца Т, предложить алгоритм использования ПАК «Фазаграф» в разных ситуациях, прежде

всего для индивидуального использования [30]. Несомненно, имеется «ниша» для использования такого типа устройств, в частности ПАК «Фазаграф», что подтверждается практикой эксплуатации комплекса различными пользователями. Однако выявлены и существенные резервы для повышения ценности потребительских свойств подобных программно-аппаратных комплексов.

Анализ путей совершенствования портативных электрокардио- графических ПАК

Недостатки одноканальных электрокардиографических ПАК, подобных «Фазаграфу», можно разделить на 2 группы – те, которые можно устранить в рамках совершенствования одноканальных ПАК и те, для устранения которых требуется большее количество отведений. Пути устранения недостатков из первой группы обсуждены нами ранее [31, 32]. В настоящей статье остановимся на методах совершенствования миниатюрных электрокардиографических ПАК, связанных с увеличением количества отведений.

Основные недостатки одноканальных ПАК, принадлежащие ко второй группе, на наш взгляд, следующие. Амплитудно-временные параметры электрокардиограммы в I-м отведении, в том числе симметрия зубца Т, зависят от направления электрической оси сердца (угол α). В свою очередь, направление электрической оси сердца зависит от анатомических особенностей испытуемых. Нами проведено специальное исследование на эту тему, которое станет предметом отдельного сообщения.

Однако, главным недостатком является фундаментальное ограничение одноканальной электрокардиографии, а именно: I-е стандартное отведение отражает электрическую активность лишь части передне-боковой стенки левого желудочка. Если патологические изменения, в первую очередь ишемия, локализованы, например, в задней стенке левого желудочка, I-е отведение также может отреагировать, вследствие возникновения косвенных, реципрокных изменений, но во многих случаях останется неизменным. В том числе, часто не изменяется и симметрия зубца Т.

Целесообразно вкратце напомнить историю формирования общепринятой в настоящее время схемы регистрации и анализа ЭКГ в 12-ти отведениях. Долгое время в клинической электрокардиографии использовались лишь 3 биполярных отведения от конечностей, образующие во фронтальной плоскости треугольник Эйнтховена. Эти отведения сегодня называются стандартными. В 1942 году Голдбергер предложил усиленные однополюсные отведения от конечностей, которые дополняют три стандартные с точки зрения пространственного анализа электрической активности сердца, хотя они тоже расположены во фронтальной плоскости и в математическом смысле не являются независимыми от стандартных отведений. Несколько ранее, в середине 30-х годов прошлого века Ф. Вильсон предложил 6 грудных однополюсных отведений, которые более или менее широко вошли в практику к концу следующего десятилетия. Их клиническое значение проанализировано самим же Вильсоном в классической статье 1948 года

[33]. Ценность этих отведений по словам одного из создателей современной электрокардиографии в том, что «они незаменимы для обнаружения и дифференциации патологических изменений QRST комплекса. Они часто диагностируют патологию, когда отведения от конечностей остаются неизменными или неинформативными». Подчеркивается особое значение этих отведений в диагностике ишемии в передне-перегородочной области левого желудочка. Таким образом, отведения Вильсона, вошедшие в практику, повторим, с конца 1940-х годов прошлого столетия, увеличили чувствительность метода электрокардиографии к локальным изменениям в миокарде и, особенно, в отношении изменений в передней стенке. До этого времени стандартом была ЭКГ в 3-х, а позднее в 6-ти отведениях от конечностей. Иными словами, одноканальная ЭКГ не рассматривалась в качестве адекватного клинического инструмента даже в первые десятилетия развития электрокардиографии.

Эти сведения приведены здесь для того, что бы еще раз подчеркнуть важность четкого формулирования сферы применения и ограничений в использовании портативных одноканальных электрокардиографов.

Как уже говорилось, такие дефекты анализа ЭКГ только в одном отведении, как зависимость результатов от анатомических особенностей испытуемых, и, главное, недостаток «пространственной» информативности являются неустрашимыми. Поэтому считаем более целесообразным развитие миниатюрных устройств, позволяющих одновременно вводить и анализировать все 6 электрокардиографических отведений от конечностей. В этом случае для наложения электродов кроме двух рук необходимо использовать еще и левую ногу. Обычно используются электроды-браслеты. По размеру и простоте использования такие устройства практически не уступают одноканальным с использованием пальцевых электродов, а информацию дают значительно более полную и многостороннюю. Как уже указывалось выше, до конца 40-х годов такое исследование и являлось электрокардиографическим стандартом.

Методика 4-х уровневого анализа показателей ЭКГ

Ряд подходов по усовершенствованию миниатюрных электрокардиографических ПАК реализованы в разработанной нами концепции и программном обеспечении которое позволяет анализировать все 6 отведений от конечностей.

Программа анализа построена по иерархическому принципу. Она состоит из четырех уровней, которые приводятся далее в порядке возрастания.

1. Нижний уровень составляют множество отдельных показателей, описывающих:

- а) разнообразные аспекты variability ритма сердца;
- б) амплитудно-временные показатели, а также форму зубцов электрокардиограммы;
- в) наличие основных нарушений частоты, ритмичности и последовательности сокращений сердечной мышцы (иными словами – нарушения ритма сердца).

2. Второй уровень составляют группы родственных показателей, имеющие близкий физиологический смысл. Часть этих групп отражает в большей степени оперативное, т. е. мгновенное функциональное состояние сердечно-сосудистой системы. Эти группы показателей характеризуют немедленный адаптивный ответ на внешние стимулы. Другие группы показателей отражают в большей степени уровень функционального резерва, который может быть израсходован на адаптацию.

3. Третий уровень представлен тремя интегральными блоками, каждый из которых отражает разные стороны функционирования сердечно – сосудистой системы, которые можно оценить по ЭКГ. Это блоки оценки регуляции, состояния миокарда, диагностики нарушений ритма сердца.

4. Четвертый, наивысший уровень – это общий интегральный показатель функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

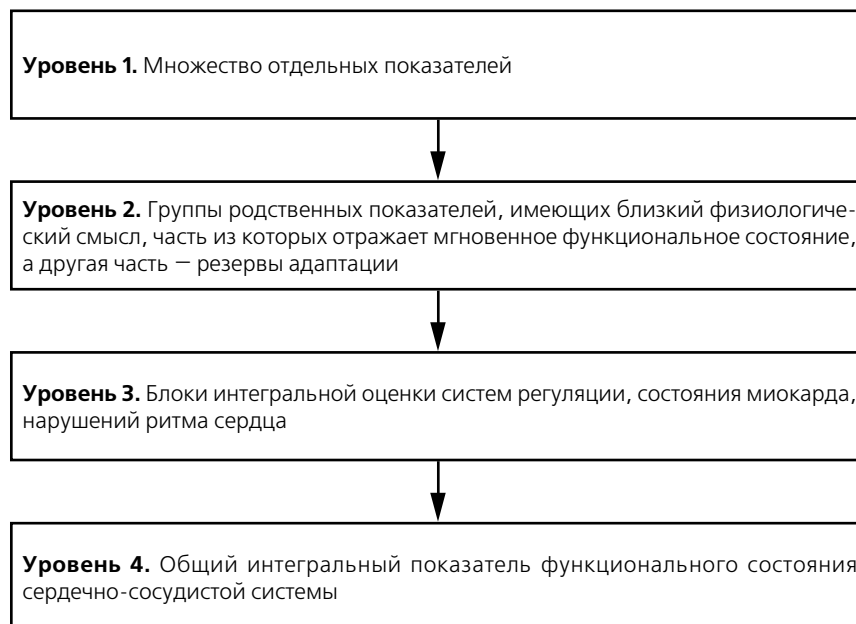


Рис. 1. Иерархическая 4-х уровневая структура анализа ЭКГ.

На блок-схеме 1 приведена вышеописанная иерархическая структура.

Многочисленные количественные параметры, которые детектируются программой и используются для анализа, измеряются в разных единицах (сек, мВ и др.) или являются безразмерными. Естественно, возникает проблема приведения данных к компактному и обозримому виду, удобному для получения выводов и принятия решений, т.е. применить так называемое «обезразмеривание» [34]. Для решения этой задачи используется метод функционального шкалирования. Применяется интервальная шкала от 0 до 100 условных единиц (баллов), которая разделена на 4 диапазона равной ширины: 0–25, 26–50, 51–75, 76–100. Эти диапазоны соответствуют 4 градациям состояния: норма, незначительные изменения, существенные изменения, выраженные изменения. Мы считаем целесообразным выделить именно 4-х градаций, так как это соответствует логике определения уровня функционального состояния организма, которая принята в теории донозологической диагностики [35].

При этом медианное значение диапазона нормальных значений каждого отдельного показателя в абсолютных величинах (например, в секундах) соответствует значению в 100 баллов применяемой нами интервальной шкалы функционального состояния. Под диапазоном нормальных значений понимаются количественно определенные границы или пределы функционирования организма, которые являются стандартом, эталоном. Верхние и нижние граничные значения показателей первого уровня в абсолютных единицах измерения, которые соответствуют градациям незначительных изменений, существенных изменений, выраженных изменений соответственно, также взяты из соответствующей научной литературы или получены самостоятельно при компьютерном моделировании электрического генератора сердца. Таким образом, для каждого показателя устанавливаются 4 интервала абсолютных значений, которые соответствуют 4 равным по ширине (по 25 баллов) диапазонам на примененной нами шкале функционального состояния. На следующем этапе, внутри каждого диапазона проводится процедура установления линейных связей между дискретными значениями показателей в абсолютных величинах и количеством баллов, которое соответствует данному дискретному значению. В результате, для каждого отдельного показателя первого уровня анализа, была получена линейная шкала соответствий между абсолютными значениями показателя и количеством баллов шкалы функционального состояния.

При переходе на более высокие уровни анализа (см. рис. 1) происходит обобщение и агрегация информации, полученной на предыдущем уровне. Это выражается в усреднении всех балльных значений всех параметров показателей предыдущего уровня, т.е. показатели первого уровня усредняются на втором уровне, второго — на третьем, третьего — на четвертом. Для наглядного отображения результатов нами применяется цветовое кодирование градаций функционального состояния, в соответствии с принципами, так называемой несколько расширенной «светофорной логики». Иными словами, диапазон нормальных значений окрашивается в зеленый цвет, диапазон незначительных изменений — в желтый, существенных изменений — в оранжевый. Четвертый диапазон, (диапазон выраженных изменений) окрашивается в красный цвет.

Комплексный индекс, имеющийся в этом программном обеспечении, сформирован на основе оценок общепринятых и оригинальных показателей variability ритма сердца, формы зубцов и комплексов электрокардиограммы. Диагностируются также ряд наиболее опасных и распространенных нарушений ритма сердца.

Наглядный интерфейс, построенный по принципу «светофорной логики», представляет результаты в форме, понятной

не только врачу, но и самому обследуемому и дает ему возможность принимать доступные даже в домашних условиях решения с целью коррекции своего функционального состояния, например, изменять режим труда и отдыха, вообще модифицировать образ жизни, и т.д.

Как уже упоминалось, регистрация ЭКГ с помощью миниатюрных электрокардиографических устройств призвана дать пациенту возможность объективной ежедневной оценки вне офиса врача своего функционального состояния на основе малых изменений в электрической деятельности сердца.

Нами предложена классификация миниатюрных электрокардиографических ПАК, основанная на 2-х критериях — количестве отведений и объеме информации предоставляемой пользователю [31, 32]. Эта классификация дает возможность врачу и даже пользователю-неспециалисту выбрать прибор того класса, который наиболее полно отвечает его потребностям.

Иные сферы применения портативных электрокардиографических ПАК с ограниченным числом отведений. Электрокардиографический скрининг

Существует тенденция, по крайней мере в русскоязычной литературе, позиционировать вышеописанные электрокардиографические ПАК как средства для кардиологического скрининга [36, 37]. Это психологически объяснимо — легкость проведения обследования с помощью таких приборов «провоцирует» разработчиков именно на такое их позиционирование.

Надо сказать, что вопрос о полезности электрокардиографического скрининга у лиц без симптомов заболеваний сердца даже с помощью электрокардиографии в 12-ти отведениях не является окончательно решенным. В 2011 году U.S. Preventive Services Task Force (USPSTF, Американская комиссия по задачам профилактических служб) высказалась против ЭКГ-скрининга у лиц с низким риском заболеваний сердца, заявив, что в поддержку проведения электрокардиографического скрининга у пациентов, не испытывающих симптомов заболеваний сердца, существует недостаточное количество убедительных данных [38]. Это еще в большей степени относится к электрокардиографии с меньшим числом отведений. Российские и украинские авторы стремятся «компенсировать» недостаток информативности использованием «особо ценных» параметров, таких как показатель β_T в фазовом пространстве или дисперсионное картирование. По-сути, эти параметры являются вариациями известных ранее дополнительных электрокардиографических показателей и подходов (симметрия зубца Т и изменчивость формы электрокардиограммы от комплекса к комплексу (beat-to-beat variability)). Автор настоящей статьи является горячим сторонником новых технологий анализа электрокардиограммы. Однако, собственные исследования последних лет, как и масштабные систематические исследования зарубежных коллег, заставляют нас существенно скорректировать вывод, сделанный ранее в работе [16] относительно методики использования мало-

канальных (особенно одноканальных) электрокардиографических ПАК (даже с применением «новых» электрокардиографических параметров) для кардиологического скрининга. Прежде всего, следует заметить, что такое электрокардиографическое исследование лишено специфичности, т.е. возможно проводить скрининг в терминах «норма»–«патология» а не в терминах каких-либо нозологических форм.

При этом надо помнить, что при исследовании с помощью портативного электрокардиографического прибора только в одном отведении, ценность имеет лишь патологический результат, т.е. выявление клинически значимых нарушений ритма сердца или очевидных патологических изменений амплитудно-временных параметров ЭКГ, например патологического зубца Q, уширения комплекса QRS или депрессии сегмента ST (заметим попутно, что существенное увеличение симметрии зубца T часто сочетается с депрессией сегмента ST). Результат нормальный или даже «промежуточный» по описанным выше причинам не свидетельствует об отсутствии патологии.

Ценность скринингового исследования проведенного с помощью 6-канального электрокардиографического прибора намного выше, хотя и к ним нужно относиться с осторожностью. Более высокая ценность 6-канального электрокардиографического обследования обусловлена двумя обстоятельствами:

- а) большая «пространственная» полнота ЭКГ-исследования;
- б) возможность использования последних достижений в анализе и интерпретации электрокардиограммы, которые описаны в первой части статьи.

Нами адаптированы для анализа ЭКГ в 6-ти отведениях такие высокоинформативные системы ЭКГ-кодирования как Миннесотский код, код Сильвестра, Current Injury Infaction Score, код Фройлихера и некоторые другие. Кроме того, оказывается возможным использовать такие технологии 4-го поколения как детальный анализ морфологии зубца T электрокардиограммы, высокочастотный анализ комплекса QRS, расчет угла QRS-T и некоторые другие. Конечно, возможности этих систем кодирования и технологий при анализе лишь отведений от конечностей используются далеко не в полном объеме, однако и диагностическая и прогностическая ценность такого исследования несравненно выше, чем при анализе лишь одного отведения.

Следует упомянуть, что в России подготовлены методические материалы, регламентирующие применение в профилактической медицине именно электрокардиограммы от конечностей.

Естественная сфера применения таких устройств это также спортивная медицина, медицина труда, санаторно-курортные учреждения, возможно учреждения первичного звена медицинской помощи.

Важно разъяснить пользователям-неспециалистам, что ЭКГ в одном и даже шести отведениях (хотя и в существенно меньшей степени) не заменяет полноценную ЭКГ в 12-ти отведениях.

Преимущества 12-ти канальной электрокардиограммы

«Стандартная» 12-ти канальная электрокардиограмма, имеет следующие преимущества:

- а) позволяет проводить общепринятый контурный анализ ЭКГ с формированием полного электрокардиографического заключения;

- б) увеличивает чувствительность электрокардиографического исследования особенно в отношении изменений в передней стенке;

- в) позволяет использовать системы кодирования ЭКГ и технологии анализа ЭКГ четвертого поколения в полном объеме;

- г) позволяет интерпретировать электрическую активность сердца не только во фронтальной, но и горизонтальной и сагиттальной плоскостях, реконструировать ортогональные отведения XYZ, анализировать некоторые дополнительные показатели, например, пространственный угол QRST.

Обсуждение оптимальной схемы применения различных электрокардио- графических ПАК. Электрокардиографический каскад

Информативность любого диагностического метода можно истолковать в рамках понятий «диагностическая ценность» и «прогностическая ценность».

Одноканальная электрокардиограмма имеет диагностическую ценность лишь в терминах донозологической диагностики — норма, предболезнь, патология (конечно, исключая диагностику нарушений ритма сердца), т.е. не является адекватным инструментом для клинической кардиологии. Также, доказанного должным образом с помощью инструментов доказательной медицины прогностического значения электрокардиограмма в одном отведении не имеет (в данной статье мы не рассматриваем возможности анализа вариабельности ритма сердца, а лишь анализ собственно электрокардиографических кривых).

Может показаться, что этот тезис противоречит уже упомянутым здесь нашим собственным исследованиям с помощью одноканального ПАК «Фазаграф». Однако цель этих исследований была лишь в том, что бы установить связи между симметрией зубца T в I-м стандартном отведении и разными аспектами состояния сердечно-сосудистой системы, определенными с помощью методов, которые являются «золотым стандартом». Такие связи оказались достоверными, что дает основание считать симметрию зубца T в одном отведении достаточно физиологически обоснованным параметром для донозологической диагностики функционального состояния. Однако, как и ожидалось, эти связи не были достаточно сильными для того, что бы такой тип ЭКГ-исследования мог выйти за пределы «ниши» донозологической диагностики.

Электрокардиограмма в 6-ти отведениях уже позволяет проводить морфологический анализ ЭКГ и делать ряд диагностических заключений, использовать элементы систем кодирования ЭКГ и дополнительных диагностических технологий, а также на основании нескольких параметров с доказанной предсказательной ценностью формировать прогностическое заключение в отношении возникновения серьезных сердечно-сосудистых событий.

Наконец, ЭКГ в 12-ти отведениях позволяет делать все возможные электрокардиографические заключения (в среднем их около 280, в разных версиях диагностических программ

это число несколько разнится), полностью использовать все дополнительные системы кодирования и диагностические технологии, формировать прогностическое заключение на основании всех параметров, имеющих диагностическую ценность (при условии реконструкции и анализа 3-х ортогональных отведений).

Следовательно, если принять во внимание классическое определение количества информации (информативности) как «меры уменьшения неопределенности знания при получении информационных сообщений», то становится очевидным, что при последовательном применении электрокардиографии в 1-м, 6-ти и 12-ти отведениях количество получаемой информации увеличивается.

Мы предлагаем использовать в этом контексте понятие электрокардиографического каскада, поскольку «каскад» подразумевает последовательную серию каких либо явлений. Понятие «каскада» можно отнести и к системе оказания медицинской помощи, которая делится на первичную, вторичную (специализированную), третичную (высоко специализированную). Ключевым является вопрос о соотношении типов электрокардиографического исследования (иными словами, составных частей электрокардиографического каскада) и уровней оказания медицинской помощи. Приводим таблицу, описывающую оптимальную, на наш взгляд, схему применения составных частей электрокардиографического каскада с указанием результата, который может быть получен на каждом уровне.

Конечно, описанный выше электрокардиографический каскад не является завершённым. Например, в данной статье не рассматриваются технологии электрокардиографического картирования (35 и более электрокардиографических отведений), которые предоставляют еще более полную информацию о состоянии сердца. Тем не менее, по нашему мнению, следование предложенной схеме позволит избежать опасных ошибок, связанных с неправильным использованием портативных электрокардиографических ПАК.

Литература

1. Stern S. Electrocardiogram: Still the Cardiologist's Best Friend // *Circulation* – 2006; 113: 753–756.
2. Carey M., Luisi A., Balda S. The Selvester QRS Score is More Accurate than Q Waves and Fragmented QRS Complexes Using the Mason-Likar Configuration in Estimating Infarct Volume in Patients with Ischemic Cardiomyopathy // *J Electrocardiol.* 2010; 43(4): 318–325.
3. Weir R. A., Martin T. N., Murphy C. A., Petrie C. J., Clements S., Steedman T., Dargie H. J., Wagner G. S. Comparison of serial measurements of infarct size and left ventricular ejection fraction by contrast-enhanced cardiac magnetic resonance imaging and electrocardiographic QRS scoring in reperused anterior ST-elevation myocardial infarction // *J Electrocardiol.* 2010; 43(3): 230–236.
4. Versteyleen M. O., Bekkers S. C., Smulders M. W., et al. Performance of angiographic, electrocardiographic and MRI methods to assess the area at risk in acute myocardial infarction // *Heart* – 2012; 98: 109–115.
5. Иванов Г. Г. Новые методы анализа электрокардиограммы // *Функциональная диагностика* – 2008 – № 4. – С. 67–71.
6. Сула А. С., Рябыкина Г. В., Гришин В. Г. Метод дисперсионного картирования ЭКГ. Биофизические основы метода дисперсионного картирования. // *Новые методы электрокардиографии* / Под ред. С. В. Грачева, Г. Г. Иванова, А. Л. Сыркина – М.: Техносфера, 2007. – С. 369–425.
7. Чайковский И. А. Амбулаторное мониторирование ЭКГ: новые информационные технологии и средства измерения // *Журнал АМН України.* – 2009. – Т. 15. – № 4. – С. 769–779.
8. Schijvenaars B. J., Van Herpen G., Kors J. A. Intraindividual variability in electrocardiogram // *J. Electrocardiol.* -2008; 41: 190–196.
9. Ратова Л. Г. Чазова И. Е. Самоконтроль артериального давления // *Consilium Medicum.* . – 2007. – Т. 9. – № 11. – С. 45–48.
10. Newby R. From Norman Jefferis «Jeff» Holter A Serendipitous Life: An Essay in Biography.– *Drumlummon Views–Fall, Montana.* 2008. – 224–256.

Табл. 1. Рекомендуемая схема применения составных частей электрокардиографического каскада.

Тип ЭКГ- исследования (количество отведений)	Уровень медицинской помощи	Результат исследования
1	Индивидуальное использование (в т. ч. лицами без медицинского образования)	донозологическая диагностика (функциональное состояние)
6	Первичная (а также медицина труда и спортивная медицина)	а) ограниченный набор ЭКГ-заключений; б) ограниченный прогноз риска внезапной сердечной смерти и других сердечно-сосудистых событий на основании ЭКГ; в) ограниченный анализ степени повреждения миокарда при инфаркте
12	Вторичная (специализированная)	а) полный набор ЭКГ-заключений; б) прогноз риска серьезных сердечно-сосудистых событий на основании ЭКГ; в) анализ степени повреждения миокарда при инфаркте
12+3 ортогональных (XYZ)	Третичная (высоко-специализированная)	а) полный набор ЭКГ-заключений; б) полный прогноз риска серьезных сердечно-сосудистых событий на основании ЭКГ; в) расширенный анализ степени повреждения миокарда при инфаркте; г) диагностика заболеваний сердца, прежде всего ИБС, при внешне мало измененной ЭКГ на основании диагностических технологий 4-го поколения

11. Di Bernardo D., Murray A. Computer model for study of cardiac repolarization // *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* – 2000; 11:895–899.
12. Фрумин Л. Л., Шарк М. Б. О фазовом портрете электрокардиограммы // *Автометрия* – 1993 – № 2. – С. 51–54.
13. Файнзильберг Л. С. Информационные технологии обработки сигналов сложной формы. Теория и практика. – Киев: Наукова Думка, 2008. – 333 с.
14. Krishnan S. M., Narayana Dutt D., Chan Y. W., Anantharaman V. Phase Space Analysis for Cardiovascular Signals // *Advances in Cardiac Signal Processing / Acharya U. R., Suri J. S., Spaan, J. A. E., Krishnan S. M. eds.* – Springer, 2007. – P. 339–354.
15. Fainzilberg L. S. Nova metoda interpretacji zapisu EKG w balaniach skrinigowych oraz w opiece domowej // *Zdrowie publiczne.* – 2005 – № 4. – P. 458–464.
16. Коваленко В. Н., Чайковский И. А., Файнзильберг Л. С., Стаднюк Л. С., Хайлер Б. Диагностическая ценность электрокардиографии в фазовом пространстве для скрининга ишемической болезни сердца // *Укр. кардіол. журн.* – 2007. – № 6. – С. 13–19.
17. Халфен Э. Ш., Сулковская Л. С. Клиническое значение исследования скоростных показателей зубца Т ЭКГ // *Кардиология.* – 1986. – № 6. – С. 60–62.
18. Давлетгильдеева З. Г. Клиническое значение исследования скоростных показателей зубца Т электрокардиограммы при функциональных нарушениях сердечной деятельности у детей // *International Journal on Immunorehabilitation.* – 2010. – № 2. – P. 216.
19. Чайковский И. А., Батушкин В. В., Файнзильберг Л. С., Стаднюк Л. А., Семергей Н. А., Чичерова Т. С., Холодник И. В. Эффективность оценки течения острого коронарного синдрома по данным анализа первого отведения ЭКГ на фазовой плоскости // *Журнал АМН України.* – 2007. – Т. 13. – № 1. – С. 104–113.
20. Чайковский И. А., Батушкин В. В., Файнзильберг Л. С., Гема А. И., Холодник И. В. Короткотривалий прогноз перебігу гострого коронарного синдрому за даними аналізу одноканальної ЕКГ у фазовому просторі та варіабельності ритму серця // *Лікарська справа.* – 2008. – № 1–2. – С. 57–63.
21. Чайковский И., Ломаковский А., Деяк С., Файнзильберг Л. С., Лутай М. Возможности анализа ЕКГ в фазовом пространстве в ходе нагрузочного теста // *Український кардіологічний журнал.* – 2009. – № 4. – С. 65–70.
22. Чабан, Т. І.; Чайковский, І. А.; Файнзильберг, Л. С.; Лихогра, І. П.; Лихогра, С. П.; Кухарев, О. В. Можливості аналізу електрокардіограми у фазовому просторі та варіабельності ритму серця в амбулаторних пацієнтів із гіпертонічною хворобою // *Укр. мед. часопис.* – 2009. – N 2. – С. 126–128.
23. Чайковский И., Лапшина И., Файнзильберг Л., Секретный В. Анализ ЕКГ в фазовом просторі як засіб контролю функціонального стану футболістів в змагальний період // *Спортивна медицина.* – 2011. – № 1. – С. 32–3.
24. Омельченко Л. И., Чайковский И. А., Ошлянська О. А., Файнзильберг Л. С. Нові підходи до скринінгового обстеження серця у дітей з патологією сполучної тканини. // *Современная педиатрия.* – 2010. – Т. 32. – № 4. – С. 117–121.
25. Chaikovsky I. Intraindividual variability of T-wave shape on electrocardiogram as indicator of stress // *Proc. of 33-rd international congress on electrocardiology (Kohn, Germany)* – 2006. – P. 28.
26. Чайковский И. А., Батушкин В. В., Файнзильберг Л. С., Гема А. В. Связь показателей внутрисердечной гемодинамики и параметров электрокардиограммы в фазовом пространстве у больных с острым инфарктом миокарда в ходе пробы с нитроглицерином // *Український кардіологічний журнал.* – 2010. – № 2. – С. 32–38.
27. Чайковский И., Крот Е., Фанзильберг Л. Связь показателей внутрисердечной гемодинамики по данным трансторакальной ЭхоКГ и показателей электрокардиограммы в фазовом пространстве // *Матеріали ХІ Національного конгресу кардіологів України. Український кардіологічний журнал.* – 2010. – № 4. – С. 84.
28. Chaikovsky I., Fainzilberg L. Correlation between respiratory coefficient and parameters of ECG in phase space during exercises in high-class athletes // *Матеріали ХІ Національного конгресу кардіологів України. Український кардіологічний журнал.* – 2010. – № 4. – С. 121.
29. Чайковский И. А., Нещерет О. П., Файнзильберг Л. С., Сагайдак Р. А. Дослідження функції серця при ішемії міокарда за допомогою нового методу обробки електрокардіограми // *Фізіол. журн.* – 2008. – 54, № 6. – С. 42–48.
30. Чайковский И. А., Файнзильберг Л. С. Медицинские аспекты применения устройства ФАЗАГРАФ в клинической практике и в домашних условиях. – Киев: МНУЦ ИТИС, 2009. – 74.
31. Чайковский И. Миниатюрные электрокардиографические программно-аппаратные комплексы: сфера применения, ограничения, перспективы развития // *Доповіді Національної Академії наук України.* – 2012. – № 5. – С. 180–187.
32. Чайковский И. Достоинства и недостатки портативных электрокардиографов с ограниченным числом отведений: для решения каких задач их использовать // *Кардиология: от науки к практике.* – 2013. – № 1-2. – С. 88–101.
33. Wilson F. N. The clinical value of chest leads // *Br. Heart J.* – 1948; 10(2): 88–91.
34. Антомонов М. Ю., Волощук Е. В. Конструирование интегральных показателей количественных признаков с помощью одномерных и многомерных методов статистики. Кибернетика и вычисл. техника. – 2012. – Вып. 167. – С. 61–68.
35. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Донозологическая диагностика в оценке состояния здоровья. // *Валеология, диагностика, средства и практика обеспечения здоровья.* СПб., Наука, 1993, с. 33–48.
36. Файнзильберг Л. С. ФАЗАГРАФ® — эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца // *Клиническая информатика и телемедицина.* – 2010. – Т. 6. – Вып. 7. – С. 22–30.
37. Использование прибора «КардиоВизор-Обс» для скрининговых обследований. Руководство для врачей. – М: 2004. – 23 с.
38. Chou R., Aroa B., Dana T.; Fu R., Walker M., Humphrey L. Screening Asymptomatic Adults With Resting or Exercise Electrocardiography: A Review of the Evidence for the U.S. Preventive Services Task Force // *Annals of Internal Medicine* – 2011. – Vol. 155. – № 6. – P. 375–385.

The analysis of the electrocardiogram in one, six and twelve leads in terms of information value: a electrocardiographic cascade

I. A. Chaikovsky

The V. M. Glushkov Institute of Cybernetics attached to National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine

Abstract

Recent advances in electrocardiography, the scope and substance of the information that can be obtained with the help of ECG- devices with different number of leads are analyzed. Particular attention is paid to the miniature electrocardiographic software and hardware systems. Based on our experience matters related to the optimal scope of such complexes, the necessary limitations, particularly for cardiac screening, the main directions of their improvement are discussed. The optimal in terms of information content sequence of varying complexity electrocardiographic devices use in successive levels of medical care.

Key words: electrocardiography, miniature hardware and software systems, electrocardiographic cascade, screening.

Аналіз електрокардіограми в одному, шести і дванадцяти відведеннях з точки зору інформаційної цінності: електрокардіографічний каскад

I. A. Чайковський

Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України, Київ

Резюме

Проаналізовано досягнення останніх років у електрокардіографії, обсяг і сутність інформації яка може бути отримана

за допомогою електрокардіографічних приладів з різним числом відведень. Особливу увагу приділено мініатюрним електрокардіографічним програмно-апаратним комплексам. На підставі власного досвіду дискутуються питання пов'язані з оптимальною сферою застосування таких комплексів, необхідними обмеженнями, особливо щодо кардіологічного скринінгу, основними напрямками їх вдосконалення. Запропоновано оптимальну з точки зору інформативності схема застосування електрокардіографічних пристроїв різної складності на послідовних рівнях надання медичної допомоги.

Ключові слова: електрокардіографія, мініатюрні програмно-апаратні комплекси, електрокардіографічний каскад, скринінг.

Переписка

к.м.н., PhD **И. А. Чайковский**

Институт кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины

просп. Академика Глушкова, 40

Киев, 03680, Украина

тел. +380 (44) 526 12 67

эл. почта: illya.chaikovsky@gmail.com

УДК 613.614:613.693

Исследование функционального состояния организма во время сна в условиях длительной невесомости. Космический эксперимент «Сонокард»

И. И. Фунтова, Е. С. Лучицкая, И. Н. Слепченкова, А. Г. Черникова, Р. М. Баевский
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

Резюме

Целью космического эксперимента «Сонокард» являлась разработка предложений по совершенствованию системы медицинского контроля за космонавтами на основе использования метода бесконтактного съёма физиологической информации в период сна. Космический эксперимент «Сонокард» в течение 2007–2012 гг. был проведен у 22 Российских космонавтов в 17 экспедициях на МКС.

В процессе выполнения эксперимента «Сонокард» методом сейсмокардиографии регистрировались микроколебания тела космонавта, связанные с сердечными сокращениями, дыханием и двигательной активностью. Важнейшей особенностью проводившегося космического эксперимента является использование бесконтактной методики регистрации физиологических функций, что обеспечивало простоту, комфортность и физиологичность исследований. Бортовой прибор «Сонокард» выполнен в виде компактного устройства, которое размещается в нагрудном кармане майки-футболки. Центральное место при анализе данных занимал анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР), позволяющий судить об уровне стресса, о вегетативной регуляции системы кровообращения. Впервые в условиях длительного космического полета получены данные о состоянии различных звеньев системы вегетативной регуляции в ночной период суток на разных этапах полета.

Ключевые слова: бесконтактный съём физиологической информации, микроколебания тела, сейсмокардиография, вегетативная регуляция, вариабельность сердечного ритма, сон, качество сна, степень напряжения, восстановленные функциональные резервы.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.59–74

Введение

Изучение цикла «сон–бодрствование» в новых для человека условиях длительного пребывания на борту космических объектов имеет важное практическое значение. Это обусловлено исключительной биологической ролью сна как восстановительной фазы в циклах жизнедеятельности организма. Несмотря на то, что изучению сна в условиях космического полета посвящено большое количество исследований [1], задача изучения эффективности восстановительных процессов в этих условиях является принципиально новой. Как известно, процессы восстановления во время сна сопровождаются смещением вегетативного баланса в сторону преобладания парасимпатического звена регуляции. Эти процессы могут контролироваться на основе использования методов анализа вариабельности сердечного ритма [2, 3].

До сих пор вегетативный баланс в космических полетах исследовался только в дневное время в течение рабочего дня. Здесь наряду с влиянием специфического фактора — невесомости на организм космонавта действуют «производственные» факторы, такие как психоэмоциональное напряжение и физические нагрузки (ежедневные физические тренировки). Изучить влияние невесомости «в чистом виде» можно только во время сна. Поэтому теоретический аспект данного исследования состоит в получении новых знаний относительно влияния невесомости на вегетативную регуляцию физиологических функций организма в условиях длительного космического

полета. Практический аспект заключается в изучении возможности оценки качества сна в невесомости, оценки эффективности восстановительных процессов, от чего в значительной мере зависит работоспособность человека и в целом его функциональное состояние. Здесь большое значение приобретает разработка простого и комфортного метода для изучения сна, поскольку существующая полисомнографическая методика из-за своей громоздкости (множество датчиков и электродов, сложность анализа информации) непригодна к практическому использованию в условиях космического полета.

Методы исследования и основные характеристики научной аппаратуры

Методика исследований

Важнейшей особенностью проводившегося космического эксперимента «Сонокард» является то, что использовалась бесконтактная методика регистрации физиологических функций, что обеспечивало простоту, комфортность

и физиологичность исследований. Бортовой прибор «Сонокард» является оригинальной отечественной разработкой, на которую оформлен патент [4]. Прибор «Сонокард» был доставлен на борт Международной космической станции в сентябре 2007 года. Первая запись была сделана 19 октября 2007 г. российским членом экипажа МКС-16.

Прибор выполнен в виде компактного устройства (210x140x18 мм), внутри которого расположены: датчик-акселерометр, усилительно-преобразовательное устройство, блок памяти, контроллеры для связи с внешним компьютером и источник питания.

Перед сном космонавт устанавливает прибор в кармане футболки и размещается в спальном мешке (рис. 1). После пробуждения он должен присоединить прибор к бортовому компьютеру и считать из памяти прибора, записанную в течение ночи информацию. Эти данные затем оперативно передаются на Землю по каналам Интернета, а перед возвращением на Землю перезаписываются на карту памяти типа PCMCIA для последующего более детального анализа полученных материалов в лабораторных условиях.

Во время исследования датчик прибора регистрирует микроколебания грудной стенки, являющиеся проявлением механической работы сердца. Одновременно воспринимаются и все другие колебания, обусловленные дыханием, двигательной активностью человека или внешними воздействиями (рис. 2). Поскольку эти посторонние колебания могут иметь амплитуду во много раз превышающую сигналы, связанные

с сердечными сокращениями, то получаемые итоговые записи, требуют специальной обработки для выделения полезной информации. Специализированное программное обеспечение «Согг» решает задачи распознавания и измерения непрерывного динамического ряда длительностей кардиоинтервалов в течение всего времени записи (в течение ночи). Для решения этой задачи был выбран метод эталонов, при котором строится кросскорреляционная функция текущего сигнала с выбранным типичным сейсмо- или баллистокардио-комплексом. Программа обеспечивает цифровую фильтрацию сигналов и затем распознавание отдельных комплексов и измерение временных интервалов между ними.

Наряду со своей главной задачей по построению кардиоинтервалограммы по всей ночной записи программа «Согг» обеспечивает также оперативное выделение и измерение длительности помех, в основном связанных с двигательной активностью (ДА). Расчет параметров ДА происходит автоматически на основе анализа мощности сигнала. Кроме того, программа осуществляет выделение и измерение дыхательных движений путем низкочастотной фильтрации сейсмо- или баллистокардиограммы. Специальная функция экспресс-анализа позволяет быстро получать данные о частоте пульса, частоте дыхания и двигательной активности обследуемого лица в течение ночи.

Космический эксперимент «Сонокард» в течение 2007–2012 гг. был проведен у 22 Российских космонавтов в 17 экспедициях на Международной Космической

Станции (МКС). Всего проведено 302 эксперимента, в том числе в предполетном периоде — 47, во время полета — 215 и в послеполетном периоде — 40. У каждого космонавта исследования проводились по 2–3 раза до полета, в ходе полета с 17 по 28 экспедиции по 2 раза в месяц, начиная с 28-й экспедиции — один раз в месяц и по 2 раза после полета.

Методики обработки полученных материалов

Центральное место при анализе данных бесконтактной регистрации физиологических сигналов занимает анализ variability сердечного ритма (ВСР). Программа «Согг» выделяет для анализа ВСР 5-минутные участки, свободные от двигательной активности и артефактов, и в каждом из них вычисляет стандартные временные и частотные показатели ВСР. Анализ и физиологическая интерпретация показателей ВСР проводились в соответствии с рекомендациями группы Российских экспертов [5] и стандартам Европейского общества кардиологов и Североамериканского общества по электростимуляции и электрофизиологии [6]. Анализ variability сердечного ритма (ВСР) — это современная методология и технология исследования и оценки функционального состояния организма и, в частности, состояния различных отделов вегетативной нервной системы. Космическая медицина была одной из первых областей науки и практики,

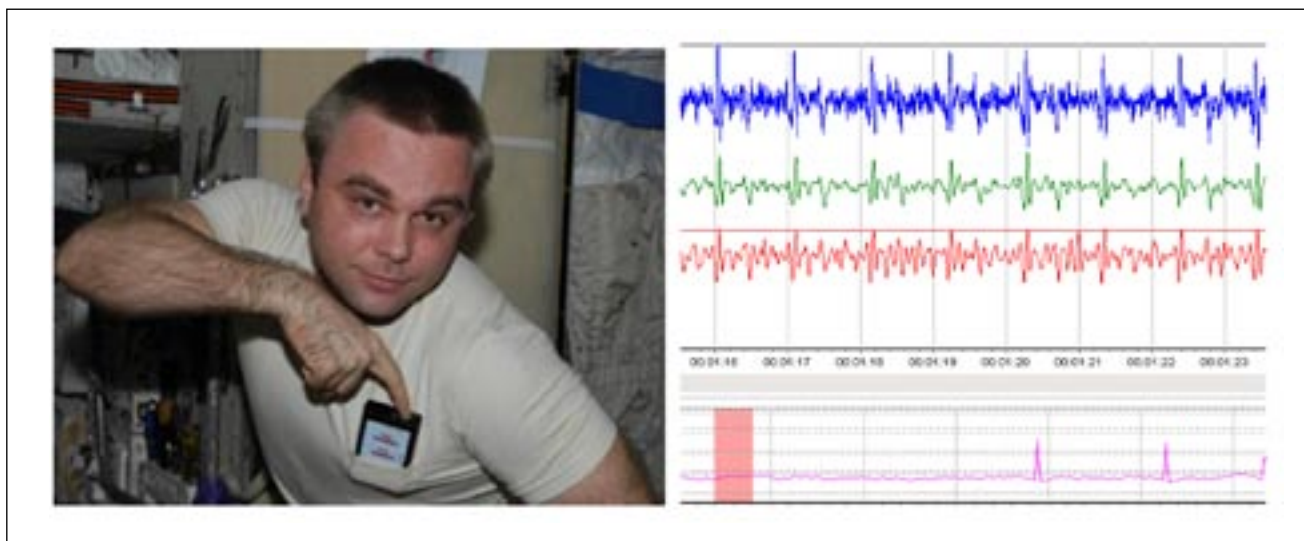


Рис. 1. Проведение научного эксперимента «Сонокард» на борту МКС (слева) и работа программного обеспечения по анализу сигналов (справа).

где анализ ВСР был использован для получения новой научной информации и решения задач медицинского контроля за человеком, выполняющим свою работу в экстремальных условиях [7, 8, 9, 10, 11]. Поскольку систематические исследования функционального состояния организма во время сна в условиях длительной невесомости проводятся впервые, специальное внимание было обращено на индивидуальные особенности вегетативной регуляции функций.

Результаты исследований

1. Динамика средних значений комплекса физиологических показателей во время сна на разных этапах полета

В табл. 1 представлены средние значения основных показателей анализа ВСР в эксперименте «Сонокард». Как следует из этих данных среднепогодные изменения частоты пульса были значительно ниже во время полета и достоверно более высокими в послеполетном периоде. Анализ показывает, что в полете наблюдаются статистически значимые изменения вегетативного баланса. Снижается активность парасимпатического звена регуляции (HF), растет активность подкоркового симпатического сосудистого центра (LF), уменьшается мощность звеньев энерго-метаболического звена регуляции (VLF).

Эти изменения суммируют данные, полученные у всех 22-х членов экипажей МКС и свидетельствуют об общих тенденциях. Послеполетные изменения более отчетливо и с более высокой достоверностью указывают на рост частоты пульса и изменение вегетативного баланса в сторону активного преобладания тонуса симпатического звена регуляции (рост Ин; LF, % и VLF, %; уменьшение рNN50 и HF, %).

В табл. 2 представлены средненочные значения всех основных показателей на разных этапах полета (до полета, на каждом месяце полета и после полета).

До полета измерения проводились дважды (за два месяца до полета и за 2–3 недели до старта). Как следует из таблицы, различия в значениях всех изме-

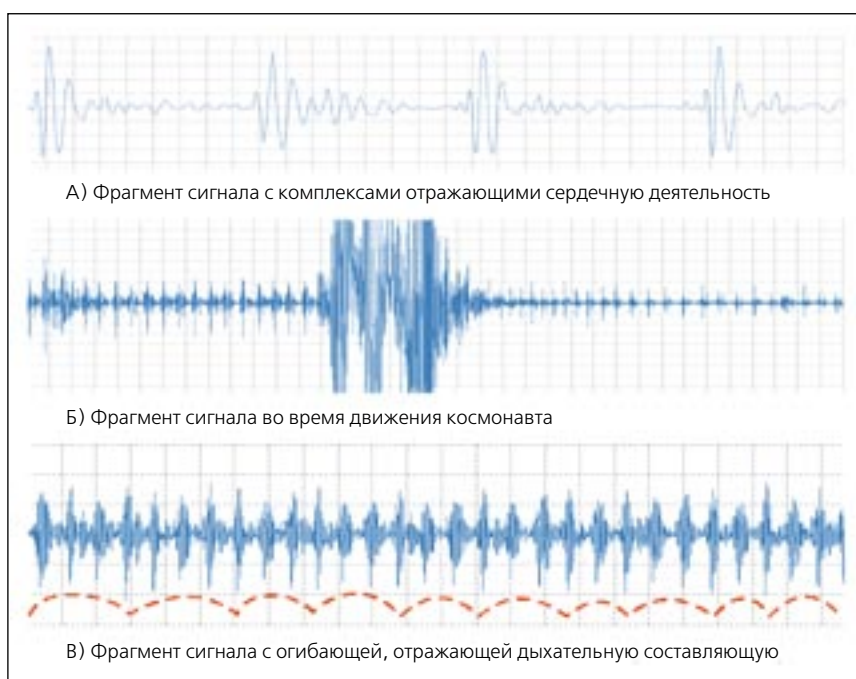


Рис. 2. Фрагменты сигналов, отражающие различные физиологические процессы.

Табл. 1. Средние значения основных показателей анализа ВСР в эксперименте «Сонокард».

Этапы полета	ЧП	Ин	рNN50	HF, %	LF, %	VLF, %
До полета	58,18	90,90	18,66	27,15	42,65	29,8
Полет	55,81*	91,5	18,2	23,9*	48,55*	27,5*
После полета	68,55**	150,14**	9,73**	18,36**	50,31**	31,26**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

рявшихся показателей между 1-м и 2-м измерениями статистически незначимы. Для сравнения с полетными и послеполетными данными были выбраны результаты второго, более близкого к старту измерения.

В полете средненочные данные многих показателей статистически достоверно изменяются. В первый месяц пребывания в невесомости достоверно уменьшается частота пульса и учащается частота дыхания (уменьшается продолжительность дыхательного цикла). Во втором месяце полета отмечается только статистически достоверное уменьшение двигательной активности космонавтов во время сна. Начиная с 3-го месяца и до конца полета отмечается достоверный рост относительной мощности спектра низкочастотных колебаний ВСР, которые отражают

активность симпатического сосудистого центра [5]. С 4-го месяца и до конца полета отмечается достоверное учащение дыхания.

5-й и 6-й месяцы полета показывают достоверное снижение относительной мощности высокочастотных колебаний ВСР, что указывает на рост активности симпатического звена вегетативной регуляции. На 5-м месяце достоверно снижается двигательная активность во время сна.

В послеполетном периоде наблюдаются статистически значимые изменения практически всех показателей. Частота пульса учащается и на 1-е и на 4-е сутки после приземления. Отчетливый сдвиг вегетативного баланса в сторону преобладания активности симпатической нервной системы проявляется уменьше-

Табл. 2. Среднечасовые значения основных показателей ВСР при проведении космического эксперимента «Сонокард».

		ЧСС	SDNN	pNN50	SI	TP	HF, %	LF, %	VLF, %	ЧД	ДА, мин	ДА, %
До полета-1	M	56,44	59,17	25,64	78,85	2848,56	27,93	42,77	29,26	13,79	9,21	2,26
	σ	7,39	18,49	16,27	55,38	1529,60	10,18	8,06	8,23	1,77	4,16	0,92
	m	1,79	4,48	3,95	13,43	370,98	2,47	1,96	2,00	0,43	1,20	0,22
До полета-2	M	58,31	56,28	20,18	93,40	2963,26	26,98	41,95	29,69	13,84	9,59	2,20
	σ	6,95	18,78	14,23	61,98	1938,85	8,61	6,86	7,70	2,35	4,38	1,08
	m	1,52	4,10	3,11	13,53	423,09	1,88	1,50	1,68	0,51	1,09	0,24
1-й месяц полета	M	54,95*	54,85	21,99	83,44	2683,17	25,16	43,56	29,60	11,37*	9,45	2,21
	σ	7,83	19,23	13,82	60,34	1551,43	11,07	11,06	9,23	2,67	5,18	1,61
	m	1,34	3,30	2,37	10,35	266,07	1,90	1,90	1,58	0,49	1,13	0,28
2-й месяц полета	M	56,46	56,65	21,69	80,57	2752,74	23,45	46,41	28,59	12,17	7,67*	2,01
	σ	7,78	18,81	14,44	48,25	1367,29	8,56	9,72	7,77	1,77	3,81	0,91
	m	1,33	3,23	2,48	8,27	234,49	1,47	1,67*	1,33	0,32	0,78	0,16
3-й месяц полета	M	56,04	53,11	21,86	85,19	2413,19	24,76	45,18*	27,22	12,02	7,46*	1,95
	σ	7,08	18,41	13,62	46,20	1266,62	9,14	10,18	7,46	1,82	3,62	1,07
	m	1,25	3,25	2,41	8,17	223,91	1,62	1,80	1,32	0,33	0,83	0,19
4-й месяц полета	M	56,14	54,23	19,92	81,81	2574,84	23,49	46,38*	27,72	11,66*	8,02	1,86
	σ	7,31	17,59	12,20	43,36	1270,73	10,60	9,87	7,31	2,27	3,35	0,87
	m	1,20	2,89	2,01	7,13	208,91	1,74	1,62	1,20	0,38	0,68	0,15
5-й месяц полета	M	55,54	55,78	20,41	80,38	2942,53	21,51*	47,53*	28,65	11,30*	8,68	2,12
	σ	7,08	17,69	12,61	49,72	1533,27	6,53	8,96	6,06	2,97	3,99	1,12
	m	1,21	3,03	2,16	8,53	262,95	1,12	1,54	1,04	0,52	0,89	0,19
6-й месяц полета	M	56,24	58,19	23,13	77,52	2860,02	22,93*	45,03*	29,87	11,42*	6,11*	1,52*
	σ	7,13	19,70	13,47	49,67	1734,79	7,91	7,28	8,18	2,23	1,87	0,87
	m	1,46	4,02	2,75	10,14	354,11	1,62	1,49	1,67	0,46	0,66	0,18
После полета-1	M	68,70*	46,43*	11,16*	157,65*	2013,33*	17,00*	51,00*	33,69	14,58	10,57	2,26
	σ	11,25	20,74	13,71	105,99	1441,85	6,58	10,27	9,79	2,60	5,28	1,00
	m	2,65	5,03	3,33	25,71	349,70	1,60	2,49	2,37	0,63	1,52	0,24
После полета-2	M	64,03*	46,64:*	10,49:	131,28*	2175,42*	21,52*	48,72*	29,77	14,13	9,80	2,42
	σ	8,33	14,96	9,34	79,33	1302,20	5,17	5,84	6,83	1,86	3,39	0,87
	m	2,15	4,00	2,50	21,20	348,03	1,38	1,56	1,83	0,50	0,94	0,23

нием величины показателя pNN50 и ростом индекса напряжения регуляторных систем (стресс индекс – SI). При этом достоверно уменьшается суммарная мощность спектра ВСР (TP). Достоверные изменения относительных мощностей спектра ВСР в диапазонах высоких (HF) и низких частот (LF) являются еще

одним признаком увеличения активности симпатического звена вегетативной регуляции.

На рис. 3 представлены графики динамики среднечасовых значений частоты пульса, показателей ВСР, частоты дыхания и двигательной активности на разных этапах космического полета

у Российских членов экипажей МКС (экспедиции 16–32). Они позволяют наглядно проследить обобщенную картину физиологических изменений во время ночного сна в условиях длительной невесомости. На рис. 3А видно, что изменения частоты пульса заметны только в начале полета и отмечается ее значи-

тельный рост в послеполетном периоде. При этом существенно снижается и суммарная вариабельность сердечного ритма (SDNN). Здесь представляет интерес также динамика суммарной мощности спектра ВСП (TP). Этот показатель достоверно уменьшается только в послеполетном периоде, но тенденции его изменений показывают, что в середине полета (на 3–4-й месяцы пребывания в условиях невесомости) отмечается снижение TP, демонстрирующее тенденцию к снижению функциональных резервов регуляторных механизмов.

На рис. 3Б представлена динамика показателей pNN50 и SI, которые отражают соответственно суммарную активность парасимпатического и симпатического звеньев вегетативной регуляции. Их изменения в полете не имеют отчетливой динамики, но в послеполетном периоде хорошо демонстрируют существенный сдвиг вегетативного баланса в сторону роста активности симпатического звена. Увеличение активности симпатических

звеньев механизма вегетативной регуляции во время полета наблюдается на графиках рис. 3В, где видны отчетливый рост LF и уменьшение HF.

Динамика частоты дыхания (рис. 3Г) показывает тенденцию к учащению в полете и урежению в послеполетном периоде. Двигательная активность во время сна (на том же рис. 3Г) в середине полета и особенно в его конце снижается.

Таким образом, средние ночные данные, полученные в условиях длительного космического полета, показывают, что невесомость статистически достоверно вызывает активацию симпатического звена вегетативной регуляции и небольшое увеличение частоты дыхания. Двигательная активность космонавтов во время сна постепенно снижается, что косвенно свидетельствует о снижении нервно-мышечного напряжения. Однако индивидуальные адаптационные реакции членов экипажа в полете характеризуются значительным разнообразием, которое зависит от типа вегетативной регуляции.

2. Исследование индивидуальных особенностей вегетативного баланса

В табл. 3 представлены средние значения показателей ВСП до, во время и после полета в пяти различных по типу вегетативной регуляции группах космонавтов.

Как видно из табл. 4 из 22-х исследованных членов экипажей МКС наибольшей была группа с нормо-ваготоническим (НВ) типом регуляции (8 человек). По 6 человек насчитывают группы с ваготоническим (В) и нормотоническим (Н) типами регуляции и по 1 человеку имеют нормо-симпатотонический (НС) и симпатотонический (С) типы регуляции. В табл. 5 представлены средние значения показателей ВСП на разных этапах полета для каждого из типов вегетативной регуляции.

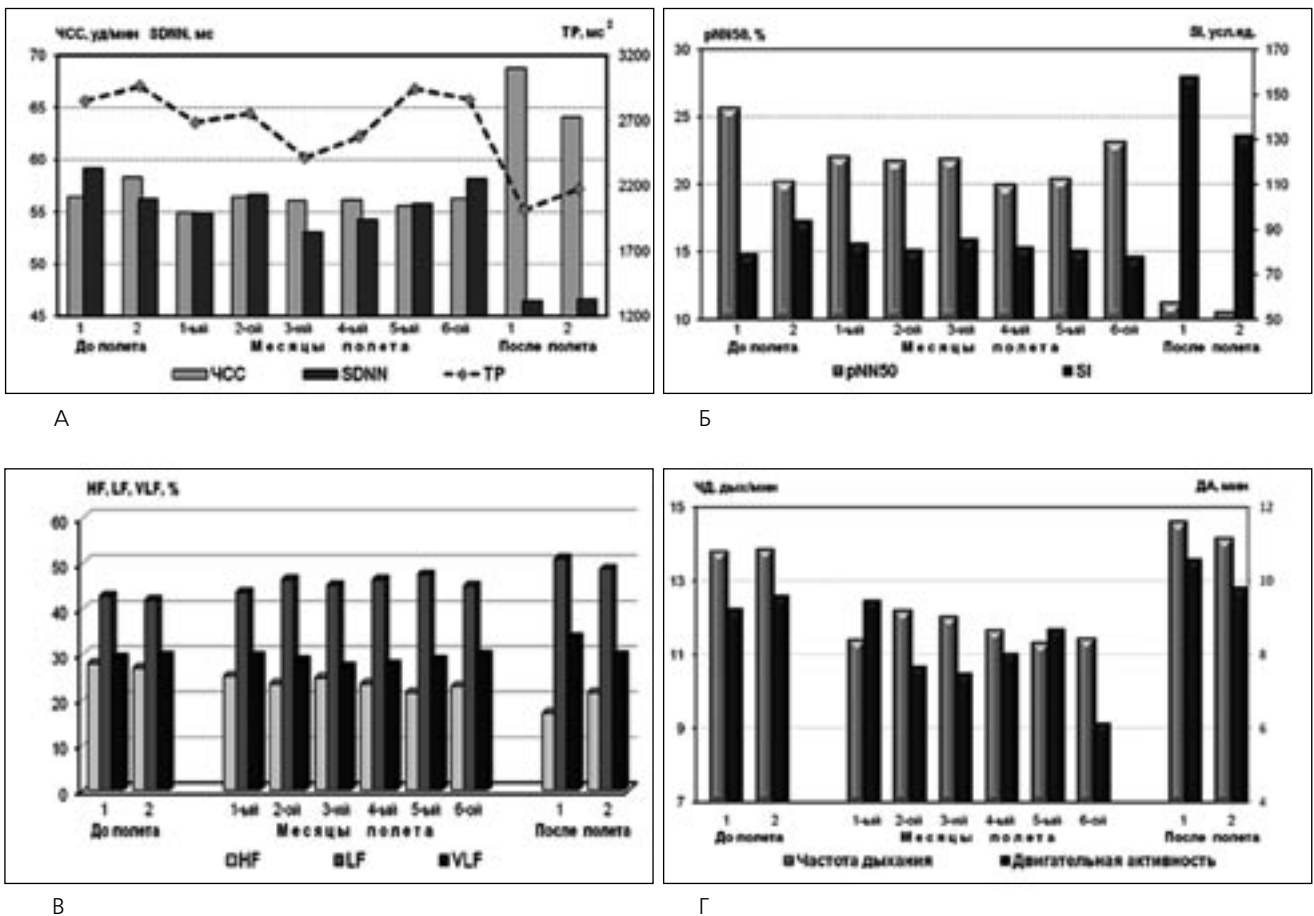


Рис. 3. Графики динамики средненочных значений частоты пульса, показателей ВСП, частоты дыхания и двигательной активности на разных этапах космического полета у Российских членов экипажей МКС (экспедиции 16–32).

Табл. 3. Средние значения показателей ВСП на разных этапах космического полета у космонавтов с различными типами вегетативной регуляции.

Типы регуляции		ЧП	Ин	pNN50	HF, %	LF, %	VLF, %	n
В	До полета	52,6	80,6	22,83	26	45	29	6
	В полете	47,6*	64,8*	21	21*	49,4*	29,8	
	После полета	63,4*	104,8*	12,8*	17,4*	47,2	35,2*	
НВ	До полета	57,5	73,8	20,2	28,2	40,4	31,2	8
	В полете	54*	65,3	22,5	26,5	48	25,4*	
	После полета	63,3*	94,8*	15*	19,5*	50,8	29,5	
Н	До полета	63	134,1	11,1	26,6	43,3	28,6	6
	В полете	61	124,3	12	25,3	48	26,3	
	После полета	75,4*	240*	8,2*	19*	51,6	29,4	
НС	До полета	58	48	28	36	41	23	1
	В полете	69	121	8	22	51	27	
	После полета	97	363	0	10	56	34	
С	До полета	68	72	18	19	44	37	1
	В полете	75	234	0,5	13	49	38	
	После полета	73	202	3	20	50	30	

Табл. 4. Определение типа вегетативной регуляции по средней частоте пульса в условиях длительной невесомости.

Типы вегетативной регуляции	Средняя частота пульса в условиях невесомости, уд/мин
В (ваготонический)	50 и меньше
НВ (нормо-ваготонический)	51–60
Н (нормотонический)	61–65
НС (нормо-симпатотонический)	66–70
С (симпатотонический)	Выше 70

Как видно из представленных данных, космонавты с разными типами вегетативной регуляции по-разному реагируют на условия длительной невесомости. У космонавтов с ваготоническим типом регуляции в полете отмечается статистически достоверное снижение частоты пульса, индекса напряжения, и относительной мощности спектра ВСП в высокочастотном диапазоне (HF, %). В низкочастотном диапазоне (LF, %) мощность спектра ВСП достоверно растет. При нормо-ваготоническом типе вегетативной регуляции определяется достоверное снижение частоты пульса

и относительной мощности спектра ВСП в очень низкочастотном диапазоне (VLF, %). В группах с нормотоническим типом регуляции достоверных изменений показателей ВСП в полете не выявляется. Таким образом, адаптационные реакции во всех группах имеют одинаковую направленность, но их выраженность максимальна у космонавтов с ваготоническим типом регуляции.

Предварительное разделение на группы проводилось по индивидуальным значениям частоты пульса, усредненным за весь период пребывания в условиях невесомости (табл. 4).

Что касается космонавтов с нормо-симпатотоническим и симпатотоническим типами регуляции, то направленность их реакций аналогична остальным группам, но реакции выражены более резко, а изменения индекса напряжения, pNN50, HF, % и LF, % указывают на высокую активацию симпатического отдела вегетативной нервной системы.

В послеполетном периоде реакция всех космонавтов была однозначной, но с разной степенью выраженности. Наиболее выраженной была реакция у космонавтов с нормотоническим типом регуляции.

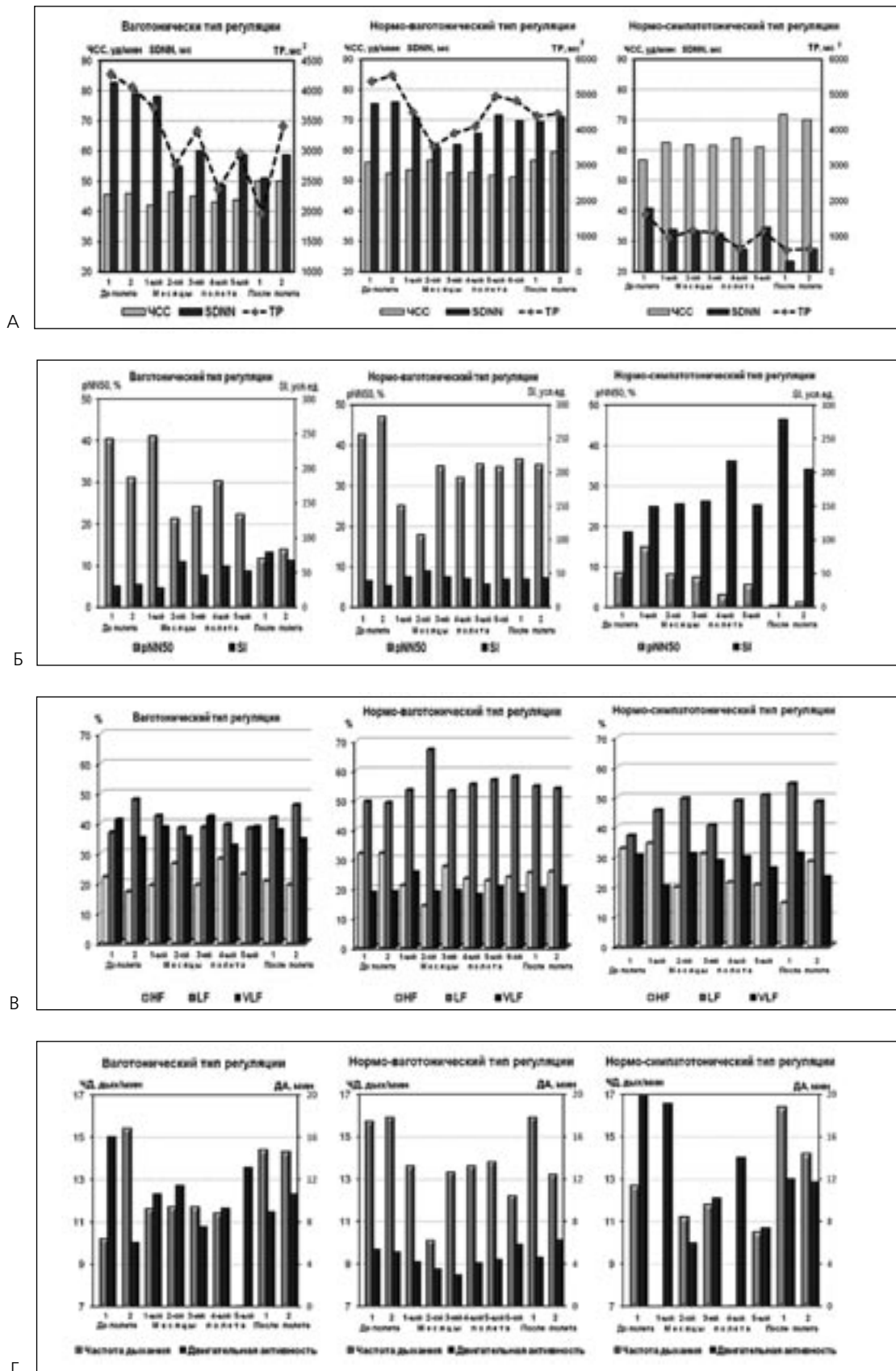


Рис. 4. Образцы индивидуальных реакций космонавтов с различными типами вегетативной регуляции на разных этапах космического полета. В — ваготонический тип вегетативной регуляции, НВ — нормо-ваготонический тип вегетативной регуляции, НС — нормо-симпатотонический тип вегетативной регуляции.

На рис. 4 представлены образцы индивидуальных реакций космонавтов с различными типами вегетативной регуляции на разных этапах космического полета. Здесь сопоставлены графики, полученные по данным исследований космонавтов К1, К2 и К3, которые относятся к типам регуляции В, НВ и НС соответственно. Графики ЧСС и SDNN (рис. 4А) показывают, что у НВ выше, чем у В, не только ЧСС, но и SDNN. Однако, у НС при еще более высокой частоте пульса величина SDNN ниже. Представленный на графиках одновременно и показатель TP, который характеризует относительный запас функциональных резервов регуляторного механизма, показывает, что он наиболее высок в полете у НВ и наиболее низкий у НС.

Это объясняет, почему у НС наиболее высокая ЧСС. По-видимому, высокая активность симпатической системы ведет к повышенному расходованию функциональных резервов, что компенсаторно проявляется повышением ЧСС. Это подтверждается графиками на рис. 4Б. Здесь видно, что у НС отмечаются наиболее высокие значения SI и очень низкие значения rNN50, что свидетельствует о значительном сдвиге вегетативного баланса в сторону симпатического звена регуляции. Соответственно у НВ по сравнению с В более высокие значения SI и более низкие значения rNN50. Спектральный анализ ВСР (рис. 4В) показывает, что у космонавта с ваготоническим типом вегетативной регуляции по сравнению с другими космонавтами наблюдается самое высокое значение относительной мощности очень высокочастотных колебаний (VLF, %). Вместе с высоким значением LF, % это указывает на сравнительный рост индекса централизации, т. е. на значительное

преобладание активности центрального контура регуляции над автономным, что не является характерным для ваготоников. Это можно объяснить только активацией надсегментарных структур, обеспечивающих мобилизацию функциональных резервов организма.

На рис. 4Г представлены данные о частоте дыхания и двигательной активности. Видно, что нормо-симпатотоник отличается более высокой частотой дыхания и повышенной двигательной активностью во время сна.

3. Оценка процессов восстановления функциональных резервов организма во время сна в условиях невесомости

Качество сна и эффективность процессов восстановления функциональных резервов могут быть оценены путем сопоставления данных первого и последнего часа сна. Даже по изменениям ЧСС видно, что разностные значения показателей дают важную информацию о качестве сна. (рис. 5). Более информативными являются показатели variability сердечного ритма. Как известно, ночь – это царство вагуса. Во время сна усиливается активность парасимпатической системы, которая минимизирует расходование функциональных ресурсов организма и содействует их восстановлению. Защитно-восстановительная функция парасимпатической системы очень важна для людей, выполняющих свою профессиональную деятельность в условиях

стрессорного воздействия факторов окружающей среды. Поэтому представляет большой интерес оценка изменений вегетативной регуляции в течение ночи на разных этапах полета.

Для определения возможности оценки качества сна по разностным значениям показателей variability сердечного ритма были проведены специальные сравнительные исследования с использованием метода полисомнографии [12].

Изучалась взаимная корреляция между показателями полисомнограммы и результатами анализа ВСР. При этом учитывались следующие показатели полисомнограммы: индекс сна, длительность засыпания, длительность бодрствования, эффективность сна, длительность стадии быстрого сна, число циклов сна. По данным анализа ВСР вычислялись: разностные значения ЧСС, SDNN, rNN50, SI. Показано, что наиболее высокая корреляция отмечается между данными полисомнографии и показателями активности симпатического (SI) и парасимпатического (rNN50) звеньев регуляции.

На рис. 6 приводятся графики динамики показателей rNN50 и SI, отражающих, соответственно состояние парасимпатической и симпатической систем регуляции. Приводятся данные двух членов экипажа (К1 и К2) одной экспедиции на МКС, находившихся в течение полета в одинаковых условиях. Эти графики показывают, что у каждого из космонавтов был свой индивидуальный тип реагирования на воздействие факторов длительного космического полета. Космонавт 1 до полета отличался более низкими значениями rNN50 и более высокими значениями SI. Эти различия сохранялись и во вре-

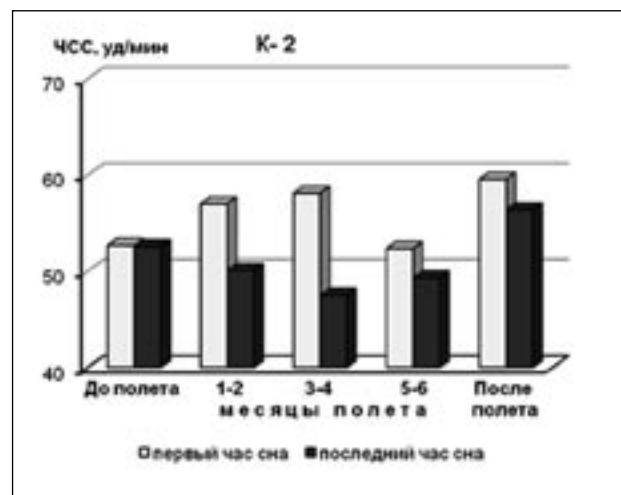
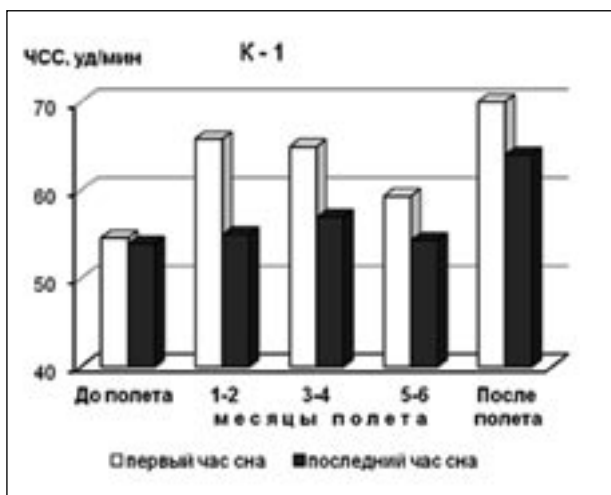


Рис. 5. Вечерние и утренние значения ЧСС у двух членов (К1 и К2) одного экипажа на разных этапах полета.

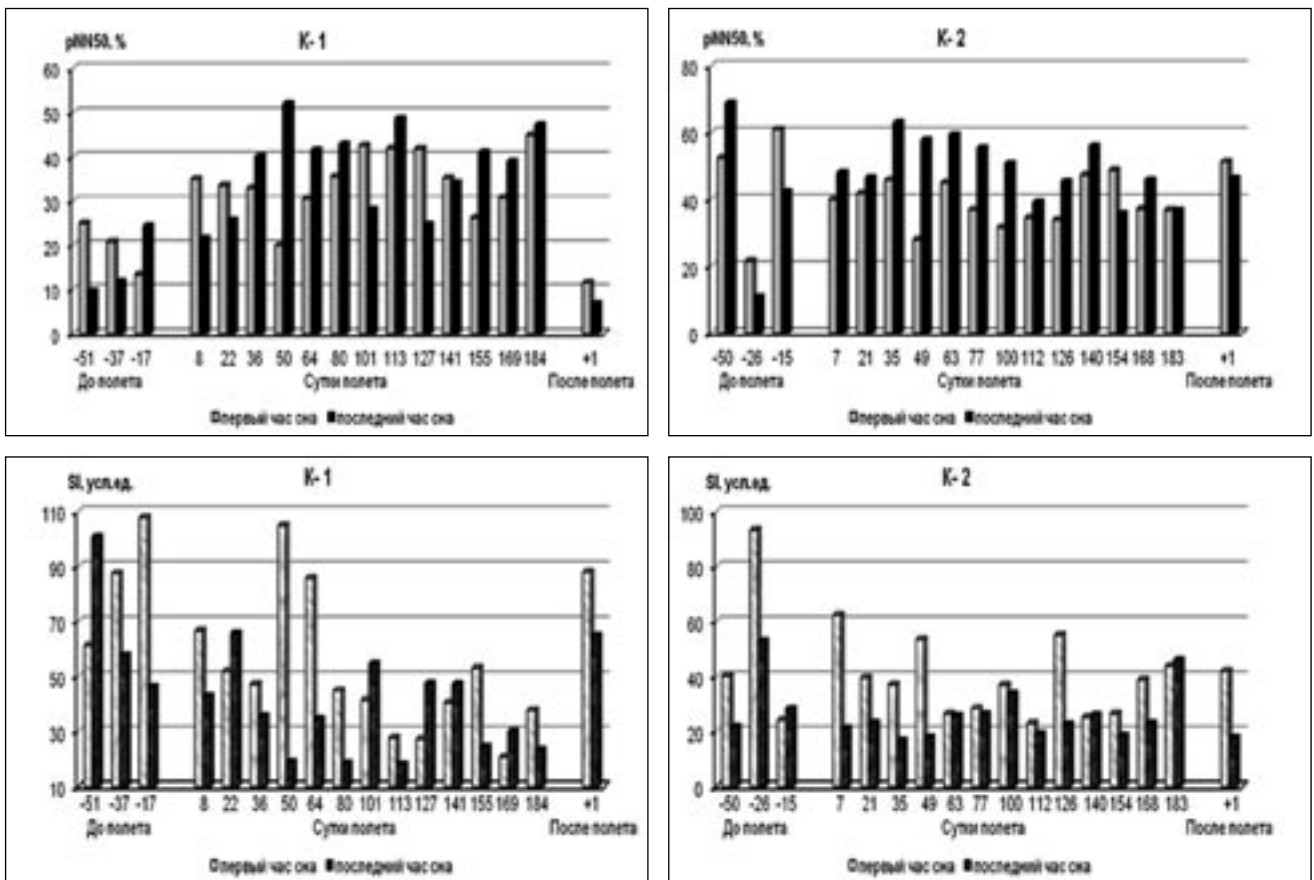


Рис. 6. Изменения показателей $rNNS50$ и SI у двух членов экипажа (K1 и K2) одной экспедиции в начале ночи (светлые столбики) и в конце ночи (темные столбики) на разных этапах длительного космического полета.

мя полета. При этом различия между вечерними и утренними значениями этих показателей также имели индивидуальные особенности. У космонавта 1 более выраженными были изменения SI , а у космонавта 2 — изменения $rNNS50$. Эти изменения были наиболее выраженными на 2–3-м месяцах полета. Снижение SI в утренние часы отражает результат процессов восстановления, протекающих в течение ночи. Степень этого снижения в определенной степени характеризует качество сна как восстановительного процесса.

Как видно из представленных данных, у 1-го космонавта в отдельные дни (на 36-е сутки полета, а также на 113-е, 141-е, 155-е и 184-е сутки) наблюдались случаи более высокого по сравнению с вечером утреннего значения SI . Это может указывать на недостаточное восстановление функциональных резервов и, возможно, на развитие утомления. У 2-го космонавта подобная картина наблюдалась лишь в конце полета (на 183 сутки).

Изменения показателя $rNNS50$ в течение ночи у 1-го космонавта на 8-е и 22-е сутки полета характеризовались снижением его значений в утренние часы.

В дальнейшем $rNNS50$ был всегда выше в утренние часы, кроме 101-х и 127-х суток. У 2-го космонавта показатель $rNNS50$ в течение всего полета в утренние часы имел более высокие значения. Рост $rNNS50$ и снижение SI являются признаками смещения вегетативного баланса в сторону преобладания парасимпатического звена регуляции. В начале 2-го месяца пребывания в условиях невесомости у 1-го космонавта к концу ночи были повышены значения SI , и снижены значения $rNNS50$. Такое сочетание изменений, указывающее на активацию симпатического звена регуляции в утренние часы можно интерпретировать как результат активации подкорковых нервных центров со стороны надсегментарных отделов мозга. Это результат «вмешательства» более высоких уровней управления в работу нижележащих нервных центров, которое может быть обусловлено ослаблением адаптационного механизма.

Подтверждением этой гипотезы может служить уменьшение суммарной мощности спектра ВСП (ТР) — показателя, который отражает общую активность регуляторного механизма и соответ-

ственно его резервные возможности (рис. 7). До полета средние значения ТР у 1-го космонавта колебались от 960 мс² в начале ночи до 1200 мс² в конце ночи. У 2-го космонавта соответственно значения ТР были 1320 и 2370 мс². Эти различия отражают разные функциональные резервы систем регуляции, которые вероятнее всего связаны с индивидуальным типом вегетативной регуляции. Во время полета в подавляющем большинстве случаев к концу ночи отмечалось увеличение ТР, что отражает закономерный рост функциональных резервов регуляторного механизма как результат процессов восстановления. Однако у 1-го космонавта на 22-е, 101-е и 127-е сутки полета величина ТР к концу ночи снижалась. Именно в эти дни отмечались неадекватные изменения либо SI (на 101-е сутки), либо $rNNS50$ (на 22 и 127-е сутки). По-видимому, снижение ТР как результат активации высших вегетативных центров, было обусловлено влиянием надсегментарных структур на подкорковые нервные центры.

Представленные на примере одного экипажа результаты оценки качества сна в условиях космического полета дают

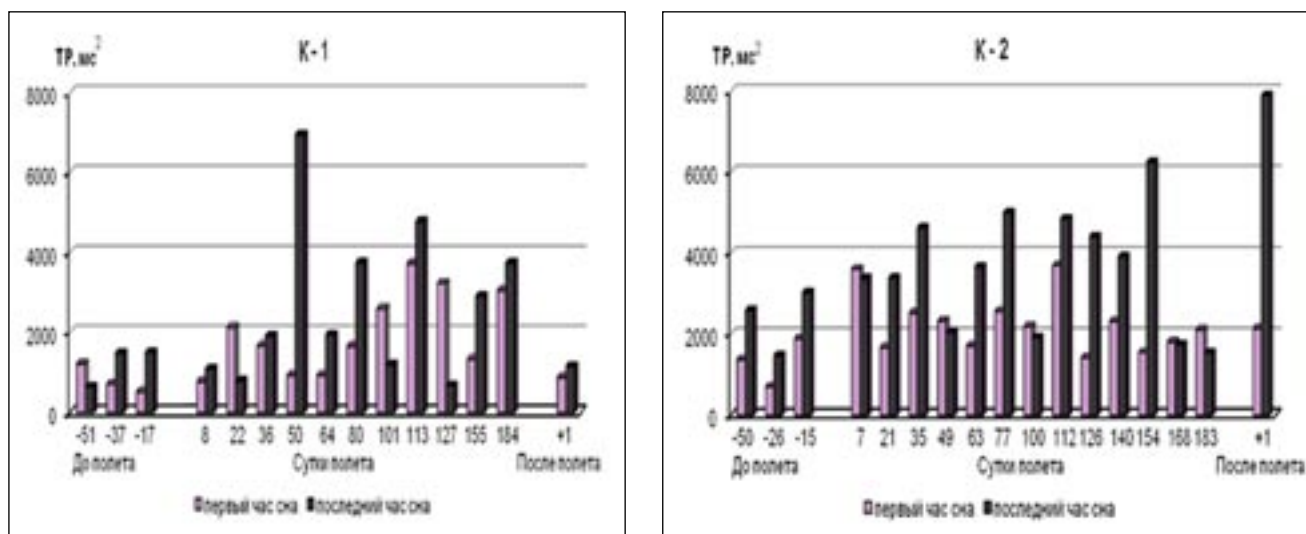


Рис. 7. Изменения суммарной мощности спектра ВСП (TP) у двух членов (K1 и K2) одного экипажа в начале ночи (светлые столбики) и в конце ночи (темные столбики) на разных этапах длительного космического полета.

основание для суждения о процессах восстановления функциональных резервов организма при длительном действии невесомости. Изменения вегетативного баланса в течение ночи являются достаточно отчетливым критерием течения восстановительного процесса.

Признаками эффективного восстановления являются снижение активности симпатического звена регуляции и рост активности парасимпатического звена, а также рост суммарной мощности спектра вариабельности сердечного ритма, указывающий на усиление трофотропных (восстановительных) процессов. В ходе полета у каждого космонавта отмечается определенное число ночей с неадекватной динамикой показателей вегетативного баланса. Так, в представленных примерах у 1-го члена экипажа таких ночей было 4 из 12 исследований (8 ночей с адекватными изменениями показателей), а у 2-го члена экипажа только 1 ночь из 12 (11 ночей с адекватными изменениями показателей). Можно условно оценить качество сна за весь полет соотношением числа ночей с адекватным изменением вегетативного баланса в % к общему числу проведенных исследований. Тогда из представленных данных следует, что качество сна у K1 равно 66,6 % (8/12), а у K2 равно 91,6 % (11/12). Этот показатель был назван среднеполетным показателем качества сна (СПКС). Как показали исследования, среднее значение СПКС для всех обследованных нами членов экипажей МКС составило 77,4 %.

Однако качество сна в невесомости зависит также от индивидуального типа вегетативной регуляции. Об этом свидетельствуют графики на рис. 8, где пред-

ставлены изменения (разница между утренними и вечерними значениями) средних значений ЧП, рNN50 и стресс индекса на разных этапах полета во время сна в невесомости у космонавтов с различными типами вегетативной регуляции.

Как видно из этих данных динамика указанных показателей до полета, в полете и после полета существенно различается. Изменения частоты пульса в процессе сна в полете были менее выражены, чем до полета, а после полета, наоборот были более выраженными. Однако изменения в полете были сравнительно более выраженными у нормо-ваготоников. Рост рNN50 на разных этапах полета в группах с различными типами вегетативной регуляции имел различную выраженность. До и после полета он был наиболее выраженным в группе нормо-ваготоников. Во время полета более значительный рост рNN50 наблюдался у ваготоников, в то время как после полета у них отмечался наименьший рост этого показателя. Изменения стресс индекса в полете были такими же, как и до полета. Однако после полета наиболее значительное снижение величины стресс индекса отмечается у нормотоников

Подобные различия в выраженности изменений показателей ВСП у космонавтов с разными типами вегетативной регуляции представляют как теоретический, так и практический интерес. Практически важно, что наиболее высоким качеством сна отличаются ваготоники (рис. 9).

Это, по-видимому, обусловлено тем, что у них парасимпатический отдел вегетативной нервной системы наиболее

активен и быстрее, чем у остальных реагирует на развитие процессов торможения коры головного мозга, связанных с засыпанием. Как видно из графиков на рис. 8, именно показатель рNN50 показал наибольший рост в условиях длительного полета.

Таким образом, показано, что анализ качества сна у членов экипажей МКС по разностным значениям показателей ВСП позволяет количественно оценить степень восстановления функциональных резервов организма во время сна в условиях длительной невесомости. Следует отметить, что субъективная оценка качества сна членами экипажей лишь в 70–80% случаев совпадает с объективными данными. Однако, в большинстве случаев, когда космонавт отмечал, что сон был плохим, это подтверждалось объективно.

4. Оценка изменений функционального состояния космонавтов во время сна на основе метода математического моделирования

Состояние регуляторных систем, их степень напряжения показывает, каким запасом функциональных резервов располагает организм, до какой степени истощены эти запасы в результате предыдущей работы механизмов регуляции по поддержанию гомеостаза. Для того, чтобы количественно оценить приспособ-

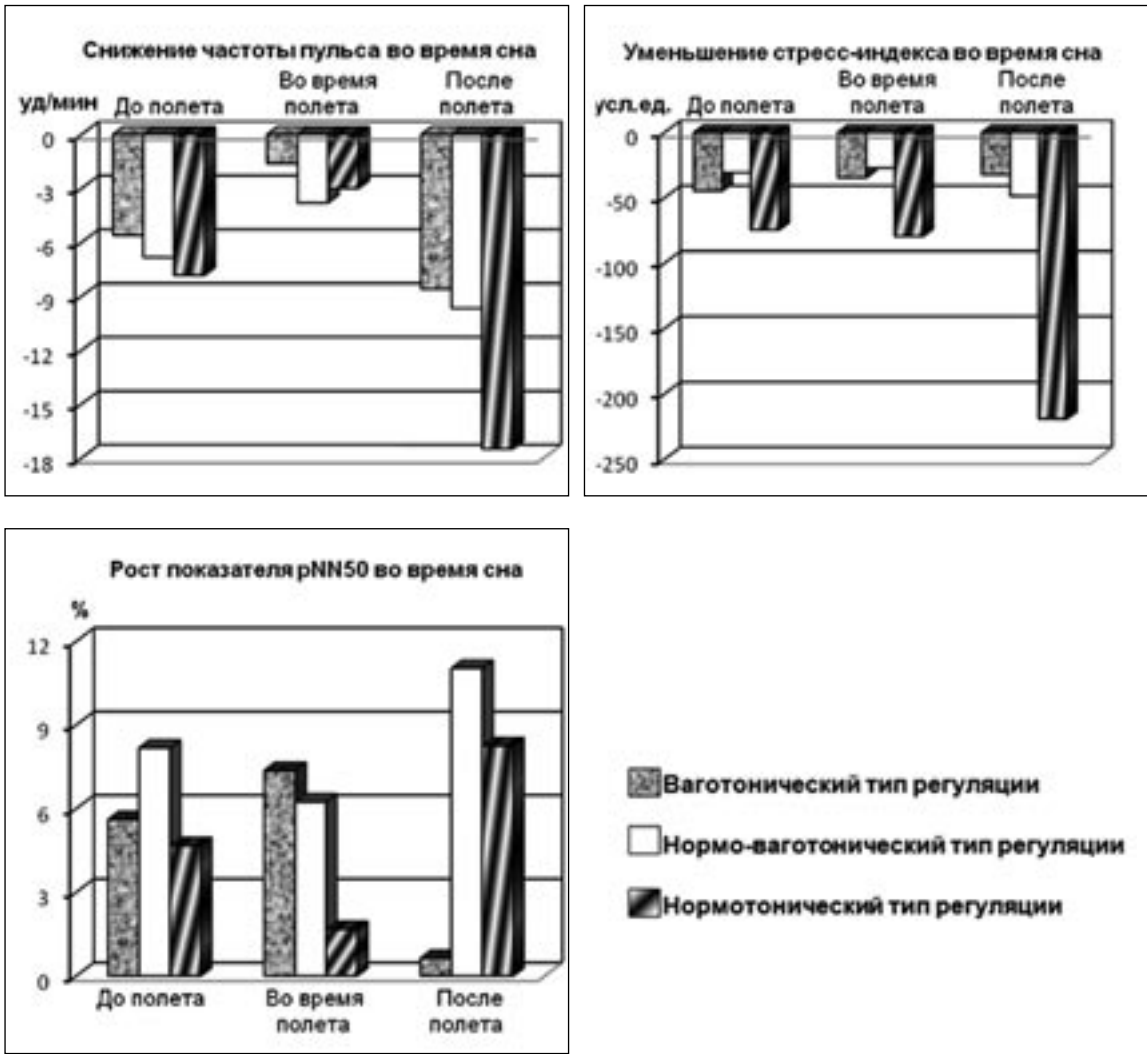


Рис. 8. Изменения средних значений ЧП, rNN50 и стресс индекса в процессе сна в невесомости у космонавтов с разными типами вегетативной регуляции. Н-нормотоники, В-ваготоники, НВ-нормо-ваготоники.

бительный эффект, могут быть использованы показатели ВСР, отражающие активность различных звеньев регуляторного механизма. В частности, общий запас функциональных резервов хорошо отражает суммарная мощность спектра ВСР (показатель TP). Однако более целесообразной оказалась разработка интегрального критерия, обобщающего изменения отдельных показателей. С этой целью была предпринята попытка создания математической модели, отражающей весь комплекс наблюдаемых изменений вегетативной регуляции [13]. Наилучшие результаты были получены с помощью дискриминантного анализа, дополнительным преимуществом которого является возможность выделения нескольких канонических переменных, каждая из которых может рассматриваться как самостоятельный

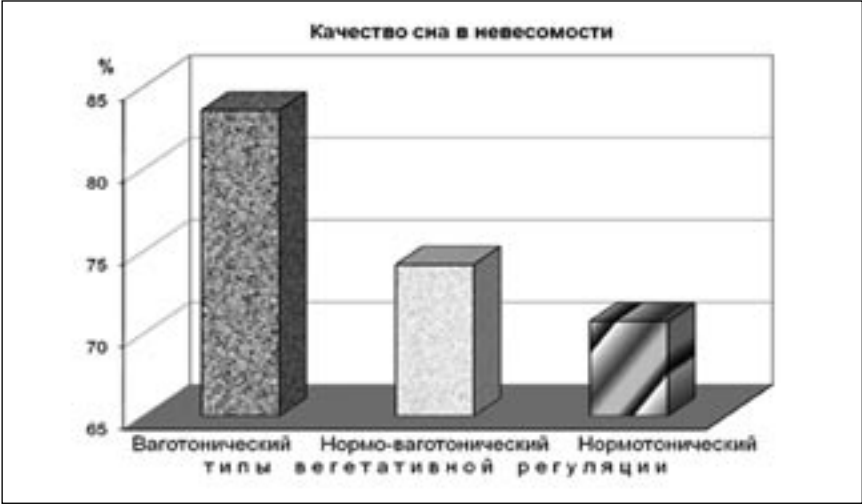


Рис. 9. СПКС у космонавтов с разными типами вегетативной регуляции.

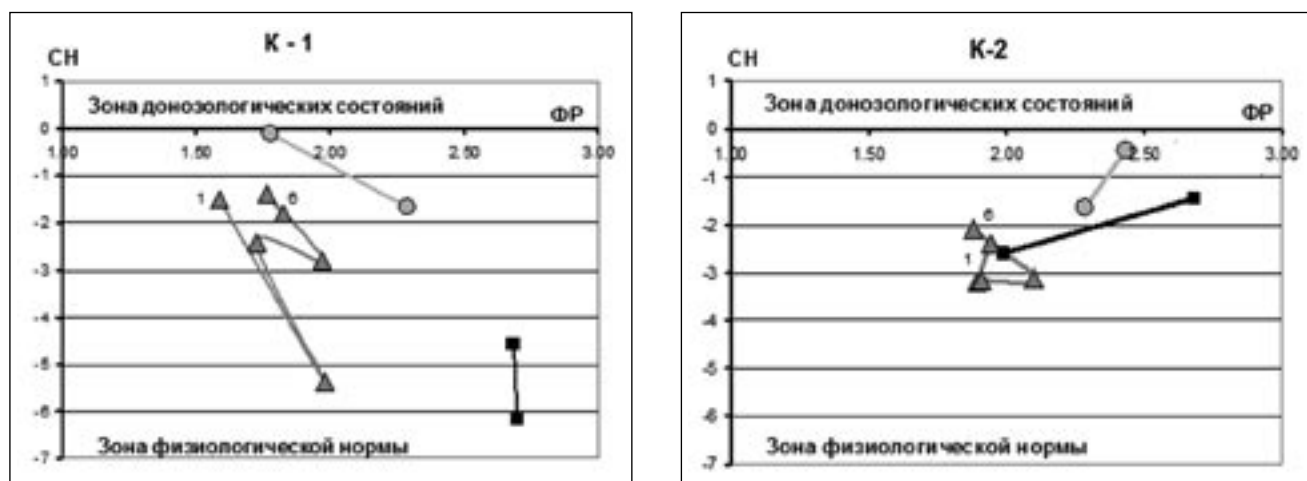


Рис. 10. Фазовые плоскости пространства функциональных состояний во время сна у двух членов одного экипажа МКС.

признак или критерий [14]. В результате пошагового дискриминантного анализа показателей ВСР было получено уравнение дискриминантной функции, которое в стандартизованной форме для первых двух канонических переменных $L1$ и $L2$ имеет следующий вид:

$$L1 = -0,112 \cdot HR - 1,006 \cdot SI - 0,047 \cdot rNN50 - 0,086 \cdot HF;$$

$$L2 = 0,140 \cdot HR - 0,165 \cdot SI - 1,293 \cdot rNN50 + 0,623 \cdot HF$$

Анализ стандартизованных коэффициентов этих уравнений показывает, что в первом уравнении наибольший вес имеет показатель SI , а во втором уравнении — показатели $rNN50$ и HF . Поскольку показатель SI (стресс-индекс) характеризует суммарную активность симпатического отдела вегетативной нервной системы, то каноническую переменную $L1$ можно считать индикатором активирующей, мобилизующей функции регуляторных механизмов. Вторая каноническая переменная ($L2$), тесно связанная с показателями активности парасимпатического отдела, характеризует восстановительную, защитную функцию регуляторных механизмов (функциональный резерв). Полученные при этом величины $L1$ и $L2$ рассматривались как координаты фазовой плоскости, образующей пространство функциональных состояний. При этом по оси абсцисс отображается активность симпатического отдела вегетативной нервной системы, обеспечивающая мобилизацию функциональных резервов (ФР), а по оси ординат — активность парасимпатического отдела, характеризующая вегетативный баланс и отражающая степень напряжения регуляторных систем (СН). В результате формируется пространство состояний, в котором выделяются состояния физиологической

нормы, донозологические состояния, преморбидные и патологические состояния (рис. 10).

Описанная математическая модель, основанная на оценке функционального состояния по двум его компонентам ФР и СН, позволяет рассматривать функциональное состояние организма как непрерывно протекающий динамический процесс. Фазовая плоскость в координатах ФР–СН представляет собой пространство состояний, в котором разворачиваются все события, связанные с изменениями функционального состояния. Этот метод успешно использовался при оценке состояния членов экипажей МКС при проведении космического эксперимента «Пневмокард» [15]. Ниже рассматриваются результаты применения указанного метода к оценке изменений функционального состояния у космонавтов во время сна. В качестве примера на рис. 10 даются фазовые плоскости пространства функциональных состояний у двух членов одного экипажа МКС (K1 и K2).

Прежде всего, следует обратить внимание на то, что траектории функциональных состояний у космонавта K2 располагаются в самой верхней части зоны физиологической нормы, вблизи от зоны донозологических состояний. Результаты предполетных исследований показывают значительную разницу между космонавтами по степени напряжения регуляторных систем (СН). У K1 она значительно ниже: в диапазоне $(-4,5) - (-6)$ по сравнению с $(-1,5) - (-2,6)$ у K2. Первое исследование обозначено на графике цифрой 1 и видно, что у космонавта K1 второе исследование, приближенное к моменту старта, отличается лишь ростом степени напряжения СН, а у космонавта K2 наблюдается зна-

чительное снижение функциональных резервов (ФР). После полета различия также весьма существенны. У K1 восстановительный период характеризуется ростом функциональных резервов: ФР растет с 1,8 до 2,3. У K2 ФР падает с 2,4 до 2,2. Во время полета у K1 функциональные резервы к концу полета увеличиваются (с 1,6 до 1,8), а у K2 они снижаются (с 1,94 до 1,88).

На рис. 11 представлена фазовая плоскость пространства функциональных состояний по средним значениям СН и ФР во время сна у всех членов экипажей МКС. Эти данные показывают, что до полета во втором исследовании состояние космонавтов отличается ростом степени напряжения и снижением функциональных резервов. При исследовании после полета вторая запись характеризуется ростом и СН и ФР. Во время полета отмечается постепенный рост ФР и снижение СН.

Поскольку сон является процессом восстановления функциональных резервов и снижения степени напряжения регуляторных систем, представляет интерес использование математической модели для оценки разностных значений этих показателей в начале и в конце периода сна. На рис. 12 представлен график усредненных по всем членам экипажей МКС разностных значений СН и ФР. Как видно, получен весьма наглядный результат. Отчетливо определяется снижение СН и рост ФР во время сна и можно определить, что во время полета рост ФР к концу ночи менее выражен, чем до и после полета. Что касается СН, то с 1-го по 3-й месяцы полета его снижение к моменту пробуждения постепенно возрастает. Затем на 4–5-м месяцах полета степень снижения СН во время сна уменьшается и на 6-м месяце полета становится максимальной.

По-видимому, в будущем разностными значениями СН и ФР более целесообразно пользоваться для оценки качества сна в космических полетах, чем разностными значениями отдельных показателей.

Таким образом, использование математической модели функциональных состояний может дать много полезной информации для системы медицинского контроля.

5. Использование прибора «Сонокард» для оценки процессов восстановления после выполнения работ в открытом космосе

Как известно, сон играет ведущую роль в восстановлении функциональных резервов организма. Поэтому большое значение имеет оценка качества сна у космонавтов при выполнении ими различных рабочих операций. Одной из наиболее ответственных операций в космическом полете является выход в открытый космос и внекорабельная деятельность (ВКД) на поверхности Международной космической станции. Такие работы являются большой физической и психоэмоциональной нагрузкой для космонавтов. При этом важно знать резервные возможности организма перед выходом в космос и после возвращения обратно в станцию. Последнее важно как для оценки степени утомления космонавта и его энергетических затрат на выполнение рабочих операций, так и для определения возможности его последующих выходов в открытый космос. Для изучения путей решения этих вопросов был использован имеющийся на борту МКС прибор «Сонокард» [16, 17, 18].

Первичное исследование перед работой в открытом космосе проводилось за 3–10 дней до операции ВКД как плановое. Повторное исследование проводилось в первую ночь после работы в открытом космосе. Исследования проведены с участием трех Российских членов экипажей (К1, К2 и К3). Впервые подобное исследование было проведено 15 ноября 2010 года. В нем участвовали два космонавта (К1 и К3). Космонавт К3 в ходе полета совершил три выхода в открытый космос. Космонавт К2 совершил два выхода в открытый космос.

В табл. 5 и 6 представлены средние ночные значения основных показателей ВСР при выполнении операций ВКД космонавтами К2 и К3. Космонавт К2 за 6 дней до выполнения работ в открытом

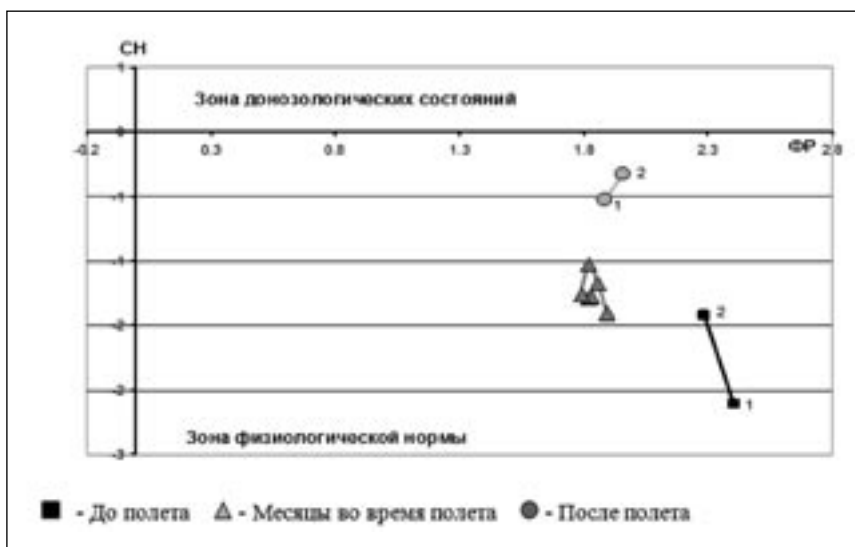


Рис. 11. Фазовая плоскость пространства функциональных состояний по средним значениям СН и ФР во время сна у всех членов экипажей МКС.

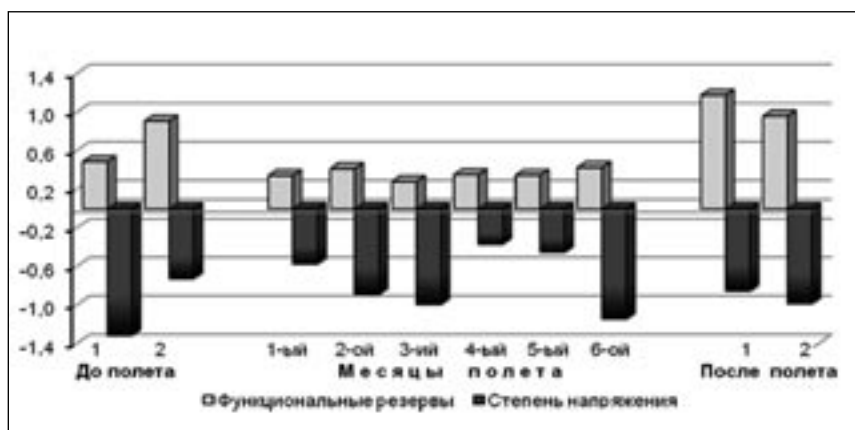


Рис. 12. Разностные значения СН и ФР во время сна на разных этапах космического полета (средние значения по всем исследованным членам экипажей МКС).

космосе (33-й день полета) отличался умеренной брадикардией (средняя ночная частота пульса 47,1 уд./мин) и несколько повышенным значением LF (52,4 %). В ночь после первого выхода в открытый космос частота пульса у него возросла до 54,2 уд./мин, а величина LF выросла до 63,5 %. О наличии явлений функционального напряжения свидетельствовали также снижение величин рNN50, TP и HF, а также рост стресс-индекса (SI).

Перед вторым выходом в открытый космос (на 62-е сутки полета) все средние значения показателей ВСР нормализовались до значений, наблюдаемых перед первым выходом. После второго выхода направленность изменений показателей ВСР была аналогичной первому выходу,

а изменения рNN50, TP и SI были более выраженными. Важно отметить, что после второго выхода в открытый космос наблюдалось более значительное напряжение регуляторных систем, чем после первого выхода.

Таким образом, уже первое исследование показало, что работа в открытом космосе требует высокого напряжения регуляторных систем и ведет к значительному расходованию функциональных резервов. Последующие исследования подтвердили этот вывод и показали, что при повторных ВКД утомление в организме накапливается и каждый последующий выход в открытый космос требует все большего напряжения регуляторных систем.

В табл. 6 представлены аналогичные данные для космонавта К3, который

Табл. 5. Изменения средних ночных значений основных показателей ВСР после работы в открытом космосе у космонавта К2.

Этапы	Сутки полета	ЧСС	pNN50	SI	TP	HF	LF	VLF
До ВКД-1	32	47,1	13,3	102,4	1370	27,8	36,7	35,6
После ВКД-1	40	46	15,8	95,8	1650,2	20,9	50,4*	28,7*
До ВКД-2	102	46,1	12,9	97,6	1405,7	32,4	38,8	28,8
После ВКД-2	106	47,5	11,5	112	1460,4	27,6	41,2	31,2
До ВКД-3	129	47,9	10,7	95	2220,8	19,3	46,8	33,9
После ВКД-3	132	46,9	8,41	132,8*	942,8*	23,7	44,8	31,5

* – изменения статистически достоверны ($p < 0,05$)

Табл. 6. Изменения средних ночных значений основных показателей ВСР после работы в открытом космосе у космонавта К3.

Показатели	За 12 дней до ВКД	Вторая ночь после ВКД
ЧСС, уд/мин	57,7	69,2*
pNN50, %	15,6	7,8*
SI, усл.ед	71,7	121,4*
TP, мс ²	2356,3	1342,6*

* – изменения статистически достоверны ($p < 0,05$)

Табл. 7. Результаты анализа данных, полученных с помощью прибора «Сонокард» до и после операции ВКД у космонавта К1.

Этапы	Сутки полета	ЧСС	pNN50	SI	TP	HF	LF	VLF
До ВКД-1	33	47,1	38,6	31,9	5090	22,5	52,4	25,1
После ВКД-1	39	54,2*	16,4*	64,7*	2932,6*	13,9*	63,5*	22,5
До ВКД-2	62	46,8	28,9	34,5	4973,8	18,4	49,6	32
После ВКД-2	64	52,8	12,9*	94,3*	1891*	19,3	53,4	27,3

* – изменения статистически достоверны ($p < 0,05$)

за время своего 6-месячного полета совершил три выхода в открытый космос для выполнения работ на поверхности Международной космической станции. После первого выхода кроме значительного увеличения LF и снижения VLF результаты анализа ВСР не показали других существенных изменений по сравнению с контрольной записью за 9 дней до ВКД. После второго выхода сохранялось лишь умеренное увеличение LF и снижение VLF. Только после 3-го выхода появились отчетливые признаки

функционального напряжения в виде роста SI и снижения TP.

В табл. 7 показаны результаты исследований космонавта К1, который совершил один выход в открытый космос, состоявшийся на 153 сутки полета, т. е. в самом конце длительного полугодового полета, что возможно и повлияло на полученные данные. На вторую ночь после ВКД отмечалось отчетливое повышение функционального напряжения в виде достоверного роста ЧСС и SI и снижения pNN50 и TP.

Показано, что функциональное напряжение, обусловленное снижением функциональных резервов организма, возникает у всех космонавтов, но проявляется в разной степени в зависимости от индивидуальных особенностей. По-видимому, здесь имеет значение запас функциональных резервов, которые постепенно истощаются во время полета. Возможно, поэтому функциональное напряжение тем выше, чем больше срок пребывания в условиях невесомости.

Заключение

Выполнение эксперимента «Сонокард» на борту МКС позволило получить важные научные и практические результаты. Прежде всего, следует указать на разработку уникальной методики бесконтактной регистрации физиологических сигналов во время сна в условиях длительного космического полета. Эта методика проста, комфортна и позволяет получать качественные записи в течение всей ночи. Созданная для реализации этой методики аппаратура «Сонокард» в течение 5 лет использовалась на борту МКС и показала свою надежность и безотказность. Программные средства, разработанные для анализа получаемых во время сна записей сейсмокардиограммы, позволили получить ценные научные данные об особенностях ночного сна космонавтов на разных этапах полета [19]. Важно отметить возможность оценки качества сна членов экипажа, что крайне важно для определения степени восстановления функциональных резервов организма и планирования режима труда и отдыха. Серия исследований во время сна после выполнения космонавтами работ в открытом космосе показала, что этот новый поход позволяет судить о степени напряжения организма и его восстановительной способности, а также об энергетических затратах на выполнение работы [20]. Впервые проведена систематическая регистрация физиологических сигналов во время сна в космосе и это является прецедентом для дальнейшего внедрения новой методики в практику медицинского обеспечения космических полетов.

По результатам выполнения эксперимента «Сонокард» разработаны конкретные рекомендации по направлению дальнейших исследований и по использованию полученных научных результатов. Рекомендуется дальнейшее развитие созданной новой методики применительно к медицинскому контролю за членами всего экипажа, в частности, для будущих межпланетных полетов. Важными областями дальнейшего применения методики бесконтактной регистрации физиологических сигналов во время сна являются клиническая и восстановительная медицина и прикладная физиология.

Опыт использования разработанной методики бесконтактной регистрации физиологических сигналов во время сна в эксперименте с длительной изоляцией (Марс-500) позволяет рекомендовать ее к применению в наземных экспери-

ментах по моделированию воздействия факторов космического полета на организм человека.

Литература

1. Баевский Р. М., Поляков В. В., Мозер М. и др. Адаптация системы кровообращения к условиям длительной невесомости. Баллистокардиографические исследования в 14-месячном космическом полете. *Косм. биол. и авиакосм. мед.*, 1998, 3, с. 23–30.
2. Варонечас Г., Жемайтите Д. Особенности динамики ритмограмм во время различных стадий и фаз сна. // *Анализ сердечного ритма. / Под редакцией Д. Жемайтите, Л. Телькснис. Вильнюс: Мокслас.* 1982. – С. 52–74.
3. Воронин И. М., Бирюкова Е. В. Вариабельность сердечного ритма во время сна у здоровых людей. // *Вестник аритмологии.* – 2002. – №30. – С. 68–71.
4. Баевский Р. М., Фунтова И. И., Прилуцкий Д. А., Стругов О. М., Седецкий В. С., Черникова А. Г. Патент на полезную модель № 73772. «Система бесконтактной непрерывной регистрации частоты сердечных сокращений, частоты дыхания и двигательной активности космонавтов для круглосуточного съема сигналов» от 16.08.2007.
5. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. *Вестник аритмологии*, 2001, 24, с. 69–85.
6. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // *Circulation.* – 1996. – Vol. 93. – P. 1043–1065.
7. Parin V. V., Baevsky R. M., Gazenko O. G. Heart and circulation under space conditions. *Cor et Vasa*, 1965, v.7, № 3, p. 165–182.
8. Парин В. В., Баевский Р. М., Газенко О. Г. Достижения и проблемы современной космической кардиологии // *Кардиология*, 1965, Т.5, №3. с. 3–11.
9. Парин В. В., Баевский Р. М., Волков Ю. Н., Газенко О. Г. *Космическая кардиология.* Л., Медицина, 1967, 193 с.
10. Баевский Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма в космической медицине. – *Физиология человека*, 2001, № 2, с. 34–43.
11. Баевский Р. М., Черникова А. Г., Фунтова И. И. Оценка функционального состояния и типа вегетативной регуляции системы кровообращения в условиях космического полета по данным анализа вариабельности сердечного ритма. – В сб.: *Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы.* М., 2005, с. 310–318.
12. Башмаков М. Ю., Вейн А. М., Посохов С. И., Баевский Р. М., Константинова Е. В., Черникова А. Г. Идентификация функциональных состояний человека во время ночного сна по показателям сердечного ритма. *Физиологический журнал им. И. М. Сеченова*, 1996, Май–Июнь, с. 43–47.
13. Баевский Р. М., Черникова А. Г. К проблеме физиологической нормы: Математическая модель функциональных состояний на основе анализа вариабельности сердечного ритма. *Авиакосмическая и экологическая медицина*, 2002, № 6, с. 11–17.
14. Черникова А. Г. Оценка функционального состояния организма в условиях длительного космического полета на основе анализа вариабельности сердечного ритма. Автореф. канд. дисс. М., 2010.
15. R. Baevsky, A. Chernikova, I. Funtova, J. Tank. Assessment of Individual Adaptation to Microgravity during long term space flight based on stepwise Discriminant Analysis of Heart Rate Variability Parameters. *Acta Astronautica*, 2011, AA-D-11-00046R1.
16. Луцицкая Е. С., Фунтова И. И., Катунцев В. П., Баевский Р. М. Оценка резервных возможностей организма космонавтов при выполнении работ в открытом космосе. *Материалы седьмой международной научной конференции «Донозология-2011», Санкт-Петербург, 15–16 декабря 2011 г.*, с. 668–670.
17. Баевский Р. М., Фунтова И. И., Луцицкая Е. С., Слепченкова И. Н., Катунцев В. П., Осипов Ю. Ю. Исследования вариабельности сердечного ритма во время сна на борту международной космической станции. *Вестник Удмуртского государственного университета*, 2012, серия 6, выпуск 1, с. 30–37.
18. Funtova I., Baevsky R., Luchitskaya E., Slepchenkova I. The flight experiment «Sonocard» on board the International Space Station (ISS) — the contactless study of autonomic cardiovascular regulation during sleep in long term space flight. 19th IAA Humans in Space Symposium, 2013, ID: 55.
19. Слепченкова И. Н. Оценка функционального состояния организма при действии факторов космического полета по данным бесконтактной регистрации физиологических сигналов в ночной период суток. Автореферат канд. дисс. М., 2010, 24 с.
20. Baevsky R., Funtova I., Luchitskaya E., Slepchenkova I., Chernikova A., Osipov Y., Katuntsev V. Application of equipment Sonocard for functional reserves evaluation during extravehicular activity. 62nd International Astronautical Congress 2011, ID: 10605.

The research of functional conditions in humans during night sleep during prolonged exposure to microgravity. Space experiment «Sonocard»

I. I. Funtova, E. S. Luchitskaya
 I. N. Slepchenkova, A. G. Chernikova
 R. M. Baevsky

Institute of biomedical problems of the
 Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract

The purpose of the space experiment «Sonocard» was to develop proposals to improve the system of medical control for the cosmonauts on the basis contactless method for receiving physiological data during sleep. Space experiment «Sonocard» was conducted in 22 Russian cosmonauts in the course of 17 expeditions on the ISS during 2007–2012. It was conducted in total 302 investigations, including the preflight period — 47, during flight — 215 and during post-flight period — 40. In the course of the experiment «Sonocard» execution, the microvibrations of the cosmonauts body associated with heart rate, respiration and physical activity, were recorded by seismocardiographical method. The most important feature of conducted space experiment was a contactless method of recording the physiological functions, thus ensuring simplicity, comfort and physiologicality of research. Onboard device «Sonocard» is the original domestic developing and it was designed as a compact unit, which was located in a breast pocket of T-shirts. A central place at the data analysis belonged to the heart rate variability (HRV) analysis — a method to reveal the stress level and the autonomic regulation of the circulatory system. Indicators of the sympathetic and parasympathetic parts of autonomic nervous system, the status of the vascular center in medulla oblongata, the activity of higher autonomic centers were calculated at HRV analysis.

Information about functional status of the various links of autonomic regulation during the night period in microgravity were received for the first using the method of contactless registration of physiological signals at different stages of space flight. A systematic study of the functional conditions during night period in the crew members of the International Space Station has been first conducted. It is shown that in the absence of in-flight workload and psycho-emotional stress is a gradual increase in the activity of the central mechanisms of regulation of blood circulation. Typical decrease in the expressiveness of respiratory waves (HF) and increased activity of vascular center (LF) in the total HRV spectrum is marked in most cosmonauts to the end of flight.

The assessment of sleep quality under conditions of long-duration space flight has shown that sleep in flight and post-flight periods was better than before the

flight in most cosmonauts. The data on the sleep quality after the work of cosmonauts in space were obtained for the first. It is shown that these activities require a high tension of regulatory systems and lead to a significant spending of functional reserves.

The findings have both scientific and practical importance. The developed technique of evaluating the functional status and the degree of functional reserves recovery during sleep, based on contactless registration of physiological signals, is recommended for use in the practice of medical support of space missions, application in ground-based experiments, as well as for use in clinical practice and in rehabilitation medicine.

Key words: contactless registration of the physiological information, body microfluctuations, seismocardiography, autonomic regulation, heart rate variability, night sleep, quality of sleep, tension degree, restoration of the functional reserves.

Дослідження функціонального стану організму під час сну в умовах тривалої невагомості. Космічний експеримент «Сонокард»

I. I. Фунтова, Е. С. Лучицька
 I. Н. Слєпченкова, А. Г. Чернікова
 Р. М. Баєвський

Інститут медико-біологічних проблем
 РАН, Москва

Резюме

Метою космічного експерименту «Сонокард» була розробка пропозицій щодо вдосконалення системи медичного контролю за космонавтами на основі використання методу безконтактного знімання фізіологічної інформації в період сну. Космічний експеримент «Сонокард» протягом 2007-2012 рр. був проведений у 22 Російських космонавтів у 17 експедиціях на МКС. У процесі виконання експерименту «Сонокард» методом сейсмокардіографії реєструвалися мікроколивання тіла космонавта, пов'язані з серцевими скороченнями, диханням і руховою активністю. Найважливішою особливістю космічного експерименту, що проводився є використання безконтактної методики реєстрації фізіологічних функцій, що забезпечувало простоту, комфортність і фізіологічність досліджень. Бортовий прилад «Сонокард» виконаний у вигляді компактного пристрою, який розміщується у нагрудній кишені майки-футболки. Центральне місце при аналізі даних займав аналіз варіабельності серцевого ритму (BCP), що дозволяє судити про рівень стресу, про вегетативну регуляцію системи кровообігу. Вперше в умовах тривалого космічного польоту отримано дані про стан різних ланок системи вегетативної

регуляції в нічний період доби на різних етапах польоту.

Ключові слова: безконтактний зйом фізіологічної інформації, мікроколивання тіла, сейсмокардіографія, вегетативна регуляція, варіабельність серцевого ритму, сон, якість сну, ступінь напруги, відновлення функціональних резервів.

Переписка

д.м.н., професор Р. М. Баєвський
 Государственный научный центр
 РФ — Институт медико-биологических
 проблем РАН
 Хорошевское шоссе, 76 А
 Москва, 123007, Россия
 эл. почта: rmb1928@mail.ru

УДК 612.213

Распределение Дирихле как модель состояния адаптационных регуляторных систем организма человека при анализе вариабельности сердечного ритма

Г. Б. Широкий¹, А. В. Иляхинский¹, В. М. Леванов², И. С. Мухина²¹ЗАО «СКБ» «Инфотранс», Нижний Новгород, Россия²ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия»
Минздрава России, Нижний Новгород

Резюме

Целью работы было изучение возможностей применения метода оценки адаптации организма, основанного на количественной оценке процессов энтропии по анализу вариабельности сердечного ритма.

Исследование вариабельности ритма позволяет оценить состояние адаптации организма с позиций оценки соотношения процессов энтропии, протекающих в организме, и контролируемых сложными процессами нейро-гормонально-гуморальной регуляции.

Для исследования был использован метод расчёта соотношения положительных и отрицательных моделей с использованием математического аппарата для определения β -распределения по Дирихле. При помощи оригинального программного обеспечения был проведён анализ соотношения моделей кардиоинтервалов.

Исследование проведено на 58 пациентах с заболеваниями системы кровообращения и 38 здоровых обследуемых. Выявлены достоверные различия в показателях вариабельности ритма, в частности, в значениях коэффициента адаптации. Полученные данные могут быть использованы для контроля эффективности лечения и реабилитации пациентов с болезнями системы кровообращения.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, ритмокардиография, энтропия, адаптация, болезни системы кровообращения.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.75–78

Введение

Исследование вариабельности сердечного ритма (ВСР) в течение десятилетий привлекает внимание исследователей, так как этот достаточно простой для регистрации метод позволяет получить разностороннюю информацию о процессах, протекающих как в целостном организме [1, 7], так и в сердечно-сосудистой системе [3, 6]. В отечественной [1] и зарубежной литературе [5] сложились классические методики получения и интерпретации получаемых показателей. В последние годы появились исследования, в которых, при сохранении общей концепции метода, применяются другие математические инструменты для обработки совокупности показателей (фрактальный анализ, информационно-статистический подход, кластерный анализ) [2, 8, 9].

Совершенствуются программно-аппаратные комплексы для регистрации показателей [3, 7]. Расширяются методологические границы применения метода, позволяя решать конкретные задачи в кардиологии и кардиохирургии, а также в других областях медицины [3, 6].

Однако, среди многочисленных практических направлений использования методов исследования ВСР остаётся актуальной задача, сформулированная на заре возникновения метода — изучение и оценка процессов адаптации организ-

ма человека [7]. Актуальность получения информации для интегральной оценки состояния здоровья человека возрастает в рамках реализации профилактических программ [4], так как в профилактической медицине важно располагать информацией не только о наличии и отсутствии болезней, но и уметь качественно и количественно оценить уровень здоровья людей, принадлежащих к различным возрастным, социальным, профессиональным группам, функциональные резервы организма.

Не менее важна эта задача и во многих прикладных аспектах — для оперативного контроля состояния пациентов в процессе лечения и реабилитации, своевременной диагностики угрозы и предотвращения осложнений.

Иначе говоря, получаемая информация может быть использована в целях диагностики, контроля лечения, первичной, вторичной и третичной профилактики.

Материалы и методы исследования

Были обследованы 56 пациентов с заболеваниями системы кровообра-

щения в возрасте 32 – 65 лет, включая 31 женщину и 25 мужчин.

Контрольная группа состояла из 38 практически здоровых обследуемых (21 женщина и 17 мужчин) в возрасте 32–60 лет без признаков сосудистой патологии головного мозга.

Всем обследуемым проводилось обследование по стандартной методике: продолжительность записи в покое, в положении сидя, составляла 5 минут, либо, при более длительной записи, для анализа выбирались фрагменты соответствующей продолжительности. В целях верификации диагноза и оценки степени нарушения мозгового кровообращения обследуемым предварительно проводились доплерографические ультразвуковые исследования, по показаниям – магнитно-резонансные томограммы головного мозга.

Для исследования использовались портативные носимые кардиорегастраторы, позволяющие осуществлять запись электрокардиограммы в одном отведении, расположение электродов – на поясе пациента. Кардиосигнал трансформировался в последовательность продолжительности кардиоинтервалов в миллисекундах в цифровом виде. Запись осуществлялась в память регистратора с последующей передачей на персональный компьютер и анализировалась с помощью оригинального программного обеспечения.

При разработке методики авторы исходили из того, что система регуляции кровообращения представляет собой многоконтурную иерархически самоорганизующуюся систему, для которой характерны нелинейность, сложность, и открытость, а такие диссипативные процессы как трение, диффузия и рассеяние формируют связи между частями и элементами данной системы и в целом ее поступательное движение. Сложный характер взаимодействия элементов системы нейро-гормонально-гуморальной регуляции влияние на её состояние множества плохо контролируемых внешних факторов, приводят к тому, что процессы, определяющие вариабельность сердечного ритма, обнаруживают случайную природу и могут быть представлены статистической моделью (образом) в виде распределения вероятностей. В качестве такой модели авторами предложено использовать распределение Дирихле. Как модель распределение информационно эквивалентно объекту, состояние которого отражает результат совместной реализации $n - 1$ независимых процессов x_j , протекающих со скоростями (интенсивностями) v_j и противоположного им по смыслу процесса, протекающего со скоростью v_n [8, 9]. Функция плотности вероятности

распределения Дирихле, определенная на k -мерном симплексе, равна

$$D(x_1, \dots, x_k) = \frac{\Gamma(\alpha_n)}{\prod_{i=1}^k \Gamma(v_i)} \prod_{j=1}^k x_j^{v_j-1} \left(1 - \sum_{j=1}^k x_j\right)^{v_n-1} \quad (1)$$

$$\text{Здесь } 0 \leq \sum x_i \leq 1; v_i \geq 0, \dots, v_n \geq 0; \sum v_j = \alpha_n; n = k + 1.$$

Модель удовлетворяет формальной связи между равновесной и неравновесной термодинамикой и соответствует основным положениям предложенной лауреатом Нобелевской премии И. Пригожиным теории диссипативных структур [10]. Энтропия распределения Дирихле может быть представлена в виде суммы.

$$H(D) = H_i(v_1 \dots v_2) + H_e(\alpha_w), \quad (2)$$

в которой слагаемое

$$H_i(v_1 \dots v_2) = \ln \prod_{j=1}^n \Gamma(v_j) - \sum_{j=1}^n (v_j - 1) \phi(v_j) \quad (3)$$

представляет собой отвечающее второму закону термодинамики производство энтропии, а слагаемое

$$H_e(\alpha_w) = -\ln \Gamma(\alpha_w) + (\alpha_w - n) \psi(\alpha_w). \quad (4)$$

соответствует отвечающему за процессы взаимодействия с внешней средой потоку энтропии, который может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

В предложенной методике авторы проводили оценку уровня информационной связи между последовательностью выборок n_i значений кардиоинтервалов. В качестве количественного показателя информационной связи между выборками значений кардиоинтервалов была принята размерность модели Дирихле, объединяющей последовательность анализируемых выборок. Оценка адаптационных возможностей организма человека проводили по величине коэффициента адаптации, в качестве которого выбрано отношение

$$A_k = \frac{\sum K_{D-}}{\sum K_{D+}}, \quad (5)$$

где $\sum K_{D-}$ – суммарное количество выявленных во временном ряде за анализируемый период двухмерных, трехмерных, четырехмерных, пятимерных и т. д. моделей Дирихле имеющих отрицательное значение внешней энтропии,

а $\sum K_{D+}$ – суммарное количество выявленных за анализируемый период двухмерных, трехмерных, четырехмерных, пятимерных и т. д. моделей Дирихле имеющих положительное значение внешней энтропии.

При $A_k > 1.0$ – состояние регуляторных систем организма определяется преобладанием процессов самоорганизации. При $A_k < 1.0$ – состояние адаптационных регуляторных систем организма в терминах модели Дирихле определяется присутствием процессов самоорганизации.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты вычисления коэффициента адаптации для указанных выше групп пациентов приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, существует значимое отличие между средним значением коэффициента A_k для пациентов с заболеваниями системы кровообращения и пациентов контрольной группы. Следует отметить, что в группе пациентов с диагнозом мозговой инсульт у 15 человек значение коэффициента A_k меньше единицы. В контрольной группе подобных случаев не зафиксировано.

Данные представлялись в виде специально разработанного интерфейса, на котором отображались основные показатели вариабельности ритма (рис. 1).

Полученные результаты подтверждают исходное положение о снижении адаптационных возможностей организма при заболеваниях. Коэффициент адаптации, не являясь специфическим показателем, в то же время позволяет судить об актуальном состоянии организма. Подтверждением этому, нуждающимся в дальнейших исследованиях, является попытка проследить динамику A_k в остром периоде мозгового инсульта. Так, у больных в острейшем периоде A_k (1–4 сутки) был равен $1,18 \pm 0,14$; при переводе из реанимационного отделения в неврологическое – $1,46 \pm 0,22$; при выписке из стационара на амбулаторное или санаторное лечение – $1,93 \pm 0,36$ (рис. 2).

Это свидетельствует о корреляции A_k с тяжестью состояния и об устойчивой тенденции к восстановлению A_k в процессе лечения пациентов с мозговым инсультом. Полученные данные позво-

Табл. 1. Среднее значение коэффициента адаптации по группам обследуемых пациентов.

Группы пациентов	Среднее значение A_k	Доверительный интервал		
		$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.1$
Мозговой инсульт (n = 56)	1.79	0.36	0.27	0.23
Практически здоровые (n = 38)	2.73	0.51	0.39	0.33



Рис. 1. Типичный вид интерфейса программы отображения показателей variability ритма сердца (на примере пациента К. в острейшем периоде мозгового инсульта).

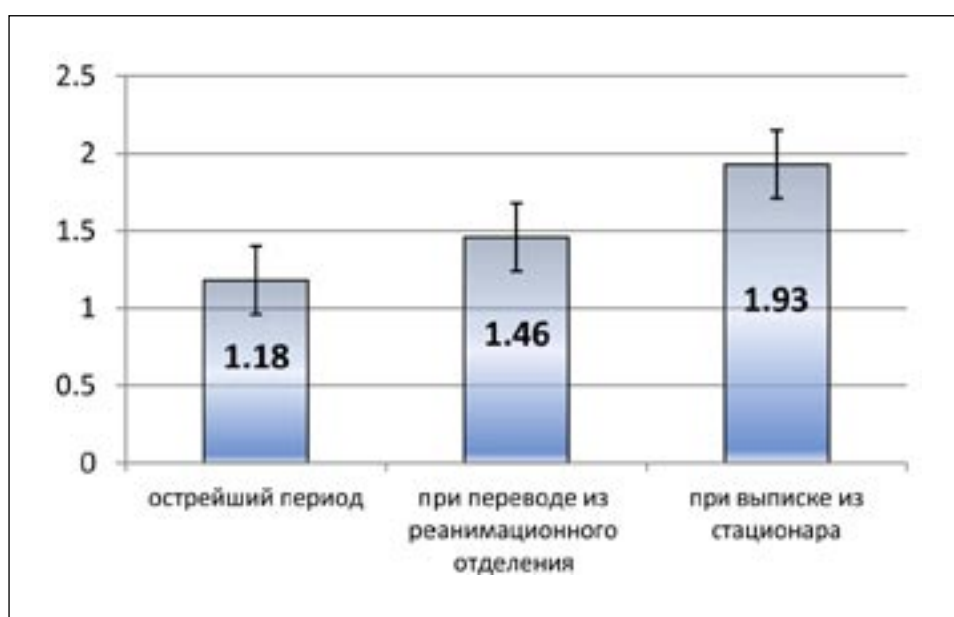


Рис. 2. Динамика значений коэффициента адаптации в зависимости от стадии лечения мозгового инсульта.

ляют расширить применение метода для оценки состояния других категорий пациентов, прежде всего — с болезнями системы кровообращения.

Выводы

1. Подход к рассмотрению регуляции системы кровообращения как многоконтурной иерархически самоорганизующейся системы позволяет представить процессы, определяющие вариабельность сердечного ритма, статистической моделью (образом) в виде распределения вероятностей Дирихле.

2. Данный подход позволяет исследовать состояние адаптационных регуляторных систем организма человека как диссипативную структуру, в которой возможно протекание процессов самоорганизации.

3. При сравнении данных получены достоверные различия коэффициента адаптации у пациентов с мозговым инсультом и здоровыми испытуемыми, а также у больных, находящихся на различной стадии лечения в стационаре.

4. Предлагаемый метод может быть использован в целях диагностики, контроля лечения, первичной, вторичной и третичной профилактики.

Литература

1. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л. В. Чирейкин [и др.] // Вестник аритмологии. — 2001. — № 24. — С. 65–87.
2. Майоров О. Ю. Применение локального индекса фрактальности для анализа коротких рядов R–R интервалов при исследовании вариабельности сердечного ритма. / О. Ю. Майоров, В. Н. Фенченко // Клиническая информатика и телемедицина. — 2010. Т.6. Вып.7. С. 6–12.
3. Техничко-математический контроль кровообращения — состояние и перспективы / Л. А. Бокерия, В. А. Лещук, Д. Ш. Газизова, Л. В. Сазыкина, Г. В. Шевченко // Клиническая информатика и телемедицина. — 2012. Т.8. Вып.9. С. 58–72.
4. Государственная программа развития здравоохранения Российской Федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosminzdrav.ru/health/72>
5. Malik M., Bigger J. T., Camm A. J., Kleiger R. E. and oth. Guidelines for Heart Rate Variability: Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. European Heart Journal. 1996. — №17(3). P. 354–381.
6. Reliability of heart rate variability measurements in patients with a history of myocardial infarction / R. Maestri, G Raczak, L. Danilowicz [et al.] // Clinical Science. — 2009. — №118(3). — P. 195–201.
7. Yabluchansky N. The heart rate variability (HRV) Point: Counterpoint discussion raises a whole range of questions, and our attention has also been attracted by the topic. / N. Yabluchansky, A. Kulik, A. Martynenko // J Appl Physiol. — 2007. — № 102. — P. 1715.
8. Иляхинский А. В. Серeda Ю. С. Статистические модели в задачах зондирования. — Известия ВУЗов, Радиопизика, 1989, т32,12, С.1502–1505.
9. Серeda Ю. С. Проблемы информационно-статистической теории. — М.: Космосинформ, 1998. — 121 с.
10. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. — М.: Изд. иностранной литературы, 1960. — 128с.

Dirichlet distribution as a state model of adaptive regulatory systems of the human body in the analysis of heart rate variability

G. B. Shiroky¹, A. V. Ilyahinsky¹
V. M. Levanov², I. S. Mukhina²

¹Joint-Stock Company Special Design Bureau «Infotrans», Nizhny Novgorod, Russia
²Nizhny Novgorod State Medical Academy of the Ministry of Health of Russia

Abstract

The aim of newspaper was to explore the possibility of adapting the method of evaluation of the body, based on a quantitative assessment of the entropy processes analysis of heart rate variability.

Investigation of heart rate variability to assess the condition of adaptation of the human body in terms of entropy estimate the ratio of processes occurring in the body and controlled by complex processes neuro-endocrine-humoral regulation.

For the study was used the method of calculating the ratio of positive and negative with the use of mathematical models for determination unit β -Dirichlet distribution. Models of cardio-ratio comparison was analyzed with the original software.

The study was conducted on 58 patients with circulatory disease and 38 healthy subjects. There were significant differences in heart rate variability, particularly in the values of the «coefficient of adaptation». The data obtained can be used to monitor the effectiveness of treatment and reha-

bilitation of patients with diseases of the circulatory system.

Key words: heart rate variability, rhythmocardiography, entropy, adaptation, diseases of the circulatory system.

Розподіл Діріхле як модель стану адапційних регуляторних систем організму людини при аналізі вариабельності серцевого ритму

Г. Б. Широкий¹, А. В. Іляхінський¹
В. М. Леванов², І. С. Мухіна²

¹ЗАТ «СКБ» «ІНФОТРАНС»
Нижній Новгород, Росія
²ГБОУ ВПО «Нижегородська державна медична академія» МОЗ Росії
Нижній Новгород

Резюме

Метою роботи було вивчення можливостей застосування методу оцінки адаптації організму, заснованого на кількісній оцінці процесів ентропії з аналізу вариабельності серцевого ритму.

Дослідження вариабельності ритму дозволяє оцінити стан адаптації організму з позицій оцінки співвідношення процесів ентропії, що протікають в організмі, і контрольованих складними процесами нейро-гормонально-гуморальної регуляції.

Для дослідження був використаний метод розрахунку співвідношення позитивних і негативних моделей з використанням математичного апарату для визначення β -розподілу по Діріхле. За допомогою оригінального програмного забезпечення було проведено аналіз співвідношення моделей кардіоінтервалів.

Дослідження проведено на 58 пацієнтах із захворюваннями системи кровообігу і 38 здорових обстежуваних.

Виявлено достовірні відмінності в показниках вариабельності ритму, зокрема, у значеннях коефіцієнта адаптації. Отримані дані можуть бути використані для контролю ефективності лікування та реабілітації пацієнтів з хворобами системи кровообігу.

Ключові слова: вариабельність серцевого ритму, ритмокардіографія, ентропія, адаптація, хвороби системи кровообігу.

Переписка

к.м.н. В. М. Леванов

Нижегородская медицинская академия, кафедра общественного здоровья и здравоохранения пл. Минина и Пожарского, 10/1
Нижний Новгород, 603005, Россия
тел. +7 (831) 438 95 55
эл. почта: levanov53@yandex.ru

УДК 613.614:613.693

Изучение влияния длительной невесомости на вегетативную регуляцию кровообращения у членов экипажей международной космической станции. Космический эксперимент «Пневмокард»

Р. М. Баевский, И. И. Фунтова, Е. С. Лучицкая, А. Г. Черникова
Институт медико-биологических проблем РАН, Москва

Резюме

В статье представлены результаты космического эксперимента «Пневмокард», который ежемесячно проводился на борту Международной космической станции (МКС) с марта 2007 г. по декабрь 2012 г. Всего в исследованиях приняли участие 25 космонавтов, проведено 226 исследований. Эксперимент «Пневмокард» посвящен изучению влияния факторов космического полета на вегетативную регуляцию кровообращения, дыхание и сократительную функцию сердца в длительном космическом полете. Исследования на борту МКС проводились с помощью специализированного аппаратно-программного комплекса «Пневмокард».

При анализе данных значительное место занимал анализ variability сердечного ритма (ВСР), направленный на оценку особенностей вегетативной регуляции кровообращения. Имеются выраженные индивидуальные особенности перенастройки вегетативного гомеостаза в процессе полета, что обусловлено разными индивидуальными типами вегетативной регуляции.

Наибольший интерес для практики медицинского обеспечения космических полетов представляют результаты применения донозологического подхода и методов вероятностной оценки риска развития патологии.

Ключевые слова: кардиореспираторная система, вегетативная регуляция, механизмы адаптации, variability сердечного ритма, функциональные резервы, степень напряжения, вероятностная оценка, категория риска.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.79–89

Введение

Многочисленное пребывание человека в космосе связано с перестройкой всех систем организма на новый уровень функционирования, соответствующий необычным (отличающимся от земных) условиям жизни на борту орбитальной станции. Одной из главных мишеней воздействия невесомости является сердечно-сосудистая система. Это обусловлено, прежде всего, смещением жидких сред в верхнюю часть тела и увеличением относительного объема крови в малом круге кровообращения и в сосудах головного мозга. Одновременное уменьшение энерготрат организма и снижение потока афферентной импульсации создают для механизмов регуляции кровообращения трудную задачу обеспечения достаточного кровоснабжения органов и тканей в новых условиях. Адаптационные реакции организма в космическом полете в значительной мере определяются состоянием сердечно-сосудистой системы и регулирующих ее механизмов. Проведенные в ИМБП исследования регуляции сердечного ритма в условиях длительных космических полетов на орбитальных станциях «Салют» и «Мир» показали, что в условиях космического полета происходит перенастройка системы вегетативной регуляции кровообращения. При этом наблюдаются характерные

изменения вегетативного баланса и активности различных звеньев сегментарного и надсегментарного уровней управления, которые обеспечивают процесс адаптации организма к условиям длительной невесомости [1, 2]. Новый шаг в изучении вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы в условиях невесомости был сделан в последние годы в результате проведения на борту Международной космической станции (МКС) научных экспериментов «Пульс» и «Пневмокард» [3]. В эксперименте «Пульс» (5–13-я экспедиции на МКС) основное внимание было обращено на изучение вегетативной регуляции кровообращения и дыхания в условиях длительной невесомости. В нем регистрировались только электрокардиограмма, пневмотахограмма и периферический пульс с помощью пальцевого фотоплетизмографического датчика [4, 5]. Начиная с 14-й экспедиции, на МКС в течение пяти лет (с марта 2007 г. до конца 2012 г.) ежемесячно у всех российских членов экипажей МКС проводился эксперимент «Пневмокард» [6]. В этом эксперименте дополнительно регистрировались сейсмокардиограмма и импедансная кардиограмма. Совместная синхронная регистрация пяти параметров и проведение серии функциональных проб позволили наряду с вегетативной регуляцией кровообращения оценивать сократительную функцию сердца и центральную гемодинамику, а также непосредственно судить об адаптационных возможностях организма на разных

этапах длительного космического полета. Таким образом, «Пневмокард» оказался первым научным экспериментом в космосе, где удалось в комплексе получить обширную информацию о различных параметрах сердечной деятельности и использовать эти данные для оценки функционального состояния организма членов экипажей и для определения риска развития патологии.

Целью эксперимента «Пневмокард» являлось получение новой научной информации для углубления представлений о механизмах адаптации кардиореспираторной системы к условиям длительного космического полета.

Методика исследований

В ходе эксперимента регистрировались следующие физиологические сигналы:

- электрокардиограмма (ЭКГ);
- импедансная кардиограмма (ИКГ) по классическому методу Шрамека с использованием восьми одноразовых электродов. При этом четыре электрода располагаются на шее (по два справа и слева) и четыре электрода — на грудной клетке (по два справа и слева);
- сейсмокардиограмма (СКГ);
- пневмотахограмма (ПТГ);
- фотоплетизмограмма пальца (ФПГ).

Исследования на борту МКС проводились с помощью специализированного аппаратно-программного комплекса «Пневмокард», на который оформлен патент «Компактное мобильное устройство для исследования кардиореспираторной системы космонавтов на борту космических объектов» (патент РФ №77783 от 03 июля 2008 г.). Комплекс «Пневмокард» с электродами и датчиками размещался на нагрудном поясе космонавта и обеспечивал комфортность проведения экспериментальных исследований в условиях невесомости. Регистрируемая информация записывалась в память бортового компьютера и передавалась на Землю по каналам Интернета, а так же доставлялась в виде магнитных записей при возвращении экипажей на Землю.

Подготовка космонавта перед проведением обследования заключалась в одевании специализированного пояса таким образом, чтобы датчик СКГ, преобразующий линейное ускорение в напряжение, оказался в области проекции сердца. На специализированном поясе

также закреплялся прибор «Пневмокард». Датчик для регистрации фотоплетизмограммы и преобразователь оптической плотности исследуемой ткани в напряжение, закреплялся на среднем пальце левой руки. Датчик пневмотахограммы устанавливается около наружных носовых ходов и представлял собой терморезистор, преобразующий температуру окружающего воздуха в сопротивление. На рис. 1 представлено фото одного из членов экипажей при подготовке к выполнению эксперимента «Пневмокард» на борту МКС.

Программа исследований включала запись сигналов в покое (5 минут), выполнение функциональных нагрузочных тестов с фиксированным темпом дыхания (10 дыханий в минуту — в течение 3-х минут; 6 дыханий в минуту — в течение 3-х минут) и с максимальной задержкой дыхания на вдохе и выдохе. До и после полета дополнительно проводилась активная ортостатическая проба.

Образец записи приводится на рис. 2. Внизу представлена кардиоинтервалограмма, регистрируемая при анализе вариабельности сердечного ритма (ВСР) на всех этапах эксперимента. При анализе результатов исследований определялось большее число различных показателей, среди которых ведущую роль играли показатели ВСР, что позволило изучать состояние вегетативной регуляции функций. Этот метод широко использу-

ется в космической медицине, начиная с первых пилотируемых полетов [7].

Анализ ВСР является интегральным методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека и животных, в частности общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы. Текущая активность симпатического и парасимпатического отделов является результатом многоконтурной и многоуровневой реакции системы регуляции кровообращения, изменяющей во времени свои параметры для достижения оптимального приспособительного ответа, который отражает адаптационную реакцию целостного организма [8, 9, 10]. Метод основан на распознавании и измерении временных интервалов между R-зубцами ЭКГ (R-R-интервалы), построении динамических рядов кардиоинтервалов (кардиоинтервалограммы) и последующего анализа полученных числовых рядов различными математическими методами.

При анализе и оценке получаемой в космическом эксперименте информации использовались новые современные подходы. В космической медицине был разработан принципиально новый подход к оценке здоровья, основанный на современных представлениях теории

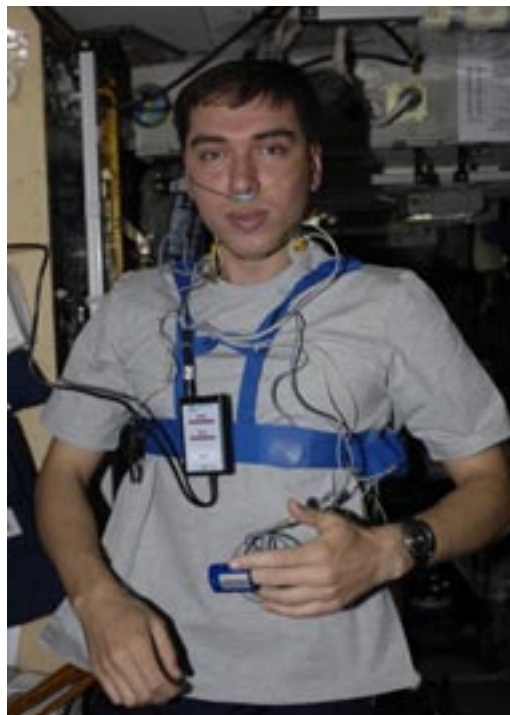


Рис. 1. Подготовка к выполнению эксперимента «Пневмокард» на борту МКС.

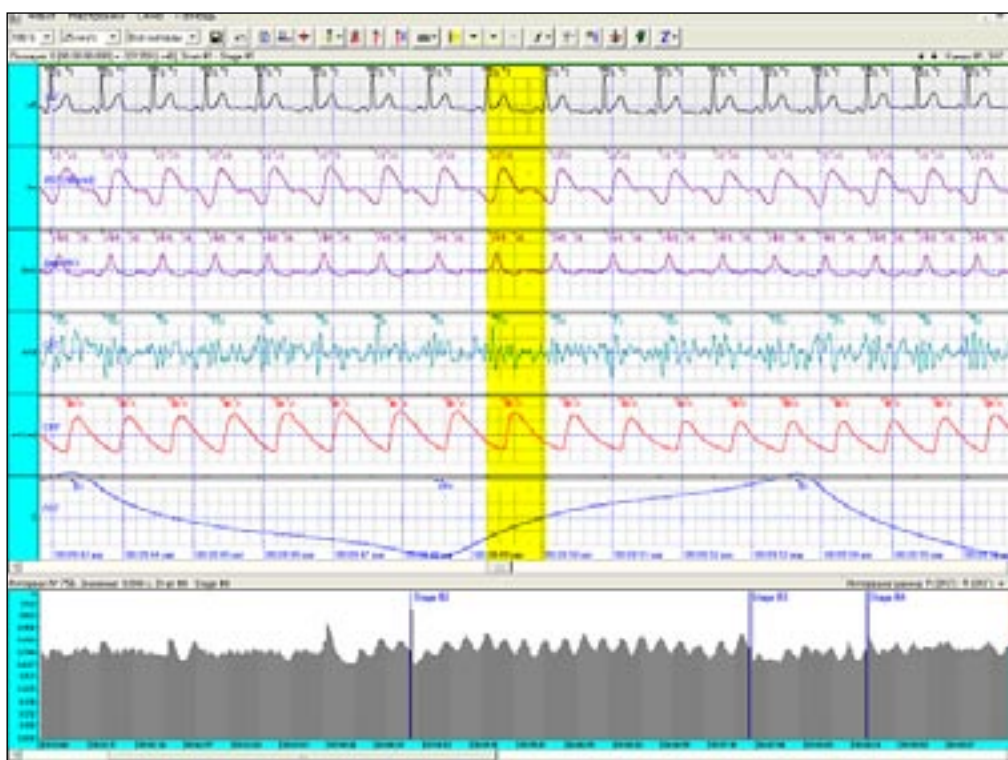


Рис. 2. Образец записи физиологических сигналов с помощью комплекса «Пневмокард». Сверху вниз: электрокардиограмма, импедансная кардиограмма, первая производная импедансной кардиограммы, сейсмокардиограмма, фотоплетизмограмма пальца, пневмотахограмма. Внизу — кардиоинтервалограмма на этапах покоя, фиксированного темпа дыхания и задержек дыхания на вдохе и выдохе.

адаптации и учения о гомеостазе [11]. Сущность этого подхода состоит в том, что здоровье рассматривается как процесс непрерывного приспособления организма к условиям окружающей среды, а мерой здоровья являются адаптационные (приспособительные) возможности организма. Переход от здоровья к болезни связан со снижением адаптационных возможностей организма, с уменьшением способности адекватно реагировать не только на социально-трудовые, но и на обычные повседневные нагрузки. При этом на границе между здоровьем и болезнью возникает целый ряд переходных состояний, получивших название донозологических [12, 13]. Результаты проведенных исследований рассматриваются с позиций донозологической диагностики, изучающей состояние организма, пограничные между нормой и патологией. Ведущим методом донозологической диагностики является анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР). На его основе была создана математическая модель функциональных состояний организма. При этом пространство состояний определяется двумя основными показателями: СН (степень напряжения регуляторных систем) и ФР

(функциональные резервы). На основе математической модели был разработан вероятностный подход к оценке риска развития патологии [14].

Результаты исследований

А. Процессы адаптации сердечно-сосудистой системы к условиям невесомости. Роль вегетативной регуляции

Процессы адаптации направлены на установление равновесия между организмом и окружающей средой. Они реализуются через работу механизмов вегетативной регуляции, о которых можно судить по динамике показателей вариабельности сердечного ритма

(ВСР). На рис. 3 (А, Б, В, Г) на примере данных одного из членов экипажа МКС представлены характерные изменения вегетативной регуляции на разных этапах длительного космического полета. Как видно из этих данных, частота сердечных сокращений (ЧСС) в полете была на 5–10 уд/мин ниже, чем в предполетном периоде, а в первые сутки после полета была равна предполетному значению. Изменения ВСР (SDNN) в первой половине полета демонстрируют тенденцию к значительному росту (с 26 мс до 39 мс) с последующим снижением к концу полета до исходных значений. Однако более детальный анализ вегетативного баланса в полете показывает, что его динамика была достаточно сложной.

В предполетном периоде у космонавта отмечался высокий тонус симпатической нервной системы. Значения стресс индекса (SI) были равны 189–306 усл. ед., а на 17-е сутки полета сохранялось значение SI равное 184 усл. ед. Затем в ходе полета, как это видно из рис. 3Б, наблюдалось снижение SI с отчетливым ростом показателя рNN50. Так на 102 сутки полета величина SI снизилась до 135 усл. ед., но это

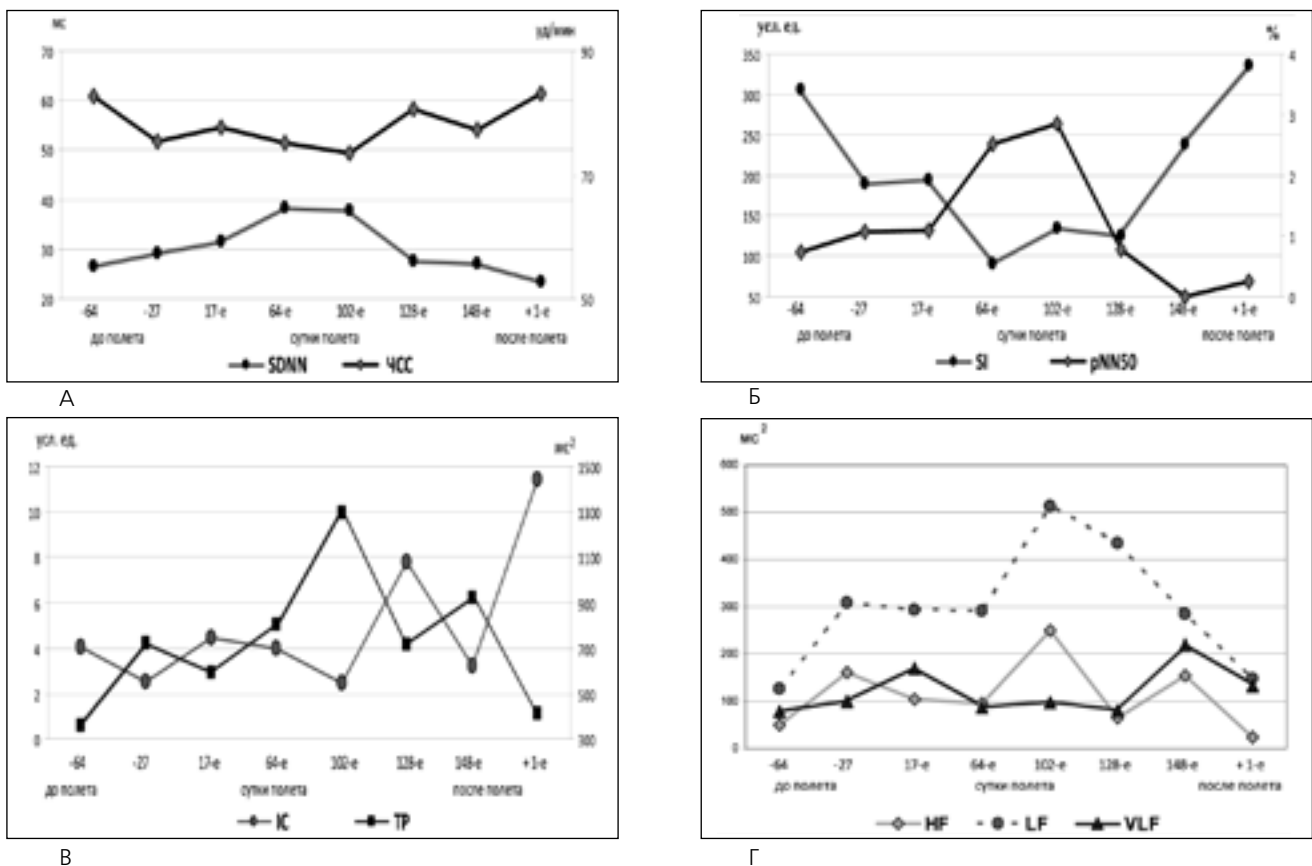


Рис. 3. Изменения показателей ВСП у одного из членов экипажа МКС на разных этапах космического полета. А — ЧСС и СКО (SDNN); Б — СИ (стресс индекс) и рNN50; В — ТР (суммарная мощность спектра — Total Power) и IC (Индекс централизации); Г — активность отдельных звеньев регуляторного механизма (HF — активность парасимпатического звена регуляции; LF — активность симпатических центров регуляции сосудистого тонуса; VLF — активность сегментарных и надсегментарных центров регуляции энергометаболических процессов).

снижение потребовало значительной мобилизации функциональных резервов регуляторного механизма.

На рис. 3В представлены графики показателей ТР (суммарная мощность ВСП) и IC (индекс централизации регуляторных механизмов), из которых видно, что суммарная мощность спектра ВСП на 102-е сутки полета выросла в 3 раза по сравнению с предполетным уровнем. В это же время наблюдалось почти двукратное снижение индекса централизации (IC).

В этом исследовании наблюдался также максимум абсолютного значения мощности низкочастотных колебаний ВСП (LF), которые связаны с регуляцией артериального давления (рис. 3Г).

На 128-е сутки полета повышенная активность подкоркового сосудистого центра сохранялась, о чем свидетельствует не только сохранение высокого абсолютного значения показателя LF, но и его максимальная относительная величина (рис. 3Г), достигающая 75%. Индекс централизации при этом до-

стигает величины в 7,8 относительных единиц, что обусловлено высоким значением LF.

При рассмотрении изменений регуляции сосудистого тонуса, которые наблюдались у этого космонавта на 102-е и 128-е сутки полета, следует отметить, что они происходили при относительно нормальных значениях ЧСС и СИ. В связи с этим важно обратить внимание на представленную на рис. 4 динамику ультранизкочастотных колебаний ВСП (ULF). Величина этого показателя на 102-е сутки полета была максимальной (435 мс² по сравнению со 102 мс² до полета) и это указывает на высокую активность надсегментарных отделов мозга. Таким образом, можно говорить о связи наблюдавшихся изменений сосудистой регуляции с активацией гипоталамо-гипофизарного отдела, т. е. о включении в процессы управления высших вегетативных центров. Подобные явления могут быть связаны с утомлением, плохим сном или психо-эмоциональным напряжением.

В конце полета на 148-е сутки снова растет стресс-индекс (до 238 усл. ед.) и резко снижается значение показателя рNN50 (рис. 3Б), увеличивается мощность очень низкочастотных колебаний ВСП (VLF), достигая величины в 219 мс², по сравнению с 78 мс² до полета. Таким образом, значительно увеличивается активность симпатического звена регуляции, направленная на мобилизацию функциональных резервов. Резкое снижение функциональных резервов в конце полета проявляется выраженной стрессорной реакцией в послеполетном периоде. Как видно из рис. 3 (Б–В), после полета стресс индекс возрастает до 335 усл. ед., индекс централизации увеличивается до значения в 11,4.

Описанная выше характерная динамика показателей вегетативной регуляции существенно зависит от индивидуальных особенностей регуляторного механизма. В табл. 1 представлены данные об индивидуальных особенностях вегетативной регуляции на разных этапах космического полета у членов

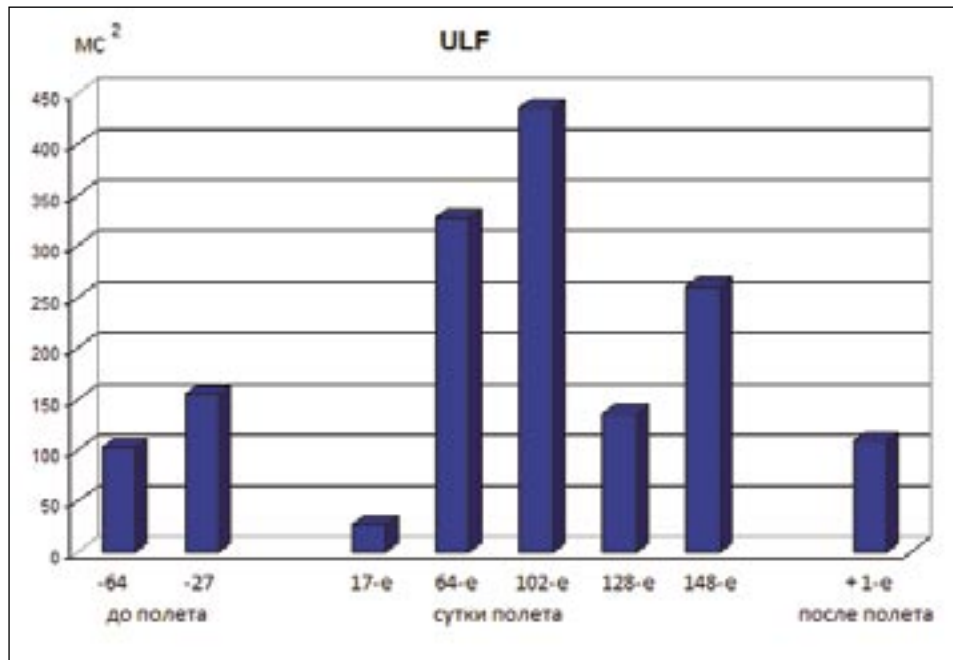


Рис. 4. Динамика показателя ULF (ультранизкочастотные колебания ВСР) у одного из членов экипажа МКС.

Российских экипажей МКС. Как следует из данных этой таблицы, прямая связь между результатами предполетных исследований и результатами исследований в полете и после полета отсутствует. Однако имеется сходство в реакциях космонавтов с крайними типами вегетативной регуляции. Например, у К-10 и у К-13 с наибольшими предполетными значениями ЧП и Ин в послеполетном периоде отмечали высокие значения ЧП (112 и 85), а у К-10 самое высокое значение Ин (915). В то же время у К-6 с самым низким предполетным значением ЧП (52) после полета величина ЧП также была очень высокой (84).

Величина показателя ТР, характеризующего запас функциональных резервов регуляторного механизма, также не является прогностически значимой. Так, у К-16 с самыми высокими значениями этого показателя в полете (2200–6000) до полета также наблюдался относительно высокое значение ТР (3480), но в то же время у К-14 с самым большим предполетным показателем ТР (8000) в полете и после полета никаких значимых особенностей вегетативной регуляции не выявлено. Эти наблюдения явились стимулом к разработке новых методов оценки функционального состояния, учитывающих тип вегетативной регуляции.

На рис. 5 показаны графики среднеполетных значений частоты пульса (ЧП), индекса напряжения регуляторных систем (Ин) и суммарной мощности

спектра ВСР (ТР). Как видно, тенденции изменений частоты пульса к урежению во время полета сопровождаются снижением индекса напряжения регуляторных систем и значительным увеличением суммарной мощности спектра ВСР. Это обусловлено постепенным компенсаторным увеличением активности систем вегетативной регуляции. Эти данные указывают на общие тенденции изменений вегетативного гомеостаза, которым не всегда соответствуют результаты индивидуальных исследований. По-видимому, это обусловлено разными индивидуальными типами вегетативной регуляции, что является причиной различий в адапционных реакциях членов экипажей.

Б. Оценка риска развития патологии

При оценке риска развития патологии на разных этапах космического полета была использована математическая модель функциональных состояний организма, разработанная на основе обобщения результатов анализа вариабельности сердечного ритма у всех Российских космонавтов, совершивших длительные полеты на МКС [15].

Модель представляет собой систему из двух уравнений дискриминантной функции, первое из которых отражает степень напряжения регуляторных си-

стем (СН), второе – их функциональный резерв (ФР). Параметры СН и ФР вычисляются по показателям ЧСС, рNN50, SI, HF, %. При этом учитывается и индивидуальный тип вегетативной регуляции. По значениям СН и ФР строится фазовая плоскость, которая представляет собой двумерное пространство функциональных состояний. В нем каждый из четырех квадрантов соответствует одному из четырех функциональных состояний (физиологическая норма, донозологическое состояние, преморбидное состояние, патологическое состояние).

Текущее функциональное состояние при каждом исследовании определяется как точка с координатами СН и ФР, а изменения функционального состояния в ходе космического полета отображаются траекторией на фазовой плоскости. На рис. 6 представлены траектории функционального состояния в ходе длительного космического полета у четырех членов экипажей МКС с разными типами вегетативной регуляции.

На рис. 7 представлена траектория функциональных состояний в полете одного из членов экипажа МКС (К-17). Как видно, функциональное состояние космонавта на всех этапах полета находится в зоне донозологических состояний. В конце полета (на 148-е сутки) выраженность донозологического состояния увеличивается, достигая предполетного уровня, а после полета находится на границе с зоной преморбидных состояний.

Табл. 1. Индивидуальные особенности вегетативной регуляции на разных этапах космического полета у членов Российских экипажей МКС по данным космического эксперимента «Пневмокард».

Члены экипажей МКС №№	Значения показателей variability сердечного ритма								
	До полета			В полете			После полета		
	ЧП	Ин	ТР	ЧП	Ин	ТР	ЧП	Ин	ТР
1	71	177	2735	63-68	70-180	4800	76	544	2864
2	63	65	2270	58-82	44-103	1500-3100	97	680	430
3	67	165	835	48-57	34-108	1000-2500	67	86	690
4	66	98	1130	65	212	480	105	590	380
5	63	77	1550	64-77	30-130	1130-3100	80	258	470
6	52	23	3860	55-59	27-68	2000-6500	84	177	1200
7	70	101	1670	48-55	22-62	1750-3600	63	48	4370
8	59	64	2100	66-75	108-183	750-1450	71	156	920
9	56	66	2030	46-71	21-61	1960-5350	73	52	3070
10	85	400	360	68-78	100-270	500-1700	112	915	1900
11	58	100	1200	51-57	40-165	790-4000	57	68	1150
12	68	105	1300	64-71	45-89	2200-3100	82	84	2140
13	89	270	1000	66-80	48-70	2200-3100	85	100	1300
14	65	25	8000	62-70	25-154	1000-5000	57	50	2750
15	55	130	450	55-61	75-102	800-3600	61	142	1000
16	60	26	3480	45-60	22-50	2200-6000	83	280	530
17	75	190	720	73-80	90-240	600-1300	83	340	410
18	70	88	1700	53-65	30-53	970-5100	64	65	2050
19	68	90	2140	62-74	57-110	800-2100	81	360	420
20	67	124	1600	53-68	45-90	1650-4500	69	136	860
21	72	65	1980	62-69	70-140	620-2700	83	112	1870
22	71	47	1800	58-62	30-70	1800-3500	61	30	8000
23	58	114	1200	64-71	71-200	600-2500	78	181	1196
24	57	98	1500	45-52	40-63	985-2500	67	116	3555
25	67	77	1800	59-70	117-240	340-1160	69	280	760

На основе параметров СН и ФР с учетом индивидуального типа вегетативной регуляции рассчитываются вероятности функциональных состояний при каждом из исследований. Поскольку каждая точка в пространстве состояний имеет продолжение в будущем, можно вычислить это будущее, используя аппарат теории вероятностей. Оценка текущего функционального состояния дается по его наибольшей вероятности, но вместе с тем можно судить и о вероят-

ности развития других функциональных состояний, в том числе патологии.

На рис. 8 представлены вероятностные оценки функциональных состояний у К-17 на каждом из этапов длительного космического полета.

Вероятностный подход показывает, что еще до полета, а также и после полета донозологическое состояние было значительно более выраженным, чем состояние нормы. В полете только на 64-е и 128-е сутки состояние физио-

логической нормы имело более высокую вероятность, чем донозологическое состояние.

Для оценки риска развития патологии в ГНЦ РФ-ИМБП РАН была разработана система определения категории риска [14]. Создана шкала оценок, включающая 10 категорий риска. При этом 1-3 категории риска относятся к относительно безопасной зоне функциональных состояний, а 4-5 категории уже указывают на наличие неблагоприятных

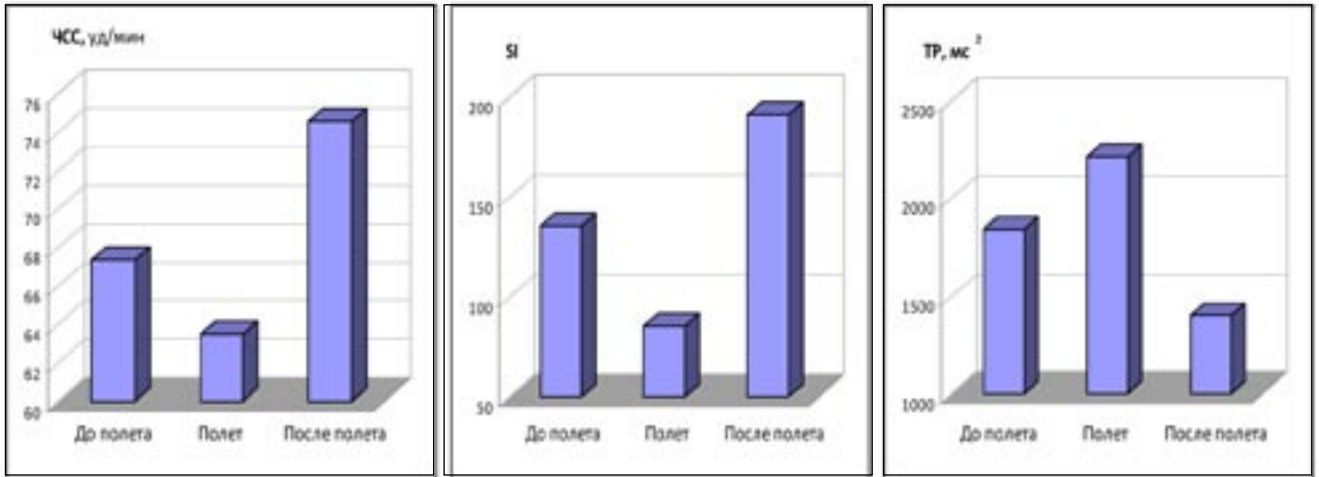


Рис. 5. Среднепопуляционные значения частоты пульса, индекса напряжения регуляторных систем и суммарной мощности спектра ВСР у членов Российских экипажей МКС (n=25).

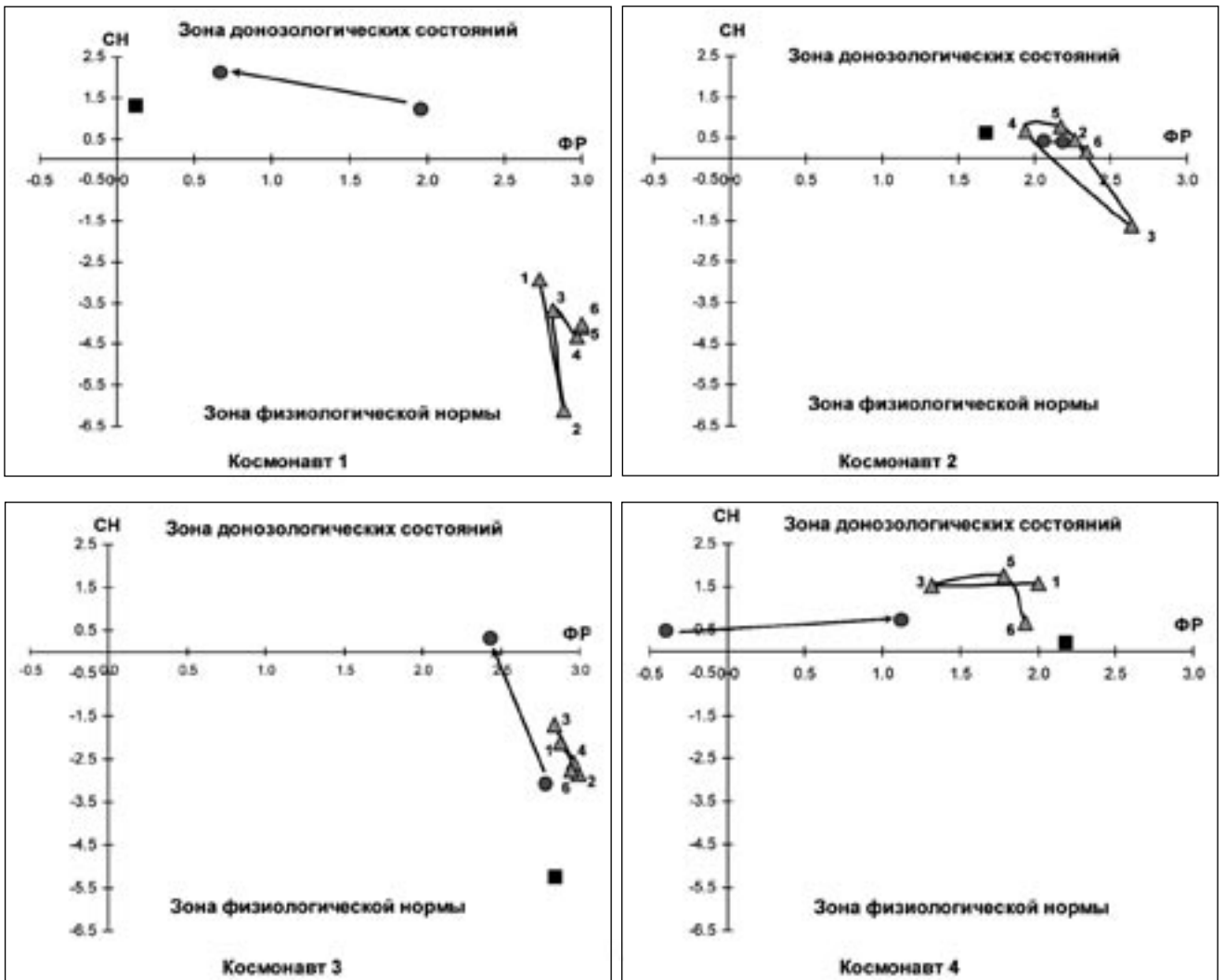


Рис. 6. Траектории функционального состояния в ходе длительного космического полета у четырех членов экипажей МКС с разными типами вегетативной регуляции.

для здоровья условий, 6–7 категории риска требуют срочного принятия мер по оптимизации условий жизни и труда, а риски 8-й категории и выше указывают на необходимость немедленных мероприятий по снижению риска. На рис. 9 представлены категории риска, вычисленные для К-17 на разных этапах длительного космического полета. Согласно этим данным в предполетном и послеполетном периоде, а также на 148-е сутки полета функциональное состояние К-17 было неблагоприятным.

В табл. 2 представлены результаты оценки функционального состояния всех Российских членов экипажей МКС, выполнявших эксперимент «Пневмокард». Из этих данных видно, что до полета из 25 космонавтов донозологическое состояние наблюдалось в 9 случаях и одном случае состояние оценивалось как преморбидное. Во время полета в 16 случаях наблюдались эпизоды донозологического состояния. После полета донозологическое состояние было отмечено в 13 случаях и в 5 случаях оно было квалифицировано как преморбидное. Из этого может быть сделан вывод, о том, что стрессорное воздействие комплекса факторов космического полета на организм человека является довольно значительным, так как в полете донозологические состояния наблюдались в 1,5 раза чаще, чем до полета, а после полета у 20% космонавтов были отмечены преморбидные состояния. Средние категории риска соответственно были равны в предполетном периоде – 2,08; во время полета – 3,04; после полета – 3,36.

Представленные материалы показывают, что использование вероятностного подхода к анализу ВСР и предлагаемые методы оценки риска развития патологии могут быть с пользой применены в практике медицинского обеспечения космических полетов.

Заключение

Космический эксперимент «Пневмокард» явился новым этапом развития космической медицины и, в частности, космической кардиологии. Прежде всего, это не разовый эксперимент, а большая серия систематических целенаправленных исследований кардиореспираторной системы, ежемесячно проводимых на борту МКС в течение более пяти лет. Следует отметить приоритетный характер полученных экспериментальных материалов. Эти дан-

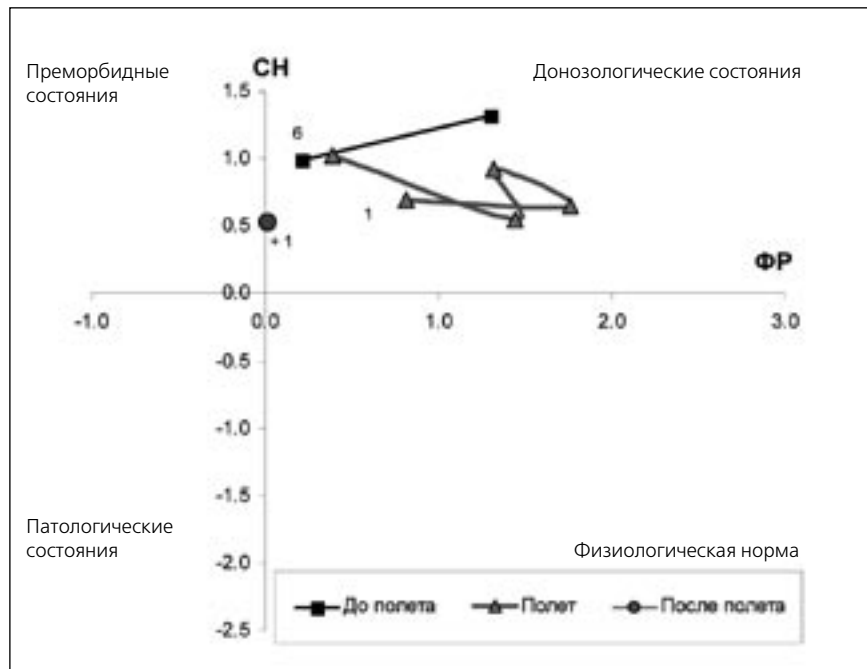


Рис. 7. Динамика изменений функционального состояния одного из космонавтов (К-17) в ходе космического полета (траектория на фазовой плоскости). По оси абсцисс — значения ФР (функциональный резерв), по оси ординат — значения СН (степень напряжения).

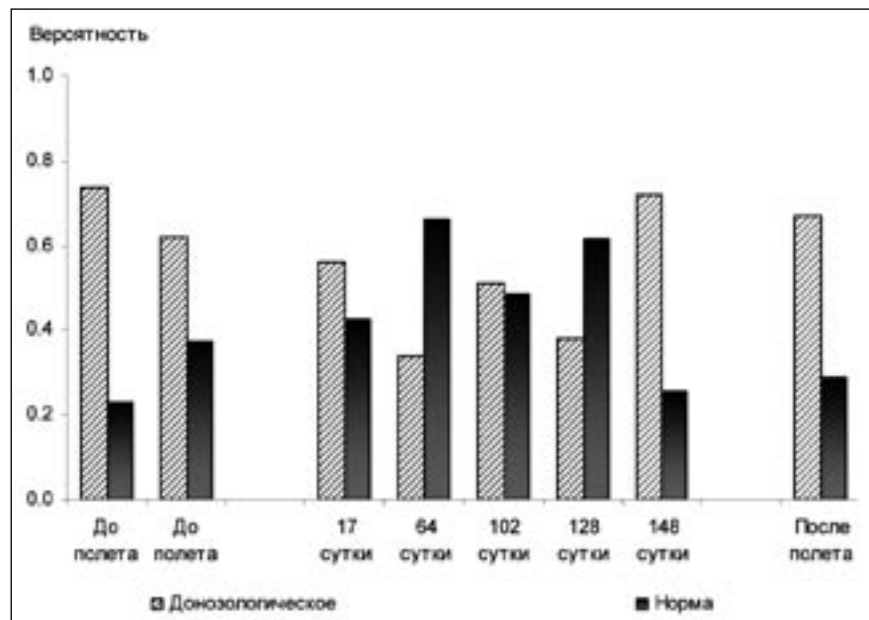


Рис. 8. Вероятности состояний физиологической нормы и донозологического состояния у К-17 на разных этапах длительного космического полета.

ные получили положительную оценку на многих Российских и международных симпозиумах и конференциях [2, 3, 4, 5, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. Их теоретическое значение определяется тем, что впервые экспериментально обоснована

важная роль вегетативной регуляции в обеспечении сердечнососудистого гомеостаза в условиях длительного космического полета. Выявлены механизмы перенастройки вегетативного баланса на разных этапах длительного

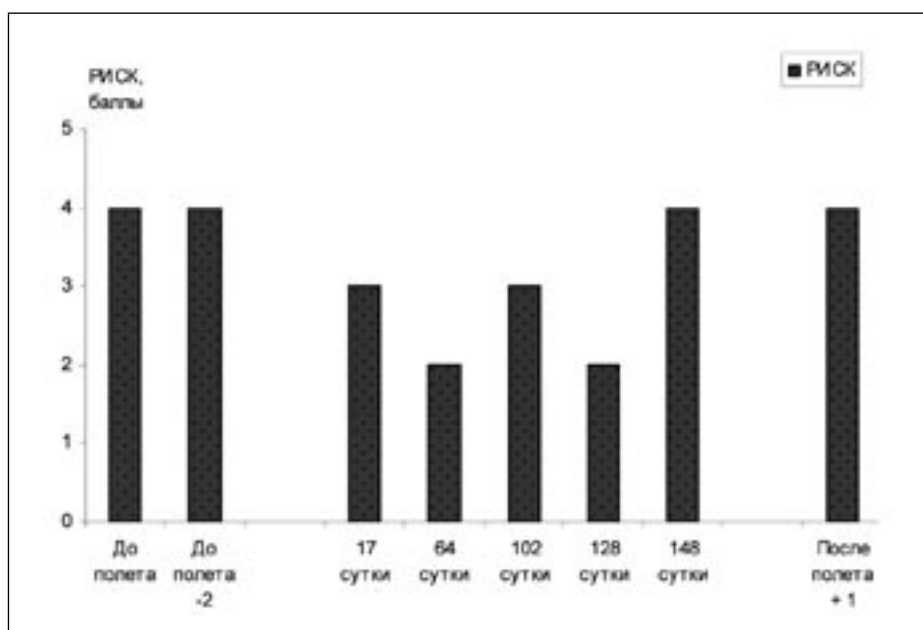


Рис. 9. Категории риска у К-17 на разных этапах длительного космического полета.

Табл. 2. Оценка функционального состояния членов Российских экипажей МКС по данным космического эксперимента «Пневмокард».

Члены экипажей МКС №№	До полета	В полете	После полета	Категории риска
1	Д	Н	Н	4-3-3
2	Н	Н-Д-Н	Д	1-4-6
3	Н	Н	Н-П	3-3-7
4	Н	Н-Д	П	1-6-9
5	Н	Д-Н	Д	1-4-3
6	Н	Д-Н	Д-Н	1-5-3
7	Н	Н	Н	3-2-1
8	Н	Н	Н-Д	2-3-3
9	Н	Н	Н	2-1-1
10	Д	Д	П	4-4-8
11	Д	Д	Д	2-4-2
12	Д	Н-Д	Д	3-3-4
13	П	Д	Д	5-2-2
14	Н	Н-Д-Н	Н	1-4-1
15	Д	Д	Д	2-3-2
16	Н	Н	Д-Н	1-2-4
17	Д	Д	Д	4-4-4
18	Д	Д-Н	Н	1-2-1
19	Н-Д	Н-Д	П-Д	2-2-4
20	Д	Д	Д	2-3-2
21	Н	Д-Н-Д	Д-П	1-2-4
22	Н	Н	Д-Н	1-1-3
23	Н	Н-Д	Н	3-4-2
24	Н	Н	Н	1-2-2
25	Н	Н-Д	Д-Н	1-3-3

воздействия невесомости и определены критерии их оценки по показателям ВСР. Наконец, показано, что адаптация организма космонавта к условиям невесомости в значительной мере зависит от индивидуального типа вегетативной регуляции.

Прикладное значение результатов проведенных исследований определяется двумя положениями: 1) разработана и практически апробирована методика определения индивидуального типа вегетативной регуляции у членов космического экипажа; 2) разработан вероятностный подход к оценке риска развития патологии в условиях длительного космического полета, который позволяет прогнозировать ухудшение функционального состояния членов экипажа. Оба эти положения представляют интерес не только для космической медицины, но и для различных областей прикладной физиологии, которые изучают адаптационные реакции организма человека при воздействии экстремальных факторов окружающей среды. Космическая медицина активно содействует внедрению в практику новых космических технологий, используя одновременно все новейшие достижения медицинской науки для обеспечения здоровья и нормальной жизнедеятельности космических экипажей.

Литература

1. Баевский Р. М., Никулина Г. А., Фунтова И. И., Черникова А. Г. Вегетативная регуляция кровообращения. В кн. Орбитальная станция «Мир», т. 2, 2001, С. 36–68.
2. Баевский Р. М., Фунтова И. И., Гариб Г. Роль симпатического звена регуляции в поддержании сердечно-сосудистого гомеостаза в условиях длительной невесомости. Материалы 12-й конференции по космической биологии и авиакосмической медицине. М., 2002, с. 39–41.
3. Baevsky R. M., Funtova I. I., Diedrich A., Chernikova A. G., Tank J. Autonomic function testing aboard the ISS using «PNEUMOCARD». 58-th Congress IAA, Haydarabad, India, September, 2007.
4. Baranov V. M., Baevsky R. M., Drescher J., Tank J. et al. Investigations of the cardiovascular and respiratory systems on board the international space station: Experiments «Puls» and «Pneumocard». 53rd Congress IAF, Houston, Oct. 2002.
5. Baevsky R. M., Baranov V. M., Bogomolov V. V. et al. Prospects of development of the medical control automated systems at the ISS on the basis of onboard equipment «Pulse» and «Pneumocard» using. Bremen, 54 IAC, 2003.
6. Баевский Р. М., Лучицкая Е. С., Фунтова И. И., Черникова А. Г. Исследования вегетативной регуляции кровообращения в условиях длительного космического полета. «Физиология», 2013 (в печати).
7. Парин В. В., Баевский Р. М., Волков Ю. Н., Газенко О. Г. Космическая кардиология. Л.: Медицина, 1967. – 206 с.
8. Баевский Р. М., Кириллов О. И., Клецкин С. З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М. «Наука», 1984, 235 с.
9. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // Circulation. – 1996. – Vol. 93. – P. 1043–1065.
10. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. Вестник аритмологии, 2001, 24, с. 69–85.
11. Григорьев А. И., Баевский Р. М. Концепция здоровья и космическая медицина. М., «Слово», 2007, 208 с.
12. Казначеев В. П., Баевский Р. М., Берсенева А. П. Донозологическая диагностика в практике массовых обследований населения. – Л.: Медицина, 1981, 196 с.
13. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Введение в донозологическую диагностику. М., «Слово», 2008, 208 с.
14. Черникова А. Г. Оценка функционального состояния организма в условиях длительного космического полета на основе анализа variability сердечного ритма. Автореф. канд. дисс., М., 2010, 24 с.
15. Баевский Р. М., Черникова А. Г. К проблеме физиологической нормы: Математическая модель функциональных состояний на основе анализа variability сердечного ритма. Авиакосмическая и экологическая медицина, 2002, № 6, С. 11–17.
16. Баевский Р. М., Берсенева Е. Ю., Дресчер Ю., и др. Компьютерные системы для исследования кровообращения и дыхания на борту международной космической станции. Материалы 12-й конференции по космической биологии и авиакосмической медицине. М., 2002, с. 38–39.
17. Baevsky R. M., Funtova I. I., Diedrich A., Chernikova A. G., Drescher J., Baranov V. M., Tank J. Cardiac function measured by impedance cardiography is maintained during long term space flight. 59 IAC, Glasgow, Scotland, 2008.
18. И. И. Фунтова, А. Г. Черникова, И. Н. Федорова, В. М. Баранов, И. Танк, Р. М. Баевский. Некоторые результаты научного эксперимента «Пневмокард на борту МКС. 17th IAA Humans in Space Symposium Moscow, Russia, June 7–11, 2009.
19. А. Г. Черникова, И. И. Фунтова, Р. М. Баевский. Оценка функционального состояния членов экипажей МКС на основе анализа variability сердечного ритма. 17th IAA Humans in Space Symposium Moscow, Russia, June 7–11, 2009.
20. I. Funtova, R. Baevsky, E. Luchitskaya, I. Slepchenkova, J. Drescher, J. Tank. Day-vs. night time heart rate variability

changes in microgravity: experiments «Pneumocard» and «Sonocard». 62nd International Astronautical Congress, 2011, ID: 10491.

21. A. G. Chernikova, R. M. Baevsky, I. I. Funtova. The probability approach to an estimation of risk of a pathology at cosmonauts according to analysis HRV., ISHNE-2011, Moscow, April, 2011.

Studying of long weightlessness influence on autonomic regulation of blood circulation at crew members of the international space station. Space experiment «Pneumocard»

R. M. Baevsky, I. I. Funtova
E. S. Luchitskaya, A. G. Chernikova
Institute of biomedical problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow

Abstract

The article presents results of space experiment «Pneumocard», which was held onboard the International space station (ISS) from March, 2007 till December, 2012, are described in article. Experiment was conducted monthly. All Russian crew members of ISS participated in it. 25 cosmonauts have taken part in 226 investigations (130 investigations — onboard ISS, 50 investigations before flight and 46 — after flight).

The experiment «Pneumocard» is devoted to studying the effect of space flight factors on the autonomic regulation of blood circulation, breath and cardiac contractility at long space flights. The purpose of space experiment — to provide new scientific information to deepen the representations about mechanisms cardiorespiratory systems adaptation to conditions of prolonged space flight.

During the experiment following physiological signals were recorded: the electrocardiogram, the impedance cardiogram, the seismocardiogram, pneumotachogram, a finger photoplethysmogram. Researches onboard ISS were spent by means of a specialized hardware-software complex «Pneumocard». The complex, weighing 200 gramm with electrodes, sensors and connecting wires, was placed on a breast belt of the cosmonaut and provided comfort for experimental researches in microgravity. The recorded information was stored in memory of the onboard computer and transmitted to the Earth via Internet, as well as it was delivered in the form of magnetic recordings when returning crews to the Earth.

The heart rate variability (HRV) analysis, aimed at assessing the features of autonomic regulation of blood circulation, has an important place in data analysis. It is shown that at beginning of the flight, as a rule, there is increased activity of parasympathetic regulation, then there

is a mobilization of additional functional reserves (increase the total power of the HRV spectrum). In the middle and in the end of flight, growth of activity of the sympathetic centers of vascular tone regulation (low-frequency range of HRV spectrum) is usually marked. However, there were marked individual specific features of autonomic homeostasis reconfiguration during flight because of the different individual types of autonomic regulation. Therefore, the development of mathematical model of the functional states, considering individual type of autonomic regulation, had great importance.

The greatest interest for practice of medical support of space flights are the results of applying the prenosological approach and methods for probabilistic assessment of risks. The efficiency of a phase plane method application for displaying a trajectory of changes in the functional state at different stages of flight is shown. The results of assessment of a functional status and risk of pathology development at all Russian crew members of ISS are presented. Average categories of risk were in the preflight period — 2,08; during flight — 3,04; after flight — 3,36.

The presented materials show that the use of HRV analysis in combination with the prenosological diagnostics methods and the probabilistic approach for estimating the risk of disease can be applied with advantage in practice of medical support of space flights.

Key words: cardiovascular system, autonomic regulation, mechanisms of adaptation, heart rate variability, functional reserves, a degree of a stress, a likelihood estimation, a category of risk.

Вивчення впливу тривалої невагомості на вегетативну регуляцію кровообігу у членів екіпажів міжнародної космічної станції. Космічний експеримент «Пневмокард»

*Р. М. Баєвський, І. І. Фунтова
Є. С. Лучицька, А. Г. Чернікова*
Інститут медико-біологічних проблем РАН, Москва

Резюме

У статті представлені результати космічного експерименту «Пневмокард», який щомісяця проводився на борту Міжнародної космічної станції (МКС) з березня 2007 р. по грудень 2012 р. Всього в дослідженнях взяли участь 25 космонавтів, проведено 226 досліджень. Експеримент «Пневмокард» присвячений вивченню впливу чинників космічного польоту на вегетативну регуляцію кровообігу, дихання і скоротливу функцію серця в тривалому космічному польоті. Дослідження на борту МКС проводилися за допомогою спеціалізованого апаратно-програмного комплексу «Пневмокард».

При аналізі даних значне місце займав аналіз варіабельності серцевого ритму (ВСР), спрямований на оцінку особливостей вегетативної регуляції кровообігу. Є виражені індивідуальні особливості перенастроювання вегетативного гомеостазу в процесі польоту, що обумовлено різними індивідуальними типами вегетативної регуляції. Найбільший інтерес для практики медичного забезпечення

космічних польотів представляють результати застосування донозологічного підходу і методів ймовірнісної оцінки ризику розвитку патології.

Ключові слова: кардіореспіраторна система, вегетативна регуляція, механізми адаптації, варіабельність серцевого ритму, функціональні резерви, ступінь напруги, ймовірнісна оцінка, категорія ризику.

Переписка

д.м.н., професор **Р. М. Баєвський**
Государственный научный центр
РФ — Институт медико-биологических
проблем РАН
Хорошевское шоссе, 76 А
Москва, 123007, Россия
эл. почта: rmb1928@mail.ru

Прогнозування виникнення факторів ризику склерозу коронарних артерій

А. О. Матвійчук¹, Є. А. Настенко², Є. О. Лебедєва², О. Г. Кисельова¹

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

²Національний інститут серцево-судинної хірургії ім. М. М. Амосова НАМН України

Резюме

Методами логістичної регресії і дискримінантного аналізу перевірили існування специфічних чинників ризику розвитку коронарного атеросклерозу у пацієнтів зі звивистими коронарними артеріями. Порівняли якість отриманих моделей. Виявили, що досліджені фактори ризику відповідають загальноновизнаним представленням у світовій літературі.

Ключові слова: бінарна логістична регресія, дискримінантний аналіз, коронарні артерії, коронарний атеросклероз, звивистість артерій.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.90–96

Вступ

Атеросклероз коронарних артерій є однією з найбільш частих причин виникнення ішемії міокарда. Атеросклероз коронарних судин, при виникненні ішемічної хвороби серця (ІХС) проявляється стенокардією, розвитком інфаркту міокарда, різними порушеннями провідності і аритміями серця.

До теперішнього часу встановлено цілий ряд факторів різної природи, що сприяють розвитку і прогресуванню ІХС: артеріальна гіпертензія, надлишкова маса тіла, куріння, гіподинамія, цукровий діабет та ін. Як показали результати одного з найбільших міжнародних досліджень MONICA (Multinational Monitoring of Trends and Determinants in Cardiovascular Disease), класичні фактори ризику розвитку атеросклерозу не можуть повністю пояснити розвиток серцево-судинних ускладнень. У даній статті зроблена спроба знайти інші фактори в розвитку та прогресуванні склерозу коронарних артерій (КА).

Мета роботи: перевірити існування специфічних чинників ризику розвитку коронарного атеросклерозу у пацієнтів зі звивистими КА.

Матеріал і методи дослідження

В дослідження було включено 121 пацієнт, яким первинно коронароентрикулографія (КВГ) виконувалась в НІССХ ім. М. М. Амосова НАМНУ. В залежності

від наявності звивистості та атеросклеротичного ураження КА пацієнти були розподілені на 2 масива даних. Перший масив включав в себе дані пацієнтів зі звивистими інтактними КА (n=55), яким КВГ виконувалась для діагностики ішемічної хвороби серця. До другого масиву увійшли хворі зі звивистістю та атеросклеротичними ураженнями коронарних судин (n=66), яким у подальшому проводилось коронарне шунтування (КШ).

З використанням методу «кожний за себе» порівнювались наступні вибірки: звивисті КА зі склерозом та звивисті КА без склерозу – для виявлення факторів, які впливають на розвиток склеротичних уражень КА.

Статистична обробка матеріалу проводилась з використанням програми IBM Statistics 20.0.

З метою оцінки впливу факторів ризику на перебіг атеросклерозу у пацієнтів зі звивистими КА для перевірки гіпотез при порівнянні якісних (категоріальних) даних між двома незалежними групами використовувався критерій χ^2 Пірсона. Був прийнятий довірчий інтервал 95%, при $p < 0,05$ різницю ознак слід вважати статистично значущою. З масиву досліджуваних ознак було відібрано ряд факторів, які мали найбільш вагомий вплив на прогресування коронарного склерозу. Для вивчення статистичного взаємозв'язку ознак використовували параметричний кореляційний аналіз Спірмена.

Для обробки та визначення системи впливових чинників використано розвідувальний статистичний аналіз з використанням методу бінарної логістичної регресії та дискримінантного аналізу. За допомогою даних методів було створено математичні моделі, в яких вплив кожного показника визначався його ваговою оцінкою або відповідним коефіцієнтом, які використовувались

для оцінки інформативності та прогностичної значущості кожного з факторів прогресування коронарного склерозу у хворих зі звивистими КА.

В процесі кореляційного аналізу з масиву досліджуваних ознак було відібрано ряд факторів, які мали найбільш вагомий вплив на склероз КА.

В математичну модель були примусово включені чинники, що найбільш тісно корелювали з розвитком склерозу КА.

Для оцінки якості побудованих моделей розраховували параметри чутливості і специфічності та площу під ROC-кривою.

Результати і обговорення

По результатам кореляційного аналізу були відібрані 7 категоріальних змінних та 1 неперервна (кількісних) змінна, для яких $p < 0,05$.

Табл. 1. Середні значення показників пацієнтів зі звивистими КА без склерозу [код = 1] та звивистими КА зі склерозом [код = 2].

Група хворих	Хворі з звивисті КА без склерозу (n=55)	Хворі із звивистими КА зі склерозом (n=66)	p
Показник	M ± SD, або Медіана (мін.-макс.) [II-III квантили]	M ± SD, або Медіана (мін.-макс.) [II-III квантили]	
Вік	55 (18-76) [47-62]	61 (34-73) [55-68]	0,001

n – загальна кількість хворих в групі.

В табл. 1 відображені середні значення і стандартні відхилення по кількісним змінним для груп пацієнтів зі звивистими та незвивистими КА зі склерозом, а також статистична значимість p. Для змінної вік $p = 0,001$.

Для побудови регресійної моделі використовувались також дискретні (категоріальні) змінні (табл. 2). Всі змінні були включені в модель по результатам кореляційного аналізу.

В табл.2 наведено відношення шансів (OR), яке виражає співвідношення ймо-

вірностей склерозу у звивистих КА при позитивному та негативному значенні вивчаємого фактору.

Із даних таблиці 2 випливає, що найбільші шанси виявити склероз КА мають пацієнти, які перенесли запальні захворювання серця (OR=7,7, 95% CI (0,9-63,8)), в яких спостерігається артеріальна гіпертензія (OR=2,57, 95% CI (0,68-9,63)), цукровий діабет 2-го типу (OR=3,6, 95% CI (0,9-13,64)). Також, впливають на склероз КА такі фактори, як холестерин (OR=1,33, 95% CI

Табл. 2. Фактори ризику, включені в модель прогнозу розвитку звивистості КА для БЛР в групі, в якій порівнюються звивисті КА без склерозу [код = 1] та звивисті КА зі склерозом [код = 2].

Групи по факторам ризику		Звивисті КА без склерозу, n=55	Звивисті КА зі склерозом, n=66	OR (95%CI)*	
Фактори ризику	Розбиття значень факторів ризику				
Пол	Чоловічий	26	51	1.0 (reference)	
	Жіночий	29	15	0,26 (0,12-0,58)	
Артеріальна гіпертензія по історії хвороби (АГ по ІХ)	Норма	7	10	1.0 (reference)	
	Гіпертонічна хвороба (ГХ) 1ст		4	2	0,35 (0,05-2,47)
		ГХ 2ст	38	32	0,59 (0,2-1,73)
		ГХ 3ст	6	22	2,57 (0,68-9,63)
Триглицериди	Норма	26	15	1.0 (reference)	
	Вище норми	29	40	2,39 (1,08-5,3)	
Холестерин	Нижче норми	10	10	1.0 (reference)	
	Норма	36	33	0,9 (0,34-2,48)	
	Вище норми	9	12	1,33 (0,39-4,57)	
Запальні захворювання серця	Немає	54	56	1.0 (reference)	
	Є	1	8	7,7 (0,9-63,8)	
Захворювання щитовидної залози	Немає	50	63	1.0 (reference)	
	Є	5	1	0,16 (0,02-1,4)	
Цукровий діабет 2 типу	Немає	52	53	1.0 (reference)	
	Є	3	11	3,6 (0,9-13,64)	

Примітки:

*) позначення: OR – відношення шансів, CI – 95% довірчий інтервал для OR.

(0,39–4,57)), триглицериди (OR=2,39, 95% CI (1,08–5,3)) і пол (OR=0,26, 95% CI (0,12–0,58)). Тобто, у жінок склероз КА спостерігається майже в чотири рази частіше, ніж у чоловіків.

В загальний список параметрів для побудови моделі на основі бінарної логістичної регресії (БЛР), увійшли 8 змінних (табл. 3).

Модель БЛР в групі пацієнтів, в якій порівнювались випадки зі звивистими

КА без склерозу та звивистими КА зі склерозом має наступний вигляд:

$$z_1 = x_1 \times 1,7 - x_2 \times 0,002 - x_3 \times 0,11 - x_4 \times 0,17 + x_5 \times 2,4 - x_6 \times 3,1 + x_7 \times 1,81 + x_8 \times 0,08 - 8,4$$

Аналіз коефіцієнтів кореляції (стовпець 3, табл. 3) в групі, в якій порівнювались випадки зі звивистими КА без склерозу та звивистими КА зі склерозом

показав, що найбільш значимими факторами є пол та вік.

Порівняння тестової і навчальної вибірок в групі, в якій були порівняні звивисті КА без склерозу із звивистими КА зі склерозом представлено в табл. 4.

Порівняння тестової і навчальної вибірок в групі, в якій порівнюються звивисті зі склерозом КА та без склерозу представлено на рис. 1.

Табл. 3. Статистично значимі ($p < 0,05$) фактори ризику розвитку звивистості КА для моделі БЛР в групі, в якій порівнюються звивисті КА без склерозу [код = 1] та звивисті КА зі склерозом [код = 2].

Фактор ризику	Умове позначення	Коефіцієнт кореляції	Статистична значущість кореляції, p	Коефіцієнт рівняння регресії, $a_{1..n}$
1	2	3	4	5
Пол	X_1	-0,31	0,00	1,7
АГ по IX	X_2	0,18	0,02	-0,002
Триглицериди	X_3	-0,07	0,00	-0,11
Холестерин	X_4	-0,13	0,01	-0,17
Запальні захворювання серця	X_5	0,20	0,03	2,4
Захворювання щитовидної залози	X_6	-0,17	0,06	-3,1
Цукровий діабет 2 типу	X_7	0,18	0,05	1,81
Вік	X_8	0,303	0,001	0,08
$a_0^* = -8,4$				

Примітки:

*) a_0 – вільний член рівняння БЛР.

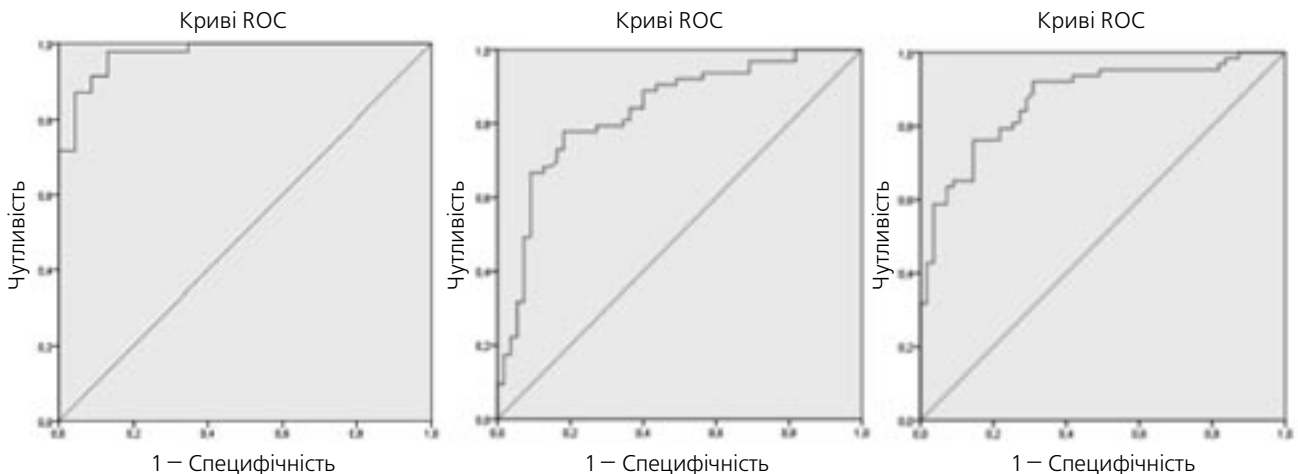


Рис. 1. Криві – ROC рівняння z_1 : а) повна вибірка даних; б) вибірка даних, яка використовується для навчання моделі; в) перехресна вибірка даних в групі, в якій порівнюються звивисті КА без склерозу із звивистими КА зі склерозом.

При прогнозуванні розвитку звивистості КА у групі, в якій були порівняні звивисті КА без склерозу із звивистими КА зі склерозом методом БЛР чутливість моделі на навчальній вибірці становить 80%, а специфічність 75,8% при сумарній точності 77,8%. А при перевірці по тестовій вибірці результати виявилися вищими – чутливість моделі становить 80%, а специфічність 86,7% при сумарній точності 83,6%.

На наступному етапі виконувати побудову моделі на основі дискримінантного аналізу.

Матриця вихідних даних містить 47 ознак. Після логічного та кореляційного аналізу вихідних даних в навчальній матриці для подальшого дослідження були залишені 8 ознак, які мали статистично значущий

Табл. 4. Відсоток правильних віднесень (Perf), чутливість (Se) і специфічність (Sp) моделей при перевірці розбиттям масиву на навчальну (N=61) і тестову (N=60) вибірки в групі, в якій порівнюються звивисті КА без склерозу із звивистими КА зі склерозом.

	auROC	Perf (%)	Sp (%)	Se (%)
Повна вибірка даних	0,974	86,5	91,8	76
Навчальна вибірка	0,833	77,8	75,8	80
Тестова вибірка	0,873	83,6	86,7	80

($p \leq 0,05$) кореляційний зв'язок зі склерозом звивистих КА.

Відбір ознак в остаточну модель здійснювався методом примусового включення дискримінантного аналізу в ППП SPSS 20.0.

Лінійні дискримінантні функції (ЛДФ) розраховуються за формулами:

$$\begin{aligned} \text{ЛДФ}_1 = & -60,3 + 14,57 \times x_1 + 2,6 \times x_2 - \\ & - 1,76 \times x_3 + 4,8 \times x_4 + 13,7 \times x_5 + \\ & + 23 \times x_6 + 13,1 \times x_7 + 0,56 \times x_8 \end{aligned}$$

Табл. 5. Результати досліджень для групи, в якій порівнюються звивисті КА без склерозу [код=1] із звивистими КА зі склерозом [код=2].

Найменування ознаки	Градація ознаки	Код ознаки	Значення коефіцієнтів ЛДФ ₁ * (звивисті без склерозу)	Значення коефіцієнтів ЛДФ ₂ * (звивисті зі склерозом)	Значення НККДФ*	Статистична значущість кореляції, r*	Коефіцієнт кореляції
Пол	Жіночий – 1	X ₁	14,57	16,4	0,66	0	-0,31
	Чоловічий – 2						
Артеріальна гіпертензія по ІХ	Норма – 1	X ₂	2,6	2,6	0,01	0,02	0,18
	ГХ 1 ст. – 2						
	ГХ 2 ст. – 3						
	ГХ 3 ст. – 4						
Триглицериди	Норма – 1	X ₃	-1,76	-1,9	-0,09	0	-0,07
	Вище норми – 2						
Холестерин	Нижче норми – 1	X ₄	4,8	4,6	-0,8	0,01	-0,13
	Норма – 2						
	Вище норми – 3						
Запальні захворювання серця	Немає – 1	X ₅	13,7	15,8	0,42	0,03	0,2
	Є – 2						
Захворювання ЦЗ	Немає – 1	X ₆	23	21,3	-0,29	0,06	-0,17
	Є – 2						
Цукровий діабет 2-го типу	Немає – 1	X ₇	13,1	14,8	0,41	0,05	0,18
	Є – 2						
Вік		X ₈	0,56	0,65	0,61	0,001	0,303
Константа			-60,3	-69,9			

$$\text{ЛДФ}_2 = -69,9 + 16,4 \times x_1 + 2,6 \times x_2 - 1,9 \times x_3 + 4,6 \times x_4 + 15,8 \times x_5 + 21,3 \times x_6 + 14,8 \times x_7 + 0,65 \times x_8$$

За результатами обстеження хворого в формули лінійних дискримінантних функцій підставляються значення тих ознак, які включені в модель, і проводиться розрахунок рівнянь. Конкретного хворого необхідно віднести в ту групу хворих, значення ЛДФ для яких найбільше.

Модель є статистично значущою ($p \leq 0,05$) і має досить високу прогностичну здатність (79,2%). Класифікаційна матриця, в якій представлені результати класифікації хворих за даними навчальної інформації та співвідношення цієї класифікації зі спостережуваними результатами звивистості КА, представлені в табл. 6.

На основі аналізу даних таблиці можна зробити висновок, що в групі пацієнтів зі звитими КА без склерозу запропонована модель забезпечує співпадіння прогнозованого результату з реальним

результатом в 76% випадків (співпадіння результатів у 19 із 25 пацієнтів), у групі звивисті КА зі склерозом – співпадіння прогнозованого результату із реальними результатами склало 80,9% (співпадіння результатів у 38 із 47 пацієнтів зі звивистими КА зі склерозом).

Таким чином, дискримінантна модель прогнозу звивистості КА зі склерозом і без склерозу, заснована на 18 ознаках, володіє класифікаційною здатністю в межах норми (79,2%) і є статистично значущою ($p \leq 0,05$). Чутливість моделі становить 76%, специфічність – 80,9%. Якість моделі допустима для прогнозування звивистості КА зі склерозом і без.

Порівняння тестової і навчальної вибірок, в якій порівнюються звивисті КА без склерозу та звивисті КА зі склерозом, представлено в табл. 7.

При прогнозуванні розвитку звитості коронарних артерій у групі, в якій порівнюються звивисті КА зі склерозом із звивистими КА без склерозу методом дискримінантного аналізу чутливість мо-

делі на навчальній вибірці складає 100%, а специфічність 96,4% при сумарній точності 98,1%. При перевірці по тестовій вибірці результати виявилися вищими – чутливість моделі становить 84%, а специфічність 81,3% при сумарній точності 82,5%.

Порівняння отриманих моделей

При порівнянні якості отриманих моделей було використано в першу чергу параметр чутливості. Для визначення прогнозу за допомогою моделей на основі бінарної логістичної регресії і на основі дискримінантного аналізу використовуються моделі, побудовані на навчальній вибірці 100% масиву.

При оцінці якості моделей при розпізнаванні всіх випадків навчальної вибірки найкращий результат має модель бінарної логістичної регресії.

Табл. 6. Класифікаційна матриця.

Звивистість			Передбачена приналежність до групи		Всього
			Звивисті без склерозу	Звивисті зі склерозом	
Вихідні	Частота	Звивисті без склерозу	19	6	25
		Звивисті зі склерозом	9	38	47
	%	Звивисті без склерозу	76,0	24,0	100,0
		Звивисті зі склерозом	19,1	80,9	100,0

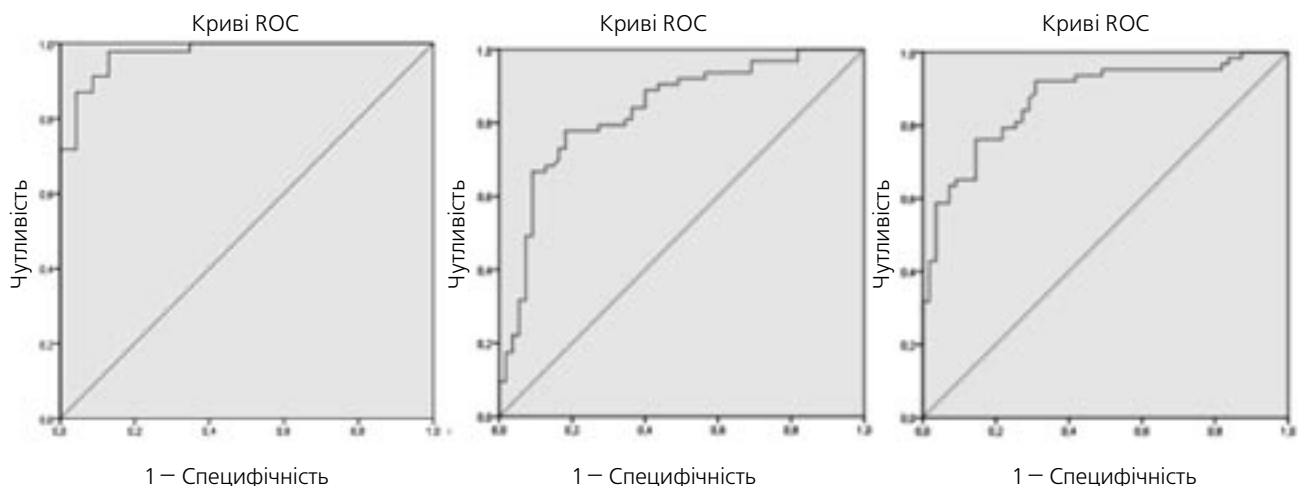


Рис. 2. Криві – ROC рівняння: а) повна вибірка даних; б) вибірка даних, яка використовується для навчання моделі; в) перехресна вибірка даних в групі, в якій порівнюються звивисті КА без склерозу зі звивистими КА зі склерозом.

Табл. 7. Відносна кількість правильних віднесень (Perf), чутливість (Se) і специфічність (Sp) моделей при перевірці розбиттям масиву на навчальну (N=61) і тестову (N=60) вибірки в групі, в якій порівнюються звивисті КА зі склерозом із звивистими КА без склерозу.

	auROC	Perf (%)	Sp (%)	Se (%)
Повна вибірка даних	0,950	86,5	91,8	76
Навчальна вибірка	0,988	98,1	96,4	100
Тестова вибірка	0,851	82,5	81,3	84

Табл. 8. Площа під ROC-кривою, відсоток правильних віднесень, чутливість і специфічність моделей для групи, в якій порівнюються звивисті КА зі склерозом із звивистими КА без склерозу, побудованих за допомогою бінарної логістичної регресії і дискримінантного аналізу.

Тип моделі і розмір навчальної вибірки	auROC	Відсоток правильних віднесень	Чутливість	Специфічність
Бінарна логістична регресія (весь масив)	0,974	83,3%	72%	89,4%
Дискримінантний аналіз (весь масив)	0,950	79,2%	76%	80,9%

Висновки

В результаті при побудові моделей за допомогою бінарної логістичної регресії та дискримінантного аналізу було використано 8 незалежних змінних. Всі ці показники є прогностично значущими і не можуть бути вилучені з моделей без серйозного зниження їх якості. Для зіставлення якості побудованих моделей використовувалися відсоток вірних віднесень, чутливість, специфічність і площа під ROC-кривою.

Дане дослідження показало, що якість, як регресійної моделі, так і дискримінантної є цілком прийнятною (табл. 8.).

Застосований метод моделювання дозволив виявити чинники ризику розвитку коронарного атеросклерозу у пацієнтів з ЗКА, які відповідають загальноновизнаним представленням у світовій літературі. Співставлення чинників, які пов'язані з атеросклерозом дозволяють більш чітко виокремити комплекси факторів для обох патологій.

Література

- Амосова Е. Н. Эффективность коррекции факторов риска и различных методов хирургического лечения больных хронической ИБС в отношении предотвращения смерти от инфаркта миокарда: мифы и реальность // Сердце і судини. – 2009. – № 4. – С. 12–24.
- Бокерия Л. А., Алекаян Б. Г., Бузиашвили Ю. И. Стентирование как метод лечения больных при возврате стенокардии после операции коронарного шунтирования // Руководство по рентгеноэндоваскулярной хирургии сердца и сосудов / Под ред. Л. А. Бокерия, Б. Г. Алекаяна. – М.: НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН, 2008. – Т. 3. – Глава 32. – С. 623–636.
- Григорьев, С. Г. Логистическая регрессия. Многомерные методы статистического анализа категориальных данных медицинских

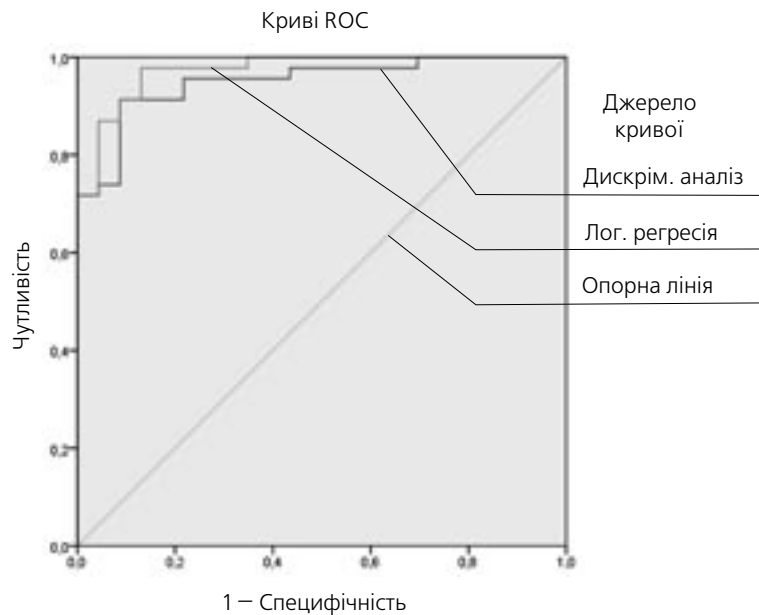


Рис. 3. Криві — ROC для групи, в якій порівнювались звивисті КА зі склерозом із звивистими КА без склерозу, побудованих за допомогою бінарної логістичної регресії і дискримінантного аналізу.

исследований / С. Г. Григорьев, В. И. Юнкеров, Н. Б. Клименко // Уч. пособие. ВМедА. – СПб, 2001. – С. 10–21.

Prediction of risk factors for coronary sclerosis

**A. O. Matviychuk¹, E. A. Nastenka²
E. O. Lebedeva², O. G. Kyselova¹**

¹National Technical University of Ukraine

«Kyiv Polytechnic Institute»

²Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery NAMS of Ukraine

Abstract

Risk factors of coronary atherosclerosis in patients with tortuous coronary arteries were identified using logistic regression and discriminant analysis methods. Quality of the models were compared. It was found that examined risk factors correspond to generally accepted views in the world literature.

Key words: binary logistic regression, discriminant analysis, coronary artery disease, coronary atherosclerosis, arterial tortuosity.

Прогнозирование возникновения факторов риска склероза коронарных артерий

**А. О. Матвийчук¹, Е. А. Настенко²
Е. О. Лебедева², О. Г. Киселева¹**

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

²Национальный институт сердечно-сосудистой хирургии им. Н. М. Амосова НАМН Украины

Резюме

Методами логистической регрессии и дискриминантного анализа проверили существование специфических факторов риска развития коронарного атеросклероза у пациентов с извитыми коронарными артериями. Сравнили качество полученных моделей. Обнаружили, что исследованные факторы риска соответствуют общепризнанным представлениям в мировой литературе.

Ключевые слова: бинарная логистическая регрессия, дискриминантный анализ, коронарные артерии, коронарный атеросклероз, извитость артерий.

Листування

А. О. Матвійчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

вул. Космонавта Волкова 24, кв. 69

Київ, 02166, Україна

тел. +38 (097) 127-23-95

ел. пошта: nutius@yandex.ru

УДК: 616.12-008.313-053.9

Оценка структуры взаимосвязей клинических показателей пациентов с благоприятным и фатальным исходом кардиоэмболического инсульта

В. В. Бокатуева

Центральная клиническая больница Укрзалізниці, Харьков

Резюме

Представлены результаты оценки взаимосвязей клинических показателей пациентов с благоприятным и фатальным исходом кардиоэмболического инсульта, полученной с помощью корреляционного и факторного анализа. В группе умерших пациентов выявлено 11 значимых корреляций между исследованными показателями, а в группе выживших — 18, что указывает на значительное напряжение исследуемых систем и мобилизацию резервов организма. Уровень неврологического дефицита у выживших пациентов выше при постоянных фибрилляциях предсердий, а фракция выброса — при персистирующих. Достоверных различий по частоте встречаемости различной локализации очагов поражения мозга между исследованными группами не выявлено.

Анализ особенностей взаимосвязей показателей в факторных структурах показал, что у выживших пациентов существенную роль в увеличении риска возникновения инсульта и степени неврологического дефицита играет возраст и наличие сопутствующей патологии, а в группе умерших сопутствующая патология, влияющая на показатели сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: кардиоэмболический инсульт, фибрилляция предсердий, фракция выброса, очаг поражения.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.97–101

Введение

Проблема цереброваскулярных заболеваний и инсульта значима не только для клинической неврологии, но и для общества в целом. Инсульт является второй по частоте причиной смерти во многих развитых странах и занимает первое место среди причин стойкой утраты трудоспособности [1–9].

В последние годы установлено, что 22–39% нарушений мозгового кровообращения являются по своей природе кардиоэмболическими (КЭИ), достигая до 40% у больных молодого возраста [3, 4, 6]. Увеличение доли кардиоцеребральной эмболии в структуре заболевания обусловлено повышением качества диагностики, связанным с развитием современных диагностических технологий и методов визуализации [10]. Среди причин кардиоэмболического инсульта выделяют фибрилляцию предсердий (ФП), связанную с ишемической болезнью сердца и артериальной гипертензией, постинфарктные изменения левого желудочка, заболевания клапанного аппарата сердца, наличие искусственного клапана сердца, хроническую сердечную недостаточность, острый инфаркт миокарда [1, 3, 5–8].

Прогнозирование течения заболевания, развития осложнений и рецидивов, выявление причин фатального исхода имеет принципиальное значение для

определения оптимальных сроков и тактики лечения больных.

Характер течения и исхода ишемического инсульта определяются локализацией и объемом инфаркта, выраженностью отека мозга, наличием сопутствующих заболеваний, развитием осложнений. По данным литературы в течение 30 дней умирает около 15–25% больных, причем смертность выше при КЭИ и атеротромботическом, намного меньше при лакунарном инсульте [1, 3, 9]. Среди причин смерти пациентов более чем в половине случаев выделяют отёк мозга и сдавление его ствола, в остальных случаях — пневмония, сердечные заболевания, эмболия лёгочной артерии, почечная недостаточность или септицемия. Почти половина летальных исходов возникающих в первые 2-е суток с момента заболевания связана с обширностью инфаркта и отёком мозга. Из оставшихся в живых около 60–70% больных имеют инвалидизирующие неврологические расстройства к концу месяца.

Таким образом, исследование особенностей показателей гемостаза, состояния сердечно-сосудистой системы (ССС), локализации очага поражения, выявление сопутствующей патологии у пациентов с благоприятным и фатальным исходом КЭИ позволит определить критерии успешности лечения и прогноза течения заболевания.

Целью данной работы является оценка особенностей взаимосвязей клинических показателей пациентов с благоприятным и фатальным исходом КЭИ.

Материалы и методы

Под нашим наблюдением находилась группа из 50 пациентов (25 выживших и 25 умерших) с КЭИ, проходивших лечение в нейрососудистом отделении Центральной клинической больницы Укрзалізниця. Средний возраст выживших пациентов составил ($69,7 \pm 9,6$) лет, умерших – ($71,8 \pm 9,6$) лет, что указывает на возрастную идентичность сравниваемых групп. В группе выживших было 35% женщин, а в группе умерших – 52%.

Для проведения оценки особенностей состояния пациентов были использованы результаты общеклинических, лабораторных и инструментальных методов исследования. С использованием шкал была проведена оценка степени нарушения сознания при поступлении в стационар (Шкала комы Глазго – ШГ), риска возникновения инсульта (РВИ) у пациентов с ФП (Шкала CHADS₂-VASc). Для оценки тяжести неврологической симптоматики в остром периоде ишемического инсульта была использована шкала NIHSS, позволяющая ориентировочно определить прогноз заболевания.

Каждому пациенту проводилась оценка по пятибалльной шкале степени нарушения двигательных функций. Для выявления патогенетической цепочки расстройств микроциркуляторного гемостаза у всех пациентов определяли (количество тромбоцитов, протромбиновый комплекс (ПТК), концентрацию фибриногена, содержание растворимого фибрина (РФМК)). Для верификации очага поражения производилась спиральная компьютерная томография (СКТ) головного мозга. Для выявления сопутствующей патологии КЭИ в виде ишемической болезни сердца (ИБС), сахарного диабета (СД), хронических obstructивных заболеваний легких (ХОЗЛ), хронических болезней почек (ХБП), желчнокаменной болезни (ЖКБ), острого желудочно-кишечного кровотечения (ОЖКК), тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА), ревматической болезни сердца (РБС), острой левожелудочковой сердечной недостаточности – (ОЛСН) были использованы данные анамнеза и консультаций смежных специалистов (кардиолог, терапевт, хирург). Для учета признаков полиорганной недостаточности при проведении математической обработки результатов исследований был введен интегративный показатель. Наличие любого из перечисленных выше заболеваний у пациента оценивалось

в 1 балл, соответственно, при наличии нескольких заболеваний вычислялась сумма баллов. Чем выше был интегративный показатель, тем более тяжелое соматическое состояние наблюдалось у пациента, что могло оказать влияние на исход КЭИ.

С использованием метода ультразвукового ангиосканирования у всех пациентов определяли степень выраженности атеросклеротического стенозирования сонных артерий, с использованием эхокардиографии – фракцию выброса (ФВ), оценка которой позволяет определить вариант хронической сердечной недостаточности (с систолической дисфункцией левого желудочка (ЛЖ) или с сохраненной систолической функцией ЛЖ).

Для оценки степени и структуры взаимосвязей между показателями структурно-функционального состояния пациентов с КЭИ были использованы корреляционный и факторный анализ [11, 12].

Результаты и их обсуждение

В группе выживших пациентов у ($70 \pm 9,6$)% показатель по шкале NIHSS был менее 10 баллов, что указывает на высокую вероятность благоприятного исхода заболевания. В группе умерших показатель неврологического дефицита у ($96 \pm 2,5$)% пациентов был больше 10 баллов, что указывает на неблагоприятный прогноз. Различия в частоте встречаемости значений менее 10 баллов в группе выживших и умерших пациентов достоверны ($p < 0,01$).

Распределения по типу ФП в группе выживших и умерших пациентов сходные. В обеих группах персистирующий тип ФП наблюдался у 30–32% пациентов, у остальных была постоянная ФП.

При оценке степени нарушения сознания по ШГ у пациентов обеих групп установлено, что в группе выживших все пациенты имели более 11 баллов, что указывает на благоприятный прогноз, в группе умерших в 24% случаев пациенты имели менее 10 баллов, в остальных случаях более. Полученный результат подтверждает, что показатели ШГ не позволяют с достаточной точностью прогнозировать исход КЭИ [13].

При оценке степени нарушения двигательных функций установлено, что в группе умерших у 60% пациентов показатель шкалы – 0 баллов, только у 16% показатель превышает 3 балла. У 57% выживших пациентов показатель составляет от 3 до 5 баллов, что достоверно ($P < 0,05$) отличается от распределения в группе умерших, что также указывает на более благоприятный прогноз КЭИ.

Фракция выброса у 30% выживших пациентов была высокая, у остальных составляла 70% от нормы, в группе умерших у всех пациентов ФВ составляла 60% от нормы.

Превышение нормальных значений гемоглобина отмечено у 26% выживших пациентов и 36% умерших. Повышенное количество эритроцитов имелось у 32% умерших и 22% выживших пациентов.

При оценке особенностей локализации очага поражения мозга (табл. 1) в группах больных с различным исходом КЭИ достоверных различий выявлено не было, что позволяет утверждать, что локализация очага не является определяющей в исходе заболевания. Так, в группе выживших локализация очага в бассейнах кровоснабжения правой и левой средних мозговых артерий наблюдалась у 92% всех больных, а в группе умерших – у 96% больных.

Для оценки связей между исследованными показателями и в группах выживших и умерших пациентов с кардиоэмболическим инсультом были построены корреляционные матрицы.

Табл. 1. Частота встречаемости локализации очагов поражения мозга, (%).

Локализация очага ишемии	Группа пациентов	
	Выжившие (n = 25)	Умершие (n = 25)
ПСМА	35±9,5	40±9,8
ЛСМА	57±9,9	56±8,5
ВББ	8,0±5,4	4,0±3,7

Примечания: ПСМА – правая средняя мозговая артерия; ЛСМА – левая средняя мозговая артерия; ВББ – вертебро-базиллярный бассейн; n – объем группы.

Матрицы были построены по следующим показателям: возраст пациента, тип фибрилляции предсердий, показатели шкал (ШГ, CHADS2-VASc, NIHSS, степень нарушения двигательных функций), концентрация гемоглобина, количество эритроцитов, тромбоцитов, величина гематокрита (Ht), ПТК, РФМК, ЧСС, степень стеноза, ФВ.

На основании анализа корреляционных матриц показателей выживших и умерших пациентов были выявлены отличия, состоящие в количестве значимых связей между показателями. В группе выживших имеется 18 значимых связей, а в группе умерших – только 11. Большое количество значимых связей в группе выживших пациентов указывает на напряжение исследуемых систем и мобилизацию всех резервов, что и обеспечило благоприятный исход заболевания.

В группе выживших возраст пациентов связан достоверными положительными связями с показателями шкал CHADS2VASc ($r=0,7$) и NIHSS ($r=0,54$), отрицательной связью с показателем ШГ ($r=-0,47$), а также со степенью стеноза ($r=0,43$). Такая структура связей указывает на увеличение риска развития инсульта, рост неврологического дефицита и степени стеноза с увеличением возраста, что согласуется с существующими представлениями. Показатель ШГ образует с возрастом отрицательную значимую связь, что указывает на снижение функции сознания, оцениваемой по этой шкале, при увеличении возраста пациентов с КЭИ.

Для учета вклада характера ФП в состояние пациентов нами была введена балльная оценка (постоянная фибрилляция – 1 балл, персистирующая – 2 балла). Введенный показатель ФП связан с уровнем неврологического дефицита ($r=-0,42$) и фракцией выброса ($r=0,51$). Полученные результаты указывают, что уровень неврологического дефицита выше при постоянных фибрилляциях, а фракция выброса в группе выживших выше при персистирующих.

Дополнительную информацию об особенностях состояния пациентов исследуемых групп позволяет получить факторный анализ. На рис. 1 представлены факторные структуры выживших и умерших пациентов с КЭИ. Использованные для проведения факторного анализа показатели отбирались с учетом результатов корреляционного анализа и предварительных исследований. Из двух коррелирующих между собой показателей использовался только один.

Анализ приведенных структур позволяет выявить различия в конфигурации факторов выживших и умерших пациентов. Обе факторные структуры



Рис. 1. Факторные структуры выживших и умерших пациентов с КЭИ.

пластичные, поскольку образованы двумя факторами. Вклад факторов в объясненную дисперсию составляет 59% в группе выживших и 54% – в группе умерших. Такой вклад указывает на влияние еще каких-то невыявленных факторов, поскольку значения случайной составляющей достаточно высокие (41% и 46%). К таким факторам могут относиться факторы, связанные с локализацией и размерами очага поражения мозга при КЭИ, а также объединяющие различные показатели гемостаза.

У выживших пациентов первый фактор можно назвать «возрастно-интегративным», а у умерших – «возрастным». В группе выживших первый фактор объясняет 37% общей дисперсии, а в группе умерших – только 28%. Различия в структуре первого фактора в группах состоит в присутствии интегративного показателя в группе выживших. Первый фактор в группе выживших приводит к снижению риска возникновения инсульта, уровня неврологического дефицита и количества сопутствующих заболеваний при снижении возраста пациентов. Полученная структура первого фактора вполне согласуется с представлениями о том, что значительное количество сопутствующих заболеваний и большой возраст пациентов приводит к большему риску инсульта и значительному уровню неврологического дефи-

цита. В группе умерших интегративный показатель в первый фактор не входит, а «возрастной» фактор аналогично приводит к снижению риска возникновения инсульта и неврологического дефицита при снижении возраста.

Второй фактор в группе выживших объединяет показатель содержания растворимого фибрина (РФМК) в крови и фракцию выброса (ФВ) и приводит к их однонаправленным изменениям. Этот фактор можно назвать «гемостазо-кардиологическим». Вклад этого фактора в общую дисперсию существенно ниже, чем первого и составляет 22%, что указывает на ведущую роль первого фактора и соответственно влияния показателей этого фактора на исход заболевания.

Второй фактор в группе умерших можно назвать «кардиологическим», поскольку он объединяет показатели ССС. Особенностью структуры этого фактора является присутствие в нем интегративного показателя. Влияние этого фактора приводит к росту ЧСС в сочетании с сокращением ФВ, что указывает на неэффективность проводимой терапии. Снижение интегративного показателя на фоне кардиологических проблем в этом случае не играет существенной роли, поскольку в этой группе КЭИ привел к фатальному исходу. В этой группе наличие сопутствующей патологии не повлияло

существенным образом на фатальный исход заболевания, который, возможно, был обусловлен локализацией и размером очага поражения мозга и особенностями состояния ССС.

Выводы

Таким образом, использование для обработки и анализа информации о состоянии пациентов с благоприятным и фатальным исходами КЭИ корреляционного и факторного анализа позволило сделать следующие выводы:

1. Наличие в группе выживших пациентов большого количества значимых корреляций между исследованными показателями (18 в группе выживших против 11 в группе умерших) указывает на значительное напряжение исследуемых систем и мобилизацию резервов организма, что способствовало благоприятному исходу заболевания.

2. Балльный показатель ФП связан в группе выживших пациентов с уровнем неврологического дефицита ($r = -0,42$) и фракцией выброса ($r = 0,51$) значимыми связями, что указывает на существенное влияние типа фибрилляции предсердий на исход заболевания.

3. Очаги поражения мозга в группе выживших пациентов в 92% случаев локализованы в бассейнах кровоснабжения правой и левой средних мозговых артерий, в группе умерших — у 96% больных. Достоверных различий по частоте встречаемости различной локализации очагов поражения между группами выживших и умерших больных не выявлено.

4. Анализ особенностей связей между показателями в факторных структурах показал, что у выживших пациентов существенную роль в увеличении риска возникновения инсульта и степени возникшего неврологического дефицита играет возраст пациентов и наличие сопутствующей патологии, тогда как в группе умерших сопутствующая патология оказывает влияние на показатели ССС.

Литература

- Исход ишемического инсульта. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.strokecenter.ru/lab8.html>.
- Мищенко Т. С. Епідеміологія мозкового інсульту в Україні / Т. С. Мищенко // Укр. вісник психоневрології. – 2005. – Т. 13, вип. 1(42). – С. 23–28.
- Кузнецова С. М. Кардиоэмболический инсульт: патогенез, клиника, терапия / С. М. Кузнецова // Здоров'я України. – 2012. – №7(24). – С. 32–34.
- Евтушенко С. К. Введение в кардионеврологию / С. К. Евтушенко // Нейронауки. – 2005. – № 1. – С. 88–94.
- Евтушенко С. К., Шепотинник Е. В., Кардашевская Л. И. Заболевание сердца и его проводящих систем в патогенезе развития кардиоэмболического инсульта / С. К. Евтушенко, Е. В. Шепотинник, Л. И. Кардашевская // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2007. – Спецвыпуск «Инсульты». – С. 338–342.
- Фонякин А. В. Кардиоэмболический инсульт: источники и пути профилактики / А. В. Фонякин, Л. А. Кузнецов // Атмосфера. Кардиология. – 2004. – № 2. – С. 13–16.
- Егоров М. С. К вопросу о кардиоэмболическом инсульте на фоне фибрилляций предсердий у больных пожилого и старшего возраста / М. С. Егоров // Укр. неврол. вестник. – 2009. – № 2. – С. 17–28.
- Мищенко Т. С. Фибрилляция предсердий у пациентов с ЦВЗТС. / Мищенко Т. С., В. Г. Деревецкая // Укр. кардіологіч. журнал. – 2003. – № 4. – С. 120–24.
- Суслина З. А. Ишемический инсульт: сосуды, сердце, кровь / З. А. Суслина // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2007. – С. 250–259.
- Волошин П. В. Інструментальна діагностика кардіогенних інсультів / П. В. Волошин, О. С. Дубенко, В. Н. Куцин, Н. В. Дьолог // Укр. вісник психоневрології. – 1999. – Т. 7, Вип. 2. – С. 20.
- Иберла К. Факторный анализ / К. Иберла. – М.: Статистика. – 1980. – 398 с.
- Ферстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа. / Э. Ферстер, Б. Ренц – М.: Финансы и статистика. – 1983. – 302 с.
- Мищенко Т. С. Особенности структурно-функциональных изменений головного мозга у больных с фатальными кардиоэмболическими инсультами / Т. С. Мищенко, В. В. Бокатуева, В. В. Лебединец // Украинский вестник психоневрологии. – 2013. – Том 21, вып. 1 (74). – С. 12–15.

Evaluation structure of interrelation of clinical indexes of cardioembolic stroke patients with favourable and fatal outcome

V. V. Bokatuева
Ukrzaliznytsia's Central Hospital, Kharkiv

Abstract

The results of the evaluation of interrelations characteristics of clinical indexes of cardioembolic stroke patients, with favourable and fatal outcome are presented. Those were obtained using correlation

and factor analysis. In the group of the deceased patients 11 significant correlations between researched indexes are detected, and in the group of survived there are 18 of them. That indicates significant tension of researched systems and mobilization of internal body reserves which contributed to the favourable outcome of disease. It has been established that level of neurological deficit among surviving patients is higher during permanent fibrillations of auricles, and ejection fraction is higher during persistent. Brain lesion focuses on the group of surviving patients in 92% of cases were localized in the blood supply pool of left and right medial cerebral arteries, such localization has been changed at 96% of cases in deceased patients' group. A significant difference in occurrence frequency of different lesion focuses localization between groups of survived and deceased patients has not been found.

Analysis of interrelations features between indexes in factor structures has showed that in the case of survived patients the main role in stroke occurrence and degree of neurological deficit the age of patients and presence of attendant pathology have played, while in the group of deceased attendant pathology has an influence on the indexes of cordial vascular system.

Key words: cardioembolic stroke, auricular fibrillation, ejection fraction, lesion focus.

Оцінка структури взаємозв'язків клінічних показників пацієнтів з сприятливим і фатальним результатом кардіоемболічного інсульту

V. V. Bokatuева

Центральна клінічна лікарня Укрзалізниці Харків

Резюме

Представлені результати оцінки особливостей взаємозв'язків клінічних показників пацієнтів з сприятливим і фатальним результатом кардіоемболічного інсульту, отримані з використанням кореляційного і факторного аналізу. У групі померлих пацієнтів виявлено 11 значущих кореляцій між досліджуваними показниками, а в групі хворих, які вижили — 18, що вказує на значне напруження досліджуваних систем і мобілізацію резервів організму, які забезпечили сприятливий результат захворювання. Встановлено, що рівень неврологічного дефіциту у пацієнтів, які вижили, вище при постійних фібриляціях передсердь, а фракція викиду — при персистуючих. Вогнища ураження мозку у групі пацієнтів, які вижили, у 92% випадків були локалізовані в басейнах кровопостачання правої

і лівої середніх мозкових артерій, у групі померлих — у 96% хворих. Достовірних відмінностей по частоті зустрічальності різної локалізації вогнищ ураження мозку між групами пацієнтів, які вижили, і померлих хворих виявлено не було. Аналіз особливостей взаємозв'язків між показниками в факторних структурах показав, що у пацієнтів, які вижили, істотну роль у збільшенні ризику виникнення інсульту і ступеня неврологічного дефіциту відіграє вік та наявність супутньої патології, тоді як у групі померлих супутня патологія впливає на показники серцево-судинної системи.

Ключові слова: кардіоемболічний інсульт, фібриляція передсердь, фракція викиду, вогнище ураження.

Переписка

В. В. Бокатуєва

Центральная клиническая больница
Укрзалізниці
пер. Балакирева, 5
Харьков, 61000, Украина
тел.: +380 (50) 582 27 91
эл.почта: bokatueva@gmail.com

УДК: 681.518.2

Результаты использования информационной технологии оценки тяжести состояния пациентов и прогноза исхода при травме поджелудочной железы

М. Н. Нессонова¹, М. Л. Кочина²

¹Национальный фармацевтический университет, Харьков, Украина

²Харьковская медицинская академия последипломного образования, Украина

Резюме

В работе описаны результаты использования разработанной авторами информационной технологии для оценки тяжести состояния пациентов и прогнозирования исхода при травме поджелудочной железы. Представлены математические модели и алгоритмы классификации для определения степени тяжести состояния и исхода. Приведен сравнительный анализ точности, специфичности и чувствительности построенных моделей с математическими моделями, полученными на основе дискриминантного анализа, деревьев решений и логит-регрессии. Показано преимущество разработанных методов оценки тяжести состояния и прогнозирования исхода при травмах ПЖ в сравнении со стандартными методами построения математических моделей прогноза.

Ключевые слова: оценка тяжести состояния, прогнозирование исхода, классификация с обучением, композиция классификаторов, информационная технология, математические модели прогноза, точность, специфичность, чувствительность методов прогнозирования.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.102–107

Введение

Объективная оценка тяжести состояния пациента является основой для прогнозирования исходов и осложнений заболевания, выбора адекватной лечебной тактики, оценки эффективности хирургического и медикаментозного лечения, экономического обоснования целесообразности того или иного метода терапии, а также планирования необходимых ресурсов здравоохранения. При проведении обработки и анализа данных клинических наблюдений правильная оценка степени тяжести состояния пациента позволяет сформировать однородные группы больных, построить модели прогноза исхода заболевания, оценить эффективность работы лечебных учреждений, провести сравнение результатов их деятельности, облегчить сопоставление эффективности различных видов терапии. Корректность прогнозирования приобретает принципиальное значение и особую актуальность для страховой медицины [1].

Повреждения поджелудочной железы (ПЖ) являются довольно редким видом травмы и составляют 1–4 % от общего числа повреждений органов брюшной полости, однако летальность при таких повреждениях достаточно высока. По данным разных авторов [2, 3, 4, 5] общая смертность при травматических повреждениях поджелудочной железы составляет от 20 до 80 %.

Проблема оценки тяжести состояния, а также прогноза исходов и осложнений при закрытых травматических повреждениях ПЖ до настоящего времени остается нерешенной, что обусловлено отсутствием специфических прогностических систем. Подобные системы разработаны для использования в реанимационных отделениях хирургического и терапевтического профиля [6, 7]. Специфических шкал для оценки степени тяжести состояния больных с травматическим панкреатитом в доступной литературе нами не выявлено.

В настоящее время на практике при травмах ПЖ, особенно закрытых, чаще всего используют те же методы диагностики, что и при остром панкреатите нетравматической этиологии либо шкалы и системы, предназначенные для оценки степени тяжести (любых) травматических повреждений. К сожалению, используемые в реанимационной практике стандартные шкалы оценки тяжести состояния (APACHE II, SAPS, MODS, Ranson и др.), а также специально разработанные для травматологии шкалы (TRISS, ISS, RTS и др.) не обладают достаточной чувствительностью прогноза, что, в общем, является слабым местом всех шкал, применяемых для оценки тяжести состояния и прогнозирования летальности при травмах, [8, 9, 10].

Целью работы является анализ эффективности использования информационной технологии оценки степени тяжести состояния пациента с травматическим повреждением поджелудочной железы.

Материалы и методы

Для построения математических моделей использовались данные о пациентах с травмами ПЖ и травматическим панкреатитом, проходивших лечение в четырёх ургентных клиниках г. Харькова. Все пациенты были разделены специалистами на группы по степени тяжести их состояния. При экспертной оценке учитывались следующие факторы: тяжесть повреждений, исход заболелания, наличие послеоперационных осложнений, наличие сопутствующих патологий, кровопотеря (уровень гемоглобина) и др. Тяжесть повреждений оценивалась в соответствии с международной шкалой оценки тяжести травмы AIS (Abbreviated Injury Scale) применимо к травме живота. В некоторых случаях полученный результат не совпадал с экспертной оценкой тяжести состояния пациента, так как эксперты учитывали и дополнительные факторы. Результаты разделения пациентов на группы представлены в табл. 1.

Группа степени тяжести 2 объединяет пациентов с незначительной травмой ПЖ, не представляющей угрозы для жизни. Степень тяжести 3 соответствует серьёзной травме, но не представляет угрозы для жизни пациента.

Обе группы (2 и 3) объединяют пациентов, состояние которых не представляет угрозы для жизни, названные нами условно «лёгкие». Степень тяжести 4 – тяжёлое состояние, вызванное серьёзными (часто множественными) травматическими повреждениями и угрожающее жизни пациента. Степень тяжести 5 соответствует самому тяжёлому состоянию (критическому или терминальному), наступающему при серьёзных травмах, выживание при которых маловероятно. Обе группы (4 и 5) объединяют пациентов, состояние которых представляет угрозу для жизни, названные нами условно «тяжелые». Таким образом, классификация пациентов осуществлялась на три группы, характеризующиеся состояниями без угрозы для жизни (степень тяжести « ≤ 3 »), тяжёлыми состояниями с угрозой для жизни (степень тяжести «4») и критическими состояниями с сомнительным выживанием (степень тяжести «5»).

В выборке, использованной для построения математических моделей для прогнозирования исхода травмы ПЖ (табл. 1), было 232 пациента, из которых у 142 исход заболевания был благоприятный, у 90 – летальный.

Табл. 1. Распределение пациентов на группы по степени тяжести состояния.

Степень тяжести состояния	Количество пациентов	Всего
2 и 3	87	87
4	74	145
5	71	

При срочной оценке тяжести повреждений использовались следующие показатели: возраст и пол пострадавшего, группа крови и резус-фактор, частота пульса, систолическое и диастолическое артериальное давление, шоковый индекс Альговера (отношение частоты пульса к систолическому давлению), параметры механического воздействия – скорость и сила удара, а также наличие сочетанных и комбинированных повреждений. В качестве потенциальных предикторных признаков также рассматривались данные лабораторных анализов (клинического анализа крови: количество эритроцитов, лейкоцитов, эозинофилов, лимфоцитов, моноцитов, палочкоядерных и сегментоядерных нейтрофилов в мазке крови, гемоглобин, СОЭ и цветной показатель (ЦП), определяемый как отношение содержания гемоглобина к количеству эритроцитов; биохимического анализа крови: концентрация общего белка, мочевины, креатинина, альфа амилазы, общего, прямого и непрямого билирубина, глюкозы в крови, аспартатаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ); клинического анализа мочи: цвет, концентрация белка, наличие сахара (глюкозы), количество эритроцитов и лейкоцитов в моче, наличие слизи; показатели коагулограммы: время свертываемости, время рекальцификации цитратной плазмы, потребление протромбина и фибриноген).

При выборе информативных предикторов тяжести состояния и исхода травмы ПЖ использовались статистические методы оценки достоверности различий между несколькими группами. Для количественных переменных с этой целью применялись непараметрические критерии двухвыборочных сравнений (Манна–Уитни, Вальда–Вольфовица) и дисперсионный анализ Краскела–Уоллиса с последующими попарными сравнениями групп с поправкой Бонферрони на множественность, [11, 12]. Для качественных переменных анализировались их таблицы сопряжённости и использовались критерии χ^2 Пирсона и максимального правдоподобия, [13].

Для построения моделей прогноза (классификации) были использованы методы графической интерпретации многомерных данных, а именно, анализ соответствий (корреспондентский анализ), [14], позволивший получить карты взаимного расположения классов (степеней тяжести состояния или исходов) и значений предикторных переменных их обуславливающих. На основании полученных графических представлений рассчитывались относительные доли вкладов различных категорий значений предикторных переменных в принадлежность объектов (пациентов) к прогнозируемому классам. При разработке моделей оценки тяжести состояния (классификации на три класса) сначала было получено три одноклассовых классификатора, в каждом из которых использовался свой набор объясняющих переменных, а затем составлена их композиция, позволяющая получать единое решение комитета на основе т. н. «рейтингового голосования по старшинству», процедура которого совмещает принципы машины покрывающих множеств и взвешенного голосования [15].

Результаты и их обсуждение

Полученная на основе данной информационной технологии математическая модель прогнозирования исхода при травме ПЖ использует 13 категорий пяти предикторных показателей: диастолического артериального давления (BP , мм. рт. ст.), индекса шока Альговера (IS), возраста пациента (Age , лет), количества сочетанных травм (TQ) и обстоятельств травматического повреждения ($Circ$). Она основывается на вычислении прогностического индекса исхода I_{leth} , который формально может быть записан в виде линейной комбинации 13-ти дихотомических переменных:

$$I_{\text{leth}} = \sum_{i=1}^{13} \alpha_i = 0,015 \cdot x_1 + 0,231 \cdot x_2 - 0,683 \cdot x_3 - 0,044 \cdot x_4 + 0,138 \cdot x_5 + 0,035 \cdot x_6 + 0,035 \cdot x_7 + 0,073 \cdot x_8 + 0,026 \cdot x_9 + 0,022 \cdot x_{10} + 0,046 \cdot x_{11} + 0,031 \cdot x_{12} + 0,074 \cdot x_{13}$$

где:

$$x_1 = \begin{cases} 1, & BP < 40 \\ 0, & BP \geq 40 \end{cases} \\ x_2 = \begin{cases} 1, & 40 \leq BP \leq 64 \\ 0, & BP < 40 \vee BP > 64 \end{cases} \\ x_3 = \begin{cases} 1, & BP \geq 65 \\ 0, & BP < 65 \end{cases} \\ x_4 = \begin{cases} 1, & IS \leq 0,8 \\ 0, & IS > 0,8 \end{cases} \\ x_5 = \begin{cases} 1, & 0,8 < IS \leq 1,25 \\ 0, & IS \leq 0,8 \vee IS > 1,25 \end{cases} \\ x_6 = \begin{cases} 1, & IS > 1,25 \\ 0, & IS \leq 1,25 \end{cases} \\ x_7 = \begin{cases} 1, & Age \leq 31 \\ 0, & Age > 31 \end{cases} \\ x_8 = \begin{cases} 1, & 32 \leq Age \leq 57 \\ 0, & Age < 32 \vee Age > 57 \end{cases} \\ x_9 = \begin{cases} 1, & Age > 57 \\ 0, & Age \leq 57 \end{cases} \\ x_{10} = \begin{cases} 1, & TQ > 2 \\ 0, & TQ \leq 2 \end{cases} \\ x_{11} = \begin{cases} 1, & TQ \leq 2 \\ 0, & TQ > 2 \end{cases} \\ x_{12} = \begin{cases} 1, & Circ = \text{падение с высоты} \\ 0, & Circ = \text{грубое} \end{cases} \\ x_{13} = \begin{cases} 1, & Circ = \text{грубое} \\ 0, & Circ = \text{падение с высоты} \end{cases}$$

В соответствии с построенной математической моделью при вычисленном значении $I_{\text{leth}} > 0$ следует прогнозировать летальный исход, при $I_{\text{leth}} < 0$ — большую вероятность благоприятного исхода. Алгоритм применения математической модели для прогнозирования исхода показан на рис. 1.

Для сравнения были построены модель логит-регрессии для прогнозирования летального исхода, а также дерево классификации, использующие тот же набор предикторных переменных. В результате применения разработанной модели к выборке из 216 пациентов с травмой ПЖ верно было спрогнози-

ровано 122 благоприятных исхода из 142, что соответствует 85,9% специфичности классификатора; и 65 из 74 летальных исходов, что соответствует 87,8% чувствительности. Таким образом, средняя точность прогноза в построенной модели равнялась 86,9%.

Модель логит-регрессии имела несколько большую специфичность — 90,1%, однако обладала гораздо меньшей чувствительностью — всего 66,7%. Т. е. средняя точность прогноза исхода по модели логит-регрессии составила 78,4%.

Дерево решений показало среднюю точность прогнозирования исхода на уровне 82,5%, обладая при этом специфичностью 92,9% и чувствительностью 72,15%.

Таким образом, общепринятые многомерные статистические методы построения математических моделей прогноза на тестовой выборке показали общую точность на 4,5–8,5 % ниже, чем алгоритм на основе разработанной информационной технологии. Немаловажно, что чувствительность (точность прогнозирования летального исхода) предлагаемой математической модели на 15–21 % выше, чем у рассмотренных моделей сравнения.

При построении математической модели определения степени тяжести состояния было получено три формулы прогностических индексов для отнесения пациента к одной из степеней тяжести состояния («3», «4» или «5»). Формула индекса для отнесения пациента к «лёгкой» степени тяжести использует 8 дихотомических переменных, отвечающих градациям трёх показателей: количества сочетанных травм (TQ), уровня палочкоядерных нейтрофилов крови (SN, %) и уровня лимфоцитов крови (Lym, %):

$$I_{\leq 3} = \sum_{i=1}^8 \alpha_{3,i} \cdot x_i = 0,314 \cdot x_1 - 0,288 \cdot x_2 + 0,058 \cdot x_3 - 0,076 \cdot x_4 - 0,009 \cdot x_5 - 0,020 \cdot x_6 + 0,013 \cdot x_7 + 0,008 \cdot x_8$$

где:

$$x_1 = \begin{cases} 1, & TQ = 0 \\ 0, & TQ > 0 \end{cases}, \quad x_2 = \begin{cases} 1, & TQ > 1 \\ 0, & TQ \leq 1 \end{cases} \\ x_3 = \begin{cases} 1, & SN \leq 8 \\ 0, & SN > 8 \end{cases}, \quad x_4 = \begin{cases} 1, & SN > 8 \\ 0, & SN \leq 8 \end{cases} \\ x_5 = \begin{cases} 1, & Lym < 10 \\ 0, & Lym \geq 10 \end{cases} \\ x_6 = \begin{cases} 1, & 10 \leq Lym < 14 \\ 0, & Lym < 10 \vee Lym \geq 14 \end{cases}$$

$$x_7 = \begin{cases} 1, & 14 \leq Lym < 19 \\ 0, & Lym < 14 \vee Lym \geq 19 \end{cases} \\ x_8 = \begin{cases} 1, & Lym \geq 19 \\ 0, & Lym < 19 \end{cases}$$

Прогностический индекс для классификации степени тяжести «4» вычисляется на основании значений шести бинарных переменных, отвечающих категориям значений двух предикторов: уровня лимфоцитов крови (Lym, %) и содержания слизи в моче (BU):

$$I_4 = \sum_{i=5}^{10} \alpha_{4,i} \cdot x_i = 0,137 \cdot x_5 + 0,097 \cdot x_6 + 0,039 \cdot x_7 - 0,075 \cdot x_8 - 0,078 \cdot x_9 + 0,081 \cdot x_{10}$$

где:

$$x_9 = \begin{cases} 1, & BU = \text{умеренное} \\ 0, & BU = \text{увеличенное} \end{cases} \\ x_{10} = \begin{cases} 1, & BU = \text{увеличенное} \\ 0, & BU = \text{умеренное} \end{cases}$$

Формула индекса для определения критических состояний (степени тяжести «5») использует 8 бинарных переменных, отвечающих диапазонам значений четырёх показателей: возраста пациента (Age, лет), уровня гемоглобина крови (Hb, г/л), диастолического артериального давления (BP, мм. рт. ст.) и шокового индекса (IS):

$$I_5 = \sum_{i=11}^{18} \alpha_{5,i} \cdot x_i = -0,041 \cdot x_{11} + 0,051 \cdot x_{12} + 0,044 \cdot x_{13} - 0,041 \cdot x_{14} + 0,262 \cdot x_{15} - 0,277 \cdot x_{16} - 0,077 \cdot x_{17} + 0,080 \cdot x_{18}$$

где:

$$x_{11} = \begin{cases} 1, & Age \leq 35 \\ 0, & Age > 35 \end{cases} \\ x_{12} = \begin{cases} 1, & Age \geq 46 \\ 0, & Age < 46 \end{cases} \\ x_{13} = \begin{cases} 1, & Hb \leq 105 \\ 0, & Hb > 105 \end{cases} \\ x_{14} = \begin{cases} 1, & Hb > 105 \\ 0, & Hb \leq 105 \end{cases} \\ x_{15} = \begin{cases} 1, & BP < 70 \\ 0, & BP \geq 70 \end{cases}$$

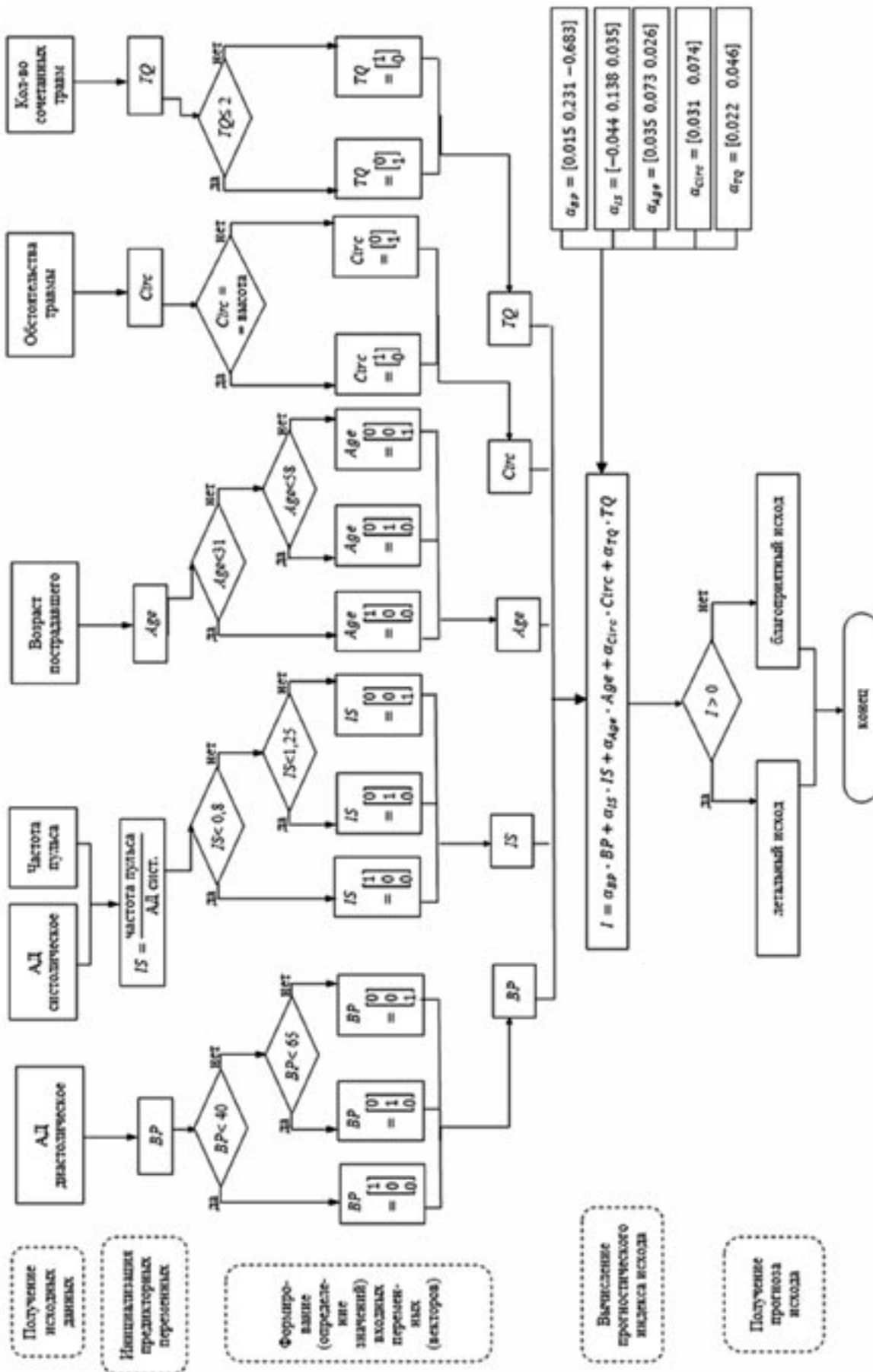


Рис. 1. Блок-схема процесса получения прогноза исхода при травме ГЖ в соответствии с построенной математической моделью.

$$X_{16} = \begin{cases} 1, & BP \geq 70 \\ 0, & BP < 70 \end{cases};$$

$$X_{17} = \begin{cases} 1, & IS < 0,9 \\ 0, & IS \geq 0,9 \end{cases};$$

$$X_{18} = \begin{cases} 1, & IS \geq 0,9 \\ 0, & IS < 0,9 \end{cases}.$$

В соответствии с полученными математическими моделями при вычисленном значении $I_\theta > 0$ ($\theta = \langle \leq 3 \rangle, \langle 4 \rangle, \langle 5 \rangle$) пациента следует классифицировать как имеющего степень тяжести θ .

Для получения общего алгоритма оценки степени тяжести состояния пациентов с травматическими повреждениями ПЖ приведенные выше одноклассовые классификаторы были

объединены в комитет (ансамбль, композицию). Композиция создавалась в соответствии с методом рейтингового голосования по старшинству, представляющего собой модифицированную процедуру машины покрывающих множеств, в которой, в отличие от классической, необходимо получение ответов от всех классификаторов ансамбля, а правила вынесения решения в случае получения более одного ответа на объекте формируются исходя из прогностической точности (user's accuracy) составляющих комитета, оцененной на тестовой выборке. Схематично данный алгоритм работы комитета классификаторов показан на рис. 2.

Распознавание степени тяжести состояния пациента с травмой ПЖ с помощью построенного ансамбля класси-

фикаторов позволяет определять лёгкие ($\langle \leq 3 \rangle$) степени тяжести с точностью 88,24%, тяжёлые (степени тяжести $\langle 4 \rangle$) состояния – с точностью 83,33%, и критические (степени тяжести $\langle 5 \rangle$) состояния – с точностью 89,71%. Таким образом, в среднем точность классификации составляет 87,09%. Для сравнения была построена модель классификации пациентов по тяжести состояния с помощью дискриминантного анализа, которая показала общую точность 79,66%. При этом точность распознавания степеней тяжести $\langle \leq 3 \rangle$ составила 82,26%, что на 6% ниже, чем разработанной модели, точность определения состояний степени тяжести $\langle 4 \rangle$ – 72,09% (на 11% ниже), точность определения критических состояний (степени тяжести $\langle 5 \rangle$) – 84,62% (меньше на 5%).

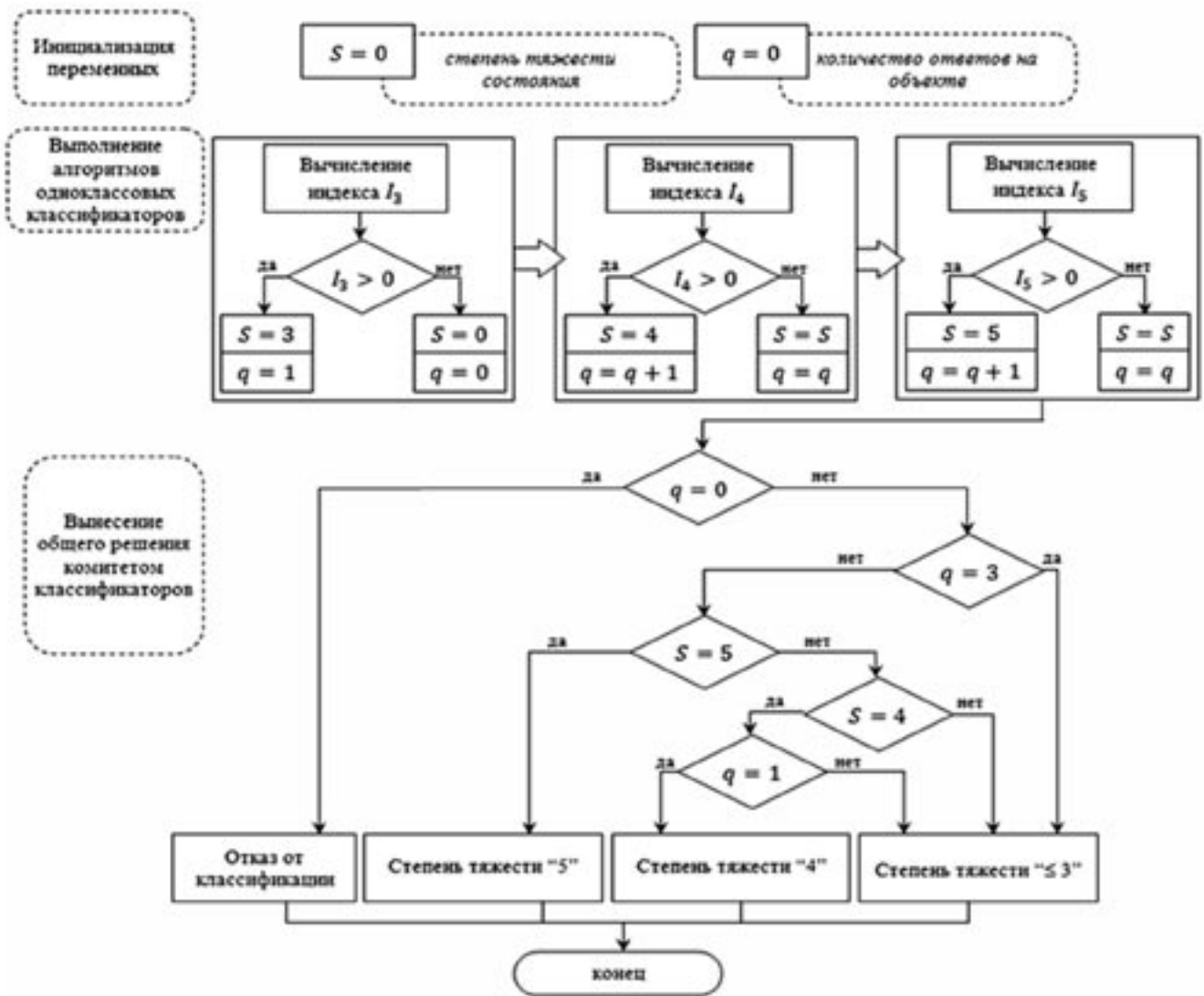


Рис. 2. Алгоритм вынесения единого решения комитетом классификаторов при оценке степени тяжести состояния пациента с травмой ПЖ.

Выводы

Разработанная информационная технология, объединяющая метод классификации, базирующийся на анализе пространственного представления признаков переменных, и метод построения ансамбля классификаторов на основе совмещения принципов машины покрывающих множеств и рейтингового голосования, позволила синтезировать математические модели и алгоритмы для распознавания (оценки) степени тяжести состояния и прогнозирования исхода при травме ПЖ и травматическом панкреатите, обладающих более высокой точностью и чувствительностью по сравнению с моделями, разработанными на основе классических статистически-математических методов моделирования.

Литература

- Евтюков Г. М., Александрович Ю. С., Иванов Д. О. Оценка тяжести состояния больных, находящихся в критическом состоянии. // http://www.airspb.ru/persp_23.shtml.
- Вітюк Т. В., Доманський Б. В., Барамія Н. А. та ін. Хірургічне лікування відкритих і закритих пошкоджень підшлункової залози. // Проблеми військової охорони здоров'я. Збірник наукових праць. Випуск 11. – Київ.: Янтар, 2002. – С. 387–395.
- Вашетко Р. В., Толстой А. Д., Курыгин А. А., и др. Острый панкреатит и травмы поджелудочной железы: руководство для врачей // СПб: «Питер», 2000. – 320 с.
- Young P. R., Meredith J. W., Baker C. S. et al. Pancreatic injuries resulting from penetrating trauma: a multi-institution review // *Am. Surg.* – 1998. – Vol. 64, No. 9. – P. 838–843.
- Ерамишанцев А. К., Молитословов А. Б., Филин А. В. Травматические повреждения поджелудочной железы // *Хирургия.* – 1994. – № 4. – С. 13–17.
- Потанина О. К., Дорфман А. Г., Швырёв С. Л., Зарубина Т. В., Петрова М. В. Опыт использования зарубежных нозонеспецифических прогностических шкал у больных хирургического и онкологического профиля // *Вестник РНЦПР.* – 2011. – №3. – С. 74–85.
- Тюритн А. С. Прогноз и оценка качества лечения пациентов с переломами костей таза при сочетанной травме: Автореф. канд. мед. наук. – М., 2013. – 18 с.
- Hannan E.J. et al. A Comparison of TRISS and ICISS // *J. Trauma.* – 1999. – No 47. – P. 8–14.
- Ярошецкий А. И. Интегральная оценка состояния больных и прогноза при тяжелой политравме: Автореф. канд. мед. наук. – М., 2006. – 26 с.
- Vassar M. J., Lewis F. R., Chambers J. A. et al. Prediction Of Outcome In Intensive Care Unit Trauma Patients. // *J. Trauma* – 1999. – No 47 (2). – P. 324–329.
- Холлендер М., Вульф Д. Непараметрические методы статистики. (пер. с англ. Д. С. Шмерлинга под ред. Ю. П. Адлера, Ю. Н. Тюрина) // М.: Финансы и статистика, 1983. – 518 с.
- Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
- Трошин Л. И., Балаш В. А., Балаш О. С. Статистический анализ нечисловой информации. // Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. – М., 2001. – 67 с.
- Rencher A. C. *Methods of multivariate analysis: 2nd ed.* // Brigham Young University, (Wiley series in probability and mathematical statistics) «A Wiley-Interscience publication», 2002. – 732 p.
- Нессонова М. Н. Метод рейтингового голосования комитета алгоритмов в задачах классификации с учителем // *Запорожский медицинский журнал.* – Запорожье: ЗГМУ, 2013. – № 1 (76). – С. 101–102.

Applying results of the information technology for grade of severity estimation and clinical outcome prediction in a case of pancreas trauma

M. N. Nessonova¹, M. L. Kochina²

¹National Pharmaceutical University Kharkiv, Ukraine

²Kharkiv Medical Academy of Post Grade Education, Ukraine

Abstract

There results of applying of the information technology, developed by the authors, to estimate patients' grade of severity and to predict clinical outcome in a case of pancreas injury, are described in the paper. Mathematical models and classification algorithms to evaluate grade of severity and clinical outcome are given. Comparative analysis of precision, specificity and sensitivity of the models developed and the discriminant functions analysis, logit-regression and decision trees models is produced. It is shown that the methods based on the information technology developed take the priority of the common mathematical-statistical modeling methods.

Key words: grade of severity estimation, clinical outcome prediction, supervised classification, composition of classifiers, information technology, predictive mathematical models, precision, specificity and sensitivity of forecasting methods.

Результати використання інформаційної технології оцінки тяжкості стану пацієнтів і прогнозу наслідка при травмі підшлункової залози

М. М. Нессонова¹, М. Л. Кочина²

¹Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна

²Харківська медична академія післядипломної освіти, Україна

Резюме

В роботі описано результати використання розробленої авторами інформаційної технології для оцінки тяжкості стану пацієнтів і прогнозування наслідку при травмі підшлункової залози. Представлено математичні моделі й алгоритми класифікації для визначення ступеня тяжкості стану та наслідку. Наведено порівняльний аналіз точності, специфічності та чутливості побудованих моделей із математичними моделями, що отримано з використанням дискримінантного аналізу, дерев рішень і логіт-регресії. Показано перевагу розроблених методів оцінки тяжкості стану і прогнозування наслідку при травмах ПЗ у порівнянні зі стандартними методами побудови математичних моделей прогнозу.

Ключові слова: оцінка тяжкості стану, прогнозування наслідку, класифікація із навчанням, композиція класифікаторів, інформаційна технологія, математичні моделі прогнозу, точність, специфічність, чутливість методів прогнозування.

Переписка

д.б.н., професор **М. Л. Кочина**
Харьковская медицинская академия последипломного образования
ул. Корчагинцев, 58
Харьков, 61176, Украина
тел.: +380 (57) 711 80 32
эл.почта: m_kochina@yahoo.com

УДК 314.18+519.248

Комплексные индикаторы для анализа причинной смертности населения

Н. С. Рогозинская, Л. М. Козак

Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, Киев, Украина

Резюме

Исследование заболеваемости и причинной смертности населения является необходимым для оценивания эффективности медицинской помощи на различных уровнях организации здравоохранения (лечебное учреждение, город, район, область, страна). Представлен анализ динамики показателей медицинской статистики — распространенности, заболеваемости и смертности вследствие заболеваний, которые являются основными причинами смертности и наиболее распространены на территории Украины. Для более полного анализа эти показатели рассматриваются совместно — предложен комплексный индикатор «оценка смертности вследствие заболевания», который характеризует риск причинной смертности при данном уровне заболеваемости. Использование комплексного индикатора позволит повысить информативность анализа динамики состояния здоровья населения различных административно-территориальных единиц и не повлечет дополнительных затрат для сбора информации.

Ключевые слова: показатели качества, ключевые индикаторы, корреляционный анализ, причинная смертность.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.108–116

Введение

В настоящее время в Украине происходит реформирование здравоохранения. Значительные перемены произошли, прежде всего, в организации оказания первичной медицинской помощи. Однако изменения затронули и другие уровни системы здравоохранения, в том числе и уровень управления.

В частности, приказ Минздрава Украины № 743 от 02 ноября 2011 г. устанавливает перечень индикаторов качества медицинской помощи, которые разбиты на группы по уровню организации медицинской помощи. Во всех таких группах встречаются показатели смертности: материнской, младенческой, смертности в стационаре, смертности до приезда скорой помощи и т. д. Смертность вследствие различных заболеваний принимается во внимание лишь для оценивания качества стационарной медицинской помощи, причем рассматривается лишь причинная летальность в стационаре.

На наш взгляд, перечень указанных индикаторов качества медицинской помощи не позволяет универсально оценить качество организации и предоставления медицинской помощи, с дальнейшим сравнительным анализом на различных уровнях здравоохранения, а также на уровне общего управления обеспечением удовлетворительного состояния здоровья населения. К этому перечню следует добавить показатели распространенности, заболеваемости и смертности вследствие заболеваний, которые являются основными причинами смертности и наиболее распространены среди населения Украины. Динамика таких показателей качественно отражает и профилактиче-

скую, и терапевтическую составляющие медицинской помощи, а также говорит о своевременности и тщательности выявления заболеваний.

Добавление новых индикаторов желательно увеличит перечень оценок, однако устранение этого недостатка осуществимо путем применения средств математического анализа и создания комплексных индикаторов. Комплексные индикаторы отражают сбалансированное, сочетанное влияние нескольких переменных одновременно. Построение таких индикаторов подчиняется ряду требований, которые предъявляются к сбалансированным показателям в здравоохранении [1], и, кроме того, при их построении необходимо учитывать характеристики составляющих переменных, чтобы математические преобразования были применены корректно, не исказили смысла составляющих показателей и позволили адекватно трактовать результаты исследований.

Цель данной работы — формирование комплексных индикаторов, характеризующих состояние населения различных областей Украины с учетом смертности вследствие заболеваний, являющихся наиболее распространенными и основными причинами смертности, и исследование состояния здоровья населения с помощью предложенных комплексных индикаторов.

Материалы и методы

Перечень исследуемых показателей составлен согласно основным статисти-

ческим обзорам по состоянию здоровья населения Украины [2, 3]. По этому перечню для исследования причинной смертности населения различных областей Украины сформированы выборки данных, включающие показатели первичной заболеваемости, распространенности и смертности вследствие заболевания (каждый показатель в расчете на 100 тыс. населения определенной административно-территориальной единицы): (1) заболевания системы кровообращения; (2) заболевания органов дыхания; (3) сахарный диабет; (4) все формы активного туберкулеза; (5) злокачественные новообразования; (6) заболевания мочеполовой системы; (7) заболевания нервной системы; (8) заболевания органов пищеварения.

В исследуемые выборки вошли медико-статистические показатели из ежегодных отчетов Центра медицинской статистики Украины за 2004–2011 гг. [3], что составило трехмерную матрицу размером $24 \times 26 \times 8$, где:

24 показателя = 8 нозологий \times 3 статистических характеристики (заболеваемость, распространенность, причинная смертность);

26 административно-территориальных единиц = 24 области + Украина в целом + АР Крым;

8 лет в течение периода 2004–2011 гг.

Для обнаружения факторов влияния на состояние населения относительно заболеваемости и смертности вследствие исследуемых заболеваний была оценена взаимосвязь между динамикой приведенных медико-статистических и следующих социально-экономических показателей за 2004–2010 гг., взятых с официального сайта Национального Комитета статистики Украины.

С целью обеспечения однородности сформированные выборки данных были подвергнуты предварительному статистическому анализу.

Выделены выпадающие значения. Для этого выборки данных были оценены посредством параметрического критерия выбраковки критических значений [4]. Выпадающие значения были заменены средними арифметическими значениями двух соседних точек, а при отсутствии пары соседних точек — посредством линейной аппроксимации предыдущего или последующего ряда.

Оценена вариация выборок данных отдельно по каждому медико-статистическому показателю, для каждой административно-территориальной единицы в течение исследуемого периода. Значения коэффициента вариации не превышали 30% во всех случаях, кроме смертности вследствие заболеваний органов дыхания в Ивано-Франковской обл., смертности от сахарного диабета

в Хмельницкой обл., смертности от туберкулеза в Херсонской обл. и смертности вследствие заболеваний нервной системы в Черкасской обл.

Анализ рядов социально-экономических данных показал, что для плотности населения, количества врачей и амбулаторно-поликлинических учреждений значение коэффициента вариации было значительно меньше 30%; для эквивалентов реального годового дохода и валового регионального продукта значение коэффициента вариации превысило 30%, однако было выше 40% лишь в одном случае — валовой региональный доход в Днепропетровской области.

По результатам анализа вариации выборок данных нами принято считать их однородными.

При оценке соответствия распределения вероятности для выборок нормальному распределению (по каждому медико-статистическому показателю, для каждой административно-территориальной единицы в течение исследуемого периода) с использованием коэффициента Колмогорова-Смирнова выявлено, что распределение близко к нормальному, и, следовательно, для дальнейшего анализа следует использовать стандартные параметрические методы и коэффициенты.

Для исследования состояния населения различных административно-территориальных единиц Украины с учетом смертности вследствие заболеваний, являющихся наиболее распространенными и основными причинами смертности, сформированные однородные выборки медико-статистических показателей были подвергнуты анализу динамики и автокорреляции показателей. По результатам проведенного исследования выборок отдельных медико-статистических показателей сделан вывод о целесообразности исследования заболеваемости, распространенности и смертности вследствие заболевания по каждой нозологии в едином комплексе.

Для выявления тенденции взаимосвязи динамики медико-статистических и социально-экономических показателей рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона и определена доля статистически значимых коэффициентов одного знака (рассматривались лишь $|R| \geq 0,7$, $p \leq 0,05$), а также проведено оценивание отличия этой доли от доли значимых коэффициентов противоположного знака с применением критерия Стьюдента для дихотомических данных (с поправкой Йэйтса) [5], рассчитанного согласно выражению:

$$t_{эмн} = \frac{|p_1 - p_2| - \frac{1}{n}}{\sqrt{\frac{1}{n}(p_1(1-p_1) + p_2(1-p_2))}},$$

где $t_{эмн}$ — эмпирическое значение коэффициента Стьюдента (с поправкой Йэйтса), которое сравнивалось с критическим значением: $t_{крит} = 2,6778$ для $v = 26 \times 2 - 2 = 50$ степеней свободы при $p \leq 0,01$; p_1, p_2 — доли значимых коэффициентов корреляции со знаком «+» и «-» соответственно; n — размер выборки, по которой рассчитаны сравниваемые доли.

Результаты собственных исследований

Анализ динамики состояния населения различных территорий с использованием основных показателей медицинской статистики

При исследовании типовых признаков наступления кризиса [6] показано, что если в нелинейных системах каждое новое значение зависит от предыдущего, то это свидетельствует о развитии «памяти» процесса, запаздывании реакции его динамики на изменения внешних факторов. Такая инерционность может говорить о приближении состояния нелинейной системы к критическому переходу. Мерой линейной связи между смежными наблюдениями, разделенными определенными временными интервалами, является коэффициент автокорреляции [7]. При анализе динамики 24 исследуемых показателей медицинской статистики были рассчитаны коэффициенты автокорреляции первого и второго порядка и оценена статистическая достоверность результатов (табл. 1, приведены результаты расчетов, уровень значимости которых не ниже 5%). Коэффициент автокорреляции первого порядка показывает силу линейной связи между значениями текущего и предыдущего года, а второго порядка — со значениями на два года раньше текущего (запаздывание динамики на 2 года). Приближение состояния процесса к критическому переходу мы рассматриваем как увеличение вероятности его резких изменений в ближайшее время.

Как видно из результатов оценивания автокорреляции исследуемых данных, количество значимых коэффициентов не превышает 4 из 26 для каждого ис-

следуемого показателя. Следовательно, нельзя сказать, что исследуемые процессы приближаются к критическому переходу по всей территории Украины. Однако в некоторых областях наблюдаются достаточно высокие значения коэффициентов автокорреляции первого и второго порядков, на которые следует обратить внимание: такие показатели могут свидетельствовать как о неудовлетворительном состоянии здоровья населения данных административно-терри-

ториальных единиц, так и об отсутствии полноты сбора статистических данных в этих регионах. При рассмотрении динамики показателей нужно обращать внимание на наличие либо отсутствие значимого коэффициента автокорреляции для территорий, в которых замечены негативные тенденции.

При исследовании динамики заболеваемости, распространенности и смертности вследствие заболеваний выявлены следующие особенности изменения

отдельных показателей для восьми исследуемых нозологических групп.

Заболевания системы кровообращения: распространенность возрастает в течение 2004–2011 гг., в то время как первичная заболеваемость и смертность вследствие заболеваний системы кровообращения сохраняет значение примерно на одном уровне.

Заболевания органов дыхания: распространенность возрастает с малой интенсивностью в течение исследуемого

Табл. 1. Значимые коэффициенты автокорреляции медико-статистических показателей.

Нозология	Медико-статистический показатель, на 100 тыс. населения	Административно-территориальная единица	Коэффициенты автокорреляции	
			первого порядка	второго порядка
			r_1 (уровень значимости)	r_2 (уровень значимости)
Заболевания мочеполовой системы	Смертность	Хмельницкая обл.	0,74 ($p \leq 0,05$)	0,74 ($p \leq 0,05$)
Все формы активного туберкулеза	Распространенность	Донецкая обл.	0,71 ($p \leq 0,05$)	0,68 ($p \leq 0,05$)
		Ивано-Франковская обл.	0,63 ($p \leq 0,05$)	---
		Херсонская обл.	0,66 ($p \leq 0,05$)	---
	Заболеваемость	Харьковская обл.	0,66 ($p \leq 0,05$)	---
		Херсонская обл.	0,64 ($p \leq 0,05$)	0,63 ($p \leq 0,05$)
	Смертность	Закарпатская обл.	---	0,66 ($p \leq 0,05$)
		Тернопольская обл.	---	0,62 ($p \leq 0,05$)
Херсонская обл.		0,78 ($p \leq 0,05$)	0,77 ($p \leq 0,05$)	
Сахарный диабет	Распространенность	Житомирская обл.	0,63 ($p \leq 0,05$)	---
		Ровненская обл.	0,63 ($p \leq 0,05$)	---
	Заболеваемость	АР Крым	0,70 ($p \leq 0,05$)	---
		Житомирская обл.	0,72 ($p \leq 0,05$)	---
		Закарпатская обл.	0,64 ($p \leq 0,05$)	---
	Смертность	Ровненская обл.	0,72 ($p \leq 0,05$)	---
		Житомирская обл.	0,80 ($p \leq 0,01$)	0,63 ($p \leq 0,05$)
		Ровненская обл.	0,64 ($p \leq 0,05$)	0,74 ($p \leq 0,05$)
Хмельницкая обл.		0,68 ($p \leq 0,05$)	0,76 ($p \leq 0,05$)	
Заболевания органов дыхания	Заболеваемость	Черновицкая обл.	---	0,72 ($p \leq 0,05$)
		Киевская обл.	0,63 ($p \leq 0,05$)	---
		Кировоградская обл.	0,67 ($p \leq 0,05$)	---
		Николаевская обл.	0,65 ($p \leq 0,05$)	---
	Смертность	Ровненская обл.	0,63 ($p \leq 0,05$)	---
		Волынская обл.	0,69 ($p \leq 0,05$)	0,63 ($p \leq 0,05$)
		Ивано-Франковская обл.	0,78 ($p \leq 0,05$)	0,71 ($p \leq 0,05$)
		Ровненская обл.	0,64 ($p \leq 0,05$)	---

периода, равно как и первичная заболеваемость. Следует отметить, что уровень распространенности превышает уровень заболеваемости болезнями органов дыхания весьма незначительно, примерно на 10%. В то время, как уровень смертности вследствие болезней органов дыхания ниже уровня заболеваемости примерно в 500–800 раз и снижается в течение исследуемого периода.

Заболевания органов пищеварения: распространенность сохраняется примерно на одном уровне в течение исследуемого периода. Наблюдается значительный разброс значений по административно-территориальным единицам: самый низкий уровень распространенности этих заболеваний наблюдается в АР Крым и Запорожской области и составляет около 7,5 тыс. на 100 тыс. населения, а самый высокий — в Полтавской, Винницкой, Киевской и Харьковской областях — составляет около 21 тыс. зарегистрированных случаев на 100 тыс. населения. Разброс значений по административно-территориальным единицам наблюдается и для первичной заболеваемости. Наивысший уровень заболеваемости органов пищеварения наблюдается в Закарпатской области, при этом значения данного показателя снижаются от 6,9 тыс. на 100 тыс. населения в 2004 г. до 5,2 тыс. на 100 тыс. населения в 2011 г. Уровень первичной заболеваемости в других областях остается приблизительно постоянным в течение исследуемого периода, значения для разных областей находятся в пределах 1–5 тыс. на 100 тыс. населения. Уровень смертности вследствие заболеваний органов пищеварения увеличивается примерно на 10–20% в течение 2004–2008 гг., а затем уменьшается до уровня 2004 г. за 2009–2011 гг.

Сахарный диабет: распространенность в различных административно-территориальных единицах Украины превышает первичную заболеваемость примерно в 10 раз и смертность примерно в 200–300 раз. При этом уровень распространенности, как и первичной заболеваемости, растет в течение исследуемого периода, а уровень смертности сохраняет приблизительно одинаковое значение. Следует отметить, что в течение 2004–2008 гг. уровень первичной заболеваемости в Харьковской области превышал показатели в других административно-территориальных единицах примерно на 30%, а с 2009 г. — лишь приблизительно на 5%. Уровень смертности вследствие заболеваний сахарным диабетом в Кировоградской области имеет заметный всплеск в 2006 г. — его значение увеличилось примерно в 1,5 раза по сравнению с уровнями 2005 и 2007 гг. Коэффициенты автокорреля-

ции медико-статистических показателей в этих областях не являются статистически значимыми, что говорит об отсутствии вероятности резкого перелома ситуации в ближайшее время.

Злокачественные новообразования: распространенность растет в течение исследуемого периода во всех исследуемых административно-территориальных единицах. Первичная заболеваемость и смертность вследствие заболевания злокачественными новообразованиями сохраняют примерно одно и то же значение в течение 2004–2011 гг., причем уровень смертности составляет около 50% уровня первичной заболеваемости и около 10% уровня распространенности заболевания.

Все формы активного туберкулеза: распространенность снижается в течение исследуемого периода, в то время как заболеваемость и причинная смертность остаются примерно на одном уровне. Кроме того, показатели заболеваемости, смертности и распространенности в Херсонской области значительно (на 30–60%) превышают показатели по всем остальным исследуемым территориям в течение 2004–2007 гг., а начиная с 2008 г. просто являются наивысшими среди показателей исследуемых административно-территориальных единиц.

Заболевания нервной системы: распространенность, первичная заболеваемость и смертность в течение 2004–2011 гг. сохраняются на одном и том же уровне во всех исследуемых административно-территориальных единицах. Наблюдается значительный разброс уровней всех трех показателей в различных областях: наивысшие уровни превышают самые низкие в 4–6 раз.

Заболевания мочеполовой системы: распространенность снижается в течение исследуемого периода. Наивысшие ее значения наблюдаются в Днепропетровской и Харьковской областях. При этом первичная заболеваемость сохраняется приблизительно на одном и том же уровне во всех исследуемых территориях, кроме Харьковской области, в которой уровень заболеваемости снижается, начиная с 2005 г., и Днепропетровской области, в которой уровень заболеваемости растет в течение исследуемого периода до 2010 г. включительно. Уровень смертности вследствие заболеваний мочеполовой системы снижается во всех исследуемых административно-территориальных единицах в течение всего исследуемого периода.

Визуальный анализ динамики состояния населения различных территорий является очень приблизительным и малоинформативным. В связи с этим, ис-

следователи вынуждены ограничиться лишь приблизительными заключениями либо сузить область рассмотрения — исследовать лишь показатели причинной смертности, заболеваемости или распространенности заболевания [8–10]. Однако ни одному из трех исследуемых медико-статистических показателей невозможно отдать предпочтение при оценивании состояния здоровья населения. Все они обладают одинаковой значимостью: при самых низких уровнях смертности большая распространенность заболевания приводит к потерям работоспособности большей части населения, высокий уровень первичной заболеваемости может свидетельствовать о распространении эпидемического процесса, высокая смертность также является, несомненно, негативной характеристикой, даже если при этом распространенность заболевания является низкой, и т. д. Показатели заболеваемости, распространенности заболевания и причинной смертности являются независимыми по предпочтению для оценивания влияния определенного заболевания на состояние населения и принятия управленческих решений в области здравоохранения. Следовательно, целесообразно осуществлять мониторинг и исследовать эти три показателя в едином комплексе.

Применение комплексного индикатора для анализа состояния населения различных регионов

Для того чтобы формализовать анализ динамики показателей и, таким образом, уменьшить погрешности визуального оценивания, мы предложили применить регрессионный анализ [11]. Поскольку даже формализация динамики перечня показателей является чрезмерно трудоемкой и может содержать погрешности на многих этапах анализа, были представлены аргументы в пользу рассмотрения заболеваемости, смертности и распространенности в составе единого комплексного индикатора. Для исследования состояния населения различных административно-территориальных единиц и, в частности, для анализа его динамики, мы предлагаем использовать комплексный индикатор вида:

$$EDdis = \frac{DRdis}{DIS} \cdot DISnew, \quad (1)$$

где $EDdis$ — комплексный индикатор «оценка смертности вследствие заболевания», характеризующий риск

причинной смертности при данном уровне заболеваемости, на 100 тыс. населения;

DRdis – смертность вследствие заболевания, на 100 тыс. населения;

DIS – распространенность заболевания, на 100 тыс. населения;

DISnew – заболеваемость, на 100 тыс. населения.

Такой индикатор учитывает взаимные соотношения заболеваемости, распространенности заболеваний и причинной смертности и позволяет оценить состояние населения относительно данного заболевания в комплексе. Аналитическое исследование показывает, что при высокой заболеваемости и низкой смертности распространенность заболевания будет достаточно высокой, а значения комплексного индикатора – низкими. При малых уровнях распространенности и смертности вследствие заболевания значения комплексного индикатора будут, в основном, зависеть от уровня заболеваемости. При низкой заболеваемости и высокой смертности распространенность заболевания будет небольшой, однако уровень комплексного индикатора «оценка смертности вследствие заболевания» будет высоким. Если при низком уровне распространенности наблюдается высокий уровень заболеваемости и смертности, то значение комплексного показателя будет высоким по сравнению с показа-

телями всех административных территорий Украины.

Комплексный подход позволяет провести сравнительный анализ как по различным регионам, так и по различным заболеваниям значительно проще, что уменьшает погрешности оценок.

Нами проведен сравнительный анализ стандартных показателей медицинской статистики по заболеваниям, которые являются основными причинами смертности или основными распространенными заболеваниями на территории Украины за 2011 г. (табл. 2), и комплексных индикаторов «оценка смертности вследствие заболевания» (табл. 3).

Как видно из анализа табл. 2 и 3, применение комплексного индикатора позволяет оценить риск смертности вследствие определенного заболевания с учетом соотношения текущих уровней заболеваемости и распространенности. Порядок расположения нозологий, представленный в табл. 2 соответствует порядку, представленному в табл. 3, за исключением трех заболеваний: злокачественные новообразования, болезни органов пищеварения и дыхания. При ранжировании по убыванию коэффициента причинной смертности эти нозологии следуют именно в таком порядке.

Однако если учесть высокий уровень заболеваемости и распространенности среди населения Украины болезней

органов дыхания, то оценка смертности вследствие этих заболеваний выдвигается на передний план. Уровни заболеваемости и распространенности болезней органов пищеварения значительно превышают уровни этих показателей для заболеваемости злокачественными новообразованиями. Однако соотношение заболеваемости и смертности вследствие заболеваний органов пищеварения является низким по сравнению с заболеваниями злокачественными новообразованиями: смертность населения Украины вследствие заболевания злокачественными новообразованиями в 2011 г. составила 55% от первичной заболеваемости, а соответствующее соотношение для заболеваний органов пищеварения составляет лишь 2%. Поэтому угроза смертности вследствие заболевания злокачественными новообразованиями значительно превышает угрозу смертности от заболеваний органов пищеварения. Следовательно, угрозы смертности вследствие заболеваний органов дыхания, злокачественных новообразований и заболеваний органов пищеварения убывают в таком порядке, какой представлен в табл. 3.

Анализируя динамику комплексных индикаторов «оценка смертности вследствие заболевания» для исследуемых нозологий по различным административно-территориальным единицам Украины за 2004–2011 гг., отметим следующие особенности.

Табл. 2. Медико-статистические показатели по Украине за 2011 г., ранжированные в порядке снижения уровня причинной смертности.

Нозология	Распространенность, на 100 тыс. населения	Заболеваемость, на 100 тыс. населения	Смертность, на 100 тыс. населения
Заболевания системы кровообращения	57 967,20	5 145,20	965,70
<i>Злокачественные новообразования</i>	2 227,00	348,80	193,20
<i>Заболевания органов пищеварения</i>	18 025,30	2 871,60	55,30
<i>Заболевания органов дыхания</i>	37 602,00	31 027,90	39,20
Все формы активного туберкулеза	155,10	67,20	15,20
Заболевания нервной системы	4 898,50	1 631,80	13,20
Заболевания мочеполовой системы	10 074,90	4 594,80	6,50
Сахарный диабет	2 773,10	254,90	4,90

1. Уровни комплексных индикаторов «оценка смертности вследствие заболевания» болезнями системы кровообращения снижаются в течение исследуемого периода. В Харьковской обл. уровень этого индикатора превышает наивысшие значения по другим территориям (Черниговская и Винницкая обл.) примерно в 1,5 раза, а самые низкие показатели (Запорожская и Луганская обл.) — в 3 раза в течение всего исследуемого периода.

2. Уровни комплексных индикаторов для заболеваний органов дыхания снижаются в течение исследуемого периода. При этом в Волынской области происходит резкий спад: оценка смертности в 2004 г. (113,69 случаев на 100 тыс. населения) превышает уровень 2011 г. (62,63 случая на 100 тыс. населения) почти в два раза. В начале исследуемого периода значения показателя в Волынской обл. превышали значения по всем остальным территориям почти в 1,5 раза, а в 2010–2011 гг. вышли на уровень самых высоких показателей, приняв значения ниже уровней Полтавской и Черкасской областей.

3. Значения комплексных индикаторов «оценка смертности вследствие заболевания» злокачественными новообразованиями снижаются приблизительно на 10% в течение исследуемого периода. Значения комплексного индикатора для Кировоградской и Запорожской областей являются наивысшими по всем исследуемым административно-территориальным единицам Украины в течение исследуемого периода.

4. Уровни комплексных индикаторов для заболеваний системы пищеварения снижаются, начиная с 2009 г. Наивысшие значения комплексного индикатора сохраняются в Закарпатской обл. в течение всего исследуемого периода.

5. Значения комплексных индикаторов «оценка смертности вследствие заболевания» всеми формами активного туберкулеза несколько снижаются в течение 2009–2011 гг. Наивысшие значения наблюдаются в Херсонской и Луганской областях, причем уровень комплексного индикатора в Херсонской области значительно снижается в 2006–2009 гг., а в Луганской области — сохраняет наивысшие значения среди всех исследуемых территорий в течение всего периода.

6. Комплексные индикаторы для заболеваний нервной системы сохраняют приблизительно одни и те же уровни в течение исследуемого периода во всех исследуемых административно-территориальных единицах, кроме Закарпатской обл. Для этой области наблюдаются наивысшие значения комплексного индикатора, которые возрастают почти в 1,5 раза в 2008–2009 гг., а затем спадают до уровня 2007 г.

Табл. 3. Комплексные индикаторы оценки смертности с учетом текущего уровня заболеваемости по Украине за 2011 г., ранжированные в порядке убывания.

Нозология	Комплексный индикатор «оценка смертности вследствие заболевания», на 100 тыс. населения
Заболевания системы кровообращения	85,72
Заболевания органов дыхания	32,35
Злокачественные новообразования	30,26
Заболевания органов пищеварения	8,81
Все формы активного туберкулеза	6,59
Заболевания нервной системы	4,40
Заболевания мочеполовой системы	2,96
Сахарный диабет	0,45

7. При визуальном исследовании нет возможности выделить единую тенденцию динамики комплексных индикаторов «оценка смертности вследствие заболевания» болезнями мочеполовой системы по всем исследуемым территориям.

8. Уровни комплексных индикаторов для заболевания сахарным диабетом остаются приблизительно одинаковым в течение исследуемого периода, при этом в Ровненской и Кировоградской областях наблюдаются всплески в течение 2005–2007 гг.

Использование комплексного индикатора позволяет выделить регионы с наиболее неудовлетворительной ситуацией в течение определенного периода, и оценить состояние населения относительно причинной смертности с учетом заболеваемости и распространенности заболевания. Применение предложенного комплексного индикатора для выявления наиболее неблагоприятных административно-территориальных единиц создает основы информационного обеспечения для обнаружения социально-экономических переменных, позволяющих отрегулировать состояние населения относительно заболеваемости и причинной смертности.

Анализ линейной связи социально-экономических и медико-статистических показателей

Первым шагом выделения социально-экономических переменных для ана-

лиза их взаимосвязи с заболеваемостью и причинной смертностью населения явился аналитический обзор статистических показателей, по результатам которого для дальнейшего исследования были отобраны следующие 4 статистических показателя:

- реальный годовой доход на человека, эквивалент в долларах США по курсу на 01 июля каждого исследуемого года, который характеризует экономическое обеспечение населения;
- плотность населения, количество человек на кв. км, который характеризует санитарное состояние населения;
- количество врачей (без зубных), на 100 тыс. населения, как характеристики медицинского обеспечения населения административно-территориальной единицы;
- валовой региональный продукт на человека, эквивалент в долларах США по курсу на 01 июля каждого исследуемого года, который является общей экономической характеристикой благосостояния региона.

Далее анализировались тенденции линейной связи динамики выбранных социально-экономических и медико-статистических показателей по исследуемым административно-территориальным единицам. Рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона для пар показателей по каждой из 26 территорий и доли положительных статистически значимых коэффициентов ($R \geq 0,7$, $p \leq 0,05$) и отрицательных статистически значимых коэффициентов ($R \leq -0,7$, $p \leq 0,05$) среди 26 коэффициентов в каждом случае. Различия этих долей являются статистически значимыми ($p \leq 0,01$, табл. 4). В каждой ячейке

табл. 4 указаны значения коэффициентов корреляции с уровнем значимости их расчета и, через точку с запятой, доля таких коэффициентов с уровнем значимости ее отличия.

Статистически достоверная линейная связь динамики валового регионального продукта как управляющего фактора обнаружена лишь с динамикой распространенности заболеваний системы

кровообращения ($R \geq 0,80$, $p \leq 0,05$ для 53,85% административно-территориальных единиц, $p \leq 0,01$).

Согласно выражению для расчета комплексного индикатора (1), его зависимость от распространенности заболеваний является нелинейной (гиперболической). Поэтому следует особо отметить случаи, когда значимые коэффициенты корреляции Пирсона, отобра-

жающие линейную связь между показателями, обнаружены для комплексных индикаторов, для распространенности заболеваний, но не обнаружены для показателей смертности и заболеваемости. Эти значения выделены в табл. 4 полужирным шрифтом.

Таким образом, использование комплексного индикатора при корреляционном анализе позволило получить

Табл. 4. Доля значимых коэффициентов корреляции Пирсона при анализе динамики медико-статистических и социально-экономических показателей по 26 административно-территориальным единицам за 2004–2011 гг.

Стат. показатели/Заболевания на 100 тыс. населения		Реальный годовой доход на человека	Плотность населения	Количество врачей (без зубных)
системы кровообр	Распростран.	$R \geq 0,75$, $p \leq 0,05$; 88,46%, $p \leq 0,01$	$R \leq -0,85$, $p \leq 0,01$; 96,15%, $p \leq 0,01$	$R \geq 0,75$, $p \leq 0,05$; 69,23%, $p \leq 0,01$
	Компл. инд.	---	$R \geq 0,70$, $p \leq 0,05$; 57,69%, $p \leq 0,01$	---
органов дыхания	Распростран.	---	$R \leq -0,80$, $p \leq 0,05$; 50,00%, $p \leq 0,01$	---
	Заболеваем.	Значимо коррелирует с динамикой распространенности ($R \geq 0,90$, $p \leq 0,01$; 96,15%, $p \leq 0,01$)		
	Смертность	---	$R \geq 0,80$, $p \leq 0,05$; 84,62%, $p \leq 0,01$	$R \leq -0,75$, $p \leq 0,05$; 61,54%, $p \leq 0,01$
	Компл. инд.	---	$R \geq 0,80$, $p \leq 0,05$; 84,62%, $p \leq 0,01$	$R \leq -0,80$, $p \leq 0,05$; 53,85%, $p \leq 0,01$
злокачественные новообр.	Распростран.	$R \geq 0,75$, $p \leq 0,05$; 76,92%, $p \leq 0,01$	$R < -0,80$, $p \leq 0,01$; 96,15%, $p \leq 0,01$	$R > 0,75$, $p \leq 0,05$; 69,23%, $p \leq 0,01$
	Компл. инд.	$R < -0,75$, $p \leq 0,05$; 46,15%, $p \leq 0,01$	$R \geq 0,75$, $p \leq 0,05$; 80,77%, $p \leq 0,01$	$R \leq -0,80$, $p \leq 0,05$; 53,85%, $p \leq 0,01$
органов пищеварения	Распростран.	$R > 0,75$, $p \leq 0,05$; 65,38%, $p \leq 0,01$	$R < -0,80$, $p \leq 0,05$; 80,77%, $p \leq 0,01$	$R \geq 0,90$, $p \leq 0,01$; 57,69%, $p \leq 0,01$
все формы активн. туберк.	Распростран.	$R \leq -0,75$, $p \leq 0,05$; 50,00%, $p \leq 0,01$	$R \geq 0,80$, $p \leq 0,05$; 76,92%, $p \leq 0,01$	$R \leq -0,75$, $p \leq 0,05$; 50,00%, $p \leq 0,01$
	Заболеваем.	Значимо коррелирует с динамикой распространенности ($R \geq 0,70$, $p \leq 0,01$; 73,08%, $p \leq 0,01$)		
нервной системы	Распростран.	Динамика распространенности значимо коррелирует с динамикой первичной заболеваемости ($R \geq 0,70$, $p \leq 0,05$; 61,54%, $p \leq 0,01$)		
	Заболеваем.			
мочеполовой системы	Распростран.	$R > 0,70$, $p \leq 0,05$; 53,85%, $p \leq 0,01$	$R < -0,75$, $p \leq 0,05$; 57,69%, $p \leq 0,01$	---
	Заболеваем.	---	---	$R < -0,80$, $p \leq 0,05$; 57,69%, $p \leq 0,01$
	Компл. инд.	---	$R \geq 0,75$, $p \leq 0,05$; 50,00%, $p \leq 0,01$	$R \leq -0,80$, $p \leq 0,05$; 50,00%, $p \leq 0,01$
сахарн. диабет	Распростран.	$R \geq 0,75$, $p \leq 0,05$; 92,31%, $p \leq 0,01$	$R \leq -0,80$, $p \leq 0,05$; 96,15%, $p \leq 0,01$	$R \geq 0,80$, $p \leq 0,05$; 76,92%, $p \leq 0,01$
	Заболеваем.	Значимо коррелирует с динамикой распространенности ($R \geq 0,75$, $p \leq 0,05$; 80,77%, $p \leq 0,01$)		

новые знания, которые были недоступны без его применения.

В случаях, когда для более 50% исследуемых административно-территориальных единиц Украины найдена корреляционная связь динамики комплексных индикаторов оценки смертности вследствие заболеваний с динамикой плотности населения и не найдено линейной связи с другими социально-экономическими показателями, по нашему мнению, возможно наличие нелинейных связей с ними. Поскольку связь с плотностью населения является прямой, достаточно сильной и распространяется на не менее 50% территории — с увеличением плотности населения увеличиваются значения комплексных индикаторов для заболеваний системы кровообращения, органов дыхания, злокачественных новообразований и заболеваний мочеполовой системы — мы полагаем, что велика возможность обнаружить социально-экономические характеристики жизни населения, позволяющие изменить состояние здоровья населения Украины.

Выводы

Показатели заболеваемости, распространенности и смертности вследствие заболеваний, которые являются основными причинами смертности или наиболее распространенными на территории Украины, необходимо учитывать при оценивании эффективности системы здравоохранения. Однако их анализ одновременно для различных административно-территориальных единиц, особенно их анализ в динамике, является чрезвычайно трудоемким и подверженным погрешностям. Поскольку все три показателя для каждого заболевания являются независимыми по предпочтению, то их нужно и можно рассматривать в едином комплексе.

С целью повышения информативности оценивания эффективности системы здравоохранения в Украине, а в частности для анализа состояния здоровья населения, нами предложен комплексный индикатор «оценка смертности вследствие заболевания с учетом текущего уровня заболеваемости». Значения данного индикатора вычисляются по основным показателям медицинской статистики и внедрение его в систему мониторинга не повлечет дополнительных затрат для сбора информации.

Предложенный индикатор является информативным и позволяет при

анализе динамики состояния здоровья населения различных административно-территориальных единиц выявить регионы с наихудшим положением относительно риска смертности вследствие заболевания с учетом текущего уровня заболеваемости.

Литература

1. Smith P. C., Mossialos E., Papanicolas I. Оценка эффективности реформирования системы здравоохранения: опыт, проблемы и перспективы. Справочный документ №2. – ВОЗ, 2008. – Электронный ресурс: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/84370/E93697R.pdf.
2. Щорічна доповідь про стан здоров'я населення України та санітарно-епідемічну ситуацію. 2010 рік: [монографія] / за ред. О. В. Аніщенко. – К.: МОЗ України, ДУ «Український інститут стратегічних досліджень МОЗ України», 2011. – 461.
3. Показники здоров'я населення та використання ресурсів охорони здоров'я в Україні (2004–2005, 2006–2007, 2008–2009, 2010–2011 рр.) МОЗ України і Центру медичної статистики МОЗ України.
4. Антомонов М. Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. – К.: Фирма малого друку, 2006. – С. 71.
5. Гланц С. Медико-биологическая статистика. – Пер. с англ. – М.: Практика, 1998. – С. 132. (459 с.).
6. Злотин Б. Л., Зусман А. В. Типовые признаки наступления кризисов. – Электронный ресурс: http://www.ideationtriz.com/ZZ-Lab/Nonlinear_phenomenon/Crisis_starting.htm.
7. Эконометрика: Учебник / Под ред. И. И. Елисейевой. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
8. Мезенцева Н. І., Батиченко С. П. Суспільно-географічний аналіз захворюваності населення регіонів України // Часопис соціально-економічної географії: Міжрегіональний зб. наукових праць – Х.: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2009. – Вип. 7. – С. 130–134.
9. Філіппов Ю. О. Хвороби органів травлення в Україні: якість медичної допомоги населенню // Новини медицини та фармації. – Дніпропетровськ, 2008. – № 239. – С. 6–7.
10. Порівняльні дані про розповсюдженість хвороб органів дихання і медичну допомогу хворим на хвороби пульмонологічного та алергологічного профілю в Україні за 2007–2008 рр. – Національний інститут фізіотерії і пульмонології ім. Ф. Г. Яновського АМН України. – Электронный ресурс:

<http://www.ifp.kiev.ua/doc/staff/pulmukr2008.pdf>.

11. Рогозинская Н. С., Козак Л. М. Математические модели динамики статистических показателей для исследования состояния населения относительно заболевания злокачественными новообразованиями. // Межвед. сборник научн. трудов «Кибернетика и вычислительная техника». – Вып. 166. – МННЦ ИТиС НАН и МОНМС Украины, 2011 г. – С. 85–96.

The integrated indicators for analysis of cause-specific mortality

N. S. Rogozynska, L. M. Kozak

International Research and Training Center for Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences (NAS) of Ukraine and Ministry of Education and Science (MES) of Ukraine, Kiev, Ukraine

Abstract

Examination of the medical treatment effectiveness at different levels of health care (medical institution, city, region, state) requires studying of morbidity and cause-specific mortality. The paper gives an analysis of the dynamics of medical statistics indicators — prevalence, morbidity and mortality due to diseases that are major causes of death and the most prevalent in Ukraine. For more comprehensive analysis these indicators should be considered in a combination — as an integrated medical statistics indicator «the estimate of disease-caused death rate». Using the integrated indicator allows substantial improvement of the public health dynamics analysis in different administrative-territorial entities and does not require additional expenses on data collection.

Key words: quality score, key performance indicators, correlation analysis, disease-caused mortality.

Комплексні індикатори для аналізу причинної смертності населення

Н. С. Рогозинська, Л. М. Козак

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН і МОН України, Київ Україна

Резюме

Дослідження захворюваності та причинної смертності населення є необхідним при оцінюванні ефективності медичної допомоги на різних рівнях організації охорони здоров'я (лікувальний заклад, місто, район, область, держава). Надано результати аналізу динаміки показників медичної статистики — поширеності, захворюваності та смертності внаслідок

хвороб, які є основними причинами смертності та найбільш поширеними на території України. Для більш повного аналізу ці показники розглянуто у поєднанні — запропоновано комплексний індикатор «оцінка смертності внаслідок захворювання», що характеризує ризик причинної смертності за існуючого рівня захворюваності. Застосування комплекс-

ного індикатора дозволить підвищити інформативність аналізу динаміки стану здоров'я населення різних адміністративно-територіальних одиниць і не потребуватиме додаткових витрат для збору інформації.

Ключові слова: показники якості, ключові індикатори, кореляційний аналіз, причинна смертність.

Переписка

д.б.н., **Л. М. Козак**

Н. С. Рогозинская

МСП, просп. Академика Глушкова 40

Київ, 03680, Україна

тел. +380 (67) 811 80 60

ел. пошта: lmkozak@mail.ru

nrogozynska@edc.com.ua

УДК: 616.988:578.823.91]-084-035:615.371(477)]-0.36.22:614.1:313.1

Створення та аналіз динамічної моделі захворюваності на ротавірусну інфекцію та оцінка можливих наслідків її специфічної профілактики в Україні

С. О. Соловйов

Національна медична академія післядипломної освіти ім. П. Л. Шупика МОЗ України, Київ

Резюме

З використанням даних клініко-лабораторних спостережень особливостей епідемічного процесу ротавірусної інфекції (РВІ) було розроблено математичну модель на основі системи диференціальних рівнянь, яка відображує динаміку захворюваності на РВІ та бере до уваги попередні випадки захворювання. Модель відтворює сезонні особливості захворюваності та розподіл за віком випадків захворювання на РВІ серед дітей до 5 років в Україні. В результаті моделювання встановлено, що в структурі захворюваності домінує кількість перших випадків захворювання у віковій групі «від 1 до 2 років». Прогнозується максимальне зниження захворюваності на РВІ на 48,4% після 7–8 років з моменту початку вакцинації. Результати дослідження показали, що імунопрофілактика є дієвим засобом зниження захворюваності на РВІ в Україні, а активне впровадження імунізації є стратегічним рішенням в боротьбі з РВІ в Україні.

Ключові слова: ротавірусна інфекція, захворюваність, динаміка, диференціальні рівняння.

Клін. информат. и Телемед. 2013. Т.9. Вып.10. с.117–122

Вступ

На початку XXI століття ротавірусна інфекція (РВІ) залишається однією із найактуальніших проблем охорони здоров'я населення як для країн, що розвиваються, так і для розвинутих країн [1]. Ротавіруси (РВ) поширені повсюдно і зі всього спектру збудників гострих кишкових інфекцій (ГКІ) найбільш часто зумовлюють розвиток тяжкої дегідратуючої діареї переважно у дітей перших років життя. За даними ВООЗ у світі щорічно реєструється майже 125 млн. випадків РВІ, з них 610 тис. випадків завершуються летально. Найбільш важкий перебіг РВІ спостерігається у дітей до 5 років, що становить 30–50% від усіх госпіталізацій з приводу ГКІ [2]. В країнах Євросоюзу кожного року реєструється близько 4 млн. випадків РВІ, 100 тис. госпіталізацій, більше 200 випадків з летальними наслідками. В Росії показник захворюваності на РВІ становив 25 випадків на 100 тис. населення у 2011 році [3, 4]. В Україні показники захворюваності на РВІ в окремі роки (2001 р., 2003 р.) коливалися від 0,93 до 3,18 на 100 тисяч населення, при цьому щорічно велика кількість гострих кишкових інфекцій, а це — близько 45%, залишалась етіологічно не розшифрованою. Спалахи РВІ в м. Одесі та в Одеській області, в м. Києві та інших регіонах України, що спостерігаються за останні 10 років свідчать

про активізацію епідемічного процесу та нагальну необхідність у впровадженні заходів специфічної профілактики [5].

Науково-методичним підґрунтям для оцінки наслідків вакцинації ротавірусними вакцинами, зареєстрованими в Україні може стати розробка та аналіз математичної моделі динаміки захворюваності на РВІ, що і стало метою нашої роботи.

Матеріали та методи дослідження

Інформаційним підґрунтям створення математичної моделі динаміки захворюваності на РВІ стали дані клініко-лабораторних спостережень за період 2006–2009 рр. 566 дітей віком від народження до 5 років з діагнозом ГКІ, які були госпіталізовані в інфекційні відділення лікарень в різних регіонах України. Відбір клінічного матеріалу від дітей, його дослідження на наявність ротавірусів методами імуноферментного аналізу та молекулярно-генетичними методами дослідження, а також генотипування виділених ротавірусів здійснювалось на кафедрі вірусології НМАПО ім. П. Л. Шупика. Розробку ма-

тематичної моделі здійснювали на основі системи диференціальних рівнянь.

Імовірність інфікування $\lambda_i(t)$ було отримано методом апроксимації отриманих експериментальних даних клініко-лабораторних спостережень функцією вигляду:

$$Y(t) = \frac{A \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{365 - \phi} \right) \right)^n}{2^n}, \quad (1)$$

де: A – амплітуда сезонної флуктуації; ϕ – кут зсуву фаз; n – ступінь піднесення.

Для апроксимації було використано програмне забезпечення Mathcad 15. Отримана апроксимована функція мала вигляд:

$$Y(t) = \frac{0,854 \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{365 - 91,052} \right) \right)^{15,403}}{2^{15,403}}. \quad (2)$$

Коефіцієнт детермінації R^2 становив 0,985, а найменше та найбільше відхилення становили – 0,042 та 0,038, відповідно.

Динаміка моделі була побудована на основі сезонних коливань імовірності інфікування РВІ $\lambda_i(t)$. Було запропоновано в моделі використовувати функцію $\lambda_i(t)$ вигляду:

$$\lambda_i(t) = \frac{\lambda_{max_i} \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{365 - 91,052} \right) \right)^{15,403}}{2^{15,403}}, \quad (3)$$

де λ_{max_i} – амплітуда сезонного коливання імовірності інфікування РВІ.

Амплітуда сезонного коливання λ_{max_i} залежить від частоти виявлення РВІ $p(i)$ в різних вікових групах і на піку кількості захворювань та визначалась за формулою [6]:

$$\lambda_{max_i}(i) = \frac{-\ln(1 - p(i))}{365}, \quad (4)$$

де $p(i)$ – частота виявлення РВ в певній віковій групі i .

Відповідно до цього λ_{max_i} були розраховані для кожної вікової групи на одиницю часу, що дорівнює одному дню (табл. 1).

Для створення моделі було прийнято, що кількість новонароджених дітей (діти, які входили до наймолодшої вікової групи) та кількість дітей, що залишали найстаршу вікову групу, була рівною, таким чином загальний розмір популяції залишався сталим.

Для дослідження наслідків імунізації дітей в Україні ротавірусною вакциною на основі штаму з генотипом G1P [8] була створена математична модель динаміки

Табл. 1. Імовірність інфікування λ_{max_i} для окремих вікових груп.

Вікова група, i	Частота виявлення РВ, $p(i)$	Амплітуда сезонної імовірності інфікування λ_{max_i} для кожної вікової групи а в перерахунку на 1 день як одиницю часу
<1 року	0,01041	0,000029
Від 1 до 2 років	0,40625	0,001381
Від 2 до 3 років	0,66667	0,000826
Від 3 до 4 років	0,80208	0,000399
Від 4 до 5 років	0,88542	0,000238
> 5 років	0,90625	0,000058

захворюваності на РВІ, що описується системою диференціальних рівнянь першого порядку, враховуючи покриття першою і другою дозами вакцини та її генотип-специфічну ефективність та інші параметри імунізації:

$$\frac{dS_{ii}}{dt} = b - (q + \mu e - \mu eq)pb + (1 - e)q(q + \mu e - \mu eq)pb - \lambda_i S_{ii} - \delta S_{ii}, \quad i = 1$$

$$\frac{dS_{ii}}{dt} = \delta S_{1(i-1)} - \lambda_i S_{ii} - \delta S_{ii}, \quad i = 2 \div 6$$

$$\frac{dI_{ni}}{dt} = \lambda_i S_{ni} - \gamma I_{ni} - \delta I_{ni} + \delta I_{n(i-1)}, \quad n = 1 - 4, \quad i = 1 \div 6$$

$$\frac{dS_{ni}}{dt} = \alpha_{(n-1)} \gamma I_{(n-1)i} - \lambda_i S_{ni} - \delta S_{ni} + \delta S_{n(i-1)}, \quad n = 2 - 3, \quad i = 1 \div 6$$

$$\frac{dS_{4i}}{dt} = \omega_1 R_i + \alpha_3 \gamma I_{3i} - \lambda_i S_{4i} - \delta S_{4i} + \delta S_{4(i-1)} + \omega_2 V_1 + \omega_2 V_2, \quad i = 1 \div 6$$

$$\frac{dR_i}{dt} = \sum_n ((1 - \alpha_n) \gamma I_{ni}) + \gamma I_{4i} - \omega_1 R_i - \delta R_i + \delta R_{(i-1)}, \quad n = 1 - 3, \quad i = 1 \div 6$$

$$\frac{dV_{1i}}{dt} = (q + \mu e - \mu eq)pb - \omega_2 V_{1i} - q(q + \mu e - \mu eq)pb - \delta V_{1i} + \delta V_{1i(i-1)}, \quad i = 1 \div 6$$

$$\frac{dV_{2i}}{dt} = q(q + \mu e - \mu eq)pb - \omega_2 V_{2i} - (1 - e)q(q + \mu e - \mu eq)pb - \delta V_{2i} + \delta V_{2i(i-1)}, \quad i = 1 \div 6 \quad (5)$$

де i – вікова група (<1 року, від 1 до 2 років, від 2 до 3 років, від 3 до 4 років, від 4 до 5 років); $S_{ni}(t)$ – група сприйнятливих дітей до n -ого випадку захворювання на РВІ у віковій групі i ; $I_{ni}(t)$ – група дітей з n -им випадком захворювання на РВІ у віковій групі i ; $R_i(t)$ – група дітей, які одужали та є імунними після перенесеного захворювання у віковій групі i ; $\lambda_i(t)$ – імовірність інфікування у віковій групі i ; $V_1(t)$ – група дітей, які отримали одну дозу вакцини; $V_2(t)$ – група дітей, які отримали обидві дози вакцини.

В створенні моделі використані ключові особливості динаміки захворюваності на РВІ серед дітей до п'яти років. Всі діти мали певний рівень пасивного імунітету при народженні, який зменшувався з певною швидкістю, після чого вони переходили до групи сприйнятливих до 1-го випадку інфікування РВІ з постійною швидкістю, яка дорівнювала народжуваності в Україні $b = 1370$ дітей в день [7]. Діти всіх вікових груп, сприйнятливих до інфікування, могли бути інфіковані з ймовірністю $\lambda_i(t)$, яка мала сезонний характер, та одужували зі швидкістю γ . Літературні джерела вказують на те, що необхідно розглядати принаймні три випадки повторного інфікування (чотири класи сприйнятливості) [8]. Імовірність сприйнятливості дитини складала (α_{1-3}) після кожного з трьох випадків інфікування РВІ, а частка ді-

тей, які набували імунного захисту після кожного інфікування ($1 - \alpha_{1-3}$), змінювалась залежно від кількості попередньо перенесених випадків інфекції. На основі даних, одержаних Velasquez та співавт. і підтверджених іншими авторами [8–10], вважалось, що ймовірність сприйнятливості складала 62% після першого випадку інфікування РВІ, 65% ($= 0,40/0,62$) після другого випадку та 85% ($= 0,34/0,40$) після третього випадку інфікування. Після кожного з чотирьох випадків інфікування всі діти ставали імунними та переходили до групи дітей, що одужали. Крім того, вважалось, що 47% від кількості випадків першого, 25% – другого, 32% – третього та 20% – четвертого випадків інфікування мали перебіг з клінічними проявами. Зазвичай симптоми тривали від 2 до 7 днів, а в середньому – 5 днів [11]. Захворювання завершувалось видужанням дитини, або менш ймовірним летальним наслідком. Перейшовши до групи дітей, які одужали, діти вважались тимчасово імунними до повторних випадків захворювання. Набутий імунний захист знижувався зі швидкістю ω_1 та згодом діти переходили до групи сприйнятливості до 4-го випадку інфекції, якій вони могли бути інфіковані з ймовірністю $\lambda_i(t)$. Тому припускається, що діти, у яких розвивався протиротавірусний імунітет внаслідок всіх випадків захворювання, мали менші ймовірності в майбутньому захворіти на РВІ. Швидкість зниження протиротавірусного імунного захисту ω_1 є невизначеним параметром, тому його значення було визначено шляхом наближення моделі до експериментальних даних клініко-лабораторних спостережень за РВІ в Україні (табл. 1).

Щеплення ротавірусною вакциною повинно збігатись у віковому інтервалі з першою та третьою ревакцинацією адсорбованої коклюшно-дифтерійно-правцевої (АКДП) вакцини, тому для моделі доцільно було використовувати охоплення вакциною АКДП-1 та АКДП-3 дітей до 1 року в Україні як можливий показник охоплення двома дозами ротавірусної вакцини [12].

Результати та обговорення

Проведений аналіз динаміки захворюваності показав, що протягом року в Україні, як і в інших країнах з помірним кліматом найбільша кількість позитивних знахідок ротавірусів у клінічному ма-

Табл. 2. Параметри моделі.

Параметр	Значення	Джерело
Народжуваність, b	1370 дітей /день	[7]
Тривалість симптомів, $1/\gamma$	5 днів	[11]
Ймовірність сприйнятливості після n -го випадку інфікування РВІ, α_n	$n=1: 0,62$ $n=2: 0,65$ $n=3: 0,85$	[8]
Ймовірність виникнення симптомів при n -му випадку інфікування РВІ, ξ_n	$n=1: 0,47$ $n=2: 0,25$ $n=3: 0,32$ $n=4: 0,20$	[8]
Швидкість переходу з вікової групи i в вікову групу $i+1$, δ	1/365	-
Швидкість зниження імунітету після перенесеної РВІ, ω_1	$6,37 \cdot 10^{-5}$ (1/43 рік ⁻¹ в перерахунку на 1 день); отримано шляхом наближення моделі до даних клініко-лабораторних спостережень	-
Ймовірність інфікування, $\lambda_i(t)$	Отримано методом апроксимації даних клініко-лабораторних спостережень	-
Імунізація першою дозою вакцини, p	0,98	на основі показника імунізації вакциною АКДП-1 в Україні [12]
Імунізація другою дозою вакцини, q	0,52	на основі показника імунізації вакциною АКДП-3 в Україні [12]
Генотип-специфічна ефективність вакцини, e	0,804	за власними дослідженнями молекулярно-генетичного моніторингу циркуляції ротавірусів в Україні [13]
Відносне збільшення кількості інфікованих дітей серед вакцинованих осіб між двома сезонами, ω_2	0,0001342	[14]
Ефективність однієї дози по відношенню до двох доз, μ	0,625	[15]

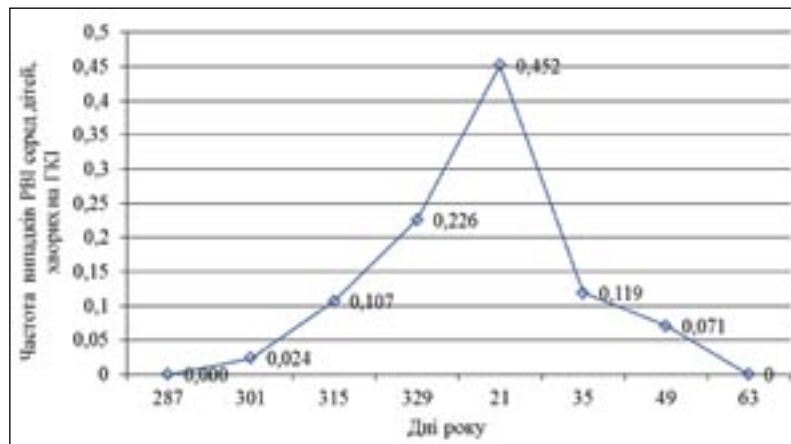


Рис. 1. Сезонні коливання захворюваності на РВІ в загальній структурі ГКІ вірусної етіології.

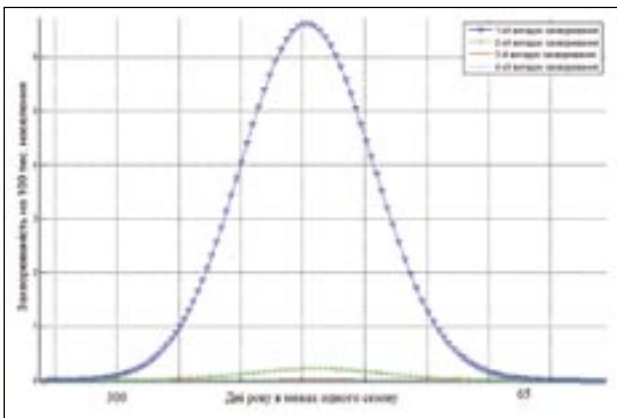


Рис. 2. Модель динаміки захворюваності на РВІ за кількістю попередньо перенесених випадків захворювання.

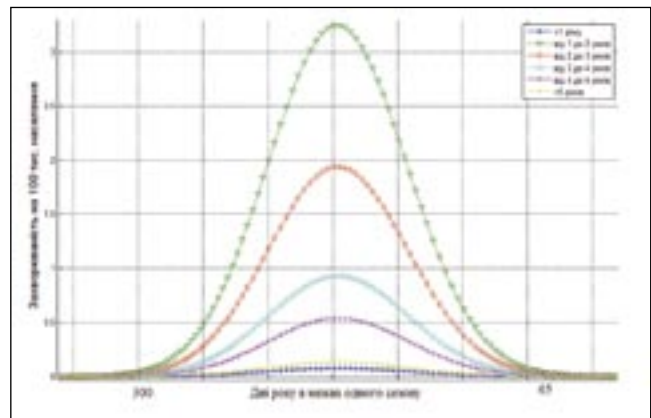


Рис. 3. Модель динаміки захворюваності на РВІ за окремими віковими групами дітей.

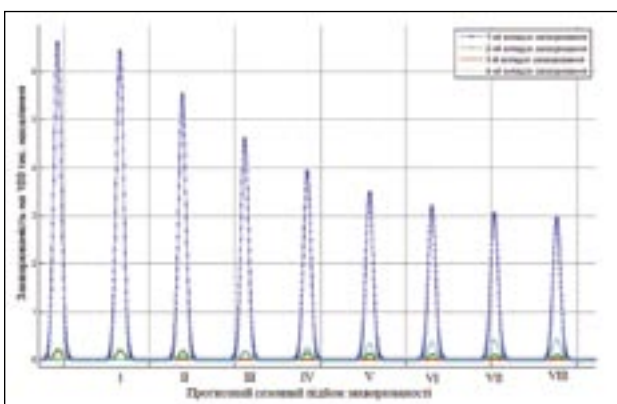


Рис. 4. Прогнозна ефективність вакцинації залежно від кількості попередньо перенесених випадків захворювання на РВІ.

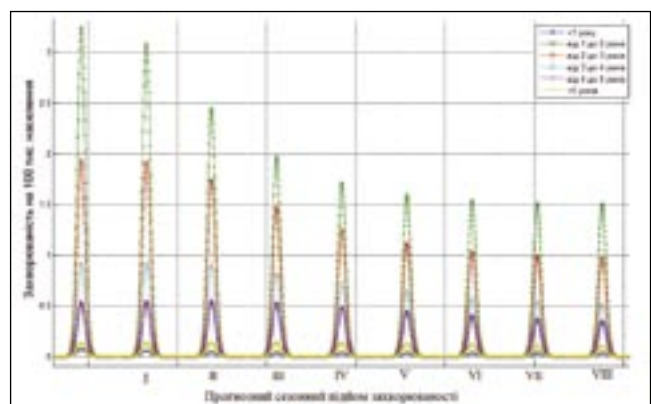


Рис. 5. Прогнозна ефективність вакцинації для різних вікових груп дітей.

теріалі виявлялась в основному в період з грудня по лютий, а найменша – з липня по вересень, що підтверджує зимово-весняну сезонність цієї інфекції, яка характерна для країн з помірним кліматом (рис. 1).

Якісний прогноз поширення захворюваності досяжний тільки на основі адекватних математичних моделей, формування яких стає в даний час цілком реальним завданням і на сьогодні математичне моделювання епідемічного процесу інфекцій є оптимальним засобом отримання випереджаючої інформації про швидкість розповсюдження інфекцій та прогнозування масштабів епідемії.

Сьогодні найбільш використовуваним є метод моделювання епідемічного процесу інфекцій, заснований на використанні диференціальних рівнянь [16, 17]. Такого роду моделі описують динаміку поширення захворювання системою диференціальних рівнянь, в якості шуканих функцій в яких виступають кількість хворих і здорових людей на певній території. Рішенням такої системи рівнянь є рівень інфекційної захворюваності в кожен момент модельного часу. Дана методологія була запропонована академіком О. В. Барояном і професором Л. А. Рвачовим [18, 19]. Для її створення використовується метод наукової аналогії у відображенні епідемічного процесу – процес «перенесення» збудника інфекції від хворих до здорових з процесом «перенесення» матерії (енергії, імпульсу та ін.) в рівняннях математичної фізики.

Грунтуючись на моделі Барояна-Рвачова було розроблено детерміновану модель динаміки захворюваності на РВІ серед дітей до 5 років з урахуванням ключових особливостей епідемічного процесу РВІ серед дітей до п'яти років, покриття вакциною та її генотип-специфічною ефективністю, описана системою диференціальних рівнянь першого порядку.

В результаті дослідження створеної моделі в пакеті прикладних програм Matlab 2009a було отримано відображення епідеміологічної моделі динаміки захворюваності на РВІ серед дітей до п'яти років в Україні з урахуванням вакцинації.

При дослідженні моделі за кількістю перенесених випадків РВІ було виявлено, що в структурі захворюваності домінує група дітей з 1-им випадком захворювання (рис. 2).

Проведений аналіз моделі динаміки захворюваності на РВІ за окремими віковими групами виявив наступну закономірність домінування окремих вікових груп в епідемічному процесі РВІ: «від 1 до 2 років» > «від 2 до 3 років» > «від 3

до 4 років» = «від 4 до 5 років» > «>5 років» > «<1 року» (рис. 3).

Модель прогнозує максимальне зниження захворюваності на РВІ на 48,4% після 7–8 років після початку вакцинації, а середнє зниження захворюваності протягом п'яти перших років після початку вакцинації становитиме в середньому близько 29,5%. Цей показник є співставним результатам раніше проведених досліджень щодо оцінки профілактичної ефективності вакцини, яка склала 29,4% [19]. При аналізі за кількістю попередньо перенесених випадків захворювання на РВІ помітно збільшення кількості 4-тих випадків захворювання при загальному зниженні кількості перших трьох випадків захворювання в структурі динаміки епідемічного процесу РВІ (рис. 4).

При дослідженні моделі динаміки захворюваності на РВІ за окремими віковими групами під впливом вакцинації показано зменшення амплітуди коливань захворюваності за кожною групою протягом сезонного підйому захворюваності (рис. 5).

Висновки

Аналіз результатів моделювання показав, що динаміка захворюваності на РВІ може бути достатньо точно описана за допомогою динамічної моделі, яка бере до уваги попередні випадки захворювання на РВІ. Модель відтворює сезонні особливості захворюваності та розподіл за віком випадків захворювання на РВІ, що спостерігаються серед дітей до 5 років в Україні.

Запропонований метод моделювання дозволив вивчити структуру захворюваності за окремими віковими групами та залежно від кількості попередньо перенесених випадків захворювання на РВІ.

Встановлено, що в структурі захворюваності домінує кількість перших випадків захворювання у віковій групі «від 1 до 2 років». Вивчено протиепідемічну ефективність вакцинації серед окремих вікових груп та залежно від кількості попередньо перенесених випадків захворювання. Прогнозується максимальне зниження захворюваності на РВІ на 48,4% після 7–8 років з моменту початку вакцинації. Очікується зниження захворюваності на РВІ в кожній віковій групі (від народження до п'яти років) при незначному збільшенні кількості четвертих випадків захворювання.

Розроблена модель та результати її аналізу показали, що імунопрофілактика може бути дієвим інструментом

зниження захворюваності на РВІ при активному впровадженні імунізації в стратегію боротьби з РВІ в Україні та за умови достатньо великого охоплення дитячого населення країни.

Література

1. Rotaviruses / A. Z. Kapikian, Y. Hoshino, R. M. Chanock [et al] // *Fields virology*. – 2001. – Vol. 2. – P. 1787–1833.
2. Global mortality associated with rotavirus disease among children in 2004 / Parashar U. D., Burton A., Lanata C. [et al.] // *J. Infect. Dis.* – 2009. – Vol. 200 (Suppl. 1). – P. 9–15.
3. Burden of rotavirus disease in European Union countries / M. Soriano-Gabarro, J. Mrukowicz, T. Vesikari // *J. Pediatr. Infect. Disease*. – 2006. – Vol. 25, № 1. – P. 7–11.
4. Миндлина А. Я. Пути оптимизации эпидемиологического надзора за антропонозами с фекально-оральным механизмом передачи / А. Я. Миндлина // *Эпидемиология и инфекционные болезни*. – 2012 – С.16–20.
5. Дзюблик І. В. Ротавірусна інфекція у дітей України / І. В. Дзюблик, О. В. Обертинська, І. Г. Костенко [та ін.] // *Профілактична медицина*. – 2009. – №2. – С. 34–37.
6. Rose J., Hawthorn R. L., Watts B., Singer M. E. Public health impact and cost effectiveness of mass vaccination with live attenuated human rotavirus vaccine (RIX4414) in India: model based analysis. *BMJ* 2009;339:b3653.
7. Державний Комітет Статистики України. www.ukrstat.gov.ua
8. Velazquez F. R., Matson D. O., Calva J. J., Guerrero L. [et al] Rotavirus infections in infants as protection against subsequent infections. *N Engl J Med*, 335 October (14) (1996), pp. 1022–1028.
9. Bhan M. K., Lew J.F., Sazawal S., Das B. K., Gentsch J. R. and Glass R. I. Protection conferred by neonatal rotavirus infection against subsequent rotavirus diarrhea. *J Infect Dis*, 168 August (2) (1993), pp. 282–287.
10. Ruiz-Palacios G., Schael I. P. and Velazquez F. Safety and efficacy of an attenuated vaccine against severe rotavirus gastroenteritis. *N Engl J Med*, 354 (2006), pp. 11–22.
11. Heymann D. L. *Gastroenteritis* // *Control of Communicable Diseases Manual*, (18th ed.), American Public Health Association (2004), pp. 224–227.
12. WHO. Immunization profile — Ukraine. – Geneva:WHO, 2010: http://apps.who.int/immunization_monitoring/en/globalsummary/timeseries/tscoveragebycountry.cfm?C=UKR
13. Predictive models of efficacy and public health impact of vaccination with rotavirus vaccine in Ukraine / S. Solovyov, J. Rose, I. Dzyublyk, E. Trokhimenko // *Компьютерные*

- исследования и моделирование. – 2012. – Т.4. – №2. – С. 407–421.
14. Linhares A. C., Velazquez F. R., Perez-Schael I. Efficacy and safety of an oral live attenuated human rotavirus vaccine against rotavirus gastroenteritis during the first 2 years of life in Latin American infants: a randomised, double-blind, placebo-controlled phase III study. *Lancet*. 2008. 371: pp.1181–1189.
 15. Lopez P., Linhares A., Perez-Schael I. [et al]. Early protection against severe rotavirus gastroenteritis—RIX4414 experience in Latin America. 24th Annual Meeting of the European Society of Infectious Diseases; 3–5 may, Basel. – Switzerland, 2006.:pp.24–26.
 16. Боев Б. В. Современные этапы математического моделирования процессов развития и распространения инфекционных заболеваний // Боев Б. В. / Эпидемиологическая кибернетика: модели, информация, эксперименты. М., 1991. С. 6–13.
 17. Бородулин А. И. / Статистическая модель эпидемического процесса // Бородулин А. И., Десятков Б. М., Шабанов А. Н., Ярыгин А. А. / Сибирский журнал промышленной математики. – 2007. – Т. 10, № 2. – С. 23–30.
 18. Бароян О. В. Математика и эпидемиология. // Бароян О. В., Рвачев Л. А. / М.: «Знание», 1977. С. 63.
 19. Бароян О. В. Прогнозирование эпидемий гриппа в условиях СССР // Бароян О. В., Рвачев Л. А. / Вопросы вирусологии. 1978. № 2. С. 131–137.

Development and analysis of dynamic model of morbidity of rotavirus infection and evaluation of possible consequences of its specific prevention in Ukraine

S. Solovyov

*P. L. Shupuk National medical academy of post-graduate education
Department of virology, Ukraine, Kyiv*

Abstract

Using data of clinical and laboratory observations of the features of epidemic process of rotavirus infection (RVI) among children under 5 years in Ukraine it has been developed the model, based on the system of differential equations, describing the dynamics of morbidity and takes into account the previous cases. The model reproduces the seasonal characteristics of the disease and the age distribution

of cases of RVI among children under 5 years in Ukraine. The modeling found that in the structure of morbidity is dominated by the number of first cases of disease in the age group «1 to 2 years». Projected maximum decrease of the morbidity of RVI is about 48.4% after 7–8 years from the start of vaccination. The results showed that immunoprophylaxis is effective in reducing the morbidity of RVI in Ukraine, and active implementation of immunization is a strategic decision in the struggle with RVI in Ukraine.

Key words: rotavirus infection, disease, dynamics, differential equations.

Создание и анализ динамической модели заболеваемости ротавирусной инфекцией и оценка возможных последствий ее специфической профилактики в Украине

С. А. Соловьев

*Национальная медицинская академия последипломного образования
им. П. Л. Шупика, кафедра вирусологии
Украина, Киев*

Резюме

С использованием данных клинико-лабораторных наблюдений особенностей эпидемического процесса ротавирусной инфекции (РВИ) была разработана математическая модель на основе системы дифференциальных уравнений, которая отображает динамику заболеваемости РВИ и берет во внимание предыдущие случаи заболевания. Модель воспроизводит сезонные особенности заболевания и распределение по возрасту случаев заболевания РВИ среди детей до 5 лет в Украине. В результате моделирования установлено, что в структуре заболеваемости доминирует количество первых случаев заболевания в возрастной группе «от 1 до 2 лет». Прогнозируется максимальное снижение заболеваемости РВИ на 48,4% после 7–8 лет с момента начала вакцинации. Результаты исследования показали, что иммунопрофилактика является действенным средством снижения заболеваемости РВИ в Украине, а активное внедрение иммунизации является стратегическим решением в борьбе с РВИ в Украине.

Ключевые слова: ротавирусная инфекция, заболеваемость, динамика, дифференциальные уравнения.

Листування

к.б.н. **С. О. Соловйов**

*Національна медична академія
післядипломної освіти
ім. П. Л. Шупика МОЗ України
вул. Дорогожицька, 9
Київ, 04112, Україна
тел.: +380 (44) 205 49 88
ел. пошта: solovyov@i.ua*

УДК 612.825.8:613.685

Особливості оцінки якості операторської діяльності з використанням профілю надійності

В. В. Кальниш, А. В. Швець

Українська військово-медична академія, Київ

Резюме

У роботі запропонований новий підхід до визначення надійності операторської діяльності за допомогою побудови профілю надійності кожного оператора, побудованого на основі моделювання інформаційної складової його професійної діяльності. Показано, що використання профілю надійності операторської діяльності відкриває нові та широкі перспективи в розумінні поведінки людини в умовах виникнення різноманітних ситуацій при виконанні професійних обов'язків та забезпечує більш точну оцінку надійності роботи.

Ключові слова: профіль надійності оператора, психофізіологічні характеристики, радіотелеграфісти.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.123–130

Вступ

Проблема психофізіологічного забезпечення надійності діяльності операторів має досить відпрацьовані теоретичні основи та чіткі практичні результати, завдяки дослідженням багатьох авторів [4, 13, 14, 17, 19]. Стрімко розвиваючись, вона за короткий час набула загальнодержавного значення в нашій країні. Разом з тим, приділення сучасними дослідниками значної уваги проблемі надійності операторської діяльності свідчить про те, що дане питання ще далеке від вирішення.

Академік А. І. Берг дуже влучно визначив сутність цієї проблеми, назвавши її вічною [3]. Поки буде мати місце рух технічної думки і відповідно створення нової техніки та технологій, проблема надійності, здобуваючи задовільне вирішення на сучасний момент, з неминучістю буде по-новому виникати в майбутньому та ніколи не буде завершеною. А тому вона вимагає до себе постійної уваги.

Порівняльний аналіз систем різної природи (біологічних та технічних) виявив наявність загального і специфічного в забезпеченні їх надійності. Було показано, що поняття надійності не може обмежуватися рамками спеціальних наук. Про надійність і відповідні механізми її забезпечення можна міркувати під кутом різних рівнів організації матерії (атомний, молекулярний і клітинний), щодо систем живої природи та суспільства. Для правильного розуміння надійності діяльності доречно буде дати її дефініцію як імовірного показника, що характеризує здатність людини безвідмовно, ефективно, і із заданою

точністю виконувати діяльність протягом певного часу за певних умов, при збереженні життя, здоров'я та працездатності як самого працівника, так і осіб, з якими він поєднаний спільною діяльністю [1].

У психофізіологічному розумінні надійність головним чином розглядалася в контексті методів її визначення [1]: як імовірність безпомилкової роботи; стабільність характеристик точності виконання завдань; запас резервних можливостей людини, які можуть бути включені в діяльність у випадку ускладнення ситуації; здатність підтримувати робочі параметри в умовах дії екстремальних чинників.

Наявність проблеми надійності багато в чому пов'язана з тою обставиною, що людина-оператор за різноманітними причинами може допускати в процесі своєї діяльності помилки різного характеру. Отже, доцільно відзначити, що проблема надійності оператора сформувалася з проблеми появи помилок [4, 12]. Зазвичай, при вивченні причин помилок визначають дві основні їх групи: випадкові та закономірні [4]. Випадкові помилки оператора складають тільки 12% від їх загальної кількості та носять дуже нестійкий, тимчасовий характер. Вони спостерігаються при виконанні як складних, так і простих стереотипних дій. Установити їхню причину вкрай важко. Іноді випадкові помилки відбуваються внаслідок ослаблення уваги, зниження чутливості аналізаторів залежно від часу доби, тривалості зміни тощо. Закономірні помилки можна не тільки виявити, але й передбачити. Вони, як правило, обумовлені наступними причинами: недостатньою професійною підготовкою (нестійкістю навичок, недостатньою навченістю, втратою навичок після тривалої перерви

в роботі тощо); зміненним станом людини (хворобою, стомленням, емоційною напруженістю, передстартовою «лихоманкою», зниженням працездатності через вплив на організм шкідливих чинників праці тощо); індивідуальними професійно важливими психофізіологічними якостями оператора (недостатність уваги, пам'яті та ін.); індивідуальними особистісними професійно важливими якостями оператора (недостатня спрямованість, недисциплінованість, небаліст, переоцінка своїх можливостей тощо); ергономічною невідповідністю устаткування місця оператора; недоліками в організації управління професійною діяльністю. Кожний з перерахованих факторів може сприяти появі помилок у оператора.

Численні дослідження підтверджують вплив на надійність діяльності та процес прийняття рішень: складності завдань та інформаційних перевантажень [14, 17, 19]; різноманітних зовнішніх чинників [11, 13]; статі [8]; віку [12]; рівня розвитку професійно важливих якостей, навичок [18] і так далі. Тому існує значна кількість класифікацій помилок оператора, які, як правило, задовольняють таким критеріям:

- а) місце помилки в структурі ергатичної системи;
- б) зовнішній прояв помилки;
- в) наслідки помилки;
- г) характер відображення помилки у свідомості оператора;
- д) причини помилки.

Причини помилок можуть бути пов'язані з наступними факторами:

- а) робочим місцем оператора (організацією інформаційної моделі діяльності та органів управління);
- б) режимом праці та відпочинку;
- в) професійною підготовкою;
- г) функціональним станом;
- д) робочою мотивацією;
- е) стосунками в колективі.

Звідси витікає і розмаїття методів визначення надійності.

Вартість людських помилок особливо гостро стала відчуватися зі створенням і широким поширенням складних автоматизованих систем управління. Часом, розплата за неправильні або несвоєчасні дії оператора, який управляє такими системами, проявляється не тільки у вигляді зниження показників ефективності і якості функціонування цієї системи, економічних втрат, але й в загибелі людей [4, 14]. Внаслідок цього при вирішенні завдання, спрямованого на забезпечення належної надійності функціонування автоматизованих систем управління, важливе, якщо не вирішальне, значення має те, наскільки надійно виконує свої функції її інтегральна, найбільш відповідальна ланка — людина.

Найбільш простим і популярним методом оцінки надійності оператора є визначення ймовірності безпомилковості (або помилковості) його професійної діяльності. Цей метод має незаперечну перевагу в тім, що одержувана оцінка не опосередковано, а прямо відбиває надійність роботи оператора. Однак у ньому є і недоліки. Наприклад, дослідження безпосередньо реального об'єкта (професійної надійності), як правило, недоступне або організаційно досить важке (особливо у випадку розвитку аварійних ситуацій). Крім того, кількість помилок професіонала доволі низька і тому точна оцінка надійності оператора вимагає великого проміжку часу для обліку помилкових і безпомилкових дій. Тому часто виникає потреба в моделюванні окремих компонентів діяльності у позавиробничих умовах. Додатково можна відмітити, що при неоднаковій складності розв'язуваних завдань і темпі їхнього пред'явлення, а також внаслідок дії інших факторів та їх сполучень, виникають істотно неоднакові, тобто неадитивні ситуації, які сприяють появі помилок. Складність виконуваних операцій може бути обумовлена різним темпом пред'явлення завдань, неоднаковим обсягом даних, що запам'ятовуються, різною структурою логічних операцій при переробці інформації або іншими аспектами діяльності. Свідченням цьому можуть служити дані про час і кількість операцій, виконуваних працівником (наприклад, диспетчером електричних мереж) у штатній і аварійній ситуаціях [6], які значною мірою визначають складність формування його адекватних реакцій. Було чітко показано, що робота в аварійній ситуації значною мірою відрізняється від такої в штатній за параметрами навантаження на ті, або інші психофізіологічні функції працюючої людини [7]. Таким чином, можна констатувати, що умови появи помилок не є адитивними. Тому оцінка надійності за допомогою визначення ймовірності помилкової діяльності, тобто шляхом підсумовування кількості помилок, що з'являються в різноманітних ситуаціях, не веде до отримання об'єктивного результату.

При визначенні механізмів професійної надійності можна опиратися на положення Л. Г. Дікої [5] про множинність і багатогранність існуючих механізмів регуляції надійності людини. А оскільки організованість будь-якої матеріальної системи проявляється в інтеграції функцій її структурних компонентів [2, 10], критеріями оцінки професійної надійності оператора можуть виступати ступінь цілісності системи саморегуляції і рівень взаємозв'язку її структурних компонентів. Отже — надійність діяльності

людини-оператора є складним параметром, у якому необхідно враховувати і семантичні (змістовні) її аспекти і темп діяльності, а також функціональний стан людини. Тому метою цього дослідження стало створення нового підходу до оцінки надійності операторської діяльності з урахуванням неадитивності умов появи помилок.

Матеріали та методи

Об'єктом досліджень була однорідна група операторів (40 чоловіків, віком 18–23 р.), які безперервно виконували професійні обов'язки радіотелеграфіста протягом доби. Дослідження психофізіологічних характеристик цих осіб проводили в ранковий час (з 800 до 900 години) до початку та безпосередньо після добового чергування [15].

Психофізіологічні характеристики реєстрували за допомогою спеціального апаратно-програмного комплексу, що був розроблений у Харківському національному університеті радіоелектроніки [9]. Методики оцінки психофізіологічних функцій були реалізовані з використанням захисних непрозорих окулярів із вмонтованими різноманірними світлодіодами, що забезпечують стандартизацію пред'явлення подразників і належну контрастність фону та стимулу. Програмне забезпечення розроблене з використанням Microsoft .NET Framework 3.5 мовою С#, що дозволяє при необхідності трансформувати його в інші операційні системи (наприклад, Linux тощо) і може використовуватися на IBM-сумісних комп'ютерах з операційними системами Windows 2000/XP/Vista/7/8.

Діагностування надійності роботи здійснено за допомогою модифікованої методики Н. В. Макаренко [12], реалізованої зі зворотним зв'язком, що моделює найпростішу операторську діяльність.

Стан вищих відділів ЦНС визначали за показниками функціональної рухливості (ФРНП) та сили (СНП) нервових процесів при дії зорових сигналів, а також латентних періодів психомоторних реакцій: простої зоровомоторної на червоний подразник — ПЗМР та складної зоровомоторної на сигнали червоного та зеленого кольору — СЗМР. За цими показниками була обчислена різниця між простою та складною психомоторними реакціями, яка відображає час

вибору (ЧВ) або швидкість центральної переробки інформації [12].

Для визначення ступеня втоми за параметрами лабільності нервових процесів було розраховано показник кольорової асиметрії — KI [15] за формулою:

$$KI = \frac{KЧСМ_{чс} - KЧСМ_{зс}}{KЧСМ_{чс} + KЧСМ_{зс}},$$

де $KЧСМ_{чс}$, $KЧСМ_{зс}$ — показники критичної частоти світлових миготінь відповідно для червоного та зеленого кольорів.

За показник ФРНП приймалась гранично коротка експозиція при пред'явленні 200 умовних зорових подразників — червоного, зеленого та синього (гальмівний подразник) кольорів, при якій обстежуваний правильно диференціював збуджуючі та гальмівні подразники. Крім того, враховувався загальний час роботи та відсоток правильних натискань при виконанні завдання.

Для оцінки інших показників за результатами тестування кожного респондента також обчислена функція, яка адекватно (з достовірністю $p < 0,001$) описує криву зміни експозицій подразників у часі (t) при роботі в режимі зі зворотним зв'язком:

$$y = СНП + ІНП \times e^{(-АНП \times t)},$$

де $СНП$ інтерпретували як показник сили нервових процесів, а $АНП$ — як показник їх динамічності, також вважалося, що показник $ІНП$ віддзеркалює інерційність чи стійкість досліджуваних нервових процесів [15].

Аналіз результатів проводився за допомогою наступних методів: нелінійного регресійного, кластерного, двохфакторного дисперсійного та непараметричного кореляційного аналізу (за алгоритмом Спірмена), з використанням пакета програм STATISTICA 6.1.478.0. (№GGHGGJ6TUABC4RGRHBCG) [16].

Результати досліджень та їх обговорення

В даному дослідженні за припускається, що кожне з виконуваних оператором завдань викликає у нього напруження певних функцій організму, а вирішення завдань з більш високою складністю потребує від нього більших зусиль. Тому робота в умовах з гетерогенною складністю завдань є суттєво неоднаковою і за параметрами надійності їхнього

вирішення. Урахування цієї обставини зовсім ігнорується при оцінці надійності традиційним способом. Очевидно, при оцінці надійності діяльності варто враховувати той незаперечний факт, що імовірність появи помилки при вирішенні простих завдань є наднизькою, а при вирішенні надскладних максимально можливою. Виходячи із цих міркувань, доречно запропонувати універсальний опис зміни надійності діяльності при вирішенні широкого спектра завдань (за параметрами їх складності) за допомогою логістичної кривої. При аналізі цієї кривої в ній можна умовно виділити три ділянки: пологу — з максимально низькою імовірністю безпомилковості дій оператора (при вирішенні завдань із надвисокою для даної людини складністю); із плавно згасаючою імовірністю появи помилок (при вирішенні завдань середньої складності), а також ще одну пологу — з максимально високою імовірністю безпомилковості дій оператора (при вирішенні завдань низької складності). Формула, що описує логістичну функцію має вигляд:

$$p(\tau) = \frac{1}{1 + e^{(a-b\tau)}},$$

де $p(\tau)$ — імовірність прояву певного рівня надійності діяльності; τ — експозиція пропонованого для переробки сигналу ($мс$); a і b — коефіцієнти, що віддзеркалюють функціональний стан і рівень розвитку професійно важливих якостей оператора.

Отже, не значення, що описує деяку умовно усереднену імовірність появи помилки при традиційній оцінці надійності, а крива, що відображає весь спектр реакцій людини при вирішенні завдань різної складності, більш адекватно характеризує надійність професійної діяльності оператора. Таку криву можна назвати «профілем надійності діяльності». Доказом реального існування обговорюваної залежності можуть служити дослідження, що віддзеркалюють зміну імовірності появи помилок від складності пропонованої для переробки інформації у осіб, які перебувають у стані спокійного пильнування та у стресовій ситуації [11].

Як було підкреслено раніше, складність завдання може визначитися багатьма параметрами діяльності та зовнішнього середовища. Звужуючи це твердження (для певного спрощення аналізу надійності діяльності), розглянемо випадок появи помилок при зміні складності однакових за змістом завдань шляхом регуляції тривалості їх пред'явлення. У цьому випадку **профіль надійності діяльності (ПНД)** можна визначити як узгоджену сукупність характеристик, що представляє

собою лінію, побудовану за комплексом значень, які відображають відповідність імовірності правильного вирішення потоку завдань і швидкості їхнього пред'явлення, демонструючи трансформацію параметра надійності діяльності при ускладненні перероблюваної інформації. **Структура профілю надійності діяльності** свідчить про можливість адекватного реагування людини-оператора в різних умовах пред'явлення інформації та формування відповідних відповідей з урахуванням психофізіологічних якостей людини та її поточного функціонального стану.

Така крива більш адекватно віддзеркалює можливі варіанти поведінки людини при вирішенні завдань різної складності. Вона також характеризується наявністю «особливої» точки, коли різке зниження надійності дій оператора при високих рівнях складності розв'язуваних завдань змінюється ділянкою її поступового підвищення в умовах переробки завдань низької та наднизької складності. У психофізіології праці ця точка характеризує швидкість переробки оператором поданої йому інформації, в якій проявляється рівновага між числом правильних і помилкових дій ($ПНД_{50}$). У токсикології ця точка логістичної кривої також є «особливою» і визначається як LD_{50} .

Цікаво, що обговорюваний $ПНД$ є чутливим до змін функціонального стану людини. Зокрема, при розвитку стомлення після добового чергування радіотелеграфістів структура профілю надійності діяльності закономірно змінюється, характеризує погіршення можливостей стомленої людини переробляти інформацію [15]. Таким чином, $ПНД$ відображає не тільки формальну сторону зміни надійності діяльності від темпу пред'явлення завдань у різноманітних умовах і режимах діяльності, але й може служити характеристикою трансформації функціонального стану та рівня виразності професійно важливих якостей оператора.

Рішення питання про дослідження властивостей $ПНД$ проводилося в кілька етапів. Спочатку були побудовані логістичні криві, що описують $ПНД$ операторів за даними вирішення тестових завдань наприкінці зміни, коли працівники через накопичену утому були схильні робити більшу кількість помилок. Для виділення однорідних за ступенем надійності діяльності підгруп операторів був проведений кластерний аналіз індивідуальних $ПНД$. У результаті були виділені дві підгрупи осіб, що суттєво розрізняються за рівнем надійності діяльності (рис. 1). У підгрупу 1 потрапили радіотелеграфісти, надійність діяльності яких, виходячи з результатів

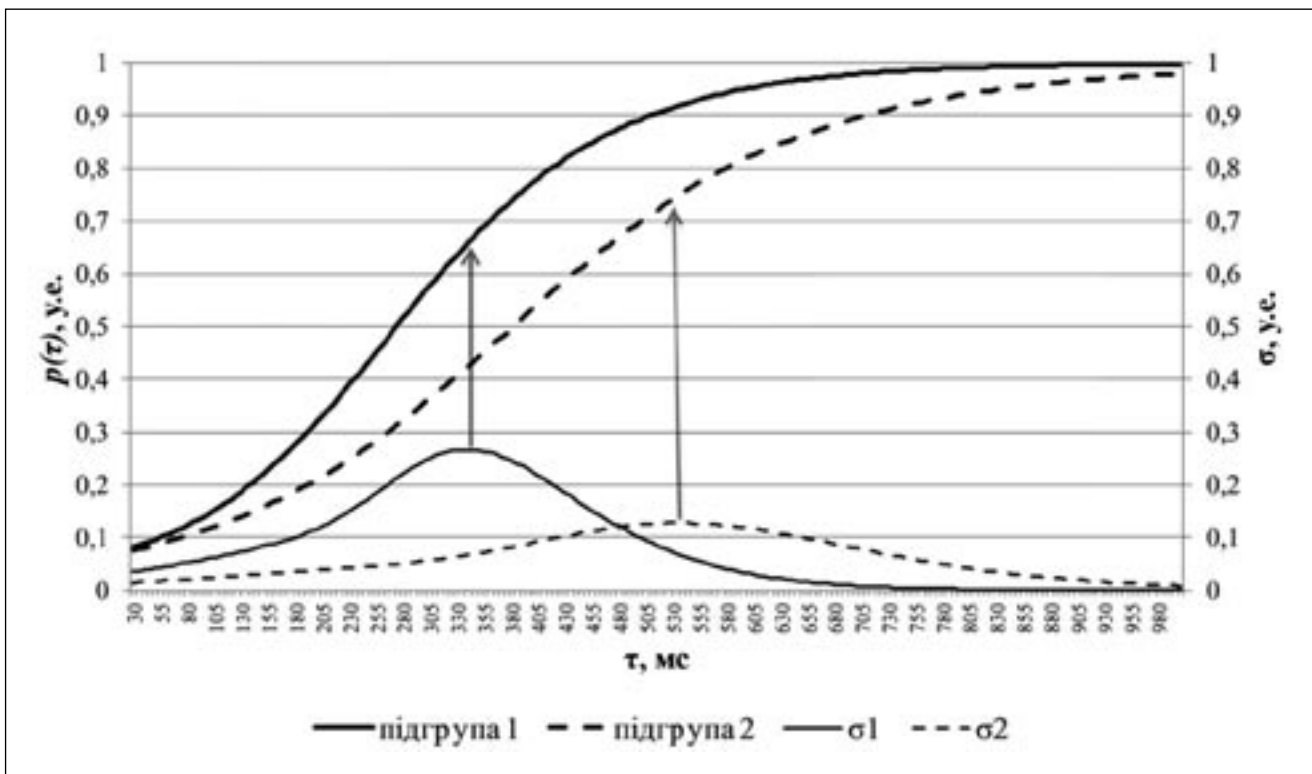


Рис. 1. ПНД підгруп з «великим» (підгрупа 1) і «низьким» (підгрупа 2) рівнем надійності діяльності.

$p(\tau)$ – імовірність прояву певного рівня надійності діяльності; $\sigma_1(\tau)$ – функція середніх квадратичних відхилень імовірності надійної діяльності для осіб підгрупи 1; $\sigma_2(\tau)$ – функція середніх квадратичних відхилень імовірності надійної діяльності для осіб підгрупи 2.

двохфакторного дисперсійного аналізу, вірогідно ($p < 0,001$) вища, ніж у підгрупі 2. Більша підгрупа (підгрупа 1) складається з осіб з «великим» рівнем надійності професійної діяльності (77,5%), а менша (32,5%) – з «низьким».

Тут необхідно підкреслити, що ступені свободи дій операторів при виконанні завдань різної складності позначаються на рівні варіації (оцінюваної показником середнього квадратичного відхилення – σ) імовірності надійності діяльності. Динаміка кривих варіації для обох підгруп $\sigma_1(\tau)$ і $\sigma_2(\tau)$ має дзвоноподібну форму, тобто ступені свободи дій операторів не є однаковими для різних швидкостей пред'явлення завдань. У кожній з цих функцій можна виділити явно виражений максимум. Причому, максимум $\sigma_1(\tau)$ має набагато більший рівень ($p < 0,01$), чим максимум $\sigma_2(\tau)$. Це свідчить про те, що розмаїтість реакцій у представників підгрупи з «високим» рівнем надійності професійної діяльності набагато більша, ніж у представників підгрупи 2.

Іншими словами, оператори, що мають істотний «потенціал» надійності можуть дозволити собі урізноманітнювати свої реакції у більшому ступені. Цікавим є той факт, що максимум кривої $\sigma_1(\tau)$ перебуває в області більш

високих темпів пред'явлення завдань у порівнянні з максимумом $\sigma_2(\tau)$. Однак, величина імовірності надійної діяльності у тому та іншому випадку досить близька і перебуває в діапазоні 0,65–0,75 (чи 65%–75% точних реакцій), тобто на більш «високому» рівні надійності діяльності, ніж точка прояву рівноваги між числом правильних і помилкових дій при вирішенні поточних завдань (ПНД₅₀). Таким чином, на профілі ПНД можна виділити ще одну «особливу» область (ПНД₆₅–ПНД₇₅), що визначає швидкість переробки інформації в умовах прояву максимального ступеня свободи дій операторів.

Аналізуючи наведені закономірності доцільно порушити питання про встановлення критеріїв надійності операторської діяльності, рішення якого є важливим як з теоретичної, так і з практичної точки зору. Одним з підходів до вирішення цього питання є встановлення області коливань коефіцієнтів a і b логістичної кривої, що віддзеркалює індивідуальні ПНД операторів з «високим» рівнем надійності професійної діяльності. Для цього, по-перше, був отриманий середньогруповий або «нормативний» (по підгрупі з «великим» рівнем надійності) профіль – ПНД_н. Саме ПНД_н, певне,

може вважатися нормою при виконанні радіотелеграфістами своїх службових обов'язків. По-друге, за допомогою методу Монте-Карло і застосованого для встановлення достовірних розбіжностей кожної індивідуальної ПНД і ПНД_н двухфакторного дисперсійного аналізу була виявлена область, де індивідуальне ПНД із відповідним сполученням коефіцієнтів a і b логістичної кривої ще могло трактуватися як ПНД, що належить до континууму ПНД_н із імовірністю $p < 0,05$ для визначення осіб з «високою» або $p < 0,1$ для «задовільною» надійністю діяльності (рис. 2).

Достовірне відхилення параметрів індивідуальної ПНД від області ПНД_н можна трактувати як «незадовільну» надійність професійної діяльності. Маючи координати виділеної області «високої» чи «задовільної» надійності діяльності можна за рівнем коефіцієнтів a і b індивідуальних ПНД приймати рішення про «задовільність» або «незадовільність» операторської діяльності конкретної людини. Як видно з рис. 2А певний відсоток представників підгрупи 1 не потрапив в область «високої» або «задовільної» надійності діяльності (25,9% при $p < 0,05$; 7% при $p < 0,1$). І, навпаки, деякі представники підгрупи 2

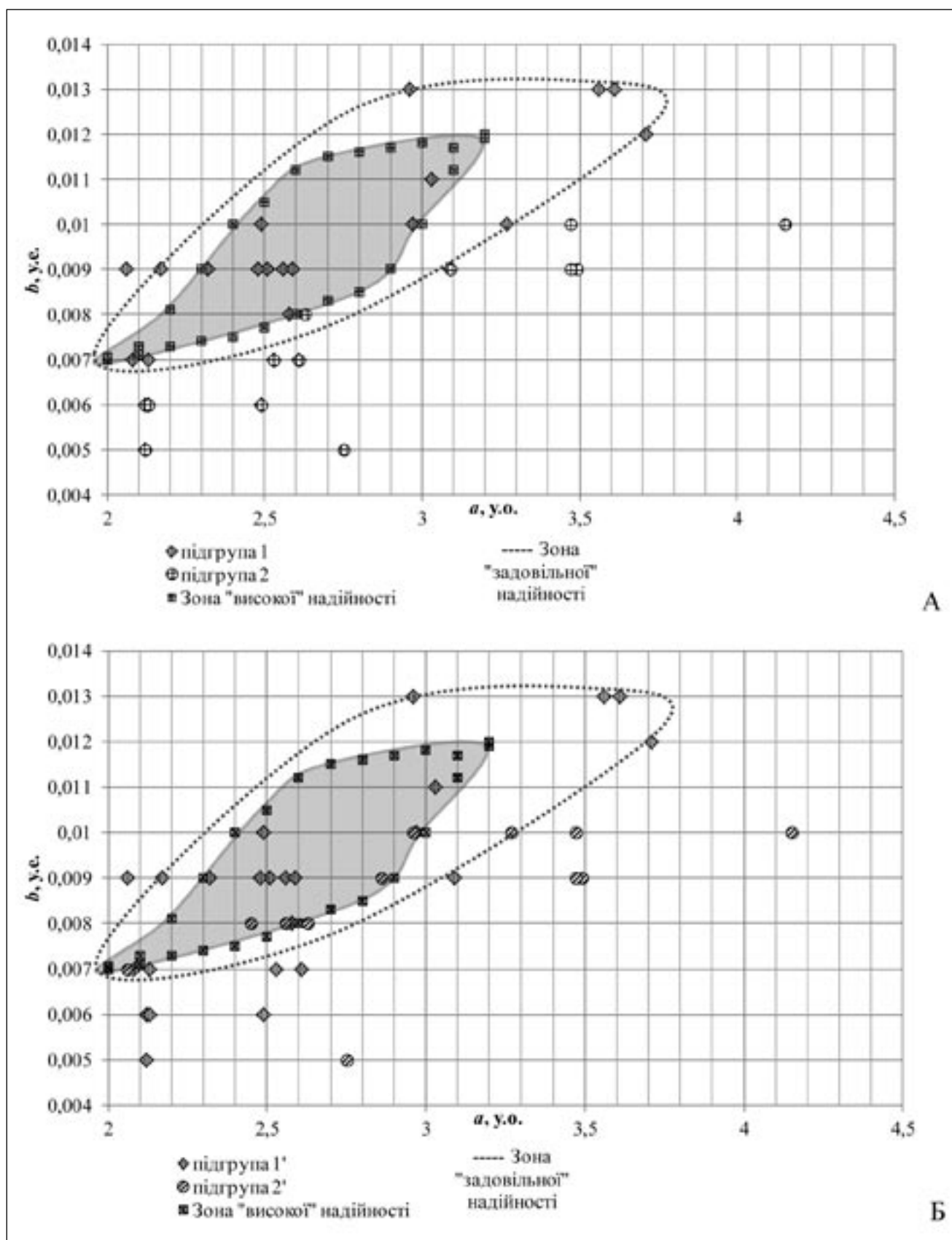


Рис. 2. Відповідність характеристик індивідуальних ПНД (a і b) «нормативній» («високої» та «задовільної») області надійності операторів для підгруп з різним рівнем надійності (А) та стомлення (Б).

(відповідно 7,7% при $p < 0,05$; 15,4% при $p < 0,1$) потрапили в цю область. Такий стан речей, імовірно, можна пояснити певною неточністю використаного методу кластерного аналізу, що розділив групу випробуваних на підгрупи з «великою» і «низькою» надійністю діяльності. Однак виявлення чітких меж області з «високою» і «задовільною» надійністю діяльності дозволяє підкорегувати допущену нечіткість первинної обробки результатів тестування.

Одним з прийомів подальшої перевірки якості роботи описаного двоступінчастого алгоритму був спосіб співвіднесення значень коефіцієнтів a і b для осіб, що мають істотні розбіжності у функціональному стані. Справа в тому, що попередньо за допомогою комплексу спеціальних прийомів був досліджений функціональний стан обстежених радіотелеграфістів [15]. Ця оцінка показала, що у частини з них функціональний стан можна описати терміном «помірне» стомлення (підгрупа 1'), а в іншій частині як «виражене» стомлення (підгрупа

2'). Природно, варто було б припустити, що підгрупа 2' не потрапить в область ПНДн, а підгрупа 1' – потрапить. Однак проведений аналіз показав, що в групу з «незадовільним» рівнем надійності потрапило 25% «помірно» стомлених операторів, а група з «високим» – складається з 37,5% осіб з «вираженим» стомленням (рис. 2Б).

Цей результат свідчить про те, що ступінь стомлення, як правило, істотно впливає на надійність операторської діяльності, але деякі оператори, що мають значні функціональні резерви, ще можуть якийсь час задовольняти критеріям надійності. Інші, які потрапили в підгрупу з «помірним» стомленням, уже вичерпали свої можливості в процесі добового чергування і не можуть надійно працювати.

Таким чином, проведені дослідження показали, що частина операторів, які мали стан, що можна трактувати як «виражене» стомлення, все-таки належить до континуума «надійних» операторів. Більша ж частина цієї підгрупи не може

задовольняти зазначеному критерію, і, отже, не може відповідати вимогам відповідної якості виконання завдань, що виконує радіотелеграфіст.

Виділена також підгрупа осіб, що не відноситься до області ПНДн, та має «помірний» рівень стомлення. Такий стан речей, очевидно, пов'язаний з тим, що ці особи не можуть в повній мірі виконувати роботу, хоча й можуть достатньо добре переносити тривалу змінну діяльність. Отримана розмаїтість приналежності або не приналежності до області ПНДн свідчить про те, що реакції операторів-радіотелеграфістів, які працюють в складних умовах добового чергування, можуть бути кардинально різними. Це необхідно враховувати під час їх допуску на чергування.

Для детального аналізу отриманих результатів було проведено кореляційний аналіз між коефіцієнтами a і b , «особливими» точками ПНД₅₀ та ПНД₇₀ (середній рівень між ПНД₆₅ та ПНД₇₅) індивідуальних ПНД – з іншими психофізіологічними характеристиками досліджуваних підгруп (рис. 3).

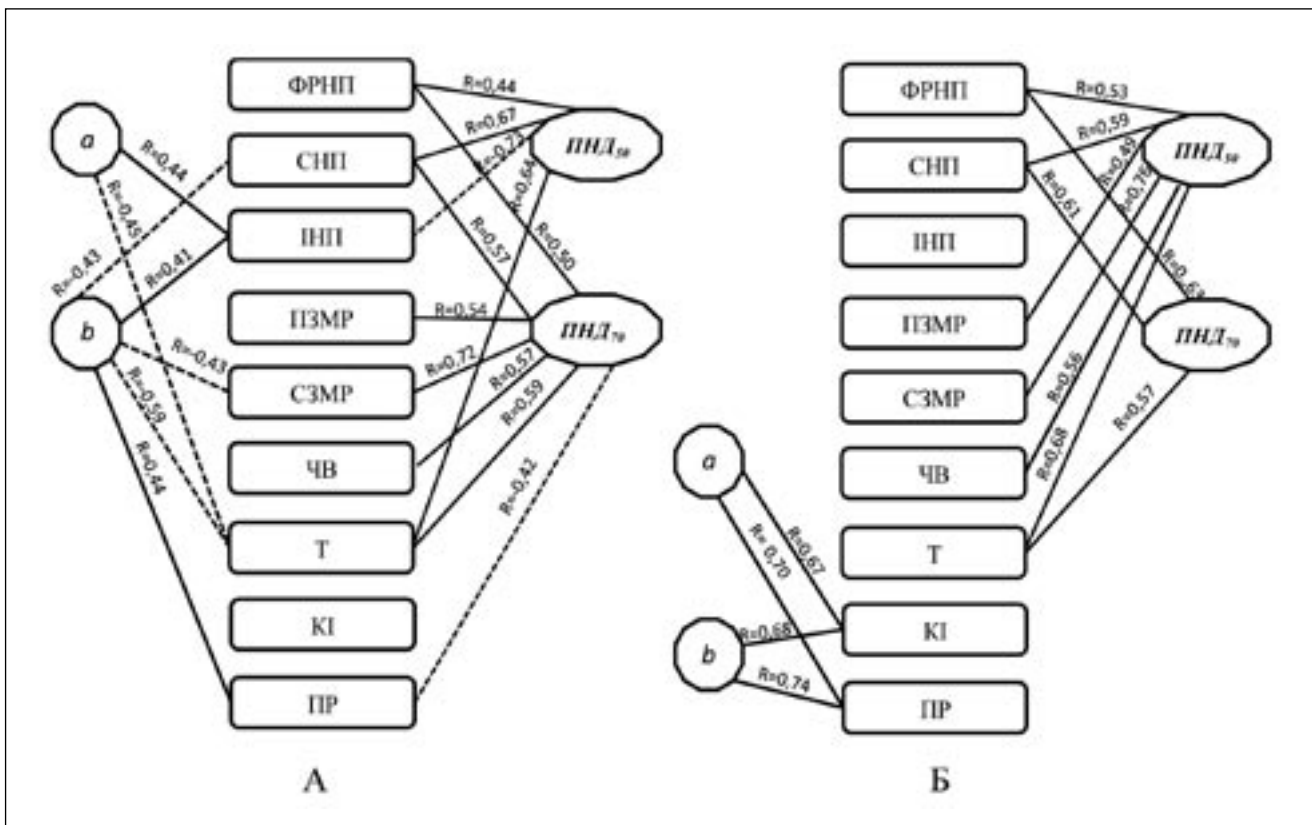


Рис. 3. Структура зв'язків психофізіологічних характеристик підгруп з різним рівнем надійності (А – підгрупа 1, Б – підгрупа 2) з коефіцієнтами a та b , а також з ПНД₅₀ та ПНД₇₀.

R – значення коефіцієнта кореляції Спірмена (неперервна лінія – позитивний R ; штрихова – негативний R); ФРНП – функціональна рухливість нервових процесів; СНП – сила нервових процесів; ІНП – інерційність нервових процесів; ПЗМР – латентний період простої зорово-моторної реакції; СЗМР – латентний період складної зорово-моторної реакції; ЧВ – час вибору (швидкість центральної переробки інформації); Т – загальний час тестування зі зворотним зв'язком; КІ – індекс кольорової асиметрії; ПР – відсоток вірних відповідей при тестуванні зі зворотним зв'язком.

Аналізуючи отримані структури зв'язків потрібно зазначити, що у осіб з «великим» рівнем надійності діяльності коефіцієнти a та b різноспрямовано пов'язані з показниками, які віддзеркалюють достатньо «довготривалі» (з дуже повільною швидкістю зміни рівня) процеси в нервовій системі. Це сила (*СНП*) та інерційність (*ІНП*) нервових процесів, рівень концентрації уваги (T). Причому сила зв'язку між аналізованими параметрами є середньою (коливання значень коефіцієнтів кореляції в діапазоні 0,41–0,59). З іншого боку, для підгрупи з «низькою» надійністю діяльності a та b мають більш тісні зв'язки (діапазон коливань коефіцієнтів кореляції 0,67–0,74) з KI (віддзеркалює рівень функціонального стану оператора) та PP . Це свідчить про підсилення впливу функціонального стану на надійність операторських дій саме у осіб з «низькою» надійністю діяльності. Крім того, параметр b , який безпосередньо поєднаний з експозицією перероблюваного сигналу – τ (див. формулу логістичної функції) у осіб підгрупи з «великим» рівнем надійності діяльності має більш широке «представництво» зв'язків з психофізіологічними характеристиками, ніж у осіб підгрупи з «низькою» надійністю діяльності, що нашою думкою про існування різних механізмів забезпечення надійності діяльності у представників підгруп 1 та 2.

Що стосується аналізу структури зв'язків психофізіологічних показників з параметрами індивідуальних «особливих» точок, то тут можна дати наступні коментарі (рис. 3). Для точки, що характеризує рівновагу між числом правильних і помилкових дій ($ПНД_{50}$) специфічним є збільшення (у 1,5 рази) кількості зв'язків з психофізіологічними функціями у осіб з «низькою» надійністю діяльності. Мабуть, в достатньо критичній ситуації, коли число помилок і правильних дій врівноважується, тобто відповіді оператора мають максимально хаотичний характер (вірогідність появи будь-якої відповіді дорівнює 0,5) особи з «низькою» надійністю діяльності мають опиратися на значно більш широкий спектр функцій свого організму, ніж особи з «великою» надійністю діяльності, що свідчить про відчутне зниження рівня функціональних резервів організму у останніх.

У випадку з показником $ПНД_{70}$, що визначає швидкість переробки інформації в умовах прояву максимального ступеня свободи дій оператора, потрібно зауважити наступне. Оператори з «великою» надійністю діяльності мають більш широке представництво зв'язків з психофізіологічними функціями (більш ніж в 2 рази), ніж оператори

з «низькою» надійністю. Зважаючи на те, що різноманітність відповідей операторів підгрупи 1 в цій точці більш ніж в два рази вище, ніж в операторів підгрупи 2 (рис. 1) можна констатувати, що для даного контингенту (підгрупа 1) забезпечення правильності дій базується на залученні широкого комплексу функцій нервової системи. Для осіб підгрупи 2 таке залучення мабуть утруднюється внаслідок погіршення функціонального стану.

Знайдені закономірності не мають абсолютного характеру, оскільки надійність діяльності формується під впливом багатьох чинників. Проте, на нашу думку, широке обговорення описаних феноменів з позицій нового погляду на оцінку якості діяльності оператора з допомогою *ПНД* дасть певний поштовх для вирішення обговорюваної проблеми.

Підсумовуючи наведені дані необхідно відзначити, що пошук нових більш точних методів оцінки і прогнозування надійності операторської діяльності є важливим завданням сучасних дослідників. Описані в даній роботі підходи дозволяють по-новому розглядати проблему надійності, витягаючи з наявних даних не усереднену, а більш точну інформацію про процеси забезпечення належної надійності операторської діяльності. Вони є важливими для з'ясування можливостей оператора виконувати роботу щодо прийняття рішень у різних умовах діяльності, що може бути використане для проведення професійного добору, допуску людини до роботи (предзмірний контроль), допуску до робіт з підвищеною небезпекою в умовах розвитку надзвичайних ситуацій та ін. Аналіз *ПНД* кожного оператора при моделюванні його діяльності відкриває широкі перспективи в розумінні поведінки людини в різних ситуаціях і забезпечує точнішу оцінку надійності його роботи.

Висновки

1. Сформульовано новий підхід до аналізу надійності діяльності оператора, що включає оцінку профілю надійності діяльності, отриманого з використанням широкого спектру рівнів складності виконуваних завдань.

2. Відмічено наявність неоднакових психофізіологічних механізмів забезпечення надійності діяльності у осіб з суттєво різним рівнем якості виконання завдань.

3. Запропоновано алгоритм оцінки рівня надійності діяльності, заснований

на виділенні «нормативної» («високої» і «задовільної») області надійності роботи операторів та застосовуванні коефіцієнтів індивідуального профілю надійності діяльності.

Література

1. Акмеология / под ред. Деркача А. А. – М.: РАГС, 2006. – 424 с.
2. Астафьев А. К. Философские аспекты синтеза понятий в технике и биологии (на примере теории надежности). – Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. – 102 с.
3. Ахутин В. М. Деятельность А. И. Берга в области бионики и биомедицинской кибернетики // Радиоэлектроника и связь. – 1993. – №1. – С. 13–16.
4. Войтенко А. М. Психофизиологический анализ причин ошибочных действий человека-оператора // Вестник Балтийской Педагогической Академии. – 2006. – Вып. 69 – С. 49–57.
5. Дикая Л. Г. Проблемы современной психологии труда // Психологический журнал. – 1992. – № 3. – С. 24–41.
6. Єна Т. А. Гігієнічна і психофізіологічна оцінка професійної діяльності диспетчерів енергосистем // Укр. журн. з пробл. медицини праці. – 2008. – Т.13, №1. – С.13–19.
7. Єна Т. А., Кальниш В. В. Професійно важливі якості диспетчерів енергосистем // Український журнал з проблем медицини праці. – 2010. – № 4(24). – С. 11–20.
8. Кальниш В. В., Шведь А. В., Левіт Й. Р. Гендерні особливості надійності операторської діяльності // Журнал Академії медичних наук України. – 2009. – Т.15, №4. – С. 755–768.
9. Кочина М. Л., Фирсов А. Г. Многофункциональный прибор для проведения психофизиологических исследований // Прикл. радиоэлектроника. – 2010. – Т.9, № 2. – С. 260–265.
10. Пушкин В. Т. Проблема надежности. – М.: Наука, 1971. – 189 с.
11. Шведь А. В., Кальниш В. В. Особливості впливу різних психофізіологічних станів на надійність операторської діяльності // Військова медицина України. – 2009. – № 1. – С. 84–91.
12. Age Characteristics of the Speed of Central Information Processing in Persons with Different Levels of Functional Mobility of Nervous Processes / M. V. Makarenko, V. S. Lizogub, T. V. Kozhemyako, N. F. Chernenko // International Journal of Physiology and Pathophysiology. – 2011. – V.2, №4. – P. 335–341.
13. Dual-task performance in multimodal human-computer interaction: a psychophysiological perspective / D. Novak, M. Mihelj, M. Munih // Multimedia Tools and Applications. – 2012. – V. 56, № 3. – P. 553–567.
14. Himma, K.E. The concept of information overload: A preliminary step in understanding the nature of a harmful information-related con-

- dition. // Ethics and Information Technology. – 2007. – V.9. – P. – 259–272.
15. Kalnysh V. V., Shvets A. V. Effect of intense 24-hour shift work on reliability of operators' activity // Human Physiology. – 2012. – Vol. 38, №. 3. – P. 294–302.
 16. Lewicki P., Hill Th. STATISTICS Methods and Applications. A comprehensive reference for science, industry, and data mining. – Tulsa OK, USA: StatSoft Inc., 2006. – 832 p.
 17. Psychophysiological Evaluation of Task Complexity and Cognitive Performance in a Human Computer Interface Experiment / William M. Mount, Deborah C. Tuček, Hussein A. Abbass / Neural Information Processing: Lecture Notes in Computer Science // 19th International Conference, ICONIP 2012, Doha, Qatar, November 12–15, 2012. – 2012. – V.7663. – P. 600–607.
 18. Queuing Network Modeling of a Real-Time Psychophysiological Index of Mental Workload–P300 in Event-Related Potential (ERP) / Changxu Wu, Yili Liu, C. M. Quinn-Walsh // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans. – 2008. – V. 38, №5. – P. 1068–1084.
 19. Theerasak P. Information overload among professionals in Thailand // Journal of Information Technology Impact. – 2010. – Vol. 10, №.3. – P. 171–200.

Peculiarities of operator's activity quality estimation using reliability's profile

V. Kalnysh, A. Shvets

Ukrainian military medical Academy, Kyiv

Abstract

In this study the new approach to definition of operator' activity reliability

using the reliability profile construction for each operator has been offered at the modeling of his professional duties information components. It was shown, that the reliability profile usage of operators' activity opens new and wide prospects in understanding of human behavior within various situations of his professional activity and provides exacter estimation of job reliability.

Key words: profile of operators' activity reliability, psychophysiological characteristics, signalmen.

Особенности оценки качества операторской деятельности с использованием профиля надежности

В. В. Кальниш, А. В. Швец

Украинская военно-медицинская академия, Киев

Резюме

В работе предложен новый подход к определению надежности операторской деятельности с помощью построения профиля надежности каждого оператора при моделировании информационной составляющей его профессиональных обязанностей. Показано, что использование профиля надежности операторской деятельности открывает новые и широкие перспективы в понимании поведения человека в различных ситуациях его профессиональной деятельности и обеспечивает более точную оценку надежности работы.

Ключевые слова: профиль надёжности операторської діяльності, психофізіологічні характеристики, радіотелеграфісти.

Листування

д.б.н., професор **В. В. Кальниш**
Українська військово-медична академія

вул. Саксаганського, 75

Київ, 01033, Україна

тел.: +380 (44) 2894605

ел. пошта: kalnysh@mail.ru

УДК:572.7:616.322-002.3

Особенности нейродинамических и структурных изменений головного мозга при формировании когнитивных нарушений у больных с последствиями черепно-мозговой травмы

О. А. Иванцова

Харьковская медицинская академия последипломного образования, Украина

Резюме

Черепно мозговая травма (ЧМТ) приводит к формированию когнитивного дефицита. Выраженность снижения когнитивных функций связана с наличием нейродинамических и структурных изменений головного мозга. Синдром умеренных когнитивных нарушений отмечался и при наличии и при отсутствии нарушения структуры головного мозга, однако чем существеннее были изменения в структуре головного мозга, тем существенней был выражен когнитивный дефект и неврологические проявления.

Ключевые слова: черепно-мозговая травма, когнитивные функции, компьютерная томография, электроэнцефалография.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.131–135

Введение

Черепно мозговая травма (ЧМТ) является одной из наиболее актуальных проблем современной медицины во всем мире, в том числе и в Украине [5, 6]. По данным официальной статистики, в Украине ежегодно около 200 тыс. человек получают ЧМТ, еще около 1 млн. украинцев имеют группу инвалидности по причине ЧМТ. Проблема предупреждения и коррекции ранних и отдаленных последствий травм головного мозга является одной из приоритетных для здравоохранения любой страны [3, 6]. В последние годы большинство авторов единодушны во мнении, что перенесенное ЧМТ, даже при легкой её степени, далеко не всегда проходит бесследно и те или иные последствия травмы могут проявляться как в подостром периоде, так и впервые спустя многие годы после перенесенной ЧМТ [1, 7, 8].

Другой масштабной проблемой являются когнитивные нарушения (КН), распространенность которых в последнее время интенсивно увеличивается [4, 7–10]. Постоянный рост нейротравматизма, широкая распространенность когнитивных нарушений при последствиях черепно-мозговой травмы (ЧМТ), высокая степень инвалидизации пострадавших, в том числе и из-за интеллектуально-мнестических нарушений, обуславливают социальную значимость проблемы диагностики

и лечения когнитивной дисфункции [11–15]. Структурно-морфологические изменения вещества головного мозга и формирование КН – тесно связанные процессы. На сегодняшний день благодаря использованию современных методов нейровизуализации – магнитно-резонансной и компьютерной томографии (КТ) – можно оценить качественные и количественные изменения вещества головного мозга на ранних этапах [1, 15].

Для оценки функционального состояния головного мозга применяется электроэнцефалография.

Вопрос структурных изменений и нарушений биоэлектрической активности головного мозга у больных с синдромом умеренных когнитивных нарушений при последствиях ЧМТ до конца не выявлены и требуют дальнейшего уточнения.

Цель исследования: оценить особенности нейродинамических и структурных изменений головного мозга у больных с последствиями черепно-мозговой травмы с наличием когнитивных нарушений.

Материалы и методы

Обследовано 130 пациентов перенесших ЧМТ. На основании проведенных

клинических, нейровизуализационных и нейрофизиологических методов исследования все обследованные больные были распределены на две группы: основная группа — 100 больных с синдромом умеренных когнитивных нарушений у больных с последствиями ЧМТ, из них количество женщин составляло — 38, мужчин — 62; контрольная группа — больные с последствиями ЧМТ без наличия синдрома умеренных когнитивных нарушений — 30 больных, из них женщин — 10, мужчин — 20. Больные основной группы в зависимости от тяжести травмы были разделены на 4 подгруппы. 1 подгруппа — больные перенесшие сотрясение головного мозга, 2 подгруппа — больные перенесшие ушиб головного мозга легкой степени, 3 подгруппа — больные перенесшие ушиб головного мозга средней степени и 4 подгруппа — больные перенесшие ушиб головного мозга тяжелой степени тяжести. Длительность заболевания составляла от 3 до 20 лет. Исследование включало оценку жалоб, соматического и неврологического статуса, когнитивных функций (шкала MMSE, батарея тестов для оценки лобной дисфункции — БТЛД, зрительно-пространственных функций (метод рисования часов)). Результаты исследования сопоставляли с морфологическими изменениями мозга, выявленными при МРТ головного мозга, КТ головного мозга, а также данными нейрофизиологических методов (ЭЭГ), первично на момент исследования. В исследование не включались пациенты с посттравматической эпилепсией. При исследовании корреляционной зависимости использовался коэффициент Спирмена (r). Критическое значение при проверке статистических гипотез принимался $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

При проведении неврологического исследования больных установлено, что в структуре неврологических осложнений у больных с последствиями ЧМТ доминируют: разница глазных щелей — 41 больной, вялость фотореакций — 79 больных, ограничение движений глазных яблок в стороны и вверх — 84 больных, недостаточность конвергенции — 78 больных. Аннизорефлексия сухожильных и периостальных рефлексов — 24 больных, стопные патологические рефлексы — 23 больных,

положительная проба Барре — 15 больных, разница брюшных рефлексов — 3. Координаторные нарушения в виде атаксии разной степени выраженности при пробе Ромберга определялось в 65 случаях. Интенция — 57 больных, промахивание — 8 больных при выполнении пальценосовой пробы. Нарушение чувствительности отмечалось у 24 больных (в правых конечностях — 12 больных, в левых конечностях — 12 больных).

Результаты показателей когнитивных функций у больных с последствиями ЧМТ в сравнении с контрольной группой представлены в табл. 1.

По данным, представленным в табл. 1, можно увидеть взаимосвязь между тяжестью перенесенной травмы и снижением показателей по шкале MMSE. Общий балл по шкале MMSE у больных с сотрясением и ушибом головного мозга легкой степени выше, чем у больных с последствиями ушиба головного мозга средней и тяжелой степени. Такие же изменения прослеживаются практически по всем другим показателям шкалы MMSE и БТЛД.

Электроэнцефалографическое исследование было проведено 100 больным с синдромом умеренных когнитивных нарушений, и у 30 больных с последствиями черепно-мозговой травмы (больные контрольной группы). Основными диагностическими критериями были выраженность и качество диффузных изменений биопотенциалов головного мозга, а также наличие локальных изменений зарегистрированных биопотенциалов и их качественные характеристики.

Легкие диффузные изменения биопотенциалов головного мозга у больных первой группы наблюдалось у 50 пациентов (50%), умеренные диффузные изменения регистрировались у 41 больного (41%), выраженные диффузные изменения биоэлектрической активности головного мозга было выявлено у 8 обследованных больных (8%).

Явления дезорганизации ритма были выявлены — у 76 пациентов (76%); ирритативные изменения — у 43 больных (43%); снижения амплитуды и (или) замедления ритмики — у 40 больных (40%); пароксизмальная активность в виде спайков, множественных спайков, острой волн, комплексов «острая-медленная волна» отмечалась у 25 больных (25%); явления дисфункции срединных структур мозга были зарегистрированы у 21 пациента (21%), фокусы патологической активности отмечались у 12 обследованных пациентов (12%).

У больных контрольной группы (30 пациентов) были выявлены следующие ЭЭГ признаки изменения спонтанной электрической активности мозга: легкие

диффузные изменения биопотенциалов головного наблюдалось у 2 пациентов (6,67%), умеренные диффузные изменения регистрировались у 11 больных (36,67%), выраженные диффузные изменения биоэлектрической активности головного мозга было выявлено у 2 обследованных больных (6,67%), явления дезорганизации ритма у 4 больных (13,3%), снижения амплитуды и (или) замедления ритмики — у 5 больных (16,67%), явления дисфункции срединных структур у 2 больных (6,67%), вариант нормы отмечался у 6 обследованных больных (20%).

Полученные результаты состояния биоэлектрической активности головного мозга у больных с последствиями ЧМТ приведены в табл. 2.

Больные основной и контрольных групп достоверно отличаются в выраженности и характере диффузных изменений биоэлектрической активности головного мозга. У больных основной группы превалирует снижение общего уровня биопотенциалов, снижена или изменена реакция на функциональные пробы, отмечаются фокусы патологической активности, что свидетельствует о нарушении интегративной деятельности головного мозга.

Нейровизуализационные методы исследования — спиральная компьютерная томография и магнитно-резонансная томография были проведены 100 пациентам с синдромом умеренных когнитивных нарушений при перенесенной черепно-мозговой травме и 30 больным контрольной группы.

У большинства пациентов контрольной группы структурных изменений в веществе головного мозга найдено не было, за исключением 4 больных (13,3%), у которых были выявлены признаки незначительно выраженной гидроцефалии.

По степени выраженности гидроцефальных проявлений у больных первой группы превалировала умеренно выраженная гидроцефалия, которая была выявлена у 67 (67%) больных, значительно выраженная гидроцефалия — 12 (12%). Гидроцефалия отмечалась у 24 (24%) больных перенесших сотрясение головного мозга, 4 (4%) больных перенесших ушиб головного мозга I степени и у 10 (10%) больных перенесших ушиб головного мозга средней и тяжелой степени тяжести соответственно. Кисты отмечались у 4 (4%) больных, из них 3 (3%) больных с последствиями ушиба головного мозга тяжелой степени и 1 (1%) больной с последствиями ушиба головного мозга средней степени тяжести. Атрофический процесс присутствовал у 15 (15%) пациентов, из них 10 (8,33%) больных были с последствиями

Табл. 1. Показатели когнитивных функций у больных основной и контрольной групп.

Показатели шкал	Основная группа				Контрольная группа (n = 30) P ± m
	1 подгруппа (n = 49) P ± m	2 подгруппа (n = 11) P ± m	3 подгруппа (n = 25) P ± m	4 подгруппа (n = 15) P ± m	
MMSE, баллы	27,2 ± 0,14	27,2 ± 0,26	26,64 ± 0,22	26,46 ± 0,41	27,7 ± 0,20
БТЛД, баллы	16,92 ± 0,11	16,72 ± 0,30	15,88 ± 0,16	16 ± 0,24	17,60 ± 0,13
Тест рисования часов, баллы	9,4 ± 0,24	9,3 ± 0,67	9,1 ± 0,17	8,9 ± 0,25	9,8 ± 0,17
Шкала общего ухудшения, баллы	2,7 ± 0,26	2,9 ± 0,41	3,3 ± 0,23	3,7 ± 0,23	1,9 ± 0,13

Табл. 2. Результаты состояния биоэлектрической активности головного мозга у больных с последствиями ЧМТ.

Выявленные ЭЭГ-признаки	Основная группа		Контрольная группа		Показатели достоверности результатов
	Абс. к-во больных	% ±%	Абс. к-во больных	% ±%	
Диффузные изменения биоэлектрической активности головного мозга	99	99 ± 1	15	50 ± 5	1,65 (недост.)
Снижение уровня биоэлектрической активности головного мозга с регистрацией средней или низкоамплитудной медленоволновой активности	40	40 ± 4,9	5	17 ± 3,8	2,6 (дост.)
Признаки дезорганизации ритмики	76	76 ± 4,3	4	13,3 ± 6,1	2 (дост.)
Ирритативные изменения	43	43 ± 5	0	0 ± 1,8	0
Признаки локальных изменений	12	12 ± 3,2	0	0 ± 1,8	0
Пароксизмальная активность	25	25 ± 4,3	0	0 ± 1,8	0
Явления дисфункции срединных структур головного мозга	21	21 ± 4,1	2	6,7 ± 4,7	3,8 (дост.)
Вариант нормы	6	6 ± 2,4	6	20 ± 4	0

ушиба головного мозга средней степени тяжести и 5 (5%) больных с последствиями ушиба головного мозга тяжелой степени. Посттравматические дефекты отмечались у 5 (5%) больных перенесших ушиб тяжелой степени. Уплотнение мозговых оболочек по данным КТ и МРТ головного мозга отмечалось у 3 (3%) больных перенесших ушиб головного мозга III степени и у 1 (1%) больного

перенесшего ушиб головного мозга II степени. Выявленные структурные изменения представлены в табл. 3.

Таким образом, среди обследованных больных с синдромом умеренных когнитивных нарушений при последствиях ЧМТ, преобладающим морфологическим субстратом были наружная и смешанная умеренно выраженная гидроцефалия. Нарушения

ликвородинамики, более выраженные в основной группе, являются одним из механизмов развития КН. Синдром умеренных когнитивных нарушений отмечался и при наличии и при отсутствии нарушения структуры головного мозга. Наиболее выраженный когнитивный дефект и неврологические проявления наблюдались у пациентов с выраженной гидроцефалией и атрофическими на-

Табл. 3. Выявленные структурные изменения.

Выявленные структурные изменения	Основная группа	Контрольная группа	Показатели достоверности результатов
Норма	32	24	2 (дост.)
Гидроцефалия	Наружная	4	3 (дост.)
	Внутренняя	2	0
	Смешанная	10	0
Атрофический процесс	Локальный	0	0
	Диффузный	9	0
Асимметрия боковых желудочков	1	0	0
Кисты	4	0	0
Уплотнения оболочек мозга	4	0	0
Посттравматические дефекты костей	4	0	0
Трепанационные отверстия костей	1	0	0
Старый перелом затылочной кости и основания черепа	1	0	0

рушениями, что может являться основой для развития когнитивных нарушений.

У больных с последствиями черепно-мозговой травмы когнитивные нарушения проявлялись в снижении кратковременной и длительной памяти (как вербальной, так и зрительной) при этом выраженность снижения когнитивных нарушений была связана с наличием нейродинамических и структурных изменений головного мозга.

Выводы

Таким образом, выраженность снижения когнитивных функций связана с наличием нейродинамических и структурных изменений головного мозга. Синдром умеренных когнитивных нарушений отмечался и при наличии и при отсутствии нарушения структуры головного мозга, однако чем существеннее были морфологические изменения головного мозга, тем существенней был выражен когнитивный дефект и неврологические проявления.

Литература

1. Борисенко В. В. Нарушение некоторых интегративных функций мозга при посттравматической гидроцефалии. // Лік. справа. – 1997. – №5. – С. 91–92.
2. Бурчинский С. Г. Высокодозовые лекарственные формы пирасетама: возможности и перспективы применения. // Здоров'я України. – 2009. – №5(89). – С.28–29.
3. Абрамов В. А. Реабилитация больных с последствиями черепно-мозговых травм. – Киев: Здоровья, 1992. – 191 с.
4. Авелисова А. Лечение танаканом больных с астеническими нарушениями/ А. Авелисова, В. Бородин, В. Чазова// Медицина мира. – 1999. – Т.6,1. – С.15–16.
5. Агаева К. Ф. Процесс накопления и распространения последствий травмы головы среди населения. // Журнал невропатологии и психиатрии им. Корсакова. – 2001. – №4. – С.46–48.
6. Волошин П. В. Диагностика, лечение и профилактика отдаленных последствий ЧМТ: реабилитация больных. // И. И. Шогама, В. И. Тайцлин, М. С. Мелихов и др. // Методические рекомендации. – Харьков. – 1990. – 22 с.
7. Гаврилова С. И. Концепция мягкого когнитивного снижения / Гаври-
8. Дамулин И. В. Сосудистые когнитивные нарушения: клинические и терапевтические аспекты/ Дамулин И. В. // Русский медицинский журнал. – 2006. – Т.14. – №9. – С.658–664.
9. Захаров В. В. Умеренные когнитивные расстройства. Диагностика и лечение/ Захаров В. В. // русский медицинский журнал – 2006. – Т.14 – №9 (261). – С. 685–688.
10. Локшина А. Б. Легкие и умеренные когнитивные расстройства при дисциркуляторной энцефалопатии / Локшина А. Б. Захаров В. В. // Неврол. Журн. – 2006. – №11. (приложение 1). – С. 57–63.
11. Одинак М. М. Нарушение когнитивных функций при цереброваскулярной патологии / Одинак М. М., Емелин А. Ю., Лобзин В. Ю. – СПб.: ВмедА, – 2006. – С. 158.
12. Яхно Н. Н. Когнитивные расстройства в неврологической клинике / Яхно Н. Н. // Неврол. журн. – 2006. – Т. 11, прил. № 1. – С. 4–13.
13. Mild cognitive deterioration with subcortical features: Prevalence, clinical characteristics and association with cardiovascular risk factors

лова С. И. // Болезнь Альцгеймера и старение: Материалы III Российской конференции, посвященной 100-летию со дня рождения проф. Э. Я. Штернеберга. – Москва, 2003. – С.9–20.

in community-dwelling older persons (The InCHIANTI Study) / [Geroldi C., Ferrucci L., Bandinelli S. et al.] // J. Amer. Ger. Soc. – 2003. – Vol. 51. – P. 1064–1071.

14. Mild cognitive impairment: clinical characterization and outcome / [Petersen R. C., Smith G. E., Waring S. C. et al.] // Arch Neurol. – 1999. – V. 56. – P. 303–308.
15. Rapp S. Memory enhancement training for older adults with mild cognitive impairment: a preliminary study / Rapp S., Brenes G., Marsh A. P. // Aging and mental health. – 2002. – V. 6. – N. 1. – P. 5–11.

Peculiarities of neurodynamic and structural changes of the cerebrum caused by cognitive impairments of the patients with consequences of the traumatic brain injury

O. A. Ivantsova

Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Ukraine

Abstract

TBI leads to formation of cognitive deficiency. The expressed of decline of cognitive deficiency is related to the presence of neurodynamic and structural changes of cerebrum. The syndrome of moderate cognitive deficiency was marked and at presence of and in default of violation of structure of cerebrum, however than more substantial were change in the structure of cerebrum, the a cognitive deficiency and neurological displays was more substantial expressed.

Key words: traumatic brain injury, TBI, cognitive functions, cognitive deficiency, mild cognitive impairment, MCI, computer tomography, CT, electroencephalogram, EEG.

Особливості нейродинамічних та структурних змін головного мозку при формуванні когнітивних порушень у хворих з наслідками черепно-мозкової травми

O. A. Іванцова

Харківська медична академія післядипломної освіти, Україна

Резюме

ЧМТ призводить до формування когнітивного дефіциту. Вираженість зниження когнітивних функцій пов'язана з наявністю нейродинамічних і структурних змін головного мозку. Синдром помірних когнітивних порушень наголошувався і за наявності і за відсутності порушення структури головного мозку, проте чим істотніше були зміни в структурі головного мозку, тим істотніше був виражений когнітивний дефект і неврологічні прояви.

Ключові слова: черепно-мозкова травма, когнітивні функції, комп'ютерна томографія, електроенцефалографія.

Фрагмент теми:

Номер 0108U003078

НИР «Порушення деяких нейроендокринних регуляторних механізмів при посттравматичних та запальних захворюваннях ЦНС у дорослих та дітей»

Переписка

O. A. Іванцова

врач ординатор неврологічного відділення ГБ №4

ул. Адмірала Макарова, 1

Николаев, 54030, Україна

тел. +38 (0512) 360 100

ел. пошта: laktanova_lyolya@mail.ru

УДК:617.75-02:613.955

Возрастные особенности функциональной организации системы получения и первичной обработки визуальной информации

М. Л. Кочина¹, А. В. Яворский², С. Н. Лад², А. С. Евтушенко³

¹Харьковская медицинская академия последипломного образования, Украина

²Харьковский национальный медицинский университет, Украина

³КУОЗ «Харьковская городская клиническая больница №14

им. проф. Л. Л. Гиршмана», Украина

Резюме

Проведено исследование показателей зрительной системы, обеспечивающих зрительное восприятие на близком расстоянии, у 1272 человек в возрасте от 6 до 17 лет. Всем испытуемым определяли резервы аккомодации, положение ближайшей точки конвергенции, конвергентные и дивергентные фузионные резервы. Для обработки данных были использованы описательные статистики, корреляционный и факторный анализ. В первых трех возрастных группах (6–13 лет) положение ближайшей точки ясного зрения зависит от фузионных резервов и приближается к глазам при их увеличении. В старших возрастных группах (14–17 лет) положение ближайшей точки ясного зрения определяется резервами аккомодации, увеличение которых приводит к ее приближению к глазам. Таким образом, в процессе роста ребенка в зрительной системе происходит разделение механизмов настройки и фокусировки, обеспечиваемых аккомодацией и конвергенцией, и первичного анализа информации, происходящего в центральных отделах зрительной системы при участии фузии.

Ключевые слова: аккомодация, конвергенция, фузия, механизмы зрительного восприятия.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.136–140

Введение

Зрительная система представляет собой сложную функциональную систему, содержащую много уровней переработки информации, успешность работы которой определяется особенностями ее строения и функционирования, а также качеством, количеством и условиями предъявления визуальной информации [1–3]. Восприятие объектов зрительной системой в норме осуществляется посредством двух глаз, на сетчатке каждого из которых формируется изображение. Если система имеет нормальную структурно-функциональную организацию, то эти изображения при дальнейшей их обработке накладываются друг на друга и сливаются в единый зрительный образ, локализующийся в определенной точке пространства [4,5]. Важными механизмами, обеспечивающими прием и первичную переработку визуальной информации на близком расстоянии, являются аккомодация, конвергенция и фузия. Аккомодация обеспечивает качественное восприятие объектов, находящихся на разном расстоянии. Конвергенция позволяет определенным образом установить глаза для восприятия объектов на заданном расстоянии. Фузия – сложный физиологический механизм, обеспечивающий слияние двух монокулярных изображений в единый

зрительный образ. В механизме фузии выделяют два компонента: двигательный (опто-моторный фузионный рефлекс) и сенсорный (собственно фузию) [4–7]. Показателем, характеризующим фузионные возможности зрительной системы, являются фузионные резервы [4, 8].

В зависимости от исходного состояния и условий формирования возможно несколько вариантов функционирования зрительной системы – монокулярное, одновременное, аномальное бинокулярное и бинокулярное [4, 8]. При монокулярном и одновременном восприятии фузионные механизмы не задействованы. При аномальном бинокулярном зрении они работают по укороченной программе. Бинокулярное зрение возникает у ребенка позднее других зрительных функций и является наиболее совершенным способом зрительного восприятия. Это зрение вырабатывается в процессе сотрудничества двух монокулярных подсистем в создании единого зрительного ощущения. При бинокулярном зрительном акте деятельность правой и левой половин зрительного анализатора объединена таким образом, что они функционируют как единый орган. В результате такого объединения сенсорного и двигательного отделов зрительного анализатора видимые предметы воспринимаются одиночно и локализируются в пространстве именно в тех местах, где они дей-

ствительно находятся. Бинокулярное зрение по сравнению с монокулярным и одновременным дает человеку возможность правильно оценивать расстояния, усиливает воспринимаемую яркость объекта (бинокулярная суммация), обеспечивает восприятие третьего пространства и дает ощущение рельефа [4, 5, 8].

Для появления бинокулярного зрения необходимо формирование функциональной взаимосвязи всех элементов зрительного акта, что обеспечивается связями между оптическим и двигательным аппаратами глаза. Наиболее эффективным вариантом бинокулярного зрения является стереоскопическое зрение. При отсутствии условий для формирования бинокулярной зрительной системы у детей, что может быть обусловлено различными аномалиями строения ее элементов и особенностями функционирования, фузионные механизмы не формируются [2, 4, 8]. Если своевременно удается создать нормальные условия зрительного восприятия за счет лечения, соответствующей оптической коррекции и тренировок, то развитие фузии у детей возможно, но до определенного возраста, у взрослых эти механизмы уже не могут быть сформированы [4, 6, 7].

Цель данной работы — выявление особенностей функциональной организации системы приема и первичной переработки информации у детей и подростков разных возрастных групп.

Материалы и методы

Нами было проведено исследование показателей зрительной системы, обеспечивающих зрительное восприятие на близком расстоянии, у 1272 человек в возрасте от 6 до 17 лет. Все испытуемые были учащимися 1–11 классов школы. В исследования были включены дети и подростки, не имеющие выявленной зрительной патологии.

Всем испытуемым определяли положительные резервы аккомодации правого (Pa OD) и левого (Pa OS) глаз [5, 8, 9], положение ближайшей точки конвергенции (Бтк) [9], конвергентные (ФРК) и дивергентные (ФРД) фузионные резервы. Фузионные резервы определялись с использованием призм Гершеля [4, 8].

Для обработки данных исследований были использованы описательные ста-

тистики, корреляционный и факторный анализ [10, 11].

Результаты и их обсуждение

После проведения исследований показателей, обеспечивающих зрительное восприятие на близком расстоянии, были рассчитаны их средние значения для каждой из возрастных групп (табл. 1). Анализируя значения показателей можно отметить, что с увеличением возраста происходят некоторые их изменения, однако достоверных различий между разными возрастными группами выявлено не было. Это обусловлено большим разбросом значений показателей, о чем свидетельствуют большие ошибки среднего. Представленные в табл. 1 значения, как резервов аккомодации, так и фузионных резервов достаточно низкие, что свидетельствует о невысоких функциональных возможностях зрительной системы современных детей и подростков [8, 12].

Можно отметить, что с увеличением возраста несколько увеличиваются Pa и во второй возрастной группе имеются самые большие значения ФРК и ФРД, которые потом начинают несколько снижаться. Эту тенденцию неравномерного изменения фузионных резервов с увеличением возраста отмечали и другие исследователи [3, 6, 7, 11].

На наш взгляд более значимую информацию можно получить путем анализа тесноты связей в исследуемой системе показателей. При проведении корреляционного анализа с расчетом коэффициента корреляции Пирсона нами были выявлены значимые связи между показателями исследуемой системы, причем количество этих связей изменялось с увеличением возраста. В первой возрастной группе было 7 значимых связей, во второй — 9, в третьей — 5, в четвертой — 6, в пятой — 4. Большое количество связей в первой и, особенно, во второй группах, свидетельствует о значительной детерминированности исследуемой системы, что можно объяснить процессом активного формирования зрительной системы под влиянием возрастающей зрительной нагрузки. Уменьшение количества значимых связей с увеличением возраста свидетельствует о стабилизации исследуемой системы и формировании механизмов адаптации. Структура связей между исследованными показате-

лями несколько изменяется в первых трех группах и существенно отличается в двух старших. Можно отметить, что коэффициент корреляции между Pa правого и левого глаз значимый во всех возрастных группах и увеличивается с возрастом от 0,67 в первой группе до 0,88 в пятой. Корреляция между Pa и Бтк присутствует во всех группах, она значимая и отрицательная. Это свидетельствует об увеличении возможностей конвергенции и фузии, поскольку Бтк приближается к глазам с ростом резервов аккомодации. Бтк в первых двух возрастных группах связана с ФРК и ФРД отрицательными значимыми связями, т. е. снижение фузионных резервов, свидетельствующее о слабости фузии, приводит к удалению от глаз Бтк. В третьей и четвертой группе Бтк связана только с ФРК отрицательной значимой связью, а в пятой группе этой связи уже нет. В пятой группе Бтк связана с Pa правого и левого глаз, а ФРК связаны только с ФРД. Таким образом, исследованная система стабилизировалась и сформировала устойчивую конфигурацию связей показателей, обеспечивающих зрительное восприятие на близком расстоянии. Использование корреляционного анализа и построение корреляционных матриц исследованных показателей позволили выделить несколько существенных этапов формирования бинокулярной системы зрительного восприятия. Если в младшей возрастной группе Бтк образовывала значимые связи и с Pa правого и левого глаз и с фузионными резервами, то с увеличением возраста ситуация изменилась. Бтк образовала комплекс только с Pa. Аналогично, сначала ФРК и ФРД, потом только ФРК были связаны с Pa и Бтк, а к пятой группе осталась значимая связь только между ФРК и ФРД. В исследуемой системе к окончанию формирования явно выделились два автономных механизма зрительного восприятия: механизм настройки и фокусировки и механизм слияния (фузии) полученных изображений. Эти два механизма получили достаточную независимость друг от друга, о чем свидетельствует отсутствие значимой корреляции между показателями, которые их характеризуют.

Для более детального исследования структуры связей в аккомодационно-конвергентно-фузионной (Акф) системе был использован факторный анализ. В первых трех возрастных группах (рис. 1а, б, в) конфигурация факторных структур одинаковая. Первый фактор — «аккомодационный», поскольку он влияет только на резервы аккомодации и вызывает их рост. Вклад этого фактора в общую дисперсию с увеличением возраста детей несколько увеличивается

Табл. 1. Средние значения показателей зрительной системы испытуемых.

№ группы	Возрастная группа, годы	Показатели				
		Ра OD (Д)	Ра OS (Д)	Бтк (см)	ФРК (пр.Д)	ФРД (пр.Д)
1	6-9 (n=245)	3,9±2,4	3,8±2,2	4,5±1,6	9,2±4,7	3,2±2,2
2	10-11 (n=377)	5,6±3,2	5,6±3,3	4,5±1,5	12±5,3	4,6±3,2
3	12-13 (n=256)	4,8±3,0	4,5±2,8	5,1±1,9	11,2±5,3	1,5±1,0
4	14-15 (n=244)	5,0±3,1	4,8±3,1	5,7±2,4	11,1±5,8	1,7±1,2
5	16-17 (n=150)	6,0±3,0	5,9±3,0	5,4±2,1	11,9±4,8	1,3±0,9

Примечание: n – объем возрастной группы.

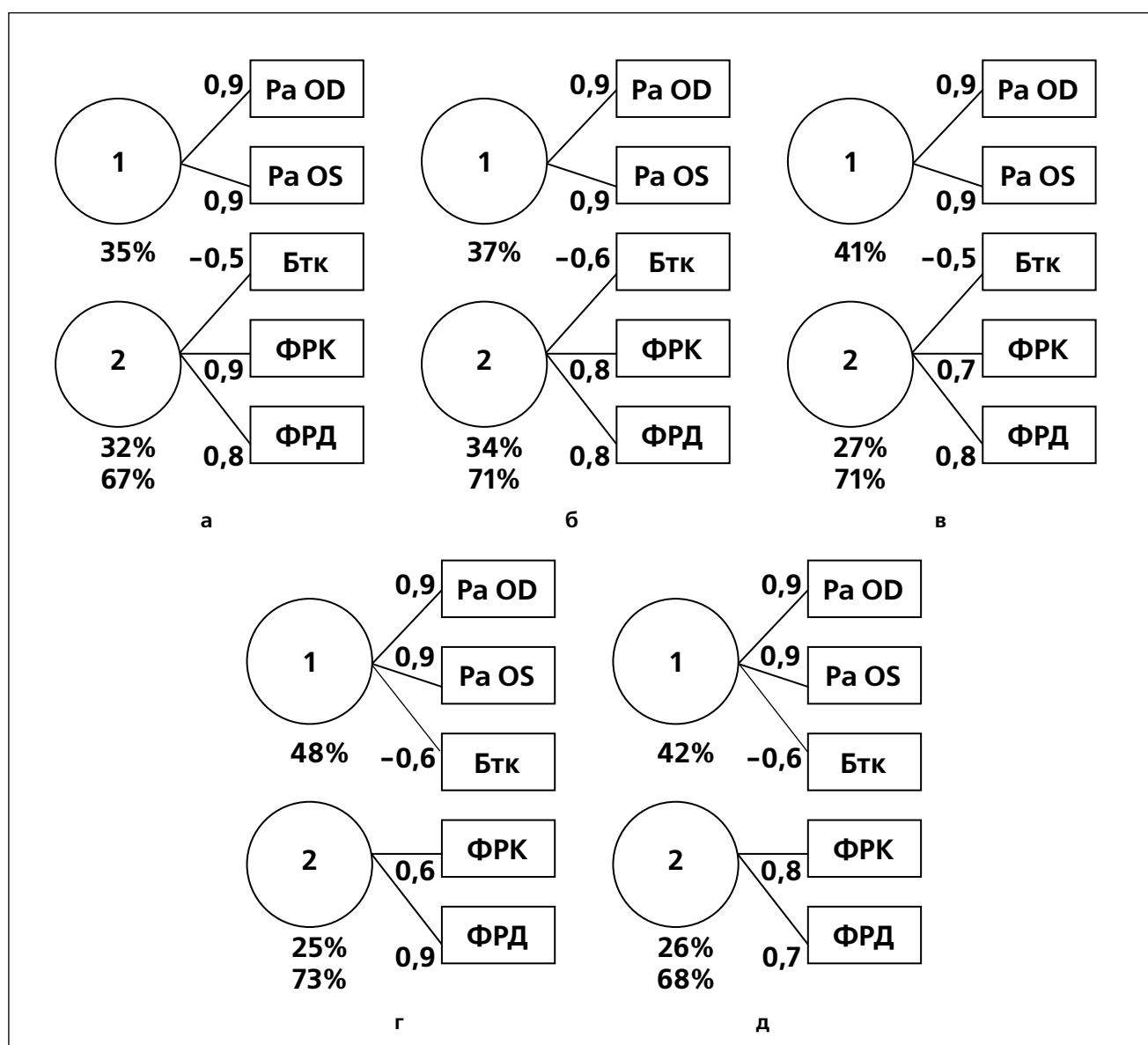


Рис. 1. Структура связей в аккомодационно-конвергентно-фузионной системе детей и подростков (а – возрастная группа 6-9 лет; б – 10-11 лет; в – 12-13 лет; г – 14-15 лет; д – 16-17 лет).

(с 35% до 41%). Второй фактор можно назвать «фузионно-конвергентным», его влияние приводит к росту фузионных резервов и приближению к глазам ближайшей точки конвергенции. Полученная конфигурация связей в исследуемой системе указывает на независимость механизмов аккомодации и фузии. Показатель Бтк по своей физиологической сути связан с аккомодацией и конвергенцией, но определяется и возможностями фузии. Значение Бтк фиксируется тогда, когда испытуемый отмечает двоение тестового объекта, то есть когда фузия уже не происходит, следовательно, этот показатель должен быть связан с фузионными возможностями зрительной системы, которые характеризуются фузионными резервами. В исследованных возрастных группах этот показатель связан с фузионными резервами и не связан с резервами аккомодации.

Для построения факторных структур были использованы данные, полученные у достаточно большого количества испытуемых (табл. 1). Только старшая возрастная состояла из 150 человек, объем остальных групп был более 200 человек. Полученные связи в факторных структурах несколько отличаются от связей, полученных с использованием корреляционного анализа. Однако из здесь просматривается первоначальное объединение Бтк с фузионными резервами, причем, с сохранением соответствия знаков факторных нагрузок и коэффициентов корреляции. В факторных структурах Ра объединены между собой, имеют большую факторную нагрузку в первом факторе, а в корреляционном анализе значимый положительный коэффициент корреляции.

В группе подростков (рис. 1г, д) конфигурация связей в исследуемой системе трансформируется. Если в процессе активного формирования системы восприятия визуальной информации Бтк объединялась в один фактор с фузионными резервами, то в старших группах этот показатель перешел в первый фактор и объединился с Ра. Знаки коэффициентов корреляции и факторных нагрузок в полученных факторных структурах совпадают.

Таким образом, результаты корреляционного и факторного анализа указывают на то, что в процессе роста ребенка происходит трансформация связей в системе приема и обработки зрительной информации путем разделения механизмов настройки и фокусировки и первичного анализа информации. В нормальной зрительной системе фузия является механизмом, указывающим на качественное или некачественное функционирование системы наводки

и фокусировки. Если фузия осуществляется, то все нормально, если слияния не происходит, то в блок управления поступают сигналы о невозможности качественного зрительного восприятия. При этом человек с нормально сформированной бинокулярной зрительной системой начинает воспринимать оба изображения, не объединенные в единый зрительный образ, что вызывает ощущение двоения, приводящего к значительному дискомфорту. Задача блока управления в этом случае состоит в подстройке зрительной системы за счет механизмов аккомодации и конвергенции. Если эта подстройка возможна, то двоение исчезает и происходит нормальное восприятие зрительной информации. Если по каким-то причинам это не удастся сделать, то человек вынужден просто механически исключить одно из изображений из восприятия, например, закрывая глаз, поскольку двоение вызывает значительный дискомфорт и головокружение. В детском возрасте такая ситуация, существуя длительное время, приводит к появлению косоглазия и, как следствие, дисбинокулярной амблиопии [4].

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Значения показателей зрительной системы, обеспечивающих восприятие визуальной информации на близком расстоянии, в разных возрастных группах детей и подростков достоверно не различаются, имеется только тенденция к некоторому их увеличению с увеличением возраста.

2. Большое количество значимых связей между показателями, обеспечивающими восприятие визуальной информации на близком расстоянии, в первой и во второй возрастных группах (6–11 лет) свидетельствует об активном формировании зрительной системы под влиянием возрастающей зрительной нагрузки, обусловленной началом обучения в школе. Уменьшение количества значимых связей с увеличением возраста может указывать на стабилизацию исследуемой системы и формирование механизмов адаптации к учебной визуальной нагрузке.

3. В первых трех возрастных группах (6–13 лет) положение ближайшей точки ясного зрения, характеризующее возможности слитного восприятия

объекта на минимальном расстоянии от глаз, зависит от фузионных резервов и приближается к глазам при их увеличении. В старших возрастных группах (14–17 лет) положение ближайшей точки ясного зрения определяется резервами аккомодации, увеличение которых приводит к ее приближению к глазам. Это свидетельствует о том, что в процессе роста ребенка в зрительной системе происходит разделение механизмов настройки и фокусировки, обеспечиваемых аккомодацией и конвергенцией, и первичного анализа информации, происходящего в центральных отделах зрительной системы при участии фузии, что подтверждается результатами кластерного и факторного анализа.

Литература

1. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем / П. К. Анохин – М.: Медицина. – 1975. – 447 с.
2. Кочина М. Л. Роль качества визуальной нагрузки в процессе формирования зрительной системы детей и подростков / М. Л. Кочина // Гигиена населенных мест. – Киев. – 1999. – Вып.35. – С.416–424.
3. Кочина М. Л. Современные факторы визуального воздействия и их влияние на зрительный анализатор школьников / М. Л. Кочина, Л. В. Подригало, А. В. Яворский // Международный медицинский журнал. – 1999. – №2. – С.133–135.
4. Аветисов Э. С. Содружественное косоглазие / Э. С. Аветисов. – М.: Медицина. – 1977. – 312 с.
5. Аветисов Э. С. Близорукость. / Э. С. Аветисов. – М.: Медицина. – 1999. – 285 с.
6. Рожкова Г. И. Зрение детей: проблемы оценки и функциональной коррекции / Г. И. Рожкова, С. Г. Матвеев. – М.: Наука. – 2007. – 315 с.
7. Рожкова Г. И. Изменения фокусирующих способностей человеческого глаза в постнатальном онтогенезе / Г. И. Рожкова // Биомеханика глаза. Сб. трудов конференции. М.: МНИИГБ им. Гельмгольца. – 2007. – С. 43–48.
8. Сомов Е. Е. Клиническая офтальмология / Е. Е. Сомов. – Изд-во: МЕД пресс-информ. – 2012. – 400с.
9. Сомов Е. Е. Методы офтальмоэргоники / АН СССР, отделение физиологии. – Л.: Наука. – 1989. – 157 с.
10. Ферстер Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа. / Э. Ферстер, Б. Ренц – М.: Финансы и статистика. – 1983. – 302 с.
11. Иберла К. Факторный анализ / К. Иберла. – М.: Статистика. – 1980 – 398 с.
12. Офтальмологические аспекты визуального окружения современного человека / Кочина М. Л., Подригало Л. В., Яворский А. В., Маслова Н. М. // Офтальмологический журнал. – 2001. – №6. – С. 54–57.

Age features of functional organization of reception and the primary processing of visual information

M. L. Kochina¹, A. V. Yavorsky²
S. N. Lad², A. S. Yevtushenko³

¹Kharkiv Medical Academy of Post Grade Education, Ukraine

²Kharkiv National Medical University, Ukraine

³МІНП «Kharkiv Municipal Clinical Hospital №14 named by Prof. L. L. Girshman» Ukraine

Abstract

The article investigates the characteristics of the functional organization of the reception and primary processing of information in the visual system of children and adolescents from different age groups. A study of the visual system indicators, that provide visual perception at close range, has been carried out, 1272 people between the ages of 6 and 17 years has been researched. All probationers were determined positive reserves of accommodation, location of the nearest point of convergence, convergent and divergent fusion reserves. For the processing of these studies have been used descriptive statistics, correlation and factor analysis.

As a result of carried out research it has been determined that average values of researched indexes of visual systems in different age groups of children and teenagers are not for certain different, which is a result of considerable in-group scattering. In the first three age groups (6–13 years) the position of nearest point of clear vision which is characterized by an ability of object joint perception with minimal distance from the eyes, depends on fusion reserves and moves near the eyes during their increase. In older age groups (14–17 years) the position of the nearest point of clear vision defined by reserves of accommodation, which leads to an increase in its approximation to the eyes. This indicates that during child growth process in the visual system occurs separation of focus and adjustment mechanisms provided by accommodation and convergence, and the primary analysis of the information occurring in the central parts of the visual system, involving fusion, as evidenced by the results of cluster analysis and factor.

Key words: visual system, accommodation, convergence, fusion, mechanisms of visual education.

Вікові особливості функціональної організації системи прийому і первинної обробки візуальної інформації

M. Л. Кочина¹, О. В. Яворський²
С. М. Лад², А. С. Євтушенко³

¹Харківська медична академія

післядипломної освіти, Україна

²Харківський національний медичний

університет, Україна

³КУОЗ «Харківська міська клінічна лікарня № 14 ім. проф. Л. Л. Гіршмана»

Резюме

Стаття присвячена дослідженню особливостей функціональної організації системи прийому та первинної переробки інформації в зоровій системі дітей та підлітків різних вікових груп. Проведено дослідження показників зорової системи, що забезпечують зорове сприйняття на близькій відстані, у 1272 осіб у віці від 6 до 17 років. Всім досліджуваним визначали позитивні резерви акомодатції, положення найближчої точки конвергенції, конвергентні та дивергентні фузійні резерви. Для обробки даних досліджень було використано описові статистики, кореляційний та факторний аналіз.

У результаті проведених досліджень встановлено, що середні значення показників зорової системи в різних вікових групах дітей і підлітків достовірно не розрізняються, що зумовлено їх значним внутрішньогруповим розкидом. У перших трьох вікових групах (6–13 років) положення найближчої точки ясного зору, яке характеризує можливості злитого сприйняття об'єкта на мінімальній відстані від очей, залежить від фузійних резервів і наближається до очей при їх збільшенні. У старших вікових групах (14–17 років) положення найближчої точки ясного зору залежить від резервів акомодатції, збільшення яких призводить до її наближенню до очей. Це свідчить про те, що в процесі росту дитини в зоровій системі відбувається поділ механізмів наведення і фокусування, які забезпечуються акомодатцією і конвергенцією, і первинного аналізу інформації, що відбувається в центральних відділах зорової системи за участю фузії, що підтверджується результатами кластерного та факторного аналізу.

Ключові слова: зорова система, акомодатція, конвергенція, фузія, механізми зорового сприйняття.

Переписка

д.б.н., професор М. Л. Кочина
Харьковская медицинская академия
последипломного образования
ул. Корчагинцев, 58
Харьков, 61176, Украина
тел.: +380 (57) 711 80 32
эл.почта: m_kochina@yahoo.com

УДК 004.67

Характеристики сети соавторов медицинских наук

Д. В. Ланде, И. В. Горбов, И. В. Балагура

Институт проблем регистрации информации НАН Украины, Киев

Резюме

Целью данной работы является определение основных характеристик и закономерностей сетей соавторов в медицине и выделение в ней важных узлов. Исследована сеть соавторов в области «Медицина. Медицинские науки» в реферативной базе данных «Украиника наукова». Показано, что использование характеристик центральности узлов позволяют определить авторов научных работ, вносящих значительный вклад в отрасль, являющихся руководителями научных школ. Предложен и протестирован усовершенствованный коэффициент степени центральности, который добавляет вес авторам с равнозначными связями соавторства.

Ключевые слова: реферативная база данных «Украиника наукова», сложные сети, сети соавторов, центральность, медицинские науки.

Клин. информат. и Телемед.
2013. Т.9. Вып.10. с.141–144

Введение

Оценка научной деятельности является актуальной задачей, как в Украине, так и в мире. В последнее время в наукометрии наиболее частым объектом исследования в качестве показателя научного взаимодействия является соавторство в научных публикациях.

Научная коммуникация является движущей силой развития науки в современном мире. Обмен знаниями, опытом, идеями, ресурсами, информацией; политические, экономические и индивидуальные факторы; повышение качества и продуктивности результатов и просто удовольствие от работы побуждают ученых сотрудничать. Постоянное увеличение количества совместных исследований фиксировалось за рубежом неоднократно.

Под понятием «научная коммуникация» большинство зарубежных авторов понимают международное сотрудничество в рабочей группе для выполнения отдельных проектов. Результативность научного сотрудничества чаще всего проявляется в написании общих научных работ, патентов на изобретения, выступлениях на конференциях. Поэтому анализ совместных научных работ отображает наиболее объективные и видимые результаты сотрудничества. Коммуникабельность и влияние на развитие отрасли отдельных ученых чаще всего исследуют с помощью построения сетей соавторов и расчета параметров их узлов [1]. Под научным взаимодействием часто понимают так же образование научных школ. Общеизвестно, что развитие науки в Украине основывается на феномене «научных школ».

Целью данной работы является определение основных характеристик и закономерностей сетей соавторов в медицине и выделение в ней важных узлов.

Характеристики сетей соавторов

Сети соавторов являются одним из примеров использования концепции сетевой парадигмы, которая является эффективным инструментом исследования сложных систем. Для расчета характеристик сети в целом используются такие параметры, как количество узлов, количество ребер, среднее расстояние между узлами, диаметр сети – наибольшее геодезическое расстояние в сети и др. Определение клик (подгрупп или кластеров, в которых узлы связаны между собой сильнее, чем с членами других клик), выделение компонент (частей сети, которые связаны внутри и не связаны между собой), поиск перемычек (узлы, которые при их извлечении приводят к распаду сети) являются актуальными задачами исследования сложных сетей [2].

Степень разделения сети на группы оценивается коэффициентом кластеризации, который отражает отношение количества связей между соседями к полному возможному количеству таких связей. Общий коэффициент кластеризации графа вычисляется, как:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{E_i}{k_i(k_i - 1)}, \quad (1)$$

где N – количество вершин, k_i – количество связей i -го узла, E_i – количество узлов, соседних с i -м узлом и связанных напрямую. Чем ближе значение коэффициента к 1, тем больше вероятность кластерной структуры [3].

Одной из важных характеристик графа является модулярность элементов и графа в целом. Модулярность узла – это величина, которая оценивает плотность связей в связанной компоненте

по сравнению со связями между компонентами. В общем виде модулярность определяется, как:

$$Q = \sum_{i=1}^N (e_{ij} - a_i), \quad (2)$$

где e_{ij} – элемент матрицы смежности графа, равный отношению количества ребер, которые объединяют два сообщества i и j , к общему количеству ребер в сети, $a_i = \frac{\sum_{j=1}^N e_{ij}}{N}$ – отношение количества ребер, объединяющих вершины в сообществе i , к общему количеству ребер. Высокая модулярность сети свидетельствует о сильной связи в сообществах – кластерах и слабой связи самой сети [4].

Методы исследования

В теории сложных сетей существует несколько типов коэффициентов, характеризующих относительную важность узлов в графе, таких как: степень центральности (degree centrality), центральность, как посредничество (betweenness centrality), центральность, как близость (closeness centrality) и центральность по собственному вектору (eigenvector centrality).

Степень центральности оценивает с каким количеством других участников связана конкретная личность, что для сетей соавторства так же можно понимать, как степень научного взаимодействия. В простейшем случае – это степень конкретной вершины:

$$C_D(i) = \sum_{j=1}^N m_{ij}, \quad (3)$$

где m_{ij} , если вершина i связана с вершиной j , и $m_{ij} = 0$, в противном случае [5].

Степень центральности характеризует авторов с точки зрения коммуникабельности и может использоваться для прогнозирования продуктивности автора. Недостатками данной характеристики для определения коммуникабельности ученых является отсутствие учета весов ребер, то есть совместных публикаций.

В работе [5] предложен коэффициент для подсчета степени центральности во взвешенном графе отдельных вершин:

$$C_D^{\alpha\alpha}(i) = k_i^{(1-\alpha)} s_i^{\alpha}, \quad (4)$$

где учитывается $k_i = \sum_{j=1}^N m_{ij}$ – сумма связей

с другими вершинами и $s_i = \sum_{j=1}^N \omega_{ij}$ – сумма весов соответственных связей, α – коэффициент, который подбирается для каждого отдельного случая.

Центральность, как близость, определяет, насколько близко вершина находится по отношению к остальным. Если автор центральный по данной характеристике, тогда он находится в центре исследований определенного направления и может изучить его все стороны с помощью своих соавторов или через них быстрее других получить необходимые для этого знакомства:

$$C_C(i) = \left[\sum_{j=1}^N d(i,j) \right]^{-1}, \quad i \neq j, \quad (5)$$

где $d(i,j)$ – наименьшее расстояние между вершинами i и j [6].

Центральность, как посредничество, определяет вершину, которая связывает между собой подграфы. В понимании научного сотрудничества посредничество дает возможность определить авторов, которые образуют связь между научными школами:

$$C_B(i) = \sum_{j < k} g_{jk}(i), \quad i \neq j, k, \quad (6)$$

где $g_{jk}(i)$ – число наиболее коротких путей в графе, которые проходят через i -ую вершину [6].

Метрика центральности по собственному вектору вычисляется с помощью учета весов соседних узлов, что дает возможность оценить узлы, которые связаны с важными соседями и вычисляется, как нормализованное значение собственного вектора матрицы смежности. Так же существуют метрики центральности такие, как эксцентриситет, авторитетность (Authority) и алгоритм PageRank. Эксцентриситет – расстояние от вершины к наиболее удаленной вершине, отражает возможность доступа к узлу от остальных узлов сети. Алгоритм PageRank и авторитетность были спроектированы для оценки связей между интернет-сайтами [6].

Для сетей соавторов важно выделять авторов, которые являются основателями научных школ и публикуют работы, вызывающие интерес как внутри области знаний, так и среди междотраслевых специалистов. При исследовании сетей соавторов в реферативной базе данных были выявлены авторы, публикующих чаще всего материалы исследований с одним и тем же соавтором и изредка сотрудничают с другими [7]. Таким образом важно различать авторов, которые опубликовали одинаковое количество работ ω , имеют одинаковое количество связей m с другими авторами, но одни

авторы одинаково продуктивны со всеми соавторами, а у других большая часть работ написаны в соавторстве с отдельными учеными. Данную особенность можно учесть с помощью использования коэффициента h -degree.

Отдельной категорией определения важности узлов являются коэффициенты на основе индекса Хирша. H -degree узла x во взвешенной сети равен k , если k – наибольшее натуральное число, что x имеет как минимум k связей с как минимум k весами [8]. Можно утверждать, что ученый, который сотрудничает с выдающимися коллегами, большинство из которых можно считать известными, имеет достаточно высокую коммуникативную способность. Данный принцип используется в l -index, lw -index, и в объединяющем h – подобные индексы важности узлов сети c -index. C -index узла x определяется, как c – наибольшее целое число, что как минимум с соседних узла имеют степень вершины и веса ребер, которые соединены с x не менее, чем c [9].

При определении важности узлов сети соавторов следует учитывать коммуникабельность, значимость соседних узлов, но не следует терять информацию об общей продуктивности авторов, так как количество соавторов не влияет напрямую на эффективность научной работы. Определение важных узлов в сети является актуальной задачей и требует детального изучения предмета исследования, т. к. существует множество коэффициентов, которые отражают разноплановые характеристики вершин, а целесообразность их использования определяется только соответствием целям экспериментов.

Для объединения характеристик оценки коммуникабельности и продуктивности ученых, скорректируем коэффициент степени центральности во взвешенном графе:

$$SC(i) = \frac{\sum_j m_{ij} \sum_j \omega_{ij} \beta_{ij}}{(n-1) \sum_{i,j} \omega_{ij}}, \quad (7)$$

т. е. модифицированный коэффициент центральности, содержит сумму связей и их весов и пронормирован на общее количество весов и связей в сети в соответствии с (2) и (3). Так же введен коэффициент β , который отражает отклонение весов от среднего для отдельного узла. Данный коэффициент уменьшает влияние отдельных связей соавторов с большими весами по отношению к остальным:

$$\beta_{ij} = e^{-\frac{(\omega_{ij} - \bar{\omega})^2}{(\sum_{i,j} \omega_{ij})^2}}, \quad (8)$$

$\beta \in (0;1]$ и при увеличении отклонения весов от среднего для отдельного узла стремится к 0, а при равенстве среднего значения весов для узла и веса равен 1. Таким образом снижено влияние авторов, у которых большинство совместных статей соответствует отдельным связям соавторства.

Результаты и обсуждение

В работе проанализировано содержимое реферативной базы данных «Україніка наукова», построена и проанализирована сеть соавторов по медицине. При построении сети соавторов в области «Медицина. Медицинские науки» использовался файл реферативной информации на момент ноября 2012 г., который содержит приблизительно 440 000 записей. «Медицина. Медицинские науки» является отдельной — 4-й серией украинского реферативного журнала, которая содержит рубрики: методика и техника научно-исследовательской работы в медицине, организация охраны здоровья, гигиена, общая патология, медицинская микробиология и паразитология, общая диагностика, общая терапия, фармакология, внутренние болезни, хирургия и др. [10]. Для увеличения точности результатов учитывался только первый инициал авторов, так же буквы «і», «ї», «є» в фамилиях и инициалах заменялись на «и», «е», соавторы с единичными связями в данной работе не рассмотрены. Вес связей между авторами каждой публикации рассчитывался как обратно пропорциональный к количеству ее авторов.

В результате программной обработки и программных средств визуализации сетей соавторства Gephi, получена сеть соавторов, которая содержит 40 199 авторов и 173 379 связей. Диаметр графа, т.е. максимальное расстояние между двумя соавторами через других авторов, равен 16. Средняя длина пути между двумя узлами 5. Среднее количество ученых, с которыми сотрудничает один автор, либо средняя степень узла приблизительно равна 9, а средняя взвешенная степень одного узла приблизительно равна 4, либо среднее количество работ в соавторстве одного автора — 4. Фрагмент сети соавторов представлен на рис. 1.

Сеть представляет собой слабо связанные между собой подграфы. Разделение сети на группы оценивалось с помощью коэффициента кластеризации

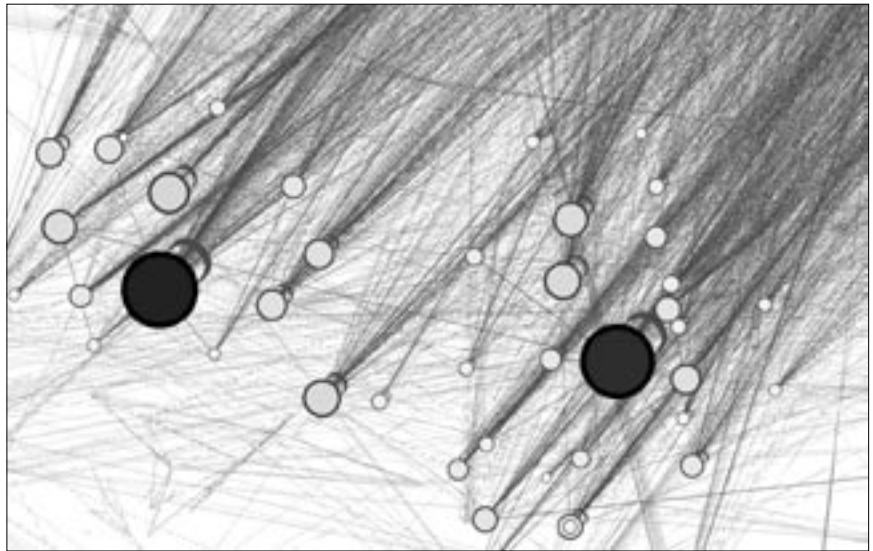


Рис. 1. Фрагмент сети соавторов в медицине и медицинских науках.

и модулярности. Модулярность сети соавторов равна 0,793, что свидетельствует об активном взаимодействии в мелких по сравнению с размером сети научных группах. Кластерная структура сети подтверждается так же коэффициентом кластеризации, который равен 0,771. В графе было найдено 1559 слабосвязанных компонент.

В работе были определены коэффициенты центральности узлов сети (табл. 1). В зависимости от результатов величина узлов сети была проранжирована. На рис. 1 изображена сеть соавторов с учетом расчета степени центральности. В результате расчетов и ранжирования узлов визуально проявились группы сильно связанных между собой авторов, которые сосредоточены вокруг одного или нескольких лидеров — больших узлов. Таким образом, визуально выявлены научные школы и коллективы организаций, которые тесно взаимодействуют в группе и через руководителей научных школ взаимодействуют с общей сетью. Усовершенствованный коэффициент степени центральности так же был протестирован и оказал влияние на первоначальное ранжирование авторов, добавив веса авторам с равнозначными связями соавторства. При ранжировании данных по усовершенствованному коэффициенту степени центральности, фамилии, объединяющие двух и более авторов однофамильцев с одинаковым инициалом, спустились ниже, по сравнению с предыдущими результатами, что дало возможность повысить ранг другим выдающимся ученым. Данные расчета коэффициента в табл. 1 помножены на 100, поскольку большой размер сети обуславливает высокую дробность результатов.

При определении различных коэффициентов важности узлов проявился недостаток наполнения реферативной базы данных в области медицинских наук. Несмотря на большой перечень медицинских журналов, реферируемых «Українікою науковою», часть публикаций остаются неосвоенными, т.е. недоступными для анализа. В результате некоторые выдающиеся ученые получили низкие оценки коэффициентов важности узлов. Методики на основе сетей соавторов являются достоверными и корректными лишь при полномочном представлении входных данных.

Выводы

В работе исследована сеть соавторов в области «Медицина. Медицинские науки». Определены основные параметры сети, такие как диаметр графа, общее и среднее количество узлов и связей, модулярность, коэффициент кластеризации и др.

Предложен и протестирован усовершенствованный коэффициент степени центральности, который добавляет вес авторам с равнозначными связями соавторства. Показано, что предложенный коэффициент понижает ранг фамилий, объединяющих двух и более авторов однофамильцев с одинаковым инициалом.

Показано, что полученная сеть соавторов представляет собой слабо связанные между собой подграфы, что обусловлено наличием большого количества различных медицинских наук и научных школ, недостатком представленности медицинских научных журналов.

Табл. 1. Ранжирование узлов сети соавторов по различным коэффициентом центральности (первые десять авторов).

Фамилия, имя	Центральн. как посреднич.	Фамилия, имя	Степень центральн.	Фамилия, имя	Усовершенств. коэффициент степ. центр.
Коваленко В.	2441523	Каладзе Н.	210,314	Бойко В.	0,18288
Бойко В.	2271441	Бойко В.	160,533	Чехун В.	0,14822
Москаленко В.	1949018	Ничитайло М.	151,907	Каладзе Н.	0,11791
Шевченко В.	1815715	Пишак В.	150,634	Пишак В.	0,11419
Чекман И.	1702083	Мишалов В.	149,725	Коваленко В.	0,10359
Дзяк Г.	1611266	Нейко Е.	136,767	Чекман И.	0,10264
Кравченко В.	1585579	Левицкий А.	121,421	Нейко Е.	0,09881
Грищенко В.	1472415	Чекман И.	121,28	Мишалов В.	0,09685
Пишак В.	1461707	Степаненко В.	112,991	Тронько М.	0,09653
Степаненко В.	1394735	Коркушко О.	103,807	Шевченко В.	0,08558

Большой размер сети соавторов по медицине и медицинским наукам обуславливает необходимость рассмотрения сетей соавторства отдельных более мелких отраслей. Так же существует необходимость включения полного перечня специализированных изданий по медицине и медицинским наукам, что увеличит достоверность исследований.

Литература

1. Bukvova, H. Studying Research Collaboration: A Literature Review [электронный ресурс] / Helena Bukvova // Sprouts: Working Papers on Information Systems. – 2010 – №10(3). – P. 1–19. – Режим доступа: <http://sprouts.aisnet.org/10-3>. – Назва з екрану.
2. Ландэ Д. В. Интернетика: Навигация в сложных сетях: модели и алгоритмы / Д. В. Ландэ, А. А. Снарский, И. В. Безсуднов – М.: Либроком (Editorial URSS), 2009. – 264 с.
3. Latapy M. Main-memory Triangle Computations for Very Large (Sparse (Power-Law)) / Matthieu Latapy // Graphs, in Theoretical Computer Science (TCS). – 2008 – V.407 №1–3, – P. 458–473.
4. Апанович З. В. Средства визуального анализа информационного наполнения порталов, входящих в облако Linked Open Data / З. В. Апанович, П. С. Винокуров, Т. А. Кислицина // Труды 13-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции». RCDL/2011, Воронеж, Россия, 19–22 октября 2011 г. – CEUR, 2011 – V. 803 – P. 113–120.
5. Opsahl T. Node centrality in weighted networks: Generalizing degree and shortest paths / Tore Opsahl, Filip Agneessens, John Skvoretz // Social Networks. – 2010. – Vol.32, № 3. – P. 245–251.
6. Alireza A. Betweenness centrality as a driver of preferential attachment

in the evolution of research collaboration networks / Abbasi Alireza, Hossain Liaquat, Loet Leydesdorff // Journal of Informetrics. – 2012. – Vol. 6, № 3. – P. 403–412.

7. Ландэ Д. В. Наукометричні дослідження мереж співавторства по базі даних «Україніка наукова» / Д. В. Ландэ, І. В. Балагура // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2012, – Т.14, №4 – с. 41–51.
8. Zhao S. X. H-Degree as a basic measure in weighted networks / Star X. Zhao, Ronald Rousseau, Fred Y. Ye // Journal of Informetrics. – 2011. – Vol.5, № 4. – P. 668–677.
9. Yan X. C-index: A weighted network node centrality measure for collaboration competence/ Xiangbin Yan, Li Zhai, Weiguo Fan // Journal of Informetrics. – 2013. – Vol.7, № 1. – P. 223–239.
10. Реферативна база даних «Україніка наукова» [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/db/ref.html>. – Назва з екрану.

Characteristics in co-author network of medical sciences

D. V. Lande, I. V. Gorbov, I. V. Balagura
Institute for information recording
of NAS of Ukraine, Kiev

Abstract

The aim of the paper is to investigate main characteristics and features of co-author network of medical sciences and to recognize important nodes. Co-author network in areas of «Medicine. Medical sciences» of the Ukrainika naukova abstract database is studied in the work. There is shown that applying of nodes centrality characteristics allow to determine authors of scientific works which are heads of scholar schools, made a significant contribution and support communication between scientific teams. The improved degree centrality is proposed and tested. This coefficient modifies nodes weights with equal links.

Key words: the Ukrainika naukova abstract database, complex networks, co-author networks, centrality, medical sciences.

Характеристики мережі співавторів медичних наук

Д. В. Ландэ, І. В. Горбов, І. В. Балагура
Інститут проблем реєстрації інформації
НАН України, Київ

Резюме

Ціль даної роботи — визначити основні характеристики та закономірності мережі співавторів в медицині та виділити в ній важливі вузли. Було досліджено мережу співавторів в галузі «Медицина. Медичні науки» в реферативній базі даних «Україніка наукова». Показано, що використання характеристик центральності вузлів дозволяє визначити авторів наукових робіт, що вносять вагомий внесок у галузь, є керівниками наукових шкіл, підтримують зв'язок між науковими колективами. Запропоновано та протестовано вдосконалений коефіцієнт степені центральності, що додає ваги авторам з рівнозначними зв'язками співавторства.

Ключові слова: реферативна база даних «Україніка наукова», складні мережі, мережі співавторів, центральність, медичні науки.

Переписка

І. В. Балагура

Інститут проблем реєстрації
інформації НАН України
ул. Шпака, 2
Київ, 03113, Україна
тел.: +380 (44) 454 22 19
ел. пошта: balaguraira@mail.ru

Пам'яті Юрія Леонідовича Волянського



17 жовтня 2013 року пішов із життя видатний вчений і талановитий організатор охорони здоров'я, доктор медичних наук, професор, академік Вищої школи України, Заслужений діяч науки і техніки України, директор ДУ «Інститут мікробіології та імунології ім. І. І. Мечникова» НАМН, завідувач кафедри клінічної імунології та мікробіології Харківської медичної академії післядипломної освіти МОЗ України, натхненний працелюб та доброзичлива людина Юрій Леонідович Волянський.

Ю. Л. Волянський народився 12 лютого 1940 року в Україні, в селі Ново-Григорівка Арбузинського району, Миколаївської області.

У 1955 році, коли Юрію виповнилось 15 років, він закінчив Воєводську сільську школу, Арбузинського району, Миколаївської області.

У 1957 році Волянський Ю. Л. поступив на санітарно-гігієнічний факультет Одеського медичного інституту ім. М. І. Пирогова, який закінчив у 1963 році з присвоєнням кваліфікації лікаря за спеціальністю «Санітарно-гігієнічна справа». Після закінчення інституту з 1963 по 1968 роки Ю. Л. Волянський працював заступником головного лікаря Герцаєвської районної лікарні м. Герца, Чернівецької області.

У 1968 році Ю. Л. Волянський поступив до аспірантури на кафедру мікробіології Чернівецького медичного інституту, яку успішно закінчив у 1971 році, захистив кандидатську дисертацію на тему «Деякі аспекти епідеміології і профілактики стафілокової інфекції».

З 1971 по 1973 роки працював асистентом, а з 1973 по 1976 рік — доцентом кафедри мікробіології Чернівецького медичного інституту. У 1975 році Волянському Ю. Л. присвоєно наукове звання «доцент». Впродовж 1976–1977 років працював на посадах доцента кафедри і в. о. завідувача кафедри мікробіології Чернівецького медичного інституту.

У 1977 році Ю. Л. Волянський із сім'єю переїхав в м. Новокузнецьк Кемеровської області, де очолив кафедру мікробіології Новокузнецького інституту удосконалення лікарів.

У 1981 році захистив докторську дисертаційну роботу на тему: «Протимікробна активність нових азот- і фосфорвміщуючих органічних сполук, фенолів і фероценів». У 1982 році йому присвоєно наукове звання «професор».

У лютому 1983 року Ю. Л. Волянський із сім'єю переїхав на постійне місце проживання до Харківя і очолив Харківський НДІ мікробіології, вакцин та сироваток ім. І. І. Мечникова МОЗ України, яким керував майже 30 років.

Увесь професійний шлях Волянського Ю. Л. — це безперервний потік нових ідей, реформаторських задумів та наукових звершень. Він автор 25 монографій, 437 наукових статей, 24 методичних рекомендацій для лікарів та біологів, 86 авторських свідоцтв та патентів України і зарубіжних країн, 17 лікарських та профілактичних препаратів, прийнятих до промислового виробництва в Україні та за кордоном.

Спектр тематики наукових праць Волянського Ю. Л. є вельми широкий. Серед найбільш значних наукових здобутків слід відзначити розробку Концепції системного аналізу, зіставлення та прогнозування медичних та соціальних наслідків ядерних катастроф на основі всесторонньої оцінки та узагальнення матеріалів з ядерних випробувань на Семіпалатинському і Новоземельному полігонах, надзвичайних ситуацій на виробництві «Маяк» (Південний Урал), аварії на Чорнобильській АЕС. Їм відпрацьовані питання механізмів, етапності, послідовності та тривалості негативних ефектів ядерного враження на окремих територіях, співвідношення стохастичних і нестохастичних явищ у їх поєднанні. Їм сформульовано гіпотезу про неадекватність діючих підходів до оцінки окремих наслідків ядерних катастроф виключно з позицій впливу малих доз іонізуючої радіації, оскільки вказані ефекти мають комбінований характер. Він обґрунтував висновок про домінуючу роль нейроімуноендокринної регуляції в патології на фоні дії екстремальних факторів надзвичайних ядерних ситуацій.

Значну наукову цінність для України мають дослідження Ю. Л. Волянського в галузі вивчення ВІЛ-інфекції та СНІДу.

Їм проаналізовано гіпотези щодо походження цього захворювання, особливостей структури і біологічних властивостей збудника. Він дослідив механізми взаємодії вірусу імунодефіциту людини з рецепторним апаратом клітин-мішеней, розкрив особливості імунного статусу при СНІДі, позначив роль аутоімунних процесів у розвитку цього захворювання.

Вагомим внеском Волянського Ю. Л. є наукові праці стосовно розробки та практичного впровадження протиепідемічних і санітарно-обмежувачих заходів щодо недопущення розповсюдження в Україні особливо небезпечних інфекцій та запобігання виникнення спалахів інфекційних захворювань на територіях після масштабних екологічних катастроф.

Ю. Л. Волянський є визнаним фундатором авторитетної школи фахівців за напрямком розробки нових профілактичних та лікарських препаратів, більшість науковців якої працює в ВУЗах та науково-дослідних установах України. Під його керівництвом захищено 10 докторських та 36 кандидатських дисертацій.

Ю. Л. Волянський був незмінним головою Вченої ради та Спеціалізованої ради Д 64.681.01 ДУ «Інститут мікробіології та імунології ім. І. І. Мечникова» НАМН України із захисту докторських та кандидатських дисертацій за спеціальністю «мікробіологія». Він упродовж 8 років був членом експертної ради ВАК України, майже 30 років був головою Харківського наукового товариства мікробіологів, Харківської філії Українського наукового товариства епідеміологів, мікробіологів і паразитологів ім. К.Д. Заболотного, Харківської філії мікробіологічного товариства ім. С. В. Виноградського та Харківської філії товариства «Куба-Україна». Він більш ніж чверть століття представляв вітчизняну мікробіологічну і фармацевтичну науку на міжнародних наукових форумах (конгресах, симпозіумах, з'їздах, конференціях), активно налагоджував співпрацю з науковцями Російської Федерації, Франції, Німеччини, Італії, Польщі, Угорщини, США, Куби.

Ю. Л. Волянський був одним із засновників Української Асоціації «Комп'ютерна Медицина» в 1992 році, впродовж 20 років — членом Вченої Ради УАКМ, брав активну участь в діяльності Асоціації.

Упродовж багатьох років Ю. Л. Волянський був членом редколегій ряду провідних вітчизняних і зарубіжних фахових журналів: «Мікробіологічний журнал», «Провізор», «Вісник фармації», «Клінічна фармація», «Медична радіологія», «Інфекційні хвороби», «Бюлетень експериментальної медицини», «Інфекційні хвороби» та головним редактором заснованого ним міжнародного електронного журналу «Аннали Мечниковського Інституту».

Поєднання дару талановитого організатора, науковця та натхненного працелюба дозволило Волянському Ю. Л. провести реформування у 1988 році Харківського НДІ мікробіології,

вакцин та сироваток ім. І. І. Мечникова в Харківський НДІ мікробіології та імунології ім. І. І. Мечникова (науково-технічний центр та головна установа з проблем медичної імунології), а у 2000 році — в Інститут мікробіології та імунології ім. І. І. Мечникова АМН України (головна науково установа в галузі медичної імунології та біологічної безпеки). Його зусиллями в 1993–2001 роках створено ряд нових, відповідних до сучасних наукових спрямувань, тематичних підрозділів Інституту — лабораторія клінічної імунології та алергології, лабораторія молекулярного моделювання, лабораторія нових та маловивчених інфекційних захворювань, лабораторія екологічного та епідеміологічного моніторингу, лабораторія імунореабітології та кафедра клінічної імунології і мікробіології ХМАПО МОЗ України (в 1986 році).

Особливу увагу Ю. Л. Волянський приділяв збереженню та розвитку кращих традицій наукового і духовного надбання наших великих попередників. За його ініціативи в історичному центрі м. Харкова споруджено пам'ятники одному з перших лауреатів Нобелівської премії в галузі медицини та біології І. І. Мечникову (2005 рік) та знаменитому зодчому Слобожанщини — академіку архітектури О. М. Бекетову (2006 рік).

Результати плідної праці Волянського Ю. Л. достойно оцінено органами законодавчої та виконавчої влади України. За визначні наукові досягнення та особистий внесок у розвиток охорони здоров'я він у 1987 році був нагороджений Почесною грамотою Президії Верховної ради України, у 1991 році йому першому в Україні присвоєно почесне звання «Заслужений діяч науки і техніки України», в 2000 році — нагороджений медаллю «Ветеран праці». Крім того, за довгорічну сумлінну працю Ю. Л. Волянський був відзначений чисельними почесними грамотами і подяками від МОЗ і НАМН України.

Однак найголовніша нагорода Волянського Ю. Л. — це заслужений 50-річною науково-педагогічною діяльністю найвищий авторитет серед медичної і наукової спільноти та сердечна вдячність багатьох тисяч людей яким він зберіг і повернув здоров'я.

Повага і неординарна особистість Волянського Ю. Л. назавжди збережеться в серцях і пам'яті його близьких, колег, учнів та всіх тих, кому на життєвому шляху пощастило з ним працювати і спілкуватися. Висловлюємо глибоке щире співчуття рідним і близьким покійного.

Перший віце-президент УАКМ, Голова Вченої Ради УАКМ, д.мед.н., професор О. Ю. Майоров

Пам'яті Павла Михайловича Сіверського



12 травня 2013 року на 73-му році пішов з життя заступник директора з наукової роботи Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, кандидат технічних наук, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державних премій Української РСР (1978) та СРСР (1983) в галузі науки і техніки, лауреат премії імені В. М. Глушкова НАН України (1988) Павло Михайлович Сіверський.

П. М. Сіверський вніс вагомий внесок у розвиток авіаційної та військової техніки СРСР з використанням інформаційно-комп'ютерних технологій. Під його керівництвом була створена система обробки даних льотних випробувань літаків, яка була впроваджена в усіх провідних авіаційних конструкторських бюро країни: Антонова, Туполева, Ільюшина та інших.

В пострадянські роки Павло Михайлович керував створенням і впровадженням інформаційно-аналітичних систем для органів регіональної виконавчої влади України, розвитком технології застосування біометричних ідентифікаторів в комп'ютерних системах різного призначення, брав значну участь у створенні інформаційних систем для телемедицини, був членом робочої групи з телемедицини регіональної співдружності в галузі зв'язку.

Павло Михайлович Сіверський був одним із засновників Української Асоціації «Комп'ютерна Медицина» в 1992 році. Приймав активну участь у проведенні наукових конференцій УАКМ, підтримував видання науково-методичного журналу «Клінічна інформатика і Телемедицина», в складі делегацій представляв УАКМ за кордоном.

На всіх постах П. М. Сіверського відрізняли незмінні доброзичливість і повага до людей, чесність і принциповість у роботі, ініціативність і наполегливість. Він завжди мав незаперечний авторитет у підлеглих і колег по роботі.

Світла пам'ять про Павла Михайловича назавжди збережеться в серцях і душах всіх, хто його знав. Висловлюємо глибоке щире співчуття рідним і близьким покійного.

*Президент УАКМ, член-кор. НАН України, професор А. О. Морозов
Перший віце-президент УАКМ, Голова Вченої Ради УАКМ, професор О. Ю. Майоров*

До ухваленної Концепції інформатизації сфери охорони здоров'я України на 2013–2018 роки

Стрімкий розвиток інформаційних технологій у сфері охорони здоров'я, рух України до євроінтеграції обумовили потребу розробки основних концептуальних засад обміну медичною інформацією, принципів її захисту та використання.

Виникла потреба в створенні нової Концепції інформатизації сфери охорони здоров'я України (далі — Концепція).

В нову Концепцію закладено основні принципи взаємодії об'єктів та суб'єктів при обробці медичної інформації, які відповідають вимогам сучасного законодавства України. Визначені шляхи рішення першочергових завдань, які поставлені у дорученнях Президента України.

Над створенням проекту Концепції працювали провідні фахівці в галузі медичної інформатики, статистики, організації охорони здоров'я; члени Координаційної Ради МОЗ України з інформатизації сфери охорони здоров'я та Українського громадського професійного об'єднання «Українська Асоціація Комп'ютерна Медицина»: Толстанов О. К., Богачев Р. М., Майоров О. Ю., Морозов А. О., Голубчиков М. В., Горбань А. Є., Мінцер О. П., Герасимов А. П., Панченко О. А., Коваленко О. С., Осташко В. С., Лазаренко В. С., Бровді А. В., Пустовойтова Г. Л. та інші.

Наступним кроком після затвердження Концепції планується розробка короткострокових та довгострокових Заходів на реалізацію Концепції.

Концепція Погоджена. Лист Про погодження проекту Концепції інформатизації № 1/04-1-937 від 19.04.2013. Державне Агенство з питань науки іновачій та інформатизації України.

КОНЦЕПЦІЯ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ СФЕРИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ НА 2013–2018 РОКИ

1. Загальні положення

1.1. Концепція інформатизації сфери охорони здоров'я України (далі — Концепція) розроблена з метою виконання Закону України «Про Національну програму інформатизації», Порядку формування та виконання галузевої програми і проекту інформатизації, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 18 грудня 2001 року № 1702.

1.2. Концепція визначає характеристику сучасного стану інформатизації, цілі, завдання, пріоритетні напрями інформатизації, основні принципи формування та виконання програми та очікувані наслідки її реалізації.

1.3. У Концепції наведені нижче терміни та поняття вживаються у такому значенні:
— інформаційний простір сфери охорони здоров'я України — сукупність засобів інформатизації та інформаційних ресурсів у сфері охорони здоров'я України, об'єднаних в єдину систему;

— суб'єкти інформатизації сфери охорони здоров'я — замовники робіт з інформатизації, виконавці окремих завдань (проектів) інформатизації, організації, що здійснюють експертизу окремих завдань та проектів інформатизації; користувачі автоматизованих та інших інформаційних систем і засобів інформатизації;

— інші наведені у Концепції терміни та поняття вживаються у значеннях, визначених законами України «Про Національну програму інформатизації», «Про Концепцію Національної програми інформатизації», «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах».

2. Аналіз стану інформатизації та пріоритетних напрямів розвитку сфери охорони здоров'я

У питаннях інформатизації сфери охорони здоров'я, розвитку телемедицини, дистанційної освіти, створення реєстрів пацієнтів та розгалужених баз даних Україна суттєво відстає від країн Європейського Союзу. Альтернативи інформатизації охорони здоров'я не існує, можливі лише різні темпи її впровадження, що залежить як від рівня фінансування, так і фахової підготовки медичних працівників.

2.1. В останні роки досягнуто суттєвих результатів у побудові інформаційного простору сфери охорони здоров'я України:

- накопичено значний обсяг практичної, статистичної інформації щодо розроблення та впровадження регіональних інформаційних та телекомунікаційних систем, у тому числі — регіональних реєстрів пацієнтів;
- впроваджені електронні реєстри пацієнтів за окремими нозологічними одиницями;
- впроваджений Реєстр закладів охорони здоров'я та автоматизована база даних медичних, фармацевтичних та науково-педагогічних працівників сфери управління МОЗ України;
- впроваджені інформаційні системи управління екстреною медичною допомогою;
- впроваджені телемедичні системи дистанційної діагностики та надання консультативних послуг;
- у деяких закладах охорони здоров'я впроваджені госпітальні інформаційні системи, інформаційні системи статистичного та довідникового спрямування.

2.2. Разом з тим існує низка проблем, вирішення яких необхідне для успішної реалізації заходів з інформатизації сфери охорони здоров'я України:

2.2.1. Інформаційний простір сфери охорони здоров'я України фрагментований та децентралізований, що спричинено відсутністю єдиної стратегії його розвитку.

2.2.2. Проблеми нормативного регулювання інформатизації сфери охорони здоров'я:

- відсутність повного обсягу необхідних галузевих нормативно-правових актів (у тому числі, гармонізованих стандартів з медичної інформатики) щодо розробки, впровадження, експлуатації і розвитку інформаційних ресурсів, інформаційних технологій та засобів інформатизації;
- відсутність формалізованих критеріїв визначення економічної ефективності впровадження та експлуатації інформаційних ресурсів та засобів інформатизації.

2.2.3. Проблеми існуючих інформаційних ресурсів та засобів інформатизації:

- несумісність окремих видів інформаційних та телекомунікаційних систем, що обмежує можливість обміну інформацією між ними;
- відсутність кваліфікованого персоналу, необхідного для їх експлуатації.

2.2.4. Проблеми існуючих вузлів зберігання інформації (сервери, дата-центри):

- застарілість технічного оснащення;
- відсутність регламентів резервного копіювання інформації, що може спричинити її безповоротну втрату;
- відсутність комплексної системи захисту інформації;
- нерациональне розташування таких вузлів, що ускладнює їх адміністрування.

2.2.5. Проблеми існуючих інформаційних мереж:

- низька розподільна здатність більшості використовуваних каналів зв'язку;
- низький ступінь захисту інформації у наявних інформаційних мережах.

2.2.6. Проблеми інформаційних медичних ресурсів:

- недостатня кількість загальнодоступних якісних та достовірних спеціалізованих медичних інформаційних ресурсів.

2.2.7. Відсутнє цільове фінансування програми інформатизації сфери охорони здоров'я.

3. Мета Концепції

3.1. Головною метою Концепції є визначення принципів використання сучасних інформаційних технологій, інформаційних ресурсів та засобів інформатизації для забезпечення населення України якісною, своєчасною та доступною медичною допомогою, задоволення

професійних інформаційних потреб медичних, фармацевтичних працівників, а також – більш ефективного управління галуззю за допомогою організації розвинутого та ефективного інформаційного простору сфери охорони здоров'я України із подальшою інтеграцією його до національних та світових інформаційних систем.

4. Завдання та пріоритетні напрями інформатизації сфери охорони здоров'я

4.1. Державна політика в Україні щодо інформатизації сфери охорони здоров'я, впровадження новітніх інформаційних технологій (медичні інформаційні системи управління, госпітальні інформаційні системи, «хмарні» технології, комп'ютерні діагностичні системи, ґрід-технології, телемедичні системи, системи дистанційного доступу з можливістю обробки інформації, інтернет-навчання — дистанційна медична освіта) спрямовані на ліквідацію відставання від передових країн світу і прискорення входження в інформаційний простір міжнародного медичного співтовариства з метою підняття на сучасний рівень управління охороною здоров'я, підвищення якості та доступності медичної допомоги, розвитку медичної освіти і науки.

4.2. Важливими завданнями та напрямками інформатизації сфери охорони здоров'я також є прогнозування потреб у медичній допомозі; аналіз існуючого кадрового потенціалу сфери охорони здоров'я та планування потреби у медичних кадрах; планування фінансування підприємств, установ та організацій сфери охорони здоров'я; планування проведення профілактичних заходів; оцінка ефективності використання коштів для надання медичної допомоги населенню; моніторинг обігу лікарських засобів, виробів медичного призначення, медичної техніки; контроль за дотриманням норм законодавства у сфері ліцензування, сертифікації, акредитації; підтримка управління якістю надання медичної допомоги населенню; підтримка діяльності установ, підприємств та організацій сфери охорони здоров'я України; впровадження механізмів раціональної оплати праці, зокрема побудова системи оплати трудової діяльності працівників сфери охорони здоров'я, виходячи із обсягів фактично наданих медичних послуг; забезпечення сумісності засобів інформатизації та інформаційних технологій сфери охорони здоров'я; забезпечення інформаційної взаємодії між закладами, установами та організаціями сфери охорони здоров'я; інформаційна підтримка адміністративно-господарської діяльності закладів охорони здоров'я.

5. Принципи формування і виконання програми інформатизації сфери охорони здоров'я

5.1. Для України актуальними є питання розробки стратегії формування та подальшого удосконалення інформаційного простору сфери охорони здоров'я України, а об'єкт інформатизації розглядається як складова галузевої частини інформаційної структури держави та сукупність різноманітних структур і форм їх взаємодії щодо збору, обробки, збереження, захисту, розповсюдження та використання різних видів інформації для підтримки прийняття ґрунтовних управлінських рішень, задоволення потреб громадян.

5.2. Основні принципи формування і виконання програми інформатизації сфери охорони здоров'я:

- інформатизація здійснюється за єдиною державною технічною та організаційною політикою;
- централізована організація структури всіх засобів інформатизації, інформаційних технологій та інформаційних ресурсів, що входять до інформаційного простору сфери охорони здоров'я України, реалізується за принципами системності, комплексності, узгодженості та сумісності;
- право власності на інформацію в інформаційних ресурсах галузі охорони здоров'я України належить державі;
- право власності на інформаційні та телекомунікаційні системи галузі охорони здоров'я України визначається відповідно до окремих нормативно-правових актів або угод;
- розпорядником інформації інформаційних ресурсів галузі охорони здоров'я України є Міністерство охорони здоров'я України;

- адміністратором інформаційних, телекомунікаційних систем галузі охорони здоров'я України є визначена Міністерством охорони здоров'я України юридична особа, що входить до сфери його підпорядкування;
- розробка, вибір програмних продуктів та обладнання, необхідних для формування та розвитку інформаційного простору сфери охорони здоров'я України, здійснюється за умови їх відповідності єдиній технічній та організаційній політиці у сфері інформатизації;
- дотримання вимог законодавства щодо захисту інформації, у тому числі — персональних даних;
- побудова інформаційного простору сфери охорони здоров'я України здійснюється з урахуванням можливості максимального використання існуючих у сфері охорони здоров'я програмно-технічних засобів;
- забезпечення сумісності медичних інформаційних систем і ресурсів сфери охорони здоров'я з інформаційними системами та ресурсами інших державних відомств в частині спільного використання персональних даних та електронного обміну документами;
- підтримка конкуренції серед учасників ринку медичних інформаційних послуг.

6. Заходи організаційного забезпечення виконання програми

6.1. Питання інформатизації сфери охорони здоров'я Україні можуть бути вирішені шляхом розробки нормативно-правової бази з питань організації та врегулювання відносин у цій сфері; удосконалення інформаційної медичної інфраструктури (створення інформаційно-телекомунікаційної мережі охорони здоров'я; запровадження електронного реєстру пацієнтів як технологічної основи для досягнення основних цілей інформатизації охорони здоров'я, впровадження електронних медичних карт пацієнтів (медичних смарт-карт), електронного документообігу і електронного цифрового підпису; формування багаторівневих інформаційно-аналітичних систем; концентрації науково-технічного потенціалу на створенні сучасних високоінтелектуальних інформаційних технологій, медичних програмних та апаратних засобів; створення системи медичних електронних ресурсів та надання до них доступу для медичних працівників та громадян; реорганізації системи підготовки і перепідготовки медичних працівників на основі сучасних тенденцій розвитку інформаційних технологій і технологій навчання); ефективного міжнародного співробітництва.

6.2. Правове забезпечення процесу інформатизації сфери охорони здоров'я України передбачає розробку нормативно-правових актів стосовно:

- конфіденційності медичної інформації та регламентів розподілу прав доступу до медичних даних;
- упровадження електронного реєстру пацієнтів із забезпеченням захисту інформації;
- організації дистанційного доступу користувачів до медичної інформації та інформаційно-довідникових баз відкритого типу;
- впровадження телемедичних технологій;
- впровадження електронного документообігу в медичну практику;
- сертифікації медичних інформаційних технологій;
- гармонізації основних міжнародних стандартів обміну медичними даними;
- створення єдиної гармонізованої системи класифікаторів і кодування медичної інформації.

6.3. Формування інформаційної медичної інфраструктури передбачає:

- створення та розвиток автоматизованих інформаційно-аналітичних систем, структурованих щодо ресурсного забезпечення закладів охорони здоров'я, ринку лікарських засобів, медичних виробів із подальшим об'єднанням їх в єдину систему на основі електронного реєстру пацієнтів;
- розвиток інформаційно-аналітичних систем для аналізу якості надання медичної допомоги населенню на окремих територіях (госпітальних округах) та за певними нозологічними напрямками, оцінку ефективності діяльності закладів охорони здоров'я та оцінку ефективності управління на різних рівнях системи, прогнозування ризиків;
- подальший розвиток інформаційно-аналітичних систем для введення єдиної методології обліку медичних кадрів закладів охорони здоров'я на всіх рівнях, раціонального використання наявного кадрового потенціалу, достовірного планування потреби у медичних кадрах, сприяння подальшому розвитку інформаційного простору сфери охорони здоров'я України;

– інформаційна підтримка заходів із впровадження профілактичної моделі медичного обслуговування населення.

6.4. Розвиток інформаційного простору сфери охорони здоров'я України передбачає створення та впровадження:

- управлінських інформаційних систем;
- госпітальних інформаційних систем, систем диспетчеризації екстреної медичної допомоги тощо;
- інформаційних технологій, спрямованих на профілактику захворювань, діагностику і реабілітацію, вибір оптимального метода лікування;
- інтелектуальних систем для диференційної діагностики і лікування;
- інформаційно–аналітичних систем епідеміологічного нагляду;
- пошуково-довідкових систем за нозологічним принципом;
- навчальних комп'ютерних програм;
- освітніх автоматизованих систем тестового контролю;
- інтелектуальних систем асистування для медичного персоналу;
- систем дистанційного навчання;
- геоінформаційних технологій;
- телемедичних технологій;
- персональних систем моніторингу стану здоров'я на основі мікропроцесорних технологій тощо.

6.5. Інформація, що відноситься до публічного надбання, повинна бути легкодоступною і захищеною від незаконного змінювання. З цією метою буде:

- створено постійно оновлювану та інтегровану з іншими базами персональних даних користувачів медичних послуг;
- розвинуто існуючу систему збирання та обробки статистичної медичної інформації;
- оновлено систему обміну науковою інформацією із інтеграцією в сучасні світові бази наукової медичної інформації;
- розроблено систему збору та формування баз даних вітчизняної наукової медичної інформації;
- створено документальні та фактографічні бази даних з відповідних підгалузей знань та за спорідненими напрямками;
- створено національні медичні інформаційні освітні ресурси;
- створено електронні медичні бібліотеки;
- забезпечено доступ закладів, установ, підприємств та організацій охорони здоров'я до електронних бібліографічних баз даних.

6.4. Передбачається розробка єдиної стратегії організації баз даних на основі електронного реєстру пацієнтів, використання новітніх технологій, поетапного об'єднання локальних та відомчих баз в Національну систему баз даних відкритого типу з виходом у міжнародні інформаційні мережі.

6.5. Формування єдиного інформаційного простору сфери охорони здоров'я передбачає:

- матеріально-технічне забезпечення інформатизації сфери охорони здоров'я України;
- реалізацію заходів щодо захисту інформації відповідно до діючого законодавства України;
- організацію освіти медичного персоналу роботі із засобами інформатизації, для чого необхідно провести реорганізацію системи професійної підготовки і перепідготовки працівників сфери охорони здоров'я, розробити та впровадити нові учбові програми з медичної інформатики згідно з рекомендаціями міжнародних організацій, передового світового досвіду з урахуванням сучасних тенденцій розвитку інформаційних технологій, засобів інформатизації і технологій навчання;
- удосконалення кадрового забезпечення (у тому числі, організація системи підготовки висококваліфікованого персоналу), необхідного для виконання завдань інформатизації у сфері охорони здоров'я України.

7. Очікувані результати інформатизації у сфері охорони здоров'я

7.1. Створення інформаційного простору сфери охорони здоров'я України забезпечить ефективне управління, аналіз та обробку інформаційних потоків як на регіональному, так і на державному рівнях.

7.2. Об'єднання закладів, установ та організації охорони здоров'я у регіональні мережі, мережі медичної освіти та науки з метою забезпечення інформаційної взаємодії всіх елементів інфраструктури на всіх рівнях від державного управління до медичних послуг у сфері охорони здоров'я України.

7.3. Інформаційний простір сфери охорони здоров'я України розвиватиметься відповідно до міжнародних і національних вимог, використовуючи і доповнюючи можливості існуючих інформаційно-телекомунікаційних ресурсів регіонів.

7.4. З метою відпрацювання методів взаємодії інформаційних мереж різного призначення як на технічному рівні, так і на рівні використання інформації буде створено ряд дослідних (пілотних) зон інформатизації з подальшим їх розширенням.

7.5. Реалізація Концепції дозволить забезпечити:

- підвищення якості та доступності медичного обслуговування;
- зниження рівня загальної захворюваності;
- зміщення пріоритетів на профілактичну складову у медичному обслуговуванні населення;
- забезпечення своєчасності надання медичної допомоги;
- прискорення впровадження в практику нових методів діагностики і лікування відповідно до стандартів надання медичної допомоги;
- підвищення ступеню достовірності, прискорення у отриманні та обробці статистичної медичної інформації;
- впровадження принципів доказової медицини;
- підвищення ефективності управління системою охорони здоров'я, зокрема, кадровим потенціалом, включаючи інформаційну підтримку прийняття аргументованих управлінських рішень, автоматизований моніторинг якості надання медичної допомоги, достовірне прогнозування та контроль захворюваності;
- удосконалення та оптимізацію медичного документообігу, управління потоками пацієнтів та підвищення достовірності медичної інформації;
- спростити та прискорити процеси обробки та аналізу медичної інформації за рахунок створення єдиної системи її кодування;
- сприяння впровадження обов'язкового медичного страхування за рахунок комплексної інформатизації закладів охорони здоров'я та автоматизованої обробки інформації, пов'язаної з розрахунком відшкодування вартості фактично наданих медичних послуг;
- зменшення чисельності паперових медичних та статистичних форм у закладах охорони здоров'я; економії часу на їх заповнення та виключення помилок при ручній обробці;
- підвищення якості медичної освіти;
- підвищення рівня міжнародної співпраці в сфері охорони здоров'я за рахунок інтеграції у міжнародні медичні інформаційні мережі;
- економію коштів Державного бюджету України за рахунок оптимізації та інтенсифікації використання ресурсів сфери охорони здоров'я, раціонального використання наявних ресурсів.

8. Розвиток міжнародного співробітництва з проблем інформатизації

8.1. Інформаційне суспільство є глобальним за своєю суттю, і завдання, які ставляться на національному рівні, повинні виконуватися за допомогою ефективного регіонального та міжнародного співробітництва.

8.2. Співробітництво в області інформатизації охорони здоров'я з Міжнародною Асоціацією медичної інформатики (ІМА) та Європейською Федерацією медичної інформатики (ЕФМІ), національним членом яких є Україна, буде сприяти вивченню та адаптації міжнародного досвіду з питань розвитку та застосування інформаційних технологій.

9. Оцінка фінансових, матеріально-технічних, трудових ресурсів, необхідних для виконання програми

9.1. Фінансове забезпечення реалізації Концепції здійснюватиметься за рахунок коштів державного бюджету, місцевих бюджетів, а також благодійних фондів, зацікавлених суб'єктів

підприємницької діяльності усіх форм власності, громадських організацій, міжнародних фінансових організацій та інших джерел, не заборонених законодавством України.

9.2. Обсяги фінансування повинні розраховуватися виходячи із реальних потреб забезпечення сфери охорони здоров'я України апаратно – програмними комплексами та їх компонентами, комунікаційними мережами, ліцензійними програмними засобами, витратами, пов'язаними із навчанням користувачів; з урахуванням передбачуваних інфляційних процесів.

УХВАЛЕНО
Протокол п'ятого засідання
Координаційної ради Міністерства охорони здоров'я України
з питань інформатизації сфери охорони здоров'я
від 13 березня 2013 року



Украинская Ассоциация «Компьютерная Медицина» (УАКМ) UKRAINIAN ASSOCIATION FOR COMPUTER MEDICINE (UACM)

Украинская Ассоциация «Компьютерная Медицина» (УАКМ) — независимая неправительственная некоммерческая организация, основанная согласно законодательству Украины в 1992 году во время работы IV Конгресса Всемирной Федерации Украинских Врачебных Обществ (СФУЛТ) при поддержке Министерства здравоохранения Украины.

УАКМ объединяет 125 юридических членов — учреждения и компании: научно-исследовательские институты МЗ, НАМН, НАН Украины, университеты, научные общества, лечебные учреждения, производители медицинского оборудования и программного обеспечения, провайдеры Интернет, страховые компании. Более 1950 специалистов являются индивидуальными членами Ассоциации.

В 1993 г. Украинская Ассоциация «Компьютерная Медицина» была принята в IMIA в качестве Национального члена на Генеральной Ассамблее в Токио-Киото, Япония.

В мае 1994 г. на IV Европейском Конгрессе по медицинской информатике MIE2004 УАКМ стала Национальным членом Европейской Федерации медицинской информатики (EFMI) в Лиссабоне, Португалия.

В 2007 г. УАКМ стала Национальным членом Европейской Ассоциации менеджеров ИТ технологий в здравоохранении (The European Association of Healthcare IT Managers (HITM)).

Рабочими языками УАКМ являются украинский, русский, английский.

Цели

- внедрение новых медицинских информационных технологий для создания электронного здравоохранения и реформирования системы здравоохранения в Украине;
- разработка новых медицинских программных продуктов и биотехнических систем;
- участие в государственных и международных программах по информатизации здравоохранения в Украине;
- издание научно-методической литературы;
- проведение съездов, конференций, симпозиумов, форумов, выставок и конкурсов;
- защита авторских прав;
- осуществление независимого экспертного контроля и подготовка материалов для получения сертификатов;
- подготовка и переподготовка специалистов с целью повышения их квалификации;
- установление контактов с членами IMIA, EFMI, HITM, зарубежными научными обществами, университетами и другими международными неправительственными организациями. В структуре УАКМ функционирует Совет Ассоциации и Ученый Совет.

Совет Ассоциации состоит из Правления и руководителей учреждений — членов УАКМ.

В составе Ученого Совета 70 ученых-экспертов в области медицинской информатики, медицины, компьютерной техники, математики, радиоэлектроники из Украины, России, стран СНГ, США, Японии, Великобритании, Франции, Израиля, Турции, Канады.

В сферу деятельности Ученого Совета входит:

- участие в разработке комплексных государственных программ информатизации сферы здравоохранения Украины;

- анализ и обмен опытом использования информационных технологий применительно к условиям в Украине;
- рассмотрение совместных проектов;
- осуществление экспертных оценок при сертификации медицинских информационных технологий и программной части аппаратно-программных комплексов;
- участие в разработке учебных программ по медицинской информатике и телемедицине для подготовки и переподготовки врачей и среднего медицинского персонала.

Специалисты УАКМ под эгидой МЗ Украины разработали первую Концепцию государственной политики информатизации здравоохранения Украины, которая была принята МЗ Украины, согласована с АМН и Главным кибернетическим Центром НАН Украины (Укр. радиол. журнал. 1996., №2., с. 115–118; Ж. Клин. информ. и Телемед. 2004. №1. с. 8–12)., Концепцию Национальной программы информатизации здравоохранения Украины (2005). Государственную программу информатизации здравоохранения на 2007–2010 годы, в которой получили развитие положения Концепции (Ж. Клин. информ. и Телемед. 2006. в. 4. с. 3–9). Проект Регламента телемедицинской сети Украины (Ж. Клин. информ. и Телемед. 2009. в. 6. с. 93–98), Концепцию информатизации сферы здравоохранения Украины на 2013–2018 г.г. (Ж. Клин. информ. и Телемед. 2013. в. 10., с. 99–106), Отраслевую Программу и Проект информатизации здравоохранения Украины на 2014–2016 г.г., Типовую программу кандидатского экзамена по специальности 14.03.11 — «медицинская и биологическая информатика и кибернетика» (Ж. Клин. информ. и Телемед. 2009. в. 6. с. 99–106).

В разные годы были предложены Концепция создания государственной медицинской Национальной сети прямого доступа УкрМедНет, проект создания Системы обмена медицинской информацией в рамках СНГ, проект создания информационно-аналитической системы (ее медицинской части) по чрезвычайным ситуациям при Кабинете Министров Украины.

УАКМ является инициатором создания проекта «Информационные госпитальные системы Украины».

Положение о сертификации информационных технологий в здравоохранении было разработано Ученым Советом УАКМ и утверждено Министерством здравоохранения, Министерством Юстиции и Госпотребстандартом. При Министерстве здравоохранения была образована отраслевая комиссия по сертификации.

В 2006 году по инициативе УАКМ создан Координационный Совет по информатизации здравоохранения МЗ Украины, который возобновил свою работу в 2011 г. В его составе ведущие специалисты по медицинской информатике, организации здравоохранения и защите информации.

С 1996 г. функционирует Веб-портал УАКМ на 3-х языках — украинском, русском и английском (www.uacm.kharkov.ua).

С 1996 по 2010 г. Приказом МЗ и АМН Украины функционировала объединенная проблемная Комиссия МЗ и АМН Украины «Телемедицина», в которую вошли многие члены Ученого Совета УАКМ. Комиссия сотрудничала с международным Телекоммуникационным Союзом ООН (ITU) и Европейской Комиссией по телемедицине (DGXIII).

УАКМ заключила соглашение о создании спутникового («зеркального») Веб-сайта Европейской Обсерватории

по телемедицине (ЕНТО). С 1998 г. по 2006 г. функционировал Украинский сервер ЕНТО (www.ehto-ukr.kharkov.ua), а представитель Украины являлся членом Стратегического Правления породненных серверов ЕНТО на национальных языках.

Были проведены 1-й и 2-й Всемирные виртуальные Конгрессы по варибельности сердечного ритма с помощью специально созданного тематического Веб-сайта (www.hrvcongress.org).

Специалисты УАКМ принимали участие в работе 1-го и 2-го Всемирных Симпозиумов по телемедицине для развивающихся стран, которые проводились под эгидой международного Телекоммуникационного Союза ООН (ITU) и ВОЗ (ЕНТО, 1997, Лиссабон; Буэнос-Айрес, 1999,). Делегации Проблемной Комиссии «Телемедицина» в 1998 и 1999 годах принимали участие в международных Конференциях по телемедицине в Висбю (Швеция).

В 1998 г. по инициативе и при участии членов Ученого Совета УАКМ началась реализация украинско-американского проекта по мониторингу врожденных уродств. Результаты программы успешно реализованы в 8 областях Украины (подробности см. на Веб-сайте: www.ibis.org).

Конференции

Начиная с 1993 г., УАКМ проводит международные научно-практические конференции «Компьютерная Медицина» и выставки медицинских программных продуктов с участием ведущих отечественных и зарубежных производителей. На Конференции 2007 года («Роль информационных технологий в реформировании здравоохранения») было представлено более 200 научных докладов, презентаций и демонстраций новейших медицинских диагностических технологий. Пресс-релиз представлен в Ж. Клини. информ. и Телемед. 2008. в. 5. с. 3–5. Кроме этого, в течение года проводятся Специальные тематические Конференции и Симпозиумы.

21–22 мая 2009 г. в Одессе, в Доме Ученых в рамках 10-й Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» состоялся Сателлитный научно-практический Симпозиум с международным участием «Радиология 2009, медицинская информатика и телемедицина».

23–26 июня 2010 г. в Киеве был проведен I-й Национальный Съезд «Медицинская и биологическая информатика и кибернетика».

20–23 апреля 2011 в Киеве состоялась Конференция «Медицинская и биологическая информатика и кибернетика: Вехи развития» с международным участием, посвященная нескольким юбилейным событиям, связанным с медицинской информатикой: 50-летию развития медицинской информатики в Украине; 25-летию кафедры медицинской информатики НМАПО имени П. Л. Шупика; 15-летию кафедры клинической информатики и информационных технологий в управлении здравоохранением ХМАПО.

17–18 октября 2012 г. в Киеве проходила Международная конференция «Информатизация здравоохранения в Украине: перспективы развития». (Пресс-релиз представлен в Ж. Клини. информ. и Телемед. 2012. Т.8. в. 9.)

В 2013 г. проведено две международные конференции «Информационные технологии в кардиологии». 11–12 апреля в 2013 г. (Харьков) и «Информационные технологии в неврологии, психиатрии, эпилептологии и медицинской статистике». 17–18 октября в 2013 г. (Киев). В Конференции приняли участие известные специалисты из Украины, России, Европы.

Следует упомянуть также и о некоторых других научно-практических мероприятиях, проведенных в разные годы членами УАКМ:

- республиканская встреча-семинар «Введение автоматизированных систем управления в практику работы станций скорой помощи» (Харьков);

- научный семинар «Применение научных технологий в спирографическом исследовании легких» (Институт медицины труда АМН Украины, Киев);
- семинар по фармакоинформатике: «Применение современных информационных технологий в фармакологии и токсикологии» (Институт фармакологии и токсикологии АМН Украины, Институт кибернетики НАН Украины, Киев);
- конференция «Метагигиена – применение информационных технологий в медицине» (Украинский научный гигиенический центр МЗ Украины, Киев);
- симпозиумы «Применение информационных технологий в мониторинге врожденных дефектов» (Львов, Киев);
- симпозиум «Моделирование в микробиологии и иммунологии» (в рамках юбилейной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения И. И. Мечникова, Харьков);
- международные конференции «Математическое моделирование и компьютерные технологии в исследованиях сердечно-сосудистой системы» (Харьков);
- научная конференция «Медицинские разработки математических и инженерных наук» (Харьков);
- международная конференция «Создание единого медицинского информационного пространства в столице Украины городе Киеве» (Киев);
- симпозиум «Телемедицина: медицинское образование, наука, здравоохранение» (Киев);
- международная конференция «Варибельность сердечного ритма» (Харьков);
- международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в диагностических исследованиях» (Днепропетровск);
- международный симпозиум «Актуальные проблемы биомедицинской информатики, телемедицины и биомедицинской кибернетики» (Киев).

Начиная с 1995 г., специалисты Украины участвуют во Всемирных Конгрессах IMIA – Мединфо (Ванкувер, 1995; Сеул, 1998; Лондон, 2001; Сан-Франциско, 2004; Брисбен, Австралия, 2007; Кейптаун, 2010, Копенгаген, 2013).

УАКМ принимает участие в подготовке и проведении Европейских Конгрессов по медицинской информатике в составе Научного программного комитета (Копенгаген, 1996; Салоники, 1997; Любляна, 1999; Ганновер, 2000; Будапешт, 2002; Сент-Мало, 2003; Женева, 2005,; Маастрихт, 2006; Гётеборг, 2008; Сараево, 2009; Осло, 2011; Пиза, 2012).

Международное сотрудничество

Специалисты УАКМ установили научные и деловые контакты с Медицинским отделением Британского компьютерного общества (МОБКО). Состоялся обмен делегациями между УАКМ и МОБКО. Делегации УАКМ принимали участие в 3-х крупнейших европейских Конференциях и выставках МОБКО «Компьютеризация здравоохранения» (Харрогейт, Великобритания). В настоящее время специалисты – члены Ученого Совета УАКМ регулярно получают британский журнал «The British Journal of Healthcare Computing & Information Management» («Компьютеризация здравоохранения и информационный менеджмент»).

По приглашению Департамента коммерции Администрации международной торговли США делегация УАКМ приняла участие в Круглом столе «Бизнес в области медицинской промышленности в Украине» (Чикаго, США) с целью установления взаимовыгодных партнерских отношений со специалистами США в области информационных технологий.

Делегация УАКМ принимала участие в выставке медицинского оборудования в США (Нью-Йорк). Под эгидой Национального агентства по информатизации при Президенте Украины экспозиция информационных технологий членов УАКМ

была представлена на наибольшей европейской выставке в составе экспозиции Украины (Дюссельдорф, Германия).

Установлены двусторонние связи с Израильским Обществом медицинской информатики.

По приглашению турецкого научного Общества по Нейрокардиологии и Медицинского Факультета Эрзерумского университета им. Ататюрка специалисты УАКМ провели трехдневный семинар «Брейн-меппинг и нейрокардиология» для специалистов невропатологов, психиатров и клинических нейрофизиологов. В семинаре приняли участие сотрудники более чем 20 университетов и госпиталей со всех концов Турции.

В Цюрихском университете и Швейцарском Федеральном институте технологий Цюриха проведены семинары по новым информационным технологиям исследования нелинейных динамических систем мозга по ЭЭГ (исследования детерминистского хаоса).

Рабочие группы

Специалисты УАКМ работают в рабочих группах, которые аналогичны рабочим группам IMIA и EFMI.

Издательская деятельность

Украинская Ассоциация «Компьютерная Медицина» совместно с Институтом медицинской информатики и Телемедицины (Институт МИТ) с 2004 года начали издание специализированного междисциплинарного научно-практического журнала «Клиническая информатика и Телемедицина» (ISSN1812-7231) для врачей всех специальностей и создателей медицинских информационных технологий. В состав Редакционной комиссии вошли ведущие специалисты Украины, России, Республики Беларусь, Армении, Великобритании, Германии, Нидерландов, Румынии, Сербии, США, Швейцарии, Бельгии, Италии, Франции, Чехии, Швеции, Японии (подробная информация на Веб-портале: www.uacm.kharkov.ua). Журнал зарегистрирован ВАК Украины как специализированный профессиональный журнал по четырем направлениям — медицинские науки, фармацевтические науки, биология, информатика и приборостроение (Утверждено постановлением Президиума ВАК Украины от 10.02.10 № 1-05/1 (медицинские), 14.04.10 № 1-05/3 (фармацевтические), 26.05.10 № 1-05/4 (биологические, технические). С 2009 г. Журнал представлен в электронном виде для просмотра полных текстов статей на веб-порталах УАКМ (www.uacm.kharkov.ua) и Национальной библиотеки Украины им. В. И. Вернадского (http://www.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/kiit/index.html). С 2011 года журнал является официальным партнером Европейского журнала «The European Journal of Biomedical Informatics» (EJBI), ISSN 1801-5603. В соответствии с договором между журналами через 6 месяцев после опубликования работ в журналах они могут быть переведены и опубликованы журналом-партнером. С 2011 г. «Клиническая информатика и Телемедицина» цитируется и индексируется в международной наукометрической базе «Index Copernicus».

В научном журнале «Социальная гигиена и организация здравоохранения» (Киев) в 2000 году создан постоянно действующий раздел: «Информационные технологии в управлении здравоохранением».

В научном журнале «Проблемы последипломного образования» (Харьков) в 2000 году создан раздел: «Клиническая информатика и информационные технологии в управлении здравоохранением».

Изданы материалы:

- международной конференции «Информационные технологии в медицинской радиологии» (1994, Одесса—Измаил);
- международной конференции «Математическое моделирование и компьютерные технологии в исследованиях сердечно-сосудистой системы» (1996, 1997, Харьков);

- конференции «Математические и инженерные приспособления в медицинских науках» (1998, Харьков);
- ежегодной конференции «Медицинские разработки математических и инженерных наук» (1999, Харьков, J. of Fundamental Medicine, 1999. V2);
- международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии в диагностических исследованиях» (2002, Днепропетровск);
- научно-практической конференции с международным участием «Компьютерная Медицина 2004» (Вестник Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина. Серия «Медицина». Выпуск 8. № 617. с 59.);
- международного симпозиума «Актуальные проблемы биомедицинской информатики, телемедицины и биомедицинской кибернетики» (Киев, 2005);
- научно-практической Конференции с международным участием «Компьютерная Медицина 2007» «Роль информационных технологий в реформировании здравоохранения». («Ж. Клин. информ. и Телемед. 2008. Т4. В.5);
- сателлитного научно-практического Симпозиума с международным участием «Радиология -2009, медицинская информатика и телемедицина» («Ж. Клин. информ. и Телемед. 2009. Т5. В.6);
- I-го национального Съезда с международным участием «Медицинская и биологическая информатика и кибернетика», 23–26 июня 2010 г;
- Конференции с международным участием «Медицинская и биологическая информатика и кибернетика: Вехи развития» 20–23 апреля 2011 г;
- Международной конференции «Информатизация здравоохранения в Украине: Перспективы развития». 17–18 октября 2012 г., Киев (Ж. Клин. информ. и Телемед. 2012. Т.8. в. 9.);
- Международной конференции «Информационные технологии в кардиологии». 11-12 апреля в 2013 г., Харьков (Ж. Клин. информ. и Телемед. 2013. Т.9. в. 10.).

Медицинское образование

УАКМ принимает участие в аттестации специалистов высшей квалификации и присвоении ученых степеней в биологических и медицинских науках. Для Высшей аттестационной Комиссии (ВАК) Украины был разработан паспорт специальности «Биологическая и медицинская кибернетика и информатика» (14.00.24 и 14.00.25), который использовался до 1998 г. В 2006 г. восстановлена эта научная специальность (шифр:14.03.11).

По инициативе Совета УАКМ в 1995 г. в Харьковский медицинской Академии последипломного образования была создана кафедра «Компьютерные технологии в функциональной диагностике и управлении здравоохранением», которая в 1999 г. была переименована и ныне имеет название — кафедра «Клинической информатики и информационных технологий в управлении здравоохранением».

Президиум Ученого Совета Министерства здравоохранения Украины еще в 1999 г. поддержал предложение УАКМ о введении в номенклатуру медицинских специальностей новой медицинской специальности: «Медицинская информатика», однако, до настоящего времени это предложение не реализовано.

Результаты деятельности УАКМ находят применение в исследовательских институтах, областных, районных и городских больницах, региональных диагностических центрах, частных консультативных пунктах.

УАКМ оказывают поддержку Министерства здравоохранения, образования и науки Украины, Национальная Академия Медицинских наук и Национальная Академия наук Украины.

*Профессор О. Ю. Майоров
Первый вице-президент,
председатель Ученого Совета УАКМ*

К 100-летию со дня рождения Николая Михайловича Амосова



Николай Михайлович Амосов — образец гуманизма и высокой морали, выдающийся кардиохирург, исследователь, ученый, философ, писатель, общественный деятель, популяризатор науки и здорового образа жизни. Основатель украинской кардиохирургии и биокрибернетики. Автор новаторских методик познания фундаментальных основ развития общества, биологических систем, личности человека, медицины и здорового образа жизни, кардиоторакальной хирургии.

Автор многих популярных книг о здоровье. Человек, поставивший на себе «эксперимент по омоложению». Выдающийся исследователь с различными интересами, Н. М. Амосов одним из первых осознал необходимость союза медицины с точными науками и создал первый в стране отдел биокрибернетики. Пытаясь осмыслить весь свой жизненный опыт, он разработал не только модель сердца и внутренней сферы человека, но и модель личности, модель общества.

Всю жизнь Н. М. Амосов полагался на свой собственный опыт, как истинный ученый, подвергал любое утверждение сомнению. Только проверив то или иное положение экспериментальным путем, часто на своем собственном опыте, Николай Михайлович мог с уверенностью сказать: «Согласен, это так». Амосов всегда шел к истине своим путем, полагаясь на себя, оптимизм, обязанность врача и гражданина, любовь к людям. Посвятив свою деятельность медицине, выдающийся кардиохирург Николай Амосов предостерегал от чрезмерной веры в нее. Он критически относился к ее догмам, главная из которых — все больные, даже если этого пока не знают. Амосов учил, что здоровье нужно добывать самому с помощью ограничений и нагрузок.

Символ эпохи, легенда отечественной науки, известный философ, политик, прозаик, Николай Михайлович Амосов остался кумиром для сотен своих учеников, спасителем для тысяч пациентов и идеалом для сторонников его большой воли и таланта.

Имя Н. М. Амосова стало символом высоких человеческих качеств и разностороннего таланта.

Н. М. Амосов родился 6 декабря 1913 года в Вологодской губернии. В 1932 г. он окончил Череповецкий механический техникум, после чего 3 года работал сменным механиком на Архангельской электростанции. В 1934 году юноша поступил во Всесоюзный заочный индустриальный институт (ВЗИИ) в Москве. Наряду с увлечением техникой интересовался медициной, поэтому в 1935 году поступил в Архангельский государственный медицинский институт, который с отличием окончил в 1939 году. Способного выпускника приняли в аспирантуру по военно-полевой хирургии, но он оставил ее, уехав в Череповец, где стал работать ординатором хирургического отделения межрайонной больницы. В свободное время готовился к защите диплома в ВЗИИ, проектируя самолет с турбопаровым двигателем. ВЗИИ Амосов окончил в 1940 году тоже с отличием. В 1941 году он был призван в ряды Красной Армии. На протяжении всей Великой Отечественной войны служил ведущим хирургом в полевых подвижных госпиталях на Западном, Брянском, 1-м, 2-м и 3-м Белорусских фронтах, а также на 1-м Дальневосточном фронте (1945).

За время войны Н. М. Амосов собрал материал для кандидатской диссертации на тему: «О ранении коленного сустава», которую защитил в городе Горьком (ныне — Нижний Новгород)

в 1948 году. В 1947–1952 годах он работал главным хирургом Брянского областного отдела здравоохранения и одновременно заведовал хирургическим отделением областной больницы. Здесь, наряду с другими разделами хирургии, Н. М. Амосов целенаправленно и увлеченно занимался проблемами грудной хирургии, в то время еще мало разработанными в нашей стране. Он широко и успешно стал оперировать при хирургических и онкологических поражениях легких, пищевода, кардиального отдела желудка. Результаты его операций были тогда одними из лучших в Советском Союзе.

Николая Михайловича пригласили в Киевский институт туберкулеза и грудной хирургии имени Ф. Г. Янковского для руководства специально созданной клиникой торакальной (грудной) хирургии. Здесь с особой полнотой раскрылся его разносторонний талант хирурга и исследователя, физиолога и инженера, стала особенно плодотворной научная, организаторская, педагогическая и общественная деятельность.

В 1953 году он защитил докторскую диссертацию на тему: «Пневмонэктомия и резекции легких при туберкулезе». В 1955 году он впервые в Украине начал заниматься лечением пороков сердца. Вместе со своими сотрудниками он создал надежный, пригодный для широкого использования аппарат искусственного кровообращения «сердце–легкие» и внедрил его в практику одним из первых в СССР.

В 1955 году Н. М. Амосов создал и возглавил первую в Советском Союзе кафедру грудной хирургии для усовершенствования врачей, из которой позже выделилась кафедра анестезиологии.

В 1961 году Амосову была присуждена Ленинская премия, он был избран членом-корреспондентом АМН СССР.

Одним из основных направлений научно-практической деятельности Н. М. Амосова оказалось хирургическое лечение заболеваний сердца. В 1963 году Н. М. Амосов первым в Советском Союзе осуществил протезирование митрального клапана сердца, а в 1965 году создал и впервые в мире внедрил в практику антитромботические протезы сердечных клапанов.

В 1960 году, будучи уже известным хирургом, Николай Михайлович основал и возглавил отдел биологической кибернетики в Институте кибернетики Академии наук УССР. Под его руководством проведены фундаментальные исследования систем саморегуляции сердца, осуществлена разработка и построение физиологической модели «внутренней среды организма» человека, моделирование на ЭВМ основных психических функций и социально-психологических механизмов поведения человека. Будущее медицины ученый связывал с достижениями смежных наук – биологии, физики, химии, кибернетики. Последняя, по его убеждению, должна поставить медицину в ряд самых точных наук. Главную задачу медицины будущего Амосов видел в нахождении путей искусственного регулирования организма, в приведении его в соответствие с заданной программой. Мечтой ученого было создание искусственного разума. За исследования в области биокрибернетики в 1978 году Николай Михайлович был удостоен Государственной премии УССР.

С первых дней создания в 1992 году Украинской Ассоциации «Компьютерная Медицина» Николай Михайлович поддерживал инициативы УАКМ, хорошо понимая значение объединения специалистов разных специальностей – медиков, математиков, инженеров, для создания и внедрения медицинских диагностических технологий и информационных систем в медицинскую науку и практику.

В 1983 году клиника сердечно-сосудистой хирургии Киевского НИИ туберкулеза и грудной хирургии была реорганизована в Киевский НИИ сердечно-сосудистой хирургии МЗ УССР. Н. М. Амосов с 1968 года занимал должность заместителя директора, затем стал директором новообразованного института и работал на этой должности до 1989 года.

Хирург и ученый Н. М. Амосов раскрылся в свое время как талантливый писатель, опубликовав в 1964 г. свою первую повесть «Мысли и сердце». Критики повсеместно высоко оценили книгу, ее художественную ценность, лаконичный стиль, достоверность, высокий интеллектуальный уровень произведения, ярко выраженную гражданскую позицию автора. Книга была переведена на разные языки и издана в 28 странах мира. За ней последовал ряд других литературных произведений: «Записки из будущего», «ППГ – 2266», «Книга о счастье и несчастье» и другие, которые неоднократно издавались у нас в стране и за рубежом. В 1974 году Н. Н. Амосова приняли в Союз советских писателей.

В многогранной деятельности Николая Михайловича большое место отводилось общественной работе. Он был депутатом Верховного Совета СССР пяти созывов. К своим обязанностям народного депутата он относился с большой ответственностью и переживал за свои ограниченные возможности для помощи избирателям.

Говоря о Николае Михайловиче необходимо коснуться еще одной составляющей его разнообразной деятельности. Речь идет о публицистике. Здесь он проявил выдающиеся способности, смелость, трезвую оценку ситуации в СССР и в вопросах преодоления негативных явлений, которых было немало. Многие его выступления выходили за границы возможной в то время откровенной критики общества и пользовались большим успехом. Он был замечательным лектором и собирал большие аудитории.

Академик Н. М. Амосов – создатель школы кардиохирургов в Украине. Под его руководством защищено 35 докторских и 85 кандидатских диссертаций. Он автор около 400 научных работ, в том числе 20 монографий, по вопросам заболеваний сердца и сосудов, гнойных заболеваний и туберкулеза легких, проблем биологической, медицинской и психологической кибернетики.

Николай Михайлович умер 12 декабря 2002 на 90 году жизни, менее года не дожив до своего юбилея. Постановлением Кабинета Министров Украины Институту сердечно-сосудистой хирургии Национальной Академии медицинских наук Украины присвоено имя академика Николая Михайловича Амосова. Его именем названа улица, на которой находится Институт, установлены мемориальные доски на домах, где он работал и жил. В 2000 году он вошел в первую десятку личностей, определивших облик страны в XX веке, а в 2008 году соотечественники поставили его на второе место среди 100 великих украинцев. 2013 год объявлен годом Н. М. Амосова в области медицины.

Главное – это светлая память об академике Н. М. Амосове, которая навсегда останется в сердцах его учеников, сотрудников, многих тысяч спасенных им больных, всем, кто имел счастье встречаться с этим выдающимся человеком.

*Директор Национального Института сердечно-сосудистой хирургии им. Н. М. Амосова НАМН Украины
Герой Украины, академик НАН и НАМН Украины,
д.мед.н., профессор Г. В. Кнышов
Профессор О. Ю. Майоров
Первый вице-президент,
председатель Ученого Совета УАКМ*

К 70-летию Романа Марковича Баевского

3 августа 2013 года исполнилось 85 лет Роману Марковичу Баевскому, главному научному сотруднику ГНЦ РФ-ИМБП РАН, доктору медицинских наук, заслуженному деятелю науки РФ.

Свыше 50 лет Роман Маркович работает в области космической медицины. В 1959 году молодой капитан медицинской службы был назначен младшим научным сотрудником в Институт Космической Медицины и начал свою деятельность с подготовки научной аппаратуры для исследования животных в полете на 3-м искусственном спутнике Земли. До этого, с 1953 г., после окончания Военно-медицинского факультета при Саратовском медицинском институте, молодой военный врач работал в авиационных частях на Дальнем Востоке на острове Сахалин. Там он создал новый прибор — портативный баллистокардиограф для исследования летчиков непосредственно на аэродроме до и после полетов. Именно метод баллистокардиографии явился связующим звеном между молодым военным врачом и академиком Василием Васильевичем Париним — основоположником баллистокардиографии в Советском Союзе. Интерес к баллистокардиографии и к развитию новых методов исследования системы кровообращения положил начало многолетней дружбе между академиком и молодым военным врачом. Василий Васильевич взял шефство над кандидатской диссертацией Р. М. Баевского и затем, как один из руководителей исследований по космической медицине, порекомендовал использовать его научно-технический потенциал для развития новых методических подходов в космических исследованиях.

С самых первых шагов в новой для себя области — в космической медицине, Роман Маркович проявил творческий подход к решению исследовательских задач. Уже в 1960 году в полете собак Чернушка и Звездочка впервые была зарегистрирована сейсмокардиограмма животных, положив начало новому методу сейсмокардиографии, разновидности баллистокардиографии. При подготовке полетов Юрия Гагарина и Германа Титова, Р. М. Баевским были предложены новые методики регистрации электрокардиограммы в отведениях МХ и ДС, обеспечивающие получение надежной информации в условиях перегрузок и невесомости. В полетах кораблей «Восток-3, 4, 5, 6» были впервые в космосе использованы методы электроэнцефалографии, электроокулографии и регистрации кожно-гальванического потенциала. Р. М. Баевским также впервые в космосе были проведены исследования координации движений при письме и ручная динамография у экипажа корабля «Восход-1».



Р. М. Баевский стоял у истоков космической телемедицины, организовав в начале 60-х годов первый центр приема медицинской телеметрической информации.

Докторская диссертация Р. М. Баевского была посвящена разработке физиологических методов для использования на борту космических объектов. В 1965 году вышла монография Р. М. Баевского «Физиологические методы в космонавтике».

С марта 1964 г. и по настоящее время Р. М. Баевский работает в Институте медико-биологических проблем. Организованная им лаборатория медицинской кибернетики активно развивает новый метод математического анализа сердечного ритма, впервые использованный Р. М. Баевским во время полетов кораблей «Восток» и «Восход». Первая экспериментальная работа, выполненная лабораторией медицинской кибернетики в 1964 г., была связана с пересадками сердца у собак, проводимыми в то время впервые в мире В. И. Демиховым. При записи ЭКГ одновременно двух сердец (собственного и пересаженного) были установлены новые важные закономерности. Было экспериментально обосновано наличие двухконтурного управления сердечным ритмом: автономного контура нервной регуляции через парасимпатическую систему и центрального контура нейрогуморальной регуляции через симпатический отдел вегетативной нервной системы.

В последующие годы математический анализ сердечного ритма или, как его теперь называют, анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) стал все шире применяться в наземных и космических экспериментах. В 1966 г. в Москве под руководством академика В. В. Парина и доктора медицинских наук Р. М. Баевского была организована первая конференция по математическому анализу сердечного ритма. В 1967 г. на 18-м конгрессе Международной астронавтической федерации состоялся доклад «Ритм сердечных сокращений как индикатор состояния нейроэндокринной регуляции организма в условиях космического полета», в котором новому методу придавалось ведущее значение в изучении процессов адаптации человека к условиям длительной невесомости. В 1967 г. вышла монография В. В. Парина, Р. М. Баевского, Ю. Н. Волкова и О. Г. Газенко «Космическая кардиология». В этой книге был обобщен широкий круг проблем, связанных с влиянием факторов космического полета на систему кровообращения. Большое внимание уделялось развитию методов космической кардиологии, в том числе изучению регуляции сердечно-сосудистой системы и сократительной функции сердца. Была обоснована концепция о сердечно-сосудистой системе как

индикаторе адаптационных реакций всего организма. Именно эти проблемы определили научную тематику лаборатории на все последующие годы.

Лаборатория несколько раз меняла свое название. Она была лабораторией автоматизации научных исследований в космосе, лабораторией прогнозирования реакций системы кровообращения, а в последние годы получила название — лаборатория исследования вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы при действии факторов космического полета.

Важное значение придавалось исследованиям в условиях реального космического полета. Под руководством профессора Р. М. Баевского на орбитальных станциях «Салют» и «Мир» впервые в мире были проведены 24-х часовые записи электрокардиограммы (Холтеровское мониторирование) и выполнено несколько серий баллистокардиографических исследований.

В начале 90-х годов Р. М. Баевский явился организатором и участником ряда комплексных исследований адаптации сердечно-сосудистой системы к условиям длительной невесомости и кардиологических проектов в рамках научного сотрудничества с Австрией, США, Францией и Германией. Начиная с 2000-х годов под его руководством осуществляются исследования вегетативной регуляции сердечно-сосудистой и дыхательной систем на Международной космической станции.

С 2007 по 2012 гг. у всех Российских членов экипажей ежемесячно проводились эксперименты «Пневмокард» и «Сонокард».

Профессор Р. М. Баевский является научным руководителем планируемых на 2014–2018 гг. космических экспериментов «Кардиовектор» и «Космокард», в подготовке которых он активно участвует в настоящее время.

Большое внимание Роман Маркович уделяет вопросам внедрения достижений космической медицины в практику здравоохранения и прикладную физиологию. Еще в 80-е годы под его руководством была разработана автоматизированная лаборатория «Автосан-82» для массовых прогностических исследований населения, которая была оснащена приборами для медицинского контроля, аналогичными использовавшимся в то время на орбитальной станции «Салют». В последующие годы, при его непосредственном участии, при Московском Областном Научно-исследовательском Клиническом Институте была организована лаборатория массовых обследований населения, по результатам работы которой в 1989 г. Минздрав СССР рекомендовал включить в систему всеобщей диспансеризации населения метод донозологической диагностики, который позволяет оценить функциональное состояние на грани нормы и патологии. Донозологический подход к оценке здоровья был разработан и экспериментально обоснован Р. М. Баевским при участии академика В. П. Казначеева

и А. П. Берсеновой (1978–2008). В 2007 году Р. М. Баевским совместно с академиком А. И. Григорьевым в монографии «Концепция здоровья и космическая медицина» был обобщен опыт многолетних исследований функционального состояния организма в условиях космического полета и при массовых профилактических осмотрах, что привело к развитию новой концепции здоровья, основанной на принципах донозологической диагностики.

Одним из центральных методов в донозологических исследованиях является анализ ВСП. Р. М. Баевскому принадлежит весомый вклад в развитии методологии анализа ВСП. Под его руководством был создан первый отечественный прибор для анализа ВСП — «Варикард» (1998). Он был руководителем авторского коллектива, разработавшего Российские методические рекомендации по анализу ВСП (2001). Р. М. Баевским совместно с А. Г. Черниковой разработана новая концепция оценки функциональных состояний организма по данным анализа ВСП с использованием донозологического подхода.

Р. М. Баевский подготовил свыше 20 кандидатов наук и является научным консультантом 6 докторских диссертаций. Им опубликовано более 500 научных работ, в том числе 18 монографий. Оформлено 14 патентов с его участием. Р. М. Баевский активно выступал с докладами на многочисленных российских и зарубежных конференциях, симпозиумах и конгрессах.

Профессор Р. М. Баевский является действительным членом Международной академии астронавтики и Международной академии информатизации, Почетным членом Украинской Ассоциации «Компьютерная Медицина». Роман Маркович — член редколлегии журналов «Клиническая информатика и Телемедицина», «Функциональная диагностика», «Дононология» и «Cardiometry».

За участие в космических исследованиях на кораблях «Восток» и на орбитальной станции «МИР» Р. М. Баевский был награжден орденами Красной Звезды и Знак Почета. За проведение научных исследований на Международной космической Станции награжден рядом медалей Российской федерации космонавтики, в том числе медалью им. Ю. А. Гагарина.

Редколлегия журнала «Клиническая информатика и Телемедицина», Ученый Совет Украинской Ассоциации «Компьютерная Медицина» желает Роману Марковичу Баевскому здоровья, благополучия и новых успехов в научной работе.

*член-корр. Российской АН О. И. Орлов
д.м.н., проф. Г. Г. Иванов
д.м.н., проф. О. Ю. Майоров*

К 70-летию Евгения Антоновича Юматова

26 августа 2013 г. исполнилось 70 лет доктору медицинских наук, профессору Евгению Антоновичу Юматову.

Е. А. Юматов выпускник 1 ММИ им. И. М. Сеченова 1966 года. Вся его жизнь связана с этим учебным заведением: 1966–1969 гг. — аспирант, 1969–1972 гг. — ассистент, 1972–1990 гг. — доцент, с 1990 г. по настоящее время — профессор кафедры нормальной физиологии.

По рекомендации академика П. К. Анохина, Е. А. Юматов, будучи студентом 1-го ММИ им. И. М. Сеченова, поступил на вечернее отделение физфака МГУ им. М. В. Ломоносова и получил дополнительное физико-математическое образование.

По окончании аспирантуры, Е. А. Юматов впервые подготовил и вёл курс медицинской биофизики на кафедре нормальной физиологии. В течение многих лет на этой кафедре Е. А. Юматов читает лекции по нормальной физиологии и ведет практические занятия. Наряду с этим, Евгений Антонович создал электив «Социальная психофизиология», ориентированный на повышение социальной культуры, нравственности и духовности студентов.

Е. А. Юматов внёс большой творческий вклад в развитие теории функциональных систем и её внедрение в практику медицинского образования. Опираясь на теорию функциональных систем, Е. А. Юматов осуществил комплексное внедрение новой прогрессивной методологии преподавания физиологии человека. Эта работа нашла своё отражение в его публикациях — учебниках, руководствах, курсах лекций, учебных пособиях, в реорганизации учебного плана, разработке новых учебных программ по нормальной физиологии.

Научная деятельность профессора Е. А. Юматова многогранна. По окончании аспирантуры в 1972 г. он, под руководством академика П. К. Анохина и профессора В. А. Шидловского, защитил кандидатскую диссертацию по физиологии дыхания, раскрыл фундаментальный принцип мультипараметрического регулирования.

Широкую известность приобрели работы Е. А. Юматова в области изучения устойчивости к эмоциональному стрессу. Результатом экспериментальных исследований стало раскрытие фундаментальных физиологических закономерностей устойчивости к эмоциональному стрессу. По материалам исследований эмоционального стресса в 1987 г. Е. А. Юматов защитил докторскую диссертацию «Нейрохимические механизмы устойчивости к эмоциональному стрессу», которая была признана на конкурсе ММА им. И. М. Сеченова лучшей докторской диссертацией.

Профессор Е. А. Юматов стал инициатором и разработчиком новых научных программ по системному исследованию механизмов устойчивости к эмоциональному стрессу, руководителем комплексных международных исследований и научных грантов.

Учёный совет неоднократно высоко оценивал научно-педагогические достижения Е. А. Юматова. В составе авторского коллектива в 1990, 1991, 1996 гг. он выдвигался на соискание Государственной премии СССР, Премии Правительства РФ за разработку фундаментальных и прикладных основ устойчивости к эмоциональному стрессу.

В научно-практической сфере для решения актуальной проблемы — своевременного оказания медицинской помощи, на основе теории функциональных систем им создано новое направление «Информационная медицина». Е. А. Юматов разработал и запатентовал целый ряд уникальных микропроцессорных электронных приборов («Стражи здоровья»), предназначенных для охраны жизни и здоровья людей в повседневных условиях.

Профессор Е. А. Юматов проводит исследования в области фундаментальной проблемы нейробиологии — природы психической деятельности мозга человека. На основе его оригинальных исследований выдвинуты и опубликованы концептуальные представления о происхождении субъективной деятельности мозга.

Е. А. Юматов — соавтор 5 учебников и 14 монографий (из них одна — персональная), ряда методических пособий, автор более 260 научных работ, опубликованных в отечественных и зарубежных журналах; участник международных съездов, конгрессов и симпозиумов, имеет целый ряд патентов и авторских свидетельств на изобретения. Под его руководством выполнены и защищены шесть кандидатских диссертаций.

На протяжении многих лет Е. А. Юматов вёл большую общественную работу: был зам. научного руководителя СНО, зам. декана 1-го лечебного факультета, председателем комиссии по контролю деятельности администрации в области научно-педагогических кадров, генеральным директором Российского международного центра профилактики стресса. Профессор Е. А. Юматов является членом президиума Российского отделения Международной академии наук, членом экспертных советов, членом редколлегий научных журналов, в том числе Журнала «Клиническая информатика и Телемедицина», членом Учёных и Специализированных диссертационных советов.



Е. А. Юматов — действительный член Международной академии наук (1993), Академии проблем сохранения жизни (1996), член-корреспондент Академии наук технологической кибернетики Украины (1998), член Международной ассоциации профилактики стресса (ISMA). Награжден медалями ВДНХ СССР, золотым Павловским знаком Международной академии наук, медалью П. К. Анохина, медалью «В память 850-летия Москвы», почетными грамотами, нагрудным знаком «Отличник здравоохранения».

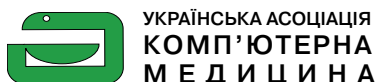
Украинская ассоциация «Компьютерная Медицина» и редакционная коллегия журнала «Клиническая информатика и Телемедицина» искренне поздравляют Евгения Антоновича Юматова с юбилеем, желают ему крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

*Профессор О. Ю. Майоров
Первый вице-президент,
председатель Ученого Совета УАКМ*

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В КАРДИОЛОГИИ

11–12 апреля 2013, Харьков, Украина

ОРГАНИЗАТОРЫ:

УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ
КОМП'ЮТЕРНА
МЕДИЦИНА

УКРМЕДПАТЕНТІНФОРМ

ПАРТНЕРИ:



КЛИНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА И ТЕЛЕМЕДИЦИНА

Media.med

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**Захист персональних даних
в медичних інформаційних системах
методом знеособлення****Ю. В. Антонова-Рафі, С. М. Мамаєва**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

Міжуніверситетський медико-інженерний факультет

Анотація. Розглядається метод знеособлення персональних даних в інформаційних системах та реалізація оптимального алгоритму для роботи з великими масивами даних в медичних інформаційних системах.

Вступ. Введення в дію Закону України «Про захист персональних даних» зумовило розробку різних методів, пов'язаних з виконанням вимог щодо захисту персональних даних та скороченням витрат на їх забезпечення.

Одним з найбільш ефективних методів захисту персональних даних являється їх знеособлення, оскільки воно дозволяє знизити вимоги щодо рівня захищеності даних і, відповідно, скоротити витрати на захист. Тому процедури знеособлення досить широко застосовуються на практиці.

Наразі, серед існуючих, можна виділити, наступні методи знеособлення персональних даних:

- зменшення переліку відомостей, що оброблюються;
- заміна чисельних значень узагальненими мінімальними, середніми, або максимальними значеннями;
- зниження точності деяких відомостей;
- заміна частини відомостей ідентифікаторами;
- розподіл даних на частини і обробка в різних інформаційних системах тощо.

Більшість з перерахованих методів не гарантують ефективність отримання персональної інформації шляхом врахування контексту

обробки даних, і використання даних, розміщених в інших системах, яку можливо пов'язати зі знеособленими, так як ці методи, зберігають зв'язок між різними даними, що відносяться до одного і того ж об'єкту.

Однак, удосконалити цей зв'язок можливо, здійснивши перемішування даних, що відносяться до різних об'єктів. Наступні переваги роблять метод перемішування даних досить перспективним підходом до знеособлення:

- знаходження даних в одному сховищі;
- підвищення ефективності алгоритму реалізації знеособлення і зворотного формування персональних даних;
- застосування креативності і мобільності даних;
- неможливість проведення процедури де-знеособлення шляхом використання додаткових відомостей з інших джерел.

В наслідок проведеного дослідження, аналізу та синтезу вдалося досягти наступних результатів.

1. Аналіз методів обробки та захисту персональних даних у медичних інформаційних системах показав — знеособлення методом перемішування є одним з ефективних і перспективних підходів до захисту персональних даних, що забезпечує неможливість проведення процедури де-знеособлення і відновлення даних про конкретну людину.

2. Розроблено інноваційну математичну модель алгоритму знеособлення персональних даних, заснованого на перемішуванні даних з застосуванням перестановок. Перевагою даного алгоритму є мінімальний обсяг параметрів, необхідних для проведення процедури знеособлення та зворотного формування персональних даних, що робить його ефективним для застосування при роботі з великими масивами даних та зворотного формування персональних даних;

Висновки. Розроблена процедура (технологія та алгоритм) знеособлення, заснована на перемішуванні даних, дозволяє оперувати масивами з великими обсягами даних в медичних інформаційних системах, при простому заданні параметрів та значною кількістю можливих варіантів, що забезпечує високу захищеність від проведення процедури де-знеособлення.

Экспресс-анализ и мониторинг уровня физического здоровья как основа первичной индивидуальной профилактики ИБС

Г. Л. Апанасенко

Национальная медицинская академия последипломного образования им. П. Л. Шупика, Киев, Украина

Существуют две стратегии первичной профилактики ишемической болезни сердца (ИБС) — популяционная и групповая. Стратегия первичной индивидуальной профилактики отсутствует и на Западе, и у нас. Популяционная и групповая стратегии профилактики ИБС на постсоветском пространстве не эффективны. Даже в одном из районов Москвы, где профилактические мероприятия проводили в точном соответствии с рекомендациями ВОЗ, показатели смертности от ИБС постоянно росли (И. А. Гундаров и др., 2012). Необходима новая стратегия первичной профилактики — индивидуальная. Но для её обоснования потребовалось разработать маркеры, определяющие положения индивида в системе координат «здоровье–болезнь». В качестве подобного маркера была использована степень жизнеспособности, иными словами — уровень («количество») физического здоровья. 50-летний опыт работы в области экстремальной медицины (гипоксия, массивная кровопотеря и пр.) позволил нам выделить две системные реакции, сопровождающих повышение устойчивости организма к внешним воздействиям — расширение резервов физиологических функций и экономизация функций в покое и при дозированных воздействиях. С учётом этих реакций была разработана экспресс-система оценки уровня соматического здоровья, основанная на использовании простейших клинико-физиологических показателей доступных для среднего медперсонала, и шкала «позитивного здоровья». Расчёт уровня здоровья проводится дистанционно на специальном сервере. Выделяется 5 уровней соматического здоровья.

Применение этой системы в многотысячных обследованиях практически здоровых людей с одновременной регистрацией факторов риска ИБС и клинической велоэргометрией позволили обнаружить ряд новых закономерностей: чем выше уровень здоровья, тем меньше возможность развития эндогенных факторов риска ИБС и манифестации болезни; каждому уровню здоровья соответствует своя частота сердечных сокращений на пороге толерантности (т. е. по сути, замещается велоэргометрия); существует «безопасный» уровень физического здоровья, выше которого не определяются ни эндогенные факторы риска, ни манифестация ИБС; при возвращении индивида в «безопасную» зону здоровья (азробная физическая тренировка, гипоксическая тренировка и др. — «превентивная реабилитация») эндогенные факторы риска ИБС претерпевают обратное развитие.

Таким образом, «безопасный» уровень здоровья, определяемый по экспресс-системе, является научно обоснованным критерием первичной индивидуальной профилактики ИБС. Он соответствует максимальному потреблению кислорода 40 мл/кг/мин для мужчин и 33 мл/кг/мин для женщин (уровни здоровья «высокий» и «выше среднего»). В то же время у мужчин, не предъявляющих жалобы на здоровье, но отнесённых к уровню здоровья «низкий» и «ниже среднего», при велоэргометрии с одновременной электрокардиографией зарегистрированы признаки латентной формы ИБС (в 38 и 32% соответственно). Полагаем перспективным рассмотрение утверждения о том, что существует единый фактор риска развития ИБС — «митохондриальная недостаточность», отражением которой на организменном уровне является снижение максимальных возможностей аэробного энергообразования ниже эволюционно обусловленных пределов. Все остальные эндогенные факторы риска — следствие этого. В этом же причина эпидемии хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ), охватившей мир во второй половине XX века.

Сейчас в украинской популяции лишь 1% населения находится в «безопасной зоне» соматического здоровья, 20 лет назад было 8%.

Скрининговая система оценки уровня здоровья, разработанная нами, на два порядка дешевле той, которая применяется в центрах профилактики МЗ РФ, и малотрудоёмка (5–6 чел. в час).

Синтез фазовых портретов многоканальных ЭКГ как яркостных изображений в информационных базисах сингулярных векторов

А. М. Ахметшин, К. А. Ахметшин

Днепропетровский национальный университет, Украина

Традиционный топологический анализ одноканальных ЭКГ базируется на синтезе фазовых портретов в системе координат $\{x(t) \div x'(t)\}$, или на использовании вариантов теоремы Такенса с синтезом двумерного фазового портрета в системе координат $\{x(t) \div x(t+m)\}$, где m — параметр характеризующий глубину вложения временного ряда $x(t)$. Оставляя в стороне достоинства и недостатки обоих подходов отметим лишь, что фазовые портреты представляют собой интерполированные бинарные графики, что не позволяет установить общее количество динамических точек соответствующих одной и той же точке (окрестности) фазового пространства.

Помимо этого, при анализе многоканальных ЭКГ необходим синтез обобщенных фазовых портретов, отображающих все особенности анализируемого ансамбля как единого целого в полном яркостном диапазоне, а не только его бинаризованного аналога.

Суть предлагаемой информационной технологии анализа многоканальных ЭКГ включает в себя следующие этапы.

1. Проводится сингулярное разложение исходной сигнальной матрицы многоканальной ЭКГ $X(M \times N)$, где M — число отсчетов в отдельно взятом измерительном канале; N — общее число измерительных каналов

$$X = USV^T, \quad (1)$$

где S — диагональная матрица сингулярных чисел, характеризующая ранг матрицы X , причем $S_1 \geq S_2 \geq \dots \geq S_N$, причем $\sum_{i=1}^N S_i = 100\%$. Если, например, $(S_1 + S_2) \geq 95\%$, то в качестве нового информационного базиса следует выбирать сингулярные вектора U_1 и U_2 (следует отметить, что при проведении экспериментальных исследований ранг 15-ти канальной матрицы X никогда не превышал четырех).

2. На основании $U_1(t)$ и $U_2(t)$ синтезируется полномасштабное яркостное изображение $I(x, y)$, а не его бинарный оригинал.

По сравнению с бинарным фазовым портретом, предлагаемый подход основанный на использовании яркостных фазовых портретов, характеризуется следующими преимуществами:

- позволяет визуально идентифицировать область максимальной концентрации отсчетов ЭКГ в заданной области фазового пространства;
- открывается возможность использования псевдоцветового кодирования результирующего фазового портрета в целях облегчения и повышения достоверности результатов анализа;
- открывается возможность использования как математического аппарата цифровой обработки изображений, так и основных идей повышения качества и фильтрации результирующего изображения;
- вопрос фильтрации полно яркостных фазовых портретов имеет особое значение, поскольку из-за отсутствия интерполяции подобных изображений в них всегда присутствуют отдельные точки (фактически — функции), что предопределяет необходимость особой осторожности при фильтрации подобных изображений;
- такой подход позволяет использовать ряда интегральных преобразований, позволяющих выделять дополнительный ряд информативных признаков в целях повышения надежности процедуры идентификации типа кардиологического заболевания.

К таковым интегральным преобразованиям относятся.

а) Энергетический спектр двумерного преобразование Фурье

$$|I(\omega_x, \omega_y)|^2 = \left| \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) \exp\{-j(\omega_x x + \omega_y y)\} dx dy \right|^2. \quad (2)$$

б) Автокорреляционная функция (АКФ) изображения яркостного изображения фазового портрета

$$r(u, v) = \frac{\sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^N I(x, y) I(u+x, v+y)}{\sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^N I^2(x, y)}. \quad (3)$$

Как показывает опыт, анализ автокорреляционной функции $r(u, v)$ зачастую является более предпочтительным по сравнению с анализом энергетического спектра Фурье $|I(\omega_x, \omega_y)|^2$, поскольку при анализе АКФ влияние отдельно расположенных точек в изображении фазового портрета $I(x, y)$ нивелируется.

в) В качестве варианта перехода к новому информационному базису возможно использование преобразования Радона исходного анализируемого изображения фазового портрета $I(x, y)$, базирующееся на вычислении проекций изображения вдоль определенных направлений (углов). Проекция функции $I(x, y)$ на ось x' представляет собой линейный интеграл

$$R_\theta(x') = \int_{-\infty}^{\infty} I(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy', \quad (4)$$

где оси x' и y' задаются поворотом на угол θ против часовой стрелки

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (5)$$

Исходное полутоновое изображение рассматривается как двумерная функция. Таким образом, использование преобразования Радона обеспечивает переход к новому информационному базису, где ось « x » соответствует числу углов проецирования исходного изображения, а ось « y » — соответствует яркостным значениям проекций $R_\theta(x')$. С физической точки зрения, использования преобразования Радона позволяет «накопить» значения визуально неразличимых участков, в целях облегчения (упрощения) процедуры их последующей идентификации. В каком то смысле, эта операция близка к процедуре «усреднения», используемой в области цифровой обработки сигналов для выделения сигналов неизвестной формы на фоне аддитивных измерительных шумов в условиях, когда отношение сигнал/шум намного меньше единицы.

С практической точки зрения важен тот факт, что имеется как прямое, так и обратное преобразование Радона, что, с практической точки зрения, означает $I(x, y) \equiv R_\theta(x')$. Последнее обозначает, что можно анализировать либо $I(x, y)$, либо $R_\theta(x')$ и все определяется или силой привычки, либо общепринятыми традициями анализа г) Предлагаемый подход позволяет использовать математический аппарат двумерного вейвлет анализа, при котором исходный яркостный фазовый портрет разлагается на двумерную масштабирующую функцию $\phi(x, y)$ и три «направленные» вейвлет функции $\Psi^H(x, y)$, $\Psi^V(x, y)$ и $\Psi^D(x, y)$. Таким образом, одному исходному изображению $I(x, y)$ можно сопоставить четыре новых, причем $\phi(x, y)$ будет представлять собой вдвое уменьшенную копию изображения $I(x, y)$.

В докладе представлены результаты многочисленных экспериментальных исследований предложенных алгоритмов обработки и анализа многоканальных ЭКГ как яркостных изображений синтезированных на основе использования векторов сингулярного разложения.

Особенности структуры взаимосвязей показателей гемостаза и сердечно-сосудистой системы пациентов с кардиоэмболическими инсультами

В. В. Бокатуева

Центральная клиническая больница Укрзалізниці, Харків

Одной из ведущих проблем современной медицины являются сосудистые заболевания головного мозга, особенно наиболее

выраженные их формы — инсульты. В последние годы на стыке кардиологии и неврологии появилась новая междисциплинарная область исследований — кардионеврология, что обусловлено значительной ролью кардиогенного фактора в генезе инсульта (Симоненко В. Б., Широков Е. А., 2001, 2008; Фоякин А. В., 2006; Суслина З. А., 2008). Многие исследователи отмечают, патология сердца играет значительную роль в возникновении инсульта, особенно инфаркта мозга (ИМ). Среди более чем тридцати заболеваний сердца, способных вызвать ИМ, особо выделяют фибрилляцию предсердий (ФП). По данным разных авторов ее удельный вес при ИМ колеблется от 15 до 75%, а при сочетании с другими факторами риска — достигает 86%. По мнению ряда исследователей у каждого третьего больного с ФП возникает ИМ. Длительное время считалось, что ведущим фактором риска ИМ является постоянная ФП, однако в последние годы убедительно доказано, что лидирующую позицию занимает не постоянная, а пароксизмальная форма ФП. При этом виде аритмии после восстановления синусового ритма и возобновления сокращения ушка левого желудочка создаются условия для отрыва формирующейся там тромботической массы и поступления ее в ток крови. Установлено, что пароксизмальная форма ФП в более чем в 65% случаев была единственной причиной кардиоэмболического инсульта (КЭИ).

Поскольку КЭИ является следствием патологии сердца и сосудов, а также нарушения гемостаза, представляет значительный интерес исследование взаимосвязей показателей, характеризующих состояние сердечно-сосудистой системы (ССС) и гемостаза у пациентов с кардиоэмболическим инсультом, сопровождающимся разной степенью неврологического дефицита.

Целью данной работы является выявление различий в структуре связей между показателями, характеризующими гемостаз и ССС, пациентов с разным исходом КЭИ.

Материалы и методы. Под нашим наблюдением находилась группа из 50 пациентов (25 выживших и 25 умерших) с КЭИ, проходивших лечение в нейрососудистом отделении Центральной клинической больницы Укрзалізниці. Для проведения оценки особенностей состояния пациентов были использованы результаты общеклинических, лабораторных и инструментальных методов исследования. С помощью шкал была проведена оценка степени нарушения сознания при поступлении в стационар, риска возникновения инсульта (РВИ) у пациентов с ФП (шкала CHADS2-VASc), тяжести неврологической симптоматики в остром периоде КЭИ (шкала NIHSS), степени нарушения двигательных функций по пятибалльной шкале. Для оценки патогенетической цепочки расстройств микроциркуляторного гемостаза у всех пациентов определяли количество тромбоцитов, протромбиновый комплекс, концентрацию фибриногена, содержание растворимого фибрина (РФМК). Для верификации очага поражения производилась спиральная компьютерная томография головного мозга. Для выявления полиорганной недостаточности (ишемическая болезнь сердца, сахарный диабет, хронические obstructивные заболевания легких, хронические болезни почек, желчнокаменная болезнь, острое желудочно-кишечное кровотечение, тромбоэмболия легочной артерии и др.) были использованы данные анамнеза и консультаций смежных специалистов (кардиолог, терапевт, хирург). С использованием эхокардиографии всем пациентам определяли фракцию выброса (ФВ), оценка которой позволила определить вариант хронической сердечной недостаточности (с систолической дисфункцией левого желудочка (ЛЖ) или с сохраненной систолической функцией ЛЖ).

Для оценки структуры взаимосвязей между исследованными показателями был использован факторный анализ.

Результаты и их обсуждение. Предварительная оценка структуры исследованных данных позволила выделить набор показателей, характеризующий состояние ССС (частота сердечных сокращений (ЧСС), фракция выброса (ФВ), гемостаза (РФМК), уровень неврологического дефицита (УНД), возраст пациентов (ВП) и степень риска возникновения инсульта (РВИ).

Факторний аналіз був проведений окремо для груп виживших і умерших пацієнтів (табл. 1). В обох випадках були отримані по два фактори, так що факторні структури пластичні. Сумарний вклад факторів в загальну дисперсію в обох групах схожий і становить 59% в групі виживших і 61% в групі умерших. На випадкову складову приходить 41% і 39% відповідно, що свідчить про наявність неусталених факторів, які впливають на досліджувані показники. В табл. 1 виділені значимі зв'язи показників з факторами.

Табл. 1. Факторні структури показників пацієнтів з КЗІ.

Показники	Виживші пацієнти		Умерші пацієнти	
	1 фактор	2 фактор	1 фактор	2 фактор
ВП	-0,93	-0,07	-0,05	-0,81
РВИ	-0,87	0,12	0,11	-0,93
УНД	0,19	0,86	0,37	0,49
РФМК	0,50	-0,71	0,60	0,03
ЧСС	-0,29	0,37	0,81	0,13
ФВ	0,10	0,41	-0,85	0,03
Об'яснена дисперсія, %	33	26	32	29

В обох групах виділен фактор «ризика», в який входить вік пацієнтів і показник РВИ. Зв'язи в факторі вказують на зниження ризику інсульту при зменшенні віку пацієнта. В групі виживших саме фактор «ризика» вносить більший вклад в загальну дисперсію, тоді як в групі умерших вклад цього показника менший. В групі виживших другим фактором може бути назван «гемостазо-неврологічним», оскільки викликає збільшення показника неврологічного дефіциту на фоні зниження показника РФМК. Зниження показника РФМК, не зважаючи на ризик неврологічного дефіциту, вказує на успішність антикоагуляційної терапії, що дозволяє очікувати сприятливий результат. В групі умерших пацієнтів першим фактором може бути назван «гемостазо-кардіологічним», так як його вплив призводить до зростання РФМК і ЧСС на фоні зниження ФВ, що дозволяє говорити про малу ефективність проводимої терапії.

Таким чином, отримані факторні структури в групах умерших і виживших пацієнтів відрізняються по одному фактору, який і характеризує результат захворювання. Виходячи з отриманих результатів, інформативними показниками для оцінки успішності проводимої терапії є ЧСС, концентрація РФМК і ФВ. Відмінності в зв'язях між показниками гемостазу і ЧСС в групах пацієнтів з різним результатом КЗІ були виявлені завдяки використанню факторного аналізу, що вказує на необхідність застосування сучасних інформаційних технологій не тільки для отримання нової діагностичної інформації, але і для її ефективного аналізу.

Порівняння магнітокардіографії з іншими методами діагностики хронічної ІХС з точки зору відношення ціна/ефект

М. Будник, І. Чайковський, Т. Риженко

Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАНУ, Київ, Україна

Вступ. При розрахунку ефективності методу МКГ використано числові дані та методику визначення ефективності методів клінічної діагностики для виявлення ІХС, розроблену в клініці

Маю (США), опубліковану в провідному кардіологічному журналі Американського Кардіологічного Коледжу [John A. Rumberger, Thomas Behrenbeck, Jerome F. Breen, and Patrick F. Sheedy, II Coronary calcification by electron beam computed tomography and obstructive coronary artery disease: a model for costs and effectiveness of diagnosis as compared with conventional cardiac testing methods // J. Am. Coll. Cardiol. – 1999. – Vol. 33. – p. 453–4621].

Нижче введено такі позначення:

стрес-ВЕГ	навантажувальна велоергометрична проба з тредмілом
стрес-СЦИНТ	талієва скінтиграфія з навантажувальною пробю з тредмілом
стрес-ЕхоКГ	двовимірний ЕхоКГ та навантажувальна проба з тредмілом
КА	коронарна ангиографія
СПЕЦ (ЧУТЛ)	специфічність (чутливість)
НЕДІАГН	відсоток пацієнтів, для яких встановити діагноз не вдалося
РИЗИК	ризик суттєвих серцево-судинних ускладнень, спричинених даним діагностичним тестом

Методика оцінки ефективності. Для визначення ефективності потрібно врахувати з одного боку, діагностичну точність методу, а з іншого — вартість одного обстеження даним методом. З огляду на те, що метод МКГ неінвазивний, для порівняння вибрано інші неінвазивні методи — ВЕМ, скінтиграфію та стрес-ЕхоКГ. Також для порівняння включено інвазивний метод КА, який на сьогодні є «золотим стандартом» для виявлення ішемічних уражень міокарду, тобто діагностики ІХС. Вхідні дані для порівняння ефективності методів наведені в табл. 1.

Ефективність діагностики, тобто виявлення ІХС у хворої людини, залежить також і від відсотка хворих на ІХС серед населення, тобто преваленсу. В Україні середній преваленс ІХС приблизно рівний 10%. Таким чином, лише одне з 10-ти обстежень зможе виявити ІХС, а тому вартість інших 9-ти обстежень включають у вартість обстеження хворого.

Наприклад, це означає, що для КА така «загальна» вартість обстеження дійсно хворого (а не здорового) при преваленсі 10%, буде в 10 разів вища за «технічну» вартість одного обстеження.

З табл. 1 видно, що діагностична точність — чутливість та специфічність інвазивних методів нижча порівняно з точністю виявлення ІХС методом КА, яка рівна 100%. У такому випадку, коли діагностична ефективність методу менша за 100%, вартість «правильної» діагностики, тобто виявлення ІХС саме у хворої людини, буде ще вище.

Іншими словами, так як не кожне обстеження має наслідком правильний діагноз, то вартість хибних діагнозів також необхідно включити у вартість обстежень правильно діагностованих пацієнтів, хворих на ІХС. Отже, відносно економічна ефективність (cost-effectiveness) методу діагностики обчислюють згідно виразу (1), де всі величини також відносні (виражені в долях одиниці):

$$\text{Відносна Ефективність} = \frac{\text{Відносна вартість обстеження}}{\text{Преваленс} \times \text{Діагностична точність}} \quad (1)$$

Ефективність методу МКГ. У виразі (1) для ІХС преваленс = 0,1, відносна вартість обстеження наведена в табл. 1, а в якості точності взято чутливість, виражену в долях одиниці. Результати розрахунку наведено в табл. 2.

З табл. 2 видно, що найкращу економічну ефективність для діагностики ІХС має метод МКГ, трохи гірше — стрес-ВЕГ. Середню

Табл. 1. Вхідні дані для порівняння ефективності методів.

Діагностичний метод	ЧУТЛ	СПЕЦ	НЕДІАГН	РИЗИК	Відносна вартість обстеження
Стрес-ВЕГ	68%	77%	15%	0.05%	0.8
Стрес-СЦИНТ	90%	77%	5%	0.05%	3.3
Стрес-ЕхоКГ	84%	87%	5%	0.05%	2.5
КА	100%	100%	0%	1.5%	7.8
МКГ	93%	84%	2%	0%	1

Табл. 2. Порівняння вартісних показників діагностики ІХС різними клінічними методами.

Діагностичний метод	Діагностична точність	Відносна вартість обстеження	Відносна вартість обстеження хворого при преваленсі ІХС 10% (загальна вартість)	Відносна вартість обстеження правильно діагностованого пацієнта (відносна економічна ефективність)
Стрес-ВЕМ	0,68	0.8	8	11,765
Стрес-СЦИНТ	0,9	3.3	33	36,67
Стрес-ЕхоКГ	0,84	2.5	25	29,76
КА	1	7.8	78	78
МКГ	0,93	1	10	10,75

ефективність демонструють скінтинграфія та ЕхоКГ у поєднанні з тред-мил-пробою, а золотий стандарт — метод КА, найбільш вартісний і вимагає більш ніж в 7 разів більше коштів порівняно з методом МКГ.

Обговорення. Крім того, при необхідності більш детального розрахунку, потрібно враховувати і додаткові негативні фактори, характерні для певного методу, а саме, — відсоток недіагностованих випадків та ризик ускладнень (див. табл. 1).

При цьому, аналогічно вищенаведеним розрахункам, у вартість обстеження правильно діагностованого пацієнта необхідно включити витрати, пов'язані з вартістю додаткових обстежень іншими методами недіагностованих даним методом осіб, а також витрати на лікування чи вартісну оцінку втрат здоров'я, спричинених ускладненнями, які виникли після проведення обстеження певним методом.

Оцінка фрактальної розмірності реоенцефалограм та електрокардіограм при шийному остеохондрозі

Д. В. Вакулєнко

*Тернопільський державний медичний університет
імені І. Я. Горбачевського, Україна*

Сьогодні інформатизація охорони здоров'я України насамперед означає використання інформаційних технологій, за допомогою яких можливе швидке та цільове отримання необхідної інформації медичними працівниками.

Остеохондрозом в наш час страждає практично кожна третя людина у віці від 30 до 45 років. Шийний остеохондроз, по суті, це деградація міжхребетних дисків у шийному відділі хребта. Він викликає моторошний наростаючий біль в області шиї. Також біль може розростатися в області голови і плечей.

Багато експериментальних даних мають фрактальну статистику.

Аналіз та моделювання якої можуть бути вироблені з допомогою методів фрактального аналізу. Одним з найперспективніших

висновки. З урахуванням зазначених додаткових факторів, метод МКГ має ще кращу ефективність тому, що він має нульовий ризик, а також найменший серед неінвазивних методів відсоток недіагностованих осіб. Причина відсутності ризиків ускладнень полягає у тому, що метод МКГ пасивний, безконтактний, комфортний, не спричиняє ніякого впливу на організм людини, отже, — повністю безпечний.

Причиною малого відсотку недіагностованих осіб є чутливість методу МКГ до виявлення ІХС у важких для діагностики випадках (difficult-to-diagnose cases), у тому числі, — на ранніх стадіях та прихованих (асимптомних) формах, що, у свою чергу, зумовлено можливістю реконструкції струмів всередині серця людини, що неможливо ніяким іншим методом.

напрямів фрактального аналізу є вивчення динаміки в часі такої характеристики, як фрактальна розмірність (D).

Матеріали та методи. Для дослідження було використано результати реоенцефалограми та електрокардіограми хворих 23 хворих на шийний остеохондроз до лікування, до та після останньої 10 процедури масажу. Реоенцефало та електрографічне дослідження проводилось при каротидному відведенні, вертебробазиллярному відведенні при положенні голови вперед, вліво, вправо, на руках при сублінгвальному введенні нітрогліцерину через 5 хвилин та потім знов знімали біосигнали при каротидному та вертебробазиллярному відведенні.

Для оцінки фрактальної розмірності біосигналів ми скористалися програмою «ImageJ», реалізованою на об'єктно-орієнтованій мові програмування Java – призначена програма для обробки зображень, розроблена в Національному інституті охорони здоров'я Сполучених Штатів Америки (NIH). «ImageJ» була розроблена з відкритою архітектурою, яка забезпечує розширюваність за допомогою плагінів Java і записуваних макросів. Однією з можливостей цієї програми є визначення фрактальної розмірності.

Проаналізувавши проведені розрахунки, можна прийти до висновку, що на стороні больового синдрому фрактальна розмірність вища у всіх відведеннях за винятком поворотів голови після нітрогліцерину.

Після лікування, як до так і після прийому нітрогліцерину всі показники фрактальної розмірності були на більш високому рівні у всіх відведеннях і змінювались практично синхронно.

Якщо врахувати покращення загального стану хворого після лікування, можна прийти до висновку, що синхронні зміни фрактальної розмірності можуть свідчити про нормалізацію кровопостачання досліджуваних басейнів, а підвищення досліджуваних показників про покращення стану хворого.

Рівень зміни фрактальної розмірності після прийому нітрогліцерину після лікування більш виражений ніж до лікування.

Аналізуючи отримані дані можемо прийти до висновку, що значення фрактальної розмірності свідчать про покращення стану хворого не лише у випадку підвищення вихідних значень та їх стабільність. Але і синхронність змін між ЕКГ, РЕГ зліва і справа в процесі досліджень у всіх відведеннях до та після нітрогліцерину.

За результатами визначення фрактальної розмірності, можна підтвердити, що масаж за своєю ефективності відповідає дії нітрогліцерину. Проведені дослідження дають можливість прийти до висновку, що фрактальна розмірність може бути об'єктивним показником стану серцево судинної системи та її динаміки в процесі лікування у хворих з неврологічними синдромами шийного остеохондрозу. Це дає можливість прийти до наступних висновків: покращення стану хворого супроводжується більш високими та стабільними показниками фрактальної розмірності.

Висновки. Визначено оптимальну роздільну здатність зображень реоенцефалографічних та електрокардіологічних досліджень у хворих на шийний остеохондроз для визначення фрактальної розмірності. Для оцінки фрактальної розмірності різних біосигналів ми скористалися програмою ImageJ. Розраховано фрактальну розмірність для результатів досліджень до лікування, до та після останньої 10 процедури масажу. Порівняли отримані результати з іншими результатами досліджень, такими як:

1. показниками адреналіну та норадреналіну в сечі,
2. активністю ацетилхолінстерази в капілярній крові,
3. результатів реоенцефало, електрокардіо та міографічних досліджень,
4. вимірювань пульсу та тиску,
5. анамнезу хворих.

Отримати значення фрактальної розмірності притаманних для шийного остеохондрозу та фазових змін організму в процесі терапії нам не вдалося, оскільки значення фрактальної розмірності розраховувались з графічних зображень результатів реоенцефало- та електрокардіографічних досліджень, які змінювались від величини роздільної здатності зображень. Хоча динаміка змін фрактальної розмірності корелювали з іншими результатами досліджень пацієнта та адекватно відображала процес терапії хворого, та фізіологічні реакції організму на тестові експерименти (поворот голови, прийом нітрогліцерину тощо).

Изучение регуляции кардиореспираторной системы морских млекопитающих в динамике сна и бодрствования

Е. В. Вербицкий¹, В. Б. Войнов^{1,2}, Е. В. Кибальников¹
А. Л. Михайлюк²

¹Институт аридных зон ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, РФ

²Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН
Мурманск, РФ

Кардиореспираторная система обеспечивает морским млекопитающим большие возможности адаптации к изменению среды обитания: воды или суши. В настоящее время известно, что

погружения морских млекопитающих обеспечиваются рядом приспособительных механизмов, среди них: брадикардия, перестройка кровотока с акцентом на жизненно важные органы, в первую очередь, — мозг и сердце (Elsner, Gooden 1983; Коопман 1989). Показано, что различные циклические процессы в системах кислородообеспечения морских млекопитающих, даже находящихся в условиях полного доступа к кислороду воздуха, характеризуются выраженной аритмичностью с формированием нерегулярного «произвольного рефлекса погружения» — апноэ на фоне ритмичного дыхания, при котором ритм сердечных сокращений характеризуется выраженной брадикардией. Этот феномен описан в отношении гренландского, байкальского и каспийского тюленей, морского леопарда и обыкновенного и серого тюленей, моржа (de Kleer, 1975; Коопман et al., 1981; Купин и др., 1982; Галанцев и др., 1983, 1986; Войнов, 2010; Лямин и др., 2010; Matishov et al., 2012). В классических исследованиях кардиореспираторной системы ластоногих, основные результаты были получены без учета стадии цикла сон–бодрствование.

В нашей работе продолжены исследования ритмичных и аритмичных феноменов функционирования дыхательной и сердечно-сосудистой систем морских млекопитающих в динамике цикла сон–бодрствование. Исследования поведения и физиологии морских млекопитающих проводились на Полигоне Мурманского морского биологического института КНЦ РАН — «Красные Камни», на базе Мурманского океанариума, а так же на Утришской морской станции Института проблем экологии и эволюции РАН. В 2004–2005 гг. в Южном научном центре РАН создан портативный программно-аппаратный комплекс (Войнов и др., 2008) который позволяет регистрировать электрокардиограмму в двух отведениях и пневмограмму — периметрию грудной клетки. Полученный с помощью данного устройства и проанализированный материал позволяет на примере афалины и гренландского тюленя выявить типичную для морских млекопитающих выраженную аритмичную организацию поведения и цикличности реализации кардиореспираторной функции. Обосновывается представление о том, что реализация сложной, аритмичной динамики кратких и продолжительных дыхательных пауз, а также смена спокойного и активного состояний тюленей, отмечаемая при нахождении животных на суше, является проявлением общих для всей группы морских млекопитающих регуляторных механизмов адаптации к ныряющему образу жизни (Войнов и др., 2006; Вербицкий и др., 2007; Кибальников, 2011).

Проверка вышеуказанной гипотезы проводилась в естественной динамике цикле сон–бодрствование с дифференцированием активного и спокойного состояний животных, а также фаз и стадий цикла сон–бодрствование. Для этого северным морским котикам под общей анестезией с непрерывным контролем состояния посредством измерения: ректальной температуры, частоты дыхания и пульсоксиметрии, — вживлялись электроды для хронической регистрации ЭЭГ, ЭКГ, ЭМГ и ЭОГ (Лямин, Мухаметов, 1998). Исследования проводились в неволе, в соответствии с правилами биомедицинской этики. Животные во время исследований находились на суше. У большинства обследованных животных, при переходе от спокойного бодрствования к медленноволновому сну отмечено достоверное снижение частоты сердечных сокращений. В спокойном бодрствовании и медленном сне ЭКГ всех котиков характеризовалась синусовым ритмом с выраженной дыхательной аритмией. Обнаружено, что апноэ, продолжительностью более 25 с наблюдаются как в бодрствовании, так и в медленном сне. При этом их вероятность у морских котиков была выше в спокойном бодрствовании и парадоксальном сне, чем в медленноволновом сне. У всех животных парадоксальный сон характеризуется атонией мышц, вздрагиваниями конечностей и вибрисс, а также существенной нерегулярностью кардиореспираторной функции с аритмичными продолжительными апноэ (около 60 секунд). Регуляция кардиореспираторной функции (вариабельность паттерна дыхания, дыхательная аритмия сердечных сокращений, нерегулярные и продолжительные апноэ) котиков имела выраженный инди-

видуальный характер (Кибальников и др., 2011; 2012; Войнов и др., 2011). Указанные особенности регуляции кардиореспираторной функции, затрагивающие не только бодрствование, но и фазы сна были выявлены, также на таком представителе настоящих тюленей как байкальская нерпа (Матишов и др., 2012).

При анализе ЭКГ представителей ушастых и настоящих тюленей были выделены достаточно продолжительные фрагменты, характеризующиеся нормальным распределением последовательных значений кардиоинтервалов, что позволило использовать без ограничений статистические методы, включая спектральный анализ. Для расчета спектра выделялись безартефактные участки электрограмм, на которых количество кардиоинтервалов было не менее 350 штук. Графики спектров плотности в бодрствовании и медленноволновом сне отличались четко выраженными пиками, соответствующими текущей ритмике дыхания, что и отражает феномен дыхательной аритмии сердечных сокращений. Исключение составлял только парадоксальный сон, в котором спектр плотности кардиоинтервалов был полиморфен, с доминированием низкочастотных колебаний. Для бодрствования и разновидностей медленного сна были ха-

рактерны пики в низкочастотном диапазоне спектра (LF), происхождение которых связывается с изменениями биохимических показателей внутренней среды организма (Войнов и др., 2011).

Таким образом, описаны перестройки частотных и амплитудных параметров кардиоритмограммы, характеризующие перестройки в регуляции кардиореспираторной функции лаастоногих во время спокойного бодрствования и в различных фазах сна. Похоже, что для морских млекопитающих дыхательная аритмия является типичным явлением во всех состояниях цикла сон-бодрствование, что отражает высокую согласованность в функционировании дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Выявленные индивидуальные особенности регуляции кардиореспираторной функции северных морских котиков, по всей видимости, обусловленные генетическими детерминантами уровня их тревожного реагирования (Вербицкий, 2008; 2013). Разработанные подходы анализа и предложенная гипотеза об адаптивной регуляции кардиореспираторной функции в цикле сон-бодрствование открывают широкую перспективу изучения циркадианных процессов на фоне сезонных явлений, давления климатических и антропогенных факторов.

Хранение и обработка больших объемов цифровых электрокардиограмм в условиях бумажного документооборота

В. В. Вишневецкий

Институт математической машин и систем НАНУ, Киев, Украина

Текущее состояние организаций здравоохранения характеризуется явным противоречием между достаточно распространенным цифровым диагностическим оборудованием и архаическим по форме и содержанию бумажным документооборотом медицинских записей.

Это противоречие порождает, по крайней мере, два вопроса:

1. Нужно ли вообще хранить диагностическую информацию в цифровом виде (в том числе и цифровую ЭКГ) на протяжении всей жизни пациента?

2. Если все же диагностическая информация будет накапливаться, то можно ли организовать технологию доступа к ней в условиях бумажного документооборота?

Первый вопрос для автора доклада является совершенно риторическим, хотя и часто обсуждается в профессиональной среде. Поскольку, с одной стороны, преимущества представления диагностической информации в цифровом виде давно доказаны и потеря этого преимущества при документировании на бумажный носитель просто непростительная роскошь. Да и хранение всей диагностической информации на протяжении жизни пациента — скорее давно назревшее требование, нежели предмет для дискуссии.

А вот ответ на второй вопрос был дан в ходе реализации проекта национальной программы развития и внедрения грид-технологий «Медицинская грид-система для популяционных исследований

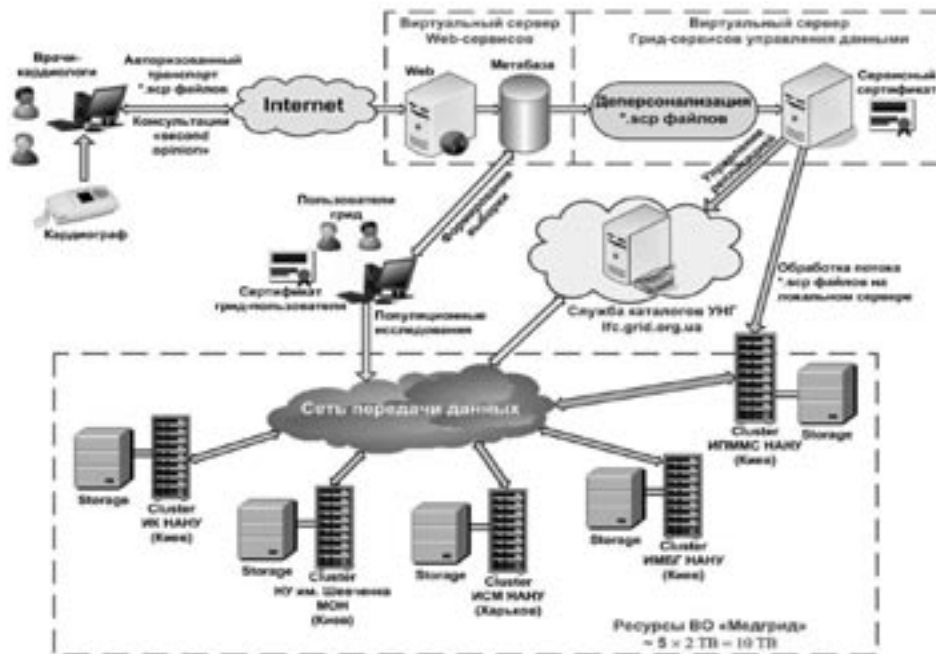


Рис. 1. Технологический замысел проекта «Медгрид».

в кардиологии на базе кардиограмм» или просто «Медгрид», о котором пойдет речь ниже.

Первичной информацией для проекта «Медгрид» являются электрокардиограммы, получаемые с помощью сертифицированных цифровых кардиографов в специализированных медицинских учреждениях.

Технологический замысел проекта «Медгрид» в совокупности с компьютерными ресурсами виртуальной грид-организации (ВО) с одноименным названием приведены на рис. 1.

Грид-хранилища проекта «Медгрид» позволяют накапливать деперсонализированные цифровые диагностические данные в масштабе популяции всей страны и обеспечивать обработку этой информации для целей практического здравоохранения и для научных исследований.

Пока же важно понимать, что к распределенным грид-хранилищам цифровые кардиограммы доставляются через Веб-портал <http://medgrid.immsp.kiev.ua> при помощи специально разработанного транспортного модуля. Этот модуль может использоваться либо в виде самостоятельной программы, либо быть встроенным в программный комплекс рабочего места кардиолога (именно так, кстати, работает программа «Кардиофон» 4-й версии от фирмы «Ютас», г. Киев).

Для упорядочения файлов кардиограмм используются специально разработанные интерактивные веб-сервисы. Один из этих Веб-сервисов генерирует для каждой доставленной в грид-хранилище проекта кардиограммы уникальную Интернет-ссылку и генерирует специальный документ в pdf-формате, который врач может распечатать или записать для пациента. Как видно из рис. 2 этот документ имеет специальный QR-код, в котором закодирована ссылка доступа к цифровой кардиограмме и который легко распознается стандартными программными средствами ВЕБ-камер, в том числе современных планшетов и смартфонов.



Рис. 2. Уникальная ссылка на кардиограмму пациента в виде QR-кода.

Таким образом, бумажный документ с встроенным QR-кодом может рассматриваться как решение, которое обеспечивает стыковку современных технологий хранения цифровой диагностической информации с архаичским методом бумажного ведения медицинской документации.

Электрокардиографическая ГРИД-система: первые результаты массовых исследований на основе «морбидных выборок»

**В. В. Вишнеvский³, И. А. Чайковский¹, Л. М. Ена²
В. Е. Васильев¹**

¹Институт кибернетики НАН Украины, Киев

²Институт геронтологии НАМН Украины, Киев

³Институт проблем математических машин и систем НАНУ, Киев

Для принятия адресных и эффективных управленческих решений в области охраны здоровья людей необходима полная и достоверная информация о распространенности факторов риска в популяции конкретного региона/страны, динамика этих показателей в течение длительного времени и их влияние на уровень смертности мужчин и женщин. Перечисленные задачи накладываются в предметной области эпидемиологической кардиологии.

Для решения задач эпидемиологической кардиологии необходимы стандартные параметры, которые легко могут быть зарегистрированы и измерены в динамике. Именно поэтому с самого начала зарождения и становления эпидемиологии сердечно-сосудистых заболеваний простым, доступным, надежным, легко стандартизированным и вместе с тем чувствительным инструментом стала электрокардиография.

Популяционные исследования оперируют с эпидемиологическими выборками, реально отражающими половозрастную структуру населения (страны, региона), а также соотношение городского и сельского населения и т.д. Электрокардиография как один из методов, реализованных в эпидемиологии, призвана ответить на ряд вопросов:

- какие электрокардиографические феномены и с какой частотой регистрируются в данном регионе;
- есть ли возрастные различия в их превалировании;
- есть ли половые различия в частоте регистрации тех или иных электрокардиографических стигм.

Поскольку в эпидемиологических исследованиях четко определена система кодирования (наиболее часто Миннесотская классификационная система кодирования, в последние годы и Novacode) представляется возможным сопоставить собственные данные с результатами других эпидемиологических исследований, проведенных в других регионах/странах.

Технологической платформой для данного пилотного исследования стала грид-инфраструктура виртуальной организации (ВО) «Медгрид», которая развивается с 2010 года в рамках одноименного проекта национальной программы развития и внедрения грид-технологий в Украине на 2009–2013 гг. Цифровым стандартом ЭКГ в этом проекте принят европейский формат электрокардиограмм SCP-EKG, который уже поддержан основными производителями кардиографов в Украине. Цифровые кардиограммы транспортируются в грид-хранилища через сеть Интернет и хранятся в деперсонализованном виде. При этом, в структуре цифровой ЭКГ сохраняется информация о половозрастных данных пациента и почтовый код медицинской организации, которая передала ЭКГ в грид-хранилище.

Пилотное исследование с помощью разработанной ГРИД-системы проводилось в Полтавском областном кардиологическом диспансере. Особенностью этого исследования было то, что исследовалась не эпидемиологическая выборка, а лица, обращающиеся в амбулаторную сеть практического здравоохранения, то есть так называемая «морбидная» выборка. Подход к анализу результатов такого исследования имеет ряд особенностей. Хорошо известно, что с возрастом в популяции нарастает число заболеваний. Это явление настолько закономерно, что параметр «число заболеваний» входит в большинство батарей тестов для оценки интегрального биологического возраста человека. В связи с этим рассмотренная выборка, как и предполагалось, оказалась асимметричной. Перекос

в сторону патологии наиболее выражен в младших (20–29 лет) по сравнению со старшими (60 и более лет) возрастными группами. Причем, почти в 16,6% случаев регистрируются коды в кластере, описывающем зубец Q и паттерны QS (1-1-1, 1-1-2, 1-1-4, 1-1-5, 1-2-1) в совокупности с кодом QRS 2-1. Такие изменения ЭКГ требуют индивидуального анализа, поскольку могут в своей основе иметь выраженную патологию сердца, например, врожденные/приобретенные пороки сердца. В полной мере это относится и к коду 6.5, описывающему укорочение интервала PR.

В исследованной селективной выборке, так же как и в классических эпидемиологических исследованиях, выявлено преобладание определенных ЭКГ изменений в разные возрастные периоды. Уже упоминавшийся укороченный интервал PR, как и другие признаки синдрома передзбудждения (пreekзитации), регистрируются чаще у лиц молодого возраста. В связи с эффектом дифференцированной смертности (в данном случае высокого риска аритмогенной смерти) индивидуумы с такой патологией элиминируются из совокупной выборки. В то же время, ЭКГ-изменения, которые характеризуются такие патологические процессы как гипертрофия левого желудочка, ишемические/постинфарктные изменения, хронические нарушения ритма сердца фибрилляция / трепетание предсердий, четко нарастают по мере увеличения возраста.

Частота регистрации определенных ЭКГ-феноменов в «морбидной» выборке оказалась ожидаемо выше чем в классических эпидемиологических исследованиях. Так, если феномен пreekзитации в популяции регистрируется в 0.25% случаев, причем в молодом возрасте в 2–3 раза чаще, чем в пожилом и старческом, то иная ситуация наблюдается в клинических группах с определенными видами патологии (пролапс митрального клапана, синдром Марфана, пороки сердца и др.), где их частота может достигать 37%. В данном исследовании в популяции женщин, побывавших на амбулаторном приеме, частота укороченного интервала PR составила 16,6%.

Анализ данных, полученных в выборке амбулаторных пациентов Полтавской области, показал необходимость проведения специального исследования, посвященного сравнению кодов, полученных традиционным путем и в «морбидной» выборке на основе амбулаторной обращаемости с использованием Грид-технологии.

Очевидно, что пациентов, включенных в такое «амбулаторное» популяционное исследование необходимо дополнительно классифицировать и селективировать на основе вспомогательной входной информации, а именно — диагноза с указанием острого или хронического заболевания (в случае хронического заболевания — также его стадии, т. е. ремиссии или обострения), а также непосредственной причины регистрации ЭКГ и, если возможно, результата лечения заболевания, например, понадобилась госпитализация или нет. Иными словами, необходимо разработать специфические методы «ремонта выборки», так как известные из социологии методы уравнивания выборочных и генеральных распределений тех или иных характеристик респондентов в данном случае не являются полностью адекватными.

На основании первого опыта использования Грид-технологии в реальной практике массового обследования можно сделать следующие выводы:

1. На современном этапе технически возможно получать большой объем ЭКГ информации с помощью грид-технологии, хранить ее, и кодировать ЭКГ согласно Миннесотской классификации;

2. Архаичность ведения медицинской документации на бумажных носителях делает невозможным проведение столь необходимых для характеристики различных аспектов состояния здоровья населения Украины масштабных массовых исследований, с включением больших (десятки и сотни тысяч человек) когорт, в которых анализ ЭКГ будет одним из компонентов анализа. Поэтому применение Грид-технологий является едва ли не единственным шансом на реализацию программы таких исследований.

Прогнозирование интраоперационной гипотензии во время спино-эпидуральной анестезии по данным variability сердечного ритма

К. П. Воробьев¹, И. Б. Пилипенко²

¹ГУ «Луганский государственный медицинский университет», Украина

²Луганская областная клиническая больница, Украина

Введение. Интраоперационная артериальная гипотензия (ИАГ) является одним из наиболее опасных осложнений спино-эпидуральной анестезии (СЭА). В последние годы появилось около десятка публикаций, в которых сделаны попытки найти прогностические критерии ИАГ во время СЭА по данным variability сердечного ритма (ВСР) во время предоперационного обследования пациентов. Основной вывод этих исследований говорит о снижении вариаций сердечного ритма и увеличении симпато-вагального баланса в группах риска ИАГ. Чрезмерному и некомпенсированному симпатолитису во время СЭА предшествует определенная динамика вегетативной регуляции, которая, по нашему мнению, может быть наиболее объективным критерием прогноза ИАГ.

Цель. Определить прогностические критерии ИАГ при СМА по данным показателей ВСР в динамике за одни сутки до оперативного вмешательства и перед анестезией.

Материалы и методы. Обсервационное клиническое исследование текущей клинической практики без вмешательства выполнено на материале 44 клинических наблюдений. Все пациенты нуждались в плановом тотальном протезировании тазобедренного сустава. Исследование параметров ВСР выполнено на трех этапах наблюдения: первый и второй - за одни сутки до операции во время предоперационного осмотра анестезиолога, первый в положении лежа на спине, второй — при модифицированной ортопробе в положении сидя в кровати, третий — перед началом анестезии в день операции.

Спино-эпидуральная анестезия выполнена с использованием маркаин-спинал хэви 2,0 мл и 1,0 мл 0,005% раствора фентанила в промежутке L3–L4. Артериальной гипотензией считалось снижение среднего артериального давления ниже 93. Наблюдения разделены на 3 группы: 1-я — с отсутствием интраоперационной гипотензии (n=22), 2-я (n=15) и 3-я (n=7) группы с отсроченной и ранней артериальной гипотензией в сроки более и менее 10 мин, соответственно, после субарахноидального введения анестетика. По возрасту и полу группы были сопоставимы, средний возраст всех пациентов составил 63(3,6) года.

Для статистического анализа мы использовали меры положения в виде средних, меры рассеяния в виде 95% доверительных интервалов (ДИ) и методы непараметрической статистики для сравнения двух групп.

Результаты. Наиболее выраженные отличия ВСР были обнаружены у пациентов третьей группы с быстрым развитием ИАГ во время СЭА. Эта группа характеризовалась повышенной лабильностью длительностей кардиоинтервалов во время выполнения ортопробы (p=0,06) и крайне низкими значениями PNN50 = 2 (95% ДИ 0–1,9)% и HF₁₂₈=82 (95% ДИ 35–124) мс².

За 1 сутки до оперативного вмешательства во время предоперационного осмотра анестезиолога выявлен относительно низкий симпатический тонус у больных контрольной группы LF=177 (95% ДИ 122–132) мс², в сравнении с группами пациентов, у которых развилась гипотензия LF=420 (95% ДИ 244–598) мс², что подтверждается высоким уровнем статистической значимости (p=0,002, тест Манна-Уитни). В контрольной группе реакция на ортостаз сопровождалась трехкратным увеличением симпатического тонуса (p=0,012, тест Вилкоксона), а в группах гипотонии аналогичная тенденция проявилась незначительно и не достигла порога статистической значимости. На третьем этапе обследования перед началом анестезии в контроле симпатический тонус умеренно увеличился до уровня 219 (95% ДИ 106–331) мс², а обе группы гипотонии характеризовались обратной динамикой LF.

Также обнаружены отличия очень низкочастотной компоненты сердечного ритма, которая в группе гипотоний за сутки до анестезии была вдвое больше, чем в контроле ($p=0,042$, тест Манна-Уитни). В данной возрастной группе пациентов уровень VLF_128 более 526 мс^2 с 96% вероятностью позволяет отнести клинический случай к группе риска ИАГ во время СЭА.

Динамика симпатовагального отношения в нашем исследовании подтвердила данные литературы. По результатам данного исследования значение LF/HF более 3,14 за сутки до анестезии свидетельствует о высокой вероятности ИАГ, но перед анестезией обнаружено выраженное снижение этого показателя в третьей группе с быстрым развитием ИАГ с 3,6 до 2,2, в то время как во второй группе с отсроченной ИАГ LF/HF составил 3,4 (95% ДИ 2,1–4,6).

Нормой реакции в группе контроля является относительно низкий симпатический тонус и ззтония за 1 сутки до анестезии, а также умеренное повышение исходного симпатического тонуса и коэффициента LF/HF перед началом анестезии. В третьей группе произошло трехкратное снижение исходно повышенного симпатического тонуса и снижение LF/HF перед анестезией более, чем на треть. Этот факт свидетельствует об отличительных качественных механизмах адаптивных реакций к симпатоллизису во время СЭА в третьей группе и об истощении симпато-адреналового звена поддержания сосудистого тонуса.

Наиболее значимый научный факт нашего исследования состоит в обнаружении факта взаимосвязи частоты пика VLF с быстрым развитием ИАГ. В третьей группе с быстрым развитием артериальной гипотензии после субарахноидального введения анестетика перед началом анестезии происходило крайне выраженное смещение частоты пика VLF в сторону низких частот. Различия с первой и второй группой составили соответственно 0,0056 Гц и 0,0076 Гц, при крайне высоком уровне статистической значимости ($p=0,004$ и $p=0,002$, соответственно, тест Манна-Уитни). Механизм смещения частоты пика VLF пока не известен, но в предыдущем нашем исследовании изучения реакций на гипероксию при патологии получены аналогичные закономерности.

Выводы. В нашем исследовании подтверждены данные других авторов и получены новые научные факты об эффективности ВРС для прогнозирования возникновения ИАГ во время СЭА. Подтверждены результаты литературы о крайне низком уровне вариабельности кардиоинтервалов и о диагностической значимости индекса симпатовагального баланса в группе риска ИАГ.

Мы считаем, что одним из важнейших управляемых факторов риска развития ИАГ во время СЭА является психоэмоциональный стресс в связи с предстоящим оперативным вмешательством. Оценка вероятности развития ИАГ во время СЭА по данным LF имеет преимущества, в сравнении с оценкой симпатовагального баланса по данным LF/HF. Наиболее эффективным способом прогнозирования ИАГ во время предстоящей СЭА является динамическая оценка изменений LF за сутки и непосредственно перед анестезией.

Новый научный факт о диагностической значимости частоты пика очень низкочастотных волн требует дальнейшей проверки в аналогичных исследованиях.

Метод дисперсионного картирования для анализа микроальтернаций ЭКГ-сигнала

Г. Г. Иванов

*Лаборатория электрофизиологических методов исследования
НИЦ Первого МГМУ им. И. М. Сеченова*

*Институт медико-биологических проблем РАН
кафедра госпитальной терапии РУДН, Москва, РФ*

Один из новых методов анализа ЭКГ, который в настоящее время все шире используется в научных исследованиях и повседневной клинической практике для оценки нарушений электрических свойств миокарда, является анализ альтернаций Т зубца. Как

и любые флуктуации, микроальтернации зубцов ЭКГ являются эффективными маркерами скрытых процессов в миокарде, предшествующих и сопутствующих патологическим изменениям. Макроальтернации зубца Т (TWA) первоначально описаны в 1900 году и были доступны непосредственной визуальной оценке на ЭКГ. Макроальтернации (значения более 50 мкВ) оцениваются при проведении статических нагрузочных проб по динамике непрерывно регистрируемой электрокардиограммы. В тоже время запись электрокардиограммы в течение 24 часов показывает, что приблизительно у 30% здоровых людей встречаются переходящие изменения зубца Т. Микроальтернации зубца Т в диапазоне 1...30 мкВ (MTWA) стали объектом исследований в конце 1980 годов. В настоящее время существуют различные методы анализа микроальтернаций. Это методы с разной алгоритмической технологией, но с одинаковой ориентацией на анализ электрических микроколебаний Т-зубца.

Наиболее простой, и хронологически первый способ регистрации микроальтернаций часто называют способом «от удара к удару» (beat-to-beat). Если оценить энергетический спектр этих колебаний, можно выявить факт увеличенных амплитуд микроколебаний (*спектральный метод*), что является индикатором повышенной склонности миокарда к желудочковой тахикардии или фибрилляции. Кроме спектрального метода анализа микроальтернаций, который используется при проведении нагрузочного тестирования, используются также принципы временного анализа, чаще используемые при холтеровском мониторинге. Эти методы в настоящее время используются преимущественно для формирования индивидуального прогноза фибрилляции желудочков при наличии патологии сердца.

В микровольтных альтернациях (MTWA) полностью утрачивается информация об амплитудных особенностях исходных волн ЭКГ, т. е. микровольтные альтернации имеют вид случайного низкоамплитудного процесса, который уже не содержит исходных морфологических признаков зубцов ЭКГ в анализируемом отведении. Микроальтернации регистрируются, как микроколебания ЭКГ-сигнала в последовательных сокращениях сердца. Амплитуды микроальтернаций могут быть на два порядка меньше амплитуд зубцов стандартной ЭКГ. Так, при анализе Т-зубцов средние амплитуды микроальтернаций составляют ~2...15 мкВ, в то время как исходные амплитуды Т-волн составляют 0,3...0,7 мВ, т. е. 300...700 мкВ.

Другие способы регистрации микроальтернаций ЭКГ основаны на анализе вторичных расчетных признаков, получаемых из исходной ЭКГ. Центральной идеей этих способов является то, что некоторые расчетные характеристики микроальтернаций ЭКГ имеют существенно лучшее отношение сигнал/шум, чем спектральные характеристики описанного выше способа анализа. Так, в методе «дисперсионного картирования ЭКГ» (ДК ЭКГ) используется математическая модель расчета электрических напряжений между близко расположенными поверхностными точками на основе модельного учета электромагнитного излучения миокарда. Принципиальная особенность метода ДК ЭКГ заключается в том, что анализу подвергаются микроальтернации не только зубца Т, но и зубца Р, комплекса QRS. Этого удалось достичь на основе использования новой модели биоэлектрического генератора сердца. Характер и степень изменения микроальтернаций является новой диагностической областью признаков, отражающих «запас» электрофизиологических компенсаторных механизмов

Метод ДК в настоящее время широко применяется в Российской Федерации при скрининге, т.к. только этот метод при среднем времени измерительной процедуры 3...5 минут обеспечивает чувствительность к ранним признакам патологических отклонений на уровне 90–95%. Это позволяет развивать доклиническую диагностику, направленную на исследование состояний, пограничных между нормой и патологией, а также использовать его при мониторинге любых клинических ситуаций, требующих простого и достоверного динамического наблюдения за состоянием миокарда. Кроме того, все чаще применяется мониторный вариант анализа показателей ДК.

Основной диагностической составляющей метода ДК, на данном этапе его применения, является интегральный индекс микроальтернатив «МИОКАРД» и установленные диапазоны значений «норма» (до 15%), «возможна патология» (от 15 до 21%) и «патология» (свыше 22%) в существующем скрининговом варианте его использования.

Привлечение к оценке результатов, приводимых в заключении характеристик показателей G1–G9, должно носить вспомогательный характер и служить подсказкой и ориентиром поиска области возможных нарушений (предсердия, де- или реполяризация желудочков) с помощью других методов. Причем структура изменений G1–G9 позволяет выдвигать клинические гипотезы интерпретации выявленных изменений для последующего проведения полного диагностического обследования. Кроме того, важен учет пола, возраста, уровня физической активности, возможной сопутствующей соматической патологии.

Метод чувствителен, но неспецифичен в отношении факторов воздействия на миокард и причин нарушений микроальтернативных характеристик. Показатели ДК служат отражением, в первую очередь, метаболических нарушений вследствие изменений коронарной микроциркуляции, микрососудистой резистентности и коллатерального кровообращения; в меньшей степени — тяжести окклюзии эпикардиальных артерий и гетерогенности регионарной перфузии, компенсаторных механизмов миокардиального кровотока и их истощения, которые приводят к изменениям электрофизиологических характеристик миокарда. Кроме того, важно учитывать, что показатели ДК имеют волнообразную динамику при мониторинговании как у здоровых лиц, так и при наличии патологии миокарда. Необходимо учитывать возможность влияния проводимой терапии.

По сравнению со стандартной ЭКГ показатели ДК не всегда имеют сходные по направленности, синхронные по времени возникновения и степени выраженности изменения вследствие различий природы оцениваемых процессов и используемых технологий. Целесообразно использование функциональных проб с учетом частотно-зависимых изменений показателей ДК. Использование метода ДК при проведении нагрузочных проб, просто в исполнении и дает значительную дополнительную диагностическую информацию, допускающую электрофизиологическую трактовку о состоянии электрофизиологического статуса миокарда, способствует правильному отбору для последующего специализированного обследования и лечения. Направленность и выраженность изменений определяются исходным состоянием миокарда и начальными параметрами микроальтернатив, а также сохранностью компенсаторных механизмов коронарного кровотока.

Характер и степень изменения микроальтернатив является новой диагностической областью признаков ЭКГ-диагностики, отражающих электрофизиологический статус и «запас» компенсаторных ресурсов миокарда. Конечно, в перспективе предстоит глубже понять связь показателей ДК ЭКГ с электрофизиологической основой описанных выше изменений. Поэтому мы должны улучшить понимание причин и диапазона микрофлуктуационных показателей ДК и их медленноволновых колебаний.

Анализ параметров энтропии в варибельности сердечного ритма

**А. В. Иляхинский¹, Г. Б. Широкий¹, И. В. Мухина²
В. М. Леванов²**

¹ООО «Инфотранс»

²ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия» Минздрава РФ, Нижний Новгород, Россия

Введение. Анализ варибельности сердечного ритма (ВСР) традиционно рассматривается как метод диагностики болезней системы кровообращения и как метод оценки состояния адапта-

ции организма человека, позволяющий получать диагностически значимую информацию на ранних, в т. ч. доклинических стадиях патологии.

В то же время существующие методы анализа ВСР имеют ограничения, вызываемые нерегулярностью серий RR-интервалов. Проблема с интерпретацией как временных, так и спектральных характеристик ВСР связана, на наш взгляд, с тем, что используемые методы математической обработки, анализируя характер изменения частоты сердечных сокращений, анализируют события, а не состояние анализируемой системы, в данном случае человека.

Постановка задачи. Подход к анализу ВСР на основе исследования состояний основан на том, что система регуляции кровообращения рассматривается как целое (объект), а все факторы, внешние по отношению к ней, образуют среду. Объект как система обладает набором состояний, каждое из которых характеризуется совокупностью протекающих в нем процессов (нервных, гормональных, гуморальных). Сложный характер взаимодействия элементов системы, влияние на их состояние множества плохо контролируемых внешних факторов, приводят к тому, что процессы, определяющие варибельность сердечного ритма, обнаруживают вероятностную природу. Это создает реальные предпосылки применения к анализу варибельности информационно-статистического подхода, суть которого состоит в представлении процессов, определяющих варибельность сердечного ритма, статистической моделью (образом) в виде распределения вероятностей. Было показано, что если состояние объекта отражает результат совместной реализации $n-1$ независимых процессов x_j , протекающих со скоростями (интенсивностями) v_j , и противоположного им по смыслу процесса, протекающего со скоростью v_n , то статистическая модель, информационно эквивалентная объекту любой природы и степени сложности, может быть представлена распределением Дирихле с функцией плотности вероятности:

$$D(x_1, \dots, x_k) = \frac{\Gamma(a_n)}{\prod_{i=1}^n \Gamma(v_i)} \prod_{j=1}^k x_j^{v_j-1} \left(1 - \sum_{j=1}^k x_j\right)^{v_n-1}, \quad (1)$$

где $0 \leq \sum x_i \leq 1$; $v_i \geq 0, \dots, v_n \geq 0$; $\sum v_j = \alpha_n$; $n = k + 1$.

В качестве численных значений, позволяющих сравнивать между собой различные функциональные состояния, выступает информационная энтропия статистической модели, которая для (1) может быть представлена в виде:

$$H_D = \ln \frac{\prod_{i=1}^n \Gamma(v_i)}{\Gamma(a_n)} + \sum_{i=1}^n (v_i - 1) [\psi(a_n) - \psi(v_i)], \quad (2)$$

где $\psi(x) = \frac{d}{dx} \ln \Gamma(x)$.

В нашей работе в качестве статистической модели анализа ВСР рассматривается частный случай распределения Дирихле при $n = 2$ ($k = 1$) — бета-распределение.

Бета-распределение является достаточно гибкой моделью, описывающей динамику взаимодействия двух процессов. В рамках данной работы указанные два процесса можно интерпретировать как регулирование сердечного ритма при помощи автономного контура и центрального контура или двух функциональных подсистем.

Материалы и методы. Метод, основанный на применении распределения Дирихле при $n = 2$ ($k = 1$) — бета-распределении с функцией плотности вероятности, был апробирован при изучении показателей варибельности ритма сердца у обследуемых двух групп. В первую группу вошли пациенты с диагнозом мозгового инсульта, всего — 58 человек в возрасте от 32 до 65 лет. Вторая группа

состояла из 38 практически здоровых людей в возрасте от 30 до 62 лет без клинических признаков нарушений мозгового кровообращения. В целях верификации диагноза и оценки степени нарушения мозгового кровообращения обследуемым предварительно проводились доплерографические ультразвуковые исследования, по показаниям – магнитно-резонансные томограммы головного мозга. Сравнительная оценка проводилась методом вычисления стандартных статистических параметров средней длительности интервала RR. Исследование проводилось в покое (после периода отдыха в течение 10 минут), продолжительность исследования — 5 минут. Данные электрокардиограммы (ЭКГ) вносились в компьютер и обрабатывались с помощью оригинального программного обеспечения с применением информационно-статистического метода и традиционного метода вариационной статистики.

Результаты исследования. Основные статистические параметры ВСР и параметры энтропии для ритмограмм указанных выше групп пациентов приведены в табл. 1.

Сокращения, принятые в таблице: МИ — пациенты с диагнозом «мозговой инсульт», 30 — здоровые обследуемые.

Показатели интервалов RR: СД — средняя длительность; ВР — вариационный размах;

СКО — среднее квадратическое отклонение; $KB = 100 - СКО/СД\%$ — коэффициент вариации.

Показатели информационной энтропии бета-распределения: СЭ — среднее значение; ВРЭ — разница между максимальным и минимальным значением; СКОЭ — среднее квадратическое отклонение; КВЭ — коэффициент вариации.

Переход от традиционных параметров описания ВСР к параметрам информационной энтропии бета-распределения позволяет более четко проследить тенденцию перехода от здоровых людей в возрасте 32—60 лет, к пациентам с диагнозом мозгового инсульта. Средние значения параметров энтропии (за исключением коэффициента вариации энтропии КВЭ) значимо ($P = 0,9$) отличаются от параметров вариационной статистики для пациентов в возрасте 32—60 лет и пациентов с диагнозом мозгового инсульта.

Использование вычисленных за период записи ЭКГ параметров энтропии бета-распределения позволило классифицировать пациентов на группы (см. таблицу) с помощью нейронной сети с вероятностью 77,6%. Анализ по стандартным статистическим параметрам для той же нейронной сети дал вероятность результата классификации 43,7%.

Таким образом, совместное использование информационно-статистического метода и метода анализа сердечного по стандартным статистическим параметрам позволяет получить дополнительную информацию, относящуюся к состоянию организма.

Табл. 1. Основные статистические параметры и параметры информационной энтропии бета-распределения по группам обследуемых.

	Статистические показатели				Параметры энтропии			
	СД мс	ВР мс	СКО мс ²	КВ %/100	СЭ	ВРЭ	СКОЭ	КВЭ%
МИ	843,13	227,16	41,30	0,95	-4,14	-254,78	26,22	96,58
30	844,84	181,71	32,53	0,96	-1,73	-65,20	6,88	96,95

Многомерный статистический анализ объективной и субъективной составляющей реакции на эмоциональное воздействие:

методические аспекты

*В. В. Кальниш², И. А. Чайковский¹, О. А. Кривова¹, Т. А. Ена²
Ю. А. Фролов¹, А. А. Ена², А. С. Коваленко¹*

¹МНУЦ ИТиС НАНУ, Киев, Украина

²Институт медицины труда НАМНУ, Киев, Украина

Цель работы — изучение объективной компоненты отклика человека-оператора на эмоционально окрашенный видео-стимул при помощи анализа показателей variability ритма сердца и субъективной компоненты реакции на основе общепринятых анкетных методик, а также выявление взаимосвязи между этими компонентами.

Материалы и методы. Были обследованы 29 здоровых добровольцев, каждому из которых на экране ноутбука последовательно были показаны три аудиовизуальных клипа длительностью 7–8 мин. Использовалась база верифицированных видеоклипов FilmStim. Видеоклипы (разного эмоционального воздействия) предъявлялись поэтапно в очередности: позитивно, негативно и нейтрально окрашенные. Испытуемые оценивали свое состояние с помощью тестов SAN (самочувствие, активность, настроение), «Градусник», «Маски». На всех этапах регистрировалась ЭКГ в 3-х отведениях с помощью системы холтеровского мониторинга ECGpro (IMESC, Киев). Анализ variability ритма сердца (ВРС)

производился с использованием оригинального пакета программ. Рассчитывались статистические характеристики RR интервалов, показатели вариационной пульсометрии, спектрального анализа, графа сердечного ритма, нелинейной динамики. Всего анализировались: 48 показателей ВРС и 3 показателя самооценки эмоционального состояния.

Задачи исследования: 1) разработка методики выбора наиболее информативных из многочисленных показателей ВРС, которые бы могли диагностировать эмоциональную реакцию оператора на видео-стимулы, 2) выявление степени согласованности изменений субъективной и объективной составляющей реакции под влиянием видеостимулов.

Задачи исследования определили выбор комплекса методов статистического решения: дисперсионный, кластерный, факторный, дискриминантный и корреляционный анализ (с использованием пакета «Statistica 7.0»).

Результаты. Первым шагом была стандартизация массива показателей (вычислением z-вклада), анализ распределений, поиск выбросов для проверки необходимых условий корректного использования параметрических дисперсионного и дискриминантного анализа (нормальность распределения). В нашем случае из дальнейшего анализа был исключен показатель «Маски».

Следующий шаг — выяснение существует ли статистически значимое различие средних значений показателей на всех этапах исследования. Группирующим фактором являются этапы исследования, соответствующие исходному состоянию и предъявляемым

видеоклипам разной эмоциональной окраски. Применялся однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) для сравнения средних в 4-х группах по всему набору показателей. Отметим необходимость использования процедуры ANOVA с повторными измерениями, так как выборки зависимы. Результаты теста показали статистически значимые различия средних на всех этапах исследования ($W=0,086$, $F=1,779$, $p=0,000092$). Проводилась проверка однородности вариаций — другого необходимого условия, которое для большинства показателей выполнялось (тест Левене). Апостериорный анализ (тесты Тьюка, Ньюмена-Кейлса), показал значимость различий среднегрупповых значений между этапом «отрицательный стимул» и всеми другими этапами исследования.

Таким образом, можно сделать вывод, что существует статистически значимое различие между значениями показателей ВРС у операторов на этапе просмотра отрицательно окрашенного видеоклипа и в других состояниях.

Дальнейшая задача — выяснение вопроса, какие именно показатели наиболее различают состояние операторов и на каких этапах исследования. Применялась процедура пошагового дискриминантного анализа. Показатели нормировались на их значение в состоянии покоя (в%) с целью снижения влияния индивидуальной вариабельности. Были определены 10 показателей, которые наиболее значимы при разделении реакции испытуемых на всех 4-х этапах исследования ($Wilks'\lambda = 0,2$ при $F = 7,5$, $p < 0,0001$). Рассчитывались дискриминантные функции, классификационные матрицы, определялся вклад каждого из выделенных 10 информативных показателей в мощность дискриминации как при сравнении всех 4-х этапов, так и при попарных сравнениях этапов.

На различных этапах исследования достоверно отличаются субъективные оценки эмоционального состояния САИ и Градусник, а также такие показатели ВРС, как: Average x — среднее значение RR-интервалов; RMSSD — квадратный корень из суммы квадратов разностей последовательных RR-интервалов; Mo — мода; Ao — амплитуда моды; SI — индекс напряжения; SampEn — энтропия шаблонов; ND — число узлов графа RR-интервалов; MF — мощность спектра в диапазоне 0,08–0,15 Гц.

С целью выявления взаимосвязей в наборе из 10 показателей, характеризующих объективную и субъективную компоненту отклика на видео-стимулы, применялся корреляционный анализ. По расчетам корреляций (Пирсона, Спирмена, статистик Гамма и Кендала) между показателями субъективной оценки с одной стороны (САИ, Градусник), а с другой — 8 показателями ВРС не было выявлено статистически значимых взаимосвязей. Однако тест знаков и критерий Вилкоксона показали согласованность между изменениями субъективной оценки (САИ) и объективной (Average x, Mo, RMSSD, ND), а также между показателями Градусник и RMSSD.

Кроме того, мы использовали факторный анализ в качестве альтернативного метода оценки информативности показателей. Методом главных компонент с вращением варимакс выделено 4 фактора, объясняющие 72,9% дисперсии. В состав трех факторов входят 8 вышеуказанных показателей ВРС, а четвертый фактор с наименьшим вкладом (6%) это — субъективная оценка стимулов (САИ и Градусник). Что подтверждает устойчивость выбранного набора показателей, а также указывает на относительную независимость субъективной и объективной составляющей реакции.

Для выделения типологических групп операторов применяли кластерный анализ. Методом K-средних (как по набору информативных показателей, так и факторам). Среди операторов были выделены 3 группы, различающиеся соотношением показателей ВРС, что позволило отнести их к симпатическому, вагусному и смешанному (по выраженности нелинейной динамики) типам регуляции нервной системы. Отметим, что разброс показателей ВРС, а также степень объективной оценки во время просмотра отрицательно окрашенного клипа, существенно выше (что особенно выражено у «симпатиков»), чем во время просмотра положительно окрашенного клипа.

Выводы. Разработана методика статистического анализа субъективной и объективной составляющей реакции операторов на видео-стимулы различной эмоциональной окраски.

Определен набор информативных показателей вариабельности ритма сердца, который дает возможность на высоком уровне статистической значимости определять эмоциональное состояние оператора.

Просмотр эмоционально окрашенных видеоклипов (обоих знаков) вызывает достоверное замедление частоты сердечных сокращений, а также изменения нескольких основных статистических показателей вариабельности ритма сердца.

Холтеровское мониторирование при длительном наблюдении пациентов с имплантированным электрокардиостимулятором

Л. И. Кардашевская, Е. С. Михайличенко, А. М. Гнилорыбов
ГУ «Институт неотложной и восстановительной хирургии им. В. К. Гусака НАМН Украины»
Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, Донецк, Украина

Электрическая кардиостимуляция в настоящее время является единственным адекватным методом лечения брадиаритмий как при АВ-блокаде, так и при дисфункции синусового узла.

Выбор определенной системы электрокардиостимулятора (ЭКС) часто является своего рода компромиссом между оптимальным (с медицинской точки зрения) решением и чисто экономическими или определенными хирургическими сложностями. Однако даже имплантация адекватного, выбранного строго по показаниям ЭКС еще не является гарантией благоприятного течения основного заболевания и удовлетворительного состояния пациента.

У пациентов с имплантированным ЭКС встречаются любые из известных предсердных и желудочковых нарушений сердечного ритма, включая желудочковую тахикардию и фибрилляцию предсердий. Наряду с этим, сам пейсмекер становится причиной различных аритмий, которые могут вызывать тяжелые гемодинамические расстройства, усугубляя сердечную и коронарную недостаточность.

Суточное мониторирование ЭКГ является одним из основных неинвазивных методов, позволяющих выявить и дифференцировать «собственные» и пейсмекерные нарушения ритма.

Цель исследования. Изучить электрофизиологические и возможные аритмогенные эффекты постоянной электрокардиостимуляции при длительном наблюдении пациентов с имплантированным искусственным водителем ритма (ИВР) в условиях их повседневной активности, используя холтеровское мониторирование ЭКГ.

Материалы и методы. Обследованы 104 пациента (56 мужчин и 48 женщины, средний возраст $63,4 \pm 5,2$ лет). Поводом для имплантации ИВР послужили синкопальные состояния, причиной которых у 72 больных явилась ИБС, осложненная АВ-блокадой П–Ш ст., у 32 — синдром слабости синусового узла (СССУ) на фоне ИБС (22) или постмиокардитического кардиосклероза (10). 72 пациентам имплантированы однокамерные ЭКС в режиме VVI; 32 пациентам — двухкамерные стимуляторы в режиме DDD.

Для изучения эктопической активности миокарда и диагностики аритмогенных эффектов ИВР всем пациентам проводилось холтеровское мониторирование ЭКГ (ХМЭКГ) с помощью системы «Кардиотехника» фирмы ИНКАРТ (г. Санкт-Петербург, Россия) в разные сроки после имплантации ИВР (от 1 года до 10 лет).

Результаты исследования: У всех больных регистрировались нарушения ритма, которые мы разделили на две группы: «собственные» аритмии и пейсмекерные (обусловленные функционированием ИВР). «Собственные» аритмии были представлены желудочковой экстрасистолией (ЖЭ) 2–3 класса по Lown — у 36,

из них у 28 — в патологическом количестве (более 30 в час), у 4 — с эпизодами групповых ЖЭ, у 4 — пробежки желудочковой тахикардии; суправентрикулярной экстрасистолией — у 10 (10,4%) пациентов с режимом DDD и пароксизмами фибрилляции предсердий у 6 из них. Эта группа аритмий провоцировалась нагрузкой и была обусловлена либо хронотропной недостаточностью (с режимом стимуляции VVI), либо коронарной недостаточностью.

Среди нарушений ритма, обусловленных функционированием самого ИВР у 4 (3,8%) пациентов с режимом VVI и у 6 (3,8%) с режимом DDD регистрировалась пароксизмальная АВ — узловая реципрокная тахикардия; у 8 (7,7%) больных с режимом стимуляции DDD и у одного с режимом стимуляции VVI были выявлены эпизоды пейсмеркерной тахикардии (фрагм. ЭКГ)

У 16 (15,2%) пациентов с режимом стимуляции VVI регистрировалась частая пейсмеркерная желудочковая экстрасистолия, у 4-х пациентов — эпизоды пейсмеркерной бигемении с «пробежками» стимулированной желудочковой тахикардии.

Выявленные аритмогенные эффекты ИВР не были обусловлены физической нагрузкой либо приемом каких-либо медикаментов.

Клиническими проявлениями (сердцебиение, одышка, приступы сердечной астмы, отеки нижних конечностей, головокружение) и выраженными изменениями гемодинамики сопровождалась пейсмеркерная и АВ-узловая реципрокная тахикардия.

Вероятность возникновения бесконечной круговой тахикардии стимулятора является серьезным осложнением при двухкамерной стимуляции, однако она может наблюдаться и при полной АВ-блокаде Развитие этой аритмии у больных с ЭКС связано с наличием ретроградной вентрикулоатриальной (ВА) проводимости. Один из способов прекращения этой аритмии является перепрограммирование ЭКС. В этом случае ретроградный Р перестает детектироваться и круговая тахикардия прерывается.

Причиной стимуляционной бигемении может быть пролонгированное ВА проведение при стимуляции в режиме VVI.

Выводы. 1. Искусственные водители ритма могут индуцировать нарушения ритма, потенциально опасные для развития фатальных аритмий и внезапной смерти, что определяет прогностическую роль холтеровского мониторирования ЭКГ в оценке аритмогенной активности постоянной ЭКС.

2. Суточное мониторирование ЭКГ позволяет дифференцировать собственно эктопическую активность сердца с аритмогенными эффектами электрокардиостимуляции.

3. Среди аритмогенных эффектов ИВР наиболее частыми являются пейсмеркерная желудочковая экстрасистолия, пейсмеркерная круговая бесконечная тахикардия и пароксизмальная АВ-узловая реципрокная тахикардия.

4. Холтеровское мониторирование ЭКГ является обязательным методом обследования пациентов с имплантированным ЭКС для своевременной диагностики и купирования пейсмеркерных аритмий.

5. При длительном наблюдении больных с имплантированным ИВР отмечается прогрессирование как собственно эктопической, так и триггерной активности миокарда, что определяет необходимость медикаментозной коррекции.

Особенности ранней диагностики острой постинфарктной аневризмы левого желудочка

С. М. Киселев

Запорожский государственный медицинский университет, Украина

Развитие аневризмы левого желудочка (ЛЖ) является одним из наиболее неблагоприятных исходов постинфарктного ремоделирования, с которым связано возникновение и прогрессирование сердечной недостаточности, повышенный риск тромбоэмболических осложнений, желудочковых нарушений ритма, резистентных

к медикаментозной терапии и сопряженных с высокой летальностью. Распространенность аневризмы ЛЖ среди пациентов, перенесших инфаркт миокарда достигает 35%. Более 80% аневризм ЛЖ являются результатом переднего ИМ. В исследованиях последних лет изучалась связь некоторых показателей острого периода инфаркта с вероятностью неблагоприятного постинфарктного ремоделирования. Тем не менее, общепринятых алгоритмов выявления пациентов, которым оно угрожает, не существует.

Цель работы — изучить особенности структурно-функционального состояния сердца в остром периоде Q-инфаркта и оптимизировать раннюю диагностику острой постинфарктной аневризмы ЛЖ.

Материалы и методы: В исследовании принимали участие 37 больных (28 мужчин и 9 женщин), средний возраст — $58,7 \pm 1,7$ лет, поступивших в инфарктное отделение Запорожской городской клинической больницы экстренной и скорой медицинской помощи с диагнозом Q-инфаркт миокарда. В первую группу включено 18 пациентов с постинфарктной аневризмой ЛЖ, во вторую — 19 человек с неосложненным течением Q-ИМ. Группы были сопоставимы по возрасту, полу и наличию сопутствующих заболеваний. Всем пациентам проводили электрокардиографию и эхокардиографию. Электрокардиограммы регистрировали с помощью диагностического комплекса «Кардиолаб» («ХАИ-Медика», Харьков, Украина). Структурно-функциональные параметры сердца определяли в ходе двухмерной транссторакальной эхокардиоскопии на ультразвуковом диагностическом сканере «MyLab 50 CVXVision (Esaote, Италия) с использованием фазированного датчика PA230E 2–4 МГц.

Корреляционный анализ в группе больных с аневризмой ЛЖ выявил прямую связь размера ЛПс наличием зубца QS во II отведении в 1-е сутки ИМ ($r = 0,53$, $p < 0,05$), продолжительностью интервала PQ в I отведении в 1-е сутки ИМ ($r = 0,54$, $p < 0,05$), конечно-диастолического размера ПЖ с амплитудой депрессии сегмента ST во II отведении ($r = 0,53$, $p < 0,05$) и в aVF ($r = 0,51$, $p < 0,05$) в 1-е сутки ИМ, амплитудой элевации ST-T в 1-е сутки ИМ в отведениях V4 ($r = 0,50$, $p < 0,05$), V5 ($r = 0,71$, $p < 0,05$), V6 ($r = 0,52$, $p < 0,05$), амплитудой элевации сегмента ST на 5-е сутки ИМ в III отведении ($r = 0,94$, $p < 0,05$), толщины МЖП с амплитудой депрессии сегмента ST на 3-и сутки ИМ в III отведении ($r = 0,54$, $p < 0,05$), амплитудой депрессии сегмента ST на 3-и сутки ИМ в aVF ($r = 0,5$, $p < 0,05$), наличием зубца QS в отведении V1 на 3-и ($r = 0,5$, $p < 0,05$) и на 5-е сутки ИМ ($r = 0,66$, $p < 0,05$), конечно-диастолического размера ЛЖ с амплитудой патологического зубца Q на 3-и сутки ИМ в отведении V4 ($r = 0,53$, $p < 0,05$), V5 ($r = 0,55$, $p < 0,05$), амплитудой элевации ST-T на 3-и сутки ИМ в отведении V6 ($r = 0,53$, $p < 0,05$), конечно-систолического размера ЛЖ с амплитудой элевации ST-T на 3-и сутки ИМ в отведении V6 ($r = 0,65$, $p < 0,05$), амплитудой элевации сегмента ST в aVF на 5-е сутки ($r = 0,56$, $p < 0,05$), индекса массы миокарда с амплитудой элевации ST-T в 1-е сутки ИМ в отведении V4 ($r = 0,57$, $p < 0,05$), амплитудой патологического зубца Q в 1-е сутки ИМ в отведении V5 ($r = 0,54$, $p < 0,05$), амплитудой патологического зубца Q на 3-и сутки ИМ в отведении V5 ($r = 0,53$, $p < 0,05$), ударного объема с амплитудой патологического зубца Q на 3-и сутки ИМ в отведении V4 ($r = 0,52$, $p < 0,05$), минутного объема крови с наличием зубца QS во II отведении в 1-е сутки ($r = 0,52$, $p < 0,05$), глубиной ($r = 0,55$, $p < 0,05$) и шириной ($r = 0,57$, $p < 0,05$) патологического зубца Q в 1-е сутки ИМ в отведении V4, глубиной патологического зубца Q в 1-е сутки ИМ в отведении V5 ($r = 0,53$, $p < 0,05$), глубиной ($r = 0,5$, $p < 0,05$) и шириной ($r = 0,5$, $p < 0,05$) патологического зубца Q в 1-е сутки ИМ в отведении V6 и обратную связь размера ЛП с глубиной ($r = -0,53$, $p < 0,05$) и шириной ($r = -0,53$, $p < 0,05$) зубца QS в III отведении в 1-е сутки ИМ, амплитудой положительного зубца T в I отведении на 3-и сутки ИМ ($r = -0,59$, $p < 0,05$), глубиной ($r = -0,58$, $p < 0,05$) и шириной ($r = -0,57$, $p < 0,05$) патологического зубца Q на 3-и сутки ИМ в III отведении, глубиной отрицательного зубца T на 3-и сутки ИМ в III отведении ($r = -0,57$, $p < 0,05$), толщины МЖП с глубиной ($r = -0,54$, $p < 0,05$) и шириной ($r = -0,54$, $p < 0,05$) патологического зубца Q в отведении V3 в 1-е сутки ИМ, продол-

жительностью комплекса QRS в III отведении ($r = -0,60$, $p < 0,05$), в avL ($r = -0,57$, $p < 0,05$) и avF ($r = -0,69$, $p < 0,05$) на 3-и сутки ИМ, продолжительностью комплекса QRS во II отведении на 5-е сутки ИМ ($r = -0,54$, $p < 0,05$), конечно-диастолического размера ЛЖ с продолжительностью интервала PQ во II стандартном ($r = -0,50$, $p < 0,05$) и в отведении V5 ($r = -0,50$, $p < 0,05$) в 1-е сутки ИМ, в отведении V3 ($r = -0,50$, $p < 0,05$), V4 ($r = -0,60$, $p < 0,05$) и V6 ($r = -0,53$, $p < 0,05$) на 3-и сутки ИМ, толщиной задней стенки ЛЖ с продолжительностью интервала PQ в отведении V5 в 1-е сутки ИМ ($r = -0,51$, $p < 0,05$), V3 ($r = -0,55$, $p < 0,05$) и V4 ($r = -0,63$, $p < 0,05$) на 3-и сутки ИМ, индекса массы миокарда с продолжительностью интервала PQ во II отведении в 1-е сутки ИМ ($r = -0,53$, $p < 0,05$), продолжительностью комплекса QRS в III отведении на 3-и сутки ИМ ($r = -0,53$, $p < 0,05$), продолжительностью интервала PQ в отведении V3 ($r = -0,57$, $p < 0,05$) и V4 ($r = -0,55$, $p < 0,05$) на 3-и сутки ИМ, продолжительностью комплекса QRS в III отведении на 5-е сутки ИМ ($r = -0,78$, $p < 0,05$), продолжительностью интервала QTв отведении avL на 5-е сутки ИМ ($r = -0,52$, $p < 0,05$), глубиной ($r = -0,51$, $p < 0,05$) и шириной ($r = -0,53$, $p < 0,05$) патологического зубца Q в отведении avL на 5-е сутки ИМ, ударного объема с глубиной отрицательного зубца T в I отведении на 3-и сутки ИМ ($r = -0,52$, $p < 0,05$), продолжительностью интервала PQ в III отведении на 3-и сутки ИМ ($r = -0,50$, $p < 0,05$), минутного объема крови с продолжительностью интервала QT в отведении avL на 3-и сутки ИМ ($r = -0,52$, $p < 0,05$), продолжительностью комплекса QRS в III отведении на 5-е сутки ИМ ($r = -0,55$, $p < 0,05$), продолжительностью интервала QT в отведении avL на 5-е сутки ИМ ($r = -0,53$, $p < 0,05$), продолжительностью интервала QT в отведении V3 на 5-е сутки ИМ ($r = -0,58$, $p < 0,05$), фракции выброса ЛЖ с амплитудой положительного зубца T в отведении V2 ($r = -0,55$, $p < 0,05$) и V3 ($r = -0,57$, $p < 0,05$) на 5-е сутки ИМ, соотношения времени раннего диастолического наполнения ЛЖ и систолы предсердий с амплитудой положительного зубца T в во I отведении ($r = -0,53$, $p < 0,05$) и в avL ($r = -0,53$, $p < 0,05$) в 1-е сутки ИМ, глубиной отрицательного зубца T в отведении V1 на 3-и сутки ИМ ($r = -0,57$, $p < 0,05$).

Нами предложена методика расчета интегрального показателя элевации сегмента ST — индекс сегмента ST. Индекс элевации сегмента ST на 3-и сутки ИМ имеет прямую корреляционную связь с конечно-диастолическим размером ЛЖ ($r = 0,28$, $p < 0,05$), регургитацией на митральном клапане ($r = 0,26$, $p < 0,05$), количеством сегментов с нарушением локальной сократимости по типу акинезии ($r = 0,32$, $p < 0,05$) и дискинезии ($r = 0,21$, $p < 0,05$) и обратную связь с ФВ ($r = -0,20$, $p < 0,05$), соотношением VE/VA ($r = -0,23$, $p < 0,05$), временем замедления потока в легочной артерии ($r = -0,28$, $p < 0,05$), временем изволюмического расслабления ЛЖ ($r = -0,25$, $p < 0,05$).

В группе больных с аневризмой ЛЖ выявлено достоверное преобладание продолжительности интервала PQ в 1-е сутки ИМ в отведении avL (на 18,5%, $p = 0,008$), амплитуды элевации сегмента ST во 2-е сутки ИМ в отведениях V1 (на 55,7%, $p = 0,002$), V2 (на 65,3%, $p = 0,002$), V3 (на 54,3%, $p = 0,008$), V4 (на 62,7%, $p = 0,008$), V5 (на 65,3%, $p = 0,002$), V6 (на 81,1%, $p = 0,006$), индекса сегмента ST (на 38,6%, $p = 0,006$), амплитуды элевации сегмента ST на 5-е сутки ИМ в отведениях V1 (на 58,5%, $p = 0,002$), V2 (на 61,3%, $p = 0,0002$), V3 (на 58,3%, $p = 0,0007$), V4 (на 62,9%, $p = 0,002$), V5 (на 70,8%, $p = 0,002$), V6 (на 90,8%, $p = 0,003$), конечно-систолического размера ЛЖ (на 13,0%, $p = 0,01$), степени регургитации на митральном (на 24,8%, $p = 0,03$) и трикуспидальном (на 22,5%, $p = 0,01$) клапане, количества сегментов ЛЖ с нарушением локальной сократимости по типу дискинезии (на 70,6%, $p = 0,004$), при наличии достоверно меньших значений ФВ (на 25,5%, $p = 0,002$).

Таким образом, у больных Q-инфарктом миокарда при наличии аневризмы ЛЖ в остром периоде, по сравнению с пациентами без аневризмы ЛЖ, отмечается замедление атриовентрикулярной проводимости, стойкая элевация сегмента ST в информативных отведениях, индекс сегмента ST ≥ 2 , дилатация левых отделов сердца, выраженная регургитация на митральном и трикуспидальном клапанах, нарушение локальной сократимости инфаркт-ассоциированных сегментов ЛЖ по типу дискинезии, снижение глобальной систолической функции ЛЖ.

Результаты использования методик построения интерфейса пользователя в компьютерной системе ведения медицинских записей центра кардиологии и кардиохирургии

В. В. Костра

*Институт технической механики НАНУ и ГКАУ
Днепропетровск, Украина*

Введение. Традиционно использование компьютерной системы в медицинском учреждении повышает (или должно повысить) эффективность работы этого учреждения. Сегодня если поставить в кабинете врача компьютер и принтер, то пользователь-врач может работать с компьютером, так как ему удобно (например, набирать свои результаты в Word или Excel). Однако эффективная работа врача в рамках всего медицинского учреждения потребует особой компьютерной программы, которая должна обеспечить полный, точный и своевременный ввод информации врача в общую базу данных.

В докладе делается акцент на результатах использования разработанных методик построения интерфейса пользователя. Методики реализуют интерактивный сценарий работы пользователя-врача, и по мнению автора эти результаты отличаются от решений предлагаемых в подобных компьютерных системах. Приводятся результаты использования с 2006 г. компьютерной программы ведения медицинских записей в Днепропетровском областном клиническом центре кардиологии и кардиохирургии. Записи вносятся в поликлиническую амбулаторную карту или стационарную историю болезни.

Методы. Программа построена по технологии клиент-сервер (на сервере — база данных, на компьютере врача — толстый клиент). Ввод данных в программу выполняется с помощью разработанных шаблонов медицинских записей, которые используют разработанные методики построения интерфейса пользователя. Шаблоны создавались с помощью медицинских консультантов и позволяют вводить протоколы ведения пациентов, результаты обследований и лечения.

Результаты. Можно выделить следующие результаты использования программы.

- Автоматизация врачей консультантов ведущих поликлинический прием. К ним относятся кардиологи, детский кардиолог, кардиохирург, кардиологи отделения электрофизиологических исследований (среднее число записей за день — 50). Пользователи при составлении консультаций используют конструктор текстовых заключений, в котором собраны соответствующие текстовые заготовки (в справочнике около 1 тыс. текстовых строк). У разных пользователей могут быть свои заготовки. Среднее время составления страницы печатного текста — 5 мин. Опытные пользователи тратят на составление текста консультации 2 мин. (краткие жалобы, диагноз и рекомендации). Кроме того, возможно планирование госпитализаций пациентов в отделения стационара: кардиологии, интервенционной кардиологии, кардиохирургии.
- Автоматизация ввода результатов исследования функциональной диагностики «Эхокардиография». Исследование может выполняться в разных кабинетах, соответственно результаты попадают в общую базу данных и результаты по одному пациенту за разные посещения можно анализировать в динамике (среднее число записей за день — 150). Используется шаблон ввода параметров и конструктор текстовых заключений. С компьютером здесь работает медсестра, врач диктует ей результаты и заключение. В таком режиме время составления результата исследования (после того как врач закончил смотреть пациента) — 1 мин. Дополнительные функции: для детей рассчитываются индексы оценки параметров по Z-SCORE и для новорожденных проводится сравнение с данными по ЭхоКГ плода.
- Автоматизация кодирования заключений. Компьютерная программа позволяет в автоматизированном режиме выполнять отметку статистических талонов, отмечаются коды заключений

исследований и консультаций по результатам анализа текстового заключения.

Выводы. Вопросы разработки методик построения пользовательского интерфейса являются актуальными и сегодня. Эффект от использования разработанных методик в компьютерной системе врачами кардиологами и кардиохирургами связан с доступной медицинским потребностям структурой и дружелюбностью пользовательского интерфейса.

Информационная технология оценки и прогнозирования функционального состояния человека по показателям variability сердечного ритма

*М. Л. Кочина¹, А. А. Каминский², А. С. Евтушенко³
В. А. Маленкин⁴, Е. В. Моисеенко⁵, Л. Г. Высоцкая⁶*

¹Харьковская медицинская академия последипломного образования, Украина

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники Украина

³Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем, Киев, Украина

⁴Военно-врачебная комиссия Крымского региона, Севастополь Украина

⁵Институт физиологии им. А. А. Богомольца, Киев, Украина

⁶ГУ «Институт медицины труда АМН Украины», Киев

Анализ variability сердечного ритма (ВСР) занимает одно из ведущих мест среди современных методов исследования функционального состояния (ФС) человека в динамике разных видов деятельности. Метод позволяет оценить состояние механизмов регуляции физиологических функций, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношение между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы. Поскольку любые изменения ФС обеспечиваются вегетативной регуляцией, а ВСР является индикатором этих изменений, ее исследования позволяют выявить механизмы адаптации организма к различным видам деятельности.

Кроме оценки текущего ФС человека существует целый ряд задач, связанных с прогнозированием изменения этого состояния в динамике различных видов деятельности, что особенно важно при проведении профессионального отбора, особенно на специальности, предъявляющие высокие требования к различным системам организма. Для этих целей необходима разработка методов, позволяющих не только проводить классификацию состояний испытуемых по значениям их функциональных показателей, но и прогнозировать возможные их изменения по исходным данным.

Материалы и методы. Для разработки информационной технологии прогнозирования состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) при разных видах деятельности были использованы записи кардиоинтервалограмм 52 водолазов мужчин в возрасте 18–22 лет, 54 спортсменов-мужчин в возрасте 19–24 лет и 11 участников антарктической экспедиции в возрасте 25–30 лет. Запись кардиоинтервалограмм испытуемых производилась до и после профессиональной нагрузки.

Для непосредственной количественной оценки ВСР применялись статистические методы, при использовании которых кардиоинтервалограмма рассматривается как последовательность временных промежутков — RR-интервалов. К статистическим показателям кардиоинтервалограммы относятся: *RRNN*, *SDNN* и *RMSSD*. Для исследования закона распределения RR-интервалов применялись геометрические методы, которые основываются на анализе характеристик гистограммы динамического ряда RR-интервалов. Эти методы позволяют не учитывать RR-интервалы, которые связаны с артефактами и экстрасистолами. Для оценки различных частотных составляющих сердечного ритма и на-

глядного графического представления соотношения различных его компонент, отражающих активность определенных звеньев регуляторного механизма, были использованы спектральные методы. При ВСР анализе используются как непараметрические, так и параметрические методы спектрального анализа, которые в большинстве случаев позволяют получать сопоставимые результаты. С целью исследования статистических взаимосвязей между RR интервалами применялись корреляционные методы, которые основываются на анализе автокорреляционной функции (АКФ) кардиоинтервалограммы. Для построения математических моделей информационной технологии прогнозирования ФС человека в процессе трудовой деятельности был использован аппарат нечеткого логического вывода Мамдани.

Результаты и их обсуждение. Информационная технология прогнозирования функционального состояния человека в процессе трудовой деятельности по показателям ВСР включает регистрацию ЭКГ сигнала, построение и прогноз кардиоинтервалограммы (КИГ), определение показателей и построение диаграмм ВСР по спрогнозированной КИГ. Для осуществления технологии разработан регистратор кардиосигнала и программное обеспечение, реализующие все стадии его обработки. Метод прогнозирования кардиоинтервалограммы основан на применении процесса эквализации КИГ, состоящего в усилении гармоник одних частотных диапазонов и подавлении гармоник других частотных диапазонов. Эквализация КИГ осуществлялась в четырех стандартизированных частотных диапазонах: высоких частот, низких частот, очень низких частот и нулевой частоты. При обработке КИГ были использованы принципы цифровой фильтрации сигналов на основе дискретного преобразования Фурье (ДПФ).

Прогнозирование показателей ВСР для определенного вида трудовой деятельности осуществлялось в два этапа: вначале определялся класс динамики показателей, а затем выполнялся прогноз их изменения. Необходимость определения класса динамики показателей ВСР обусловлена их разнонаправленным изменением в результате профессиональной деятельности. У части испытуемых эти показатели убывают, у другой части — возрастают. Разделение испытуемых на классы позволяет учесть эту особенность и повысить точность прогноза.

На первом этапе технологии осуществлялось определение показателей ВСР испытуемых, на втором этапе — разработка математических моделей прогноза этих показателей. С этой целью были сформированы матрицы данных, содержащие исследуемые показатели до и после трудовой нагрузки, а также матрицы, содержащие изменения исследуемых показателей. Затем осуществлялось разбиение матриц изменения показателей на кластеры с использованием методов нечеткой кластеризации. Применение нечеткой кластеризации обусловлено тем, что метод дает возможность работать с данными со слабо выраженными межкластерными различиями, а четкие методы кластеризации, например к средних, не позволяют получать при таком характере данных устойчивые кластеры.

По результатам кластеризации и матрице показателей до нагрузки осуществлялась разработка систем прогнозирования класса динамики показателей ВСР. Затем по показателям до и после нагрузки для каждого полученного класса осуществлялась разработка комплекса моделей динамики показателей ВСР.

Третий этап информационной технологии состоял в разработке и реализации алгоритмов прогнозирования ФС человека в процессе трудовой деятельности. С этой целью вначале определялась принадлежность испытуемых к выделенным классам характера изменения ФС, после чего выполнялся прогноз показателей с использованием соответствующих моделей. Далее осуществлялся синтез кардиоинтервалограммы по спрогнозированным аппроксимационным параметрам и расчет показателей ВСР. В заключении формировалась матрица спрогнозированных показателей ФС испытуемых.

Данные, полученные при исследовании ВСР испытуемых, относящихся к разным профессиональным группам (водолазы,

спортсмены, члены антарктической экспедиции), но выполняющим свою работу в экстремальных условиях, были использованы для проверки адекватности разработанной информационной технологии. При проведении кластеризации испытуемые были разбиты на два кластера динамики показателей, причем к первому отнесено 64% испытуемых, ко второму — 36%.

Первый кластер характеризуется убыванием показателей ВСП, второй — ростом. Различия средних значений показателей ВСП в выделенных кластерах достоверны ($p < 0,01$). Для построения системы прогнозирования класса динамики показателей ВСП по их исходным значениям была проведена экстракция и настройка нечеткой базы знаний. Количество нечетких правил подбиралось так, чтобы погрешность нечеткого логического вывода на обучающей и тестовой выборках была минимальна. Нечеткая база знаний построенной системы прогнозирования класса динамики показателей ВСП состояла из трёх нечетких правил «Если-то» с соответствующими весовыми коэффициентами. Для каждой входной и выходной переменной использовалось по три термина, которые условно можно назвать терминами низких, средних и высоких значений переменных. Функции принадлежности каждого термина описывались Гауссовой функцией.

Проверка системы прогнозирования класса динамики показателей ВСП на тестовой выборке показала, что класс динамики показателей ВСП с использованием разработанных моделей определен правильно в 84,2% случаев.

Таким образом, разработанная информационная технология позволяет получать информацию о ФС ССС человека и прогнозировать его изменение с использованием разработанных моделей динамики показателей ВСП.

Информационная технология оценки тяжести состояния пациента

М. Л. Кочина¹, М. Н. Нессонова²

¹Харьковская медицинская академия последипломного образования, Украина

²Национальный фармацевтический университет, Харьков Украина

Адекватная оценка тяжести состояния пациентов при заболеваниях и состояниях различной этиологии является отправной точкой для определения объёма и интенсивности терапии, а также для построения прогноза. Степень тяжести состояния пациента определяется на основании набора клинических симптомов и показателей всевозможных интегральных систем и шкал (АРАСНЕ, SAPS, NIHSS, SCORE и др.), получивших значительное распространение в последние годы. Использование шкал позволяет оценить состояние пациентов в баллах, вероятность летального исхода, развития осложнений, дополнительных хирургических вмешательств. Многие авторы отмечают эффективность применения этих шкал и систем в кардиологии, однако имеется информация о недостаточной объективности прогнозов, осуществляемых с помощью стандартных шкал. Более того, существует мнение, что индексы, шкалы и системы оценки тяжести требуют регулярной проверки и уточнения. Это обусловлено изменениями во взглядах на конкретные заболевания с течением времени, а также зависимостью успешности применения шкал в лечебных учреждениях, отличающихся от тех, где они были разработаны.

Предлагаемая в работе информационная технология оценки тяжести состояния пациента разрабатывалась на основе статистического подхода, исходя из рассмотрения данной задачи, как задачи классификации с обучением. Входные данные в подобных задачах представляют собой матрицу признаков описаний объектов (пациентов, характеризующихся некоторым набором клинических показателей и симптомов), сгруппированных по классам, соответствующим степеням тяжести состояния. В обучающей информации

классы (степени тяжести), как правило, определяются экспертом (специалистом в данной области). Задача состоит в обнаружении в исходных данных закономерностей (правил), отвечающих за принадлежность объектов к классам, и формировании на их основе классификаторов, способных правильно относить новых пациентов к группам без участия эксперта.

Информационная технология оценки тяжести состояния пациента состоит из нескольких этапов. На предварительном этапе, в соответствии с общими принципами решения прикладных задач классификации с обучением, проводится разведочный анализ данных, выявляются их свойства и особенности, формулируются и проверяются различные гипотезы о свойствах данных и стоящих за ними явлений. Предварительный анализ «сырых» данных включает выявление и обработку пропущенных значений, выбросов, формирование наборов однородных показателей, исключение коллинеарных переменных.

Первый этап информационной технологии состоит в формировании избыточного набора предикторов, определяющих принадлежность объектов к классам. При выборе информативных признаков предлагается исходить из соображений значимости влияния конкретного признака на принадлежность объектов к классам, которая оценивается на основании статистически достоверного различия между значениями признака в разных классах. Поскольку априори исходная обучающая информация может состоять из разнородных признаков, то для оценки значимости их различий необходимо использовать разные статистические методы в зависимости от типа данных, шкалы измерения и вида закона распределения переменных. На этом же этапе происходит сокращение набора предикторных показателей, необходимое для соблюдения принципа регуляризации, состоящего в том, что из множества допустимых решений всегда следует выбирать наиболее простое, поскольку появление избыточных переменных, как и других параметров, в модели ведёт к возникновению эффекта мультиколлинеарности и, как следствие, переобучению алгоритма классификации. В результате реализации первого этапа информационной технологии для каждого класса будет сформирован набор эталонов, представляющих собой элементарные правила сравнения показателей с пороговыми значениями (для количественных признаков, описывающих пациента) либо перечень категорий, характерных для данного класса (для качественных признаков).

На втором этапе осуществляется формирование пространственной структуры, визуализирующей взаимосвязи между предикторными показателями (эталонами), а также их связи с классами объектов. Пространственная конфигурация получается с помощью методов геометрической интерпретации, стандартно используемых в многомерном статистическом анализе для упрощения структуры данных и редукции размерности (в частности, метода корреспондентского анализа, или анализа соответствий). Однако, в отличие от классического метрического подхода к решению задачи классификации, в котором классы представляются как некоторые подмножества пространства объектов, в качестве координат объекта в пространстве используются значения его признаков, а классификаторы строятся либо как разделяющие поверхности в этом пространстве, либо на основании оценок вероятностей принадлежности объекта к классам, вычисляемых через расстояния объекта в пространстве признаков до центра класса, ближайшего представителя в классе. В данной информационной технологии класс представляется не как подмножество пространства объектов, а как ещё один из качественных признаков, описывающих объект. За счёт подобной интерпретации становится возможным отображение выходного показателя (класса) и признаков-предикторов в виде однородных объектов — точек в едином обобщённом координатном пространстве небольшой размерности, на основании чего и происходит построение математической модели зависимости признака «класс» от остальных переменных.

На третьем этапе определяется весовой вклад каждого из элементарных правил, описывающих классы, в принадлежность объек-

тов к конкретным классам. То есть вычисляются количественные оценки того, насколько важно каждое элементарное правило для отнесения объекта к конкретному классу. Мера влияния определенной категории признака (отдельного элементарного правила, эталона) на принадлежность объекта к конкретному классу оценивается как величина, обратная расстоянию точки-представителя этого эталона до точки-представителя этого класса, нормированная на сумму расстояний всех точек-представителей эталонов. Затем элементарные предикторные правила представляются в виде дихотомических переменных, принимающих значения 1 — если правило выполняется на объекте, или 0 — если не выполняется, и группируются во взвешенные суммы для получения оценочных функций, характеризующих степень (вероятность) принадлежности некоторого объекта к конкретному классу. Наиболее вероятным классом для нового объекта считается тот класс, для которого вычислено наибольшее значение оценочной функции.

Таким образом, применение разработанной технологии позволяет построить модель алгоритма классификации, основанного на вычислениях оценок, в которой учитывается влияние на принадлежность объектов к классам как качественных, так и количественных признаков, описывающих объект. Кроме того, не смотря на представление формул для оценочных функций в виде линейной комбинации предикторов, модель отражает нелинейность и немонотонность изменения оценки в зависимости от предикторных переменных.

Применение данной информационной технологии оправдывает себя как при разработке алгоритмов классификации на несколько классов, так и для одноклассовой классификации, когда необходимо качественно отделить объекты только одного типа (например, выявить пациентов, находящихся в тяжёлом или критическом состоянии, оценить возможность летального исхода, обнаружить пациентов с особым диагнозом). В дальнейшем возможно объединение одноклассовых классификаторов в комитеты (алгоритмические композиции) с помощью, например, методов голосования по старшинству для получения машин покрывающих множеств, осуществляющих классификацию в задачах с несколькими классами.

Описанная информационная технология позволяет построить эффективную систему оценки тяжести состояния пациента и прогноза исхода заболевания, обеспечивающую поддержку принятия решения врачом при выборе адекватной терапии. Прогноз тяжести состояния (или исхода), осуществляемый на основе данной информационной технологии, обладает немаловажным для практического применения свойством интерпретируемости, то есть, подобно экспертной системе, позволяет не только получить ответ, но и объяснение, почему этот ответ был выдан.

Исходный уровень показателей вариабельности сердечного ритма определяет стратегию вегетативного ответа при различных видах холодовой акклимации

Д. Г. Луценко, В. С. Марченко, Г. А. Бабийчук
Институт проблем криобиологии и криомедицины НАН
Украины, Харьков

Исследования акклимации к холоду ведутся достаточно давно, но до сих пор нет однозначного понимания функционирования всех механизмов, обеспечивающих этот процесс. Одним из информативных неинвазивных методов, который может применяться для оценки функционального состояния организма в процессе адаптации к различным физическим воздействиям является анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР).

Цель работы — изучить изменения ВСР при различных режимах акклимации к холоду.

Эксперимент был проведен на 25 взрослых белых крысах самцах ($m = 220\text{--}300$ г), которые подвергались различным видам

холодовой акклимации. Крысы были распределены на 2 экспериментальные группы: 1) с непрерывной холодовой акклимацией (НХА) — в течение 30 дней животные выдерживались в помещении со средней температурой $+4\text{--}+10$ °С, ($n = 11$); 2) с ритмической холодовой акклимацией (РХА) — на протяжении 30 дней в светлое время суток в автоматическом режиме с частотой воздействия 0,1 Гц животные подвергались периодическому обдуву холодным воздухом ($+8\text{--}+10$ °С) в течение первых 15 минут каждого часа, оставшиеся 45 минут, а также 9 часов темного времени суток животные находились при комнатной температуре ($+19\text{--}+22$ °С), ($n = 8$); Контролем служили животные, отобранные одновременно с экспериментальными животными, которые все время содержались при температуре $+19\text{--}+22$ °С, ($n = 6$). Электрокардиограмма длительностью 5 минут записывалась у наркотизированных животных дважды (до и после акклимации) на аппаратно-программном комплексе «Поли-Спектр» («Нейрософт», РФ). Рассчитывали следующие показатели: частота сердечных сокращений (ЧСС), общая мощность спектра (ТР), мощность высокочастотной составляющей общего спектра ВСР (0,15–0,4 Гц) (HF), мощность низкочастотной составляющей общего спектра ВСР (0,04–0,15) (LF), мощность сверхнизкочастотной составляющей общего спектра ВСР (0,003–0,04 Гц) (VLF), индекс вагосимпатического взаимодействия (LF/HF), стандартное отклонение средней продолжительности нормальных RR-интервалов сердечного цикла (SDNN), среднюю длительность нормальных RR-интервалов (RRNN), коэффициент вариации (CV). Для анализа ВСР с позиции нелинейной динамики рассчитывался показатель фрактальности (ϕ), аналогичный показателю Херста H , но отличающийся меньшим репрезентативным масштабом, необходимым для его расчёта. Фрактальный показатель определяли с помощью разработанного нами программного комплекса FRAM v.1.060 (Марченко Н. В., 2007) в математической среде FRAM методом перекрывающихся окон проводили сканирование нужного участка графика функции продолжительности интервалов RR ($F(rr)$). В каждом окне рассчитывали «а» — тангенс угла наклона прямой графика линейной аппроксимации логарифмической зависимости площади поверхности изломов $F(rr)$ от стороны квадрата, который ее ограничивает. Искомое $\phi = 2 - a$. Достоверность различий проверялась с использованием непараметрических критериев «U» Вилкоксона-Манна-Уитни.

У контрольных животных при повторной записи ЭКГ ни по одному показателю не происходило значительных изменений, хотя в VLF и LF диапазонах было отмечено небольшое повышение мощности при неизменности мощности в HF диапазоне, что привело к незначительному повышению индекса вагосимпатического баланса LF/HF ($с\ 2,87 \pm 1,31$ до $3,57 \pm 0,64$). Показатель ϕ также значительно не изменился ($с\ 0,66 \pm 0,07$ до $0,65 \pm 0,03$).

После проведения РХА и НХА было обнаружено, что в зависимости от исходного уровня ЧСС, SDNN, ТР, HF, LF и LF/HF и направленности изменений этих параметров в каждом случае животных можно разделить на две подгруппы. В первую подгруппу были отнесены животные с меньшим исходным значением ЧСС, более высоким значением ТР, более высоким значением мощности спектра в диапазонах VLF и LF и большими значениями SDNN и CV, чем во второй подгруппе. После РХА в подгруппе 1 наблюдалось повышение ЧСС с $394,8 \pm 31,84$ до $442,0 \pm 38,0$, снижение мощности спектра во всех диапазонах, сопровождающееся изменением структуры спектра (уменьшение доли VLF и повышение долей LF и HF) и снижение показателей LF/HF ($с\ 3,44 \pm 0,56$ до $2,61 \pm 0,91$), SDNN ($с\ 4,0 \pm 0,4$ до $2,0 \pm 1,0$) и CV ($с\ 2,53 \pm 0,2$ до $1,16 \pm 0,53$). Это позволяет предположить преобладание симпатического влияния на сердечную активность у животных этой подгруппы, хотя снижение индекса LF/HF указывает на вовлеченность и парасимпатического звена. Показатель ϕ в этой подгруппе незначительно повысился с $0,70 \pm 0,13$ до $0,73 \pm 0,09$. У животных 2 подгруппы наоборот происходило замедление ЧСС ($с\ 477,50 \pm 38,24$ до $368,9 \pm 19,78$), сильное возрастание ТР ($с\ 7,31 \pm 1,86$ до $128,55 \pm 66,46$) за счет повышения мощности во всех диапазонах, увеличение LF/HF ($с\ 1,95 \pm 0,99$

до $3,71 \pm 1,07$), SDNN (с $2,00 \pm 0,88$ до $5,0 \pm 1,33$) и CV (с $1,56 \pm 0,37$ до $3,27 \pm 1,01$). Исходя из перечисленного можно отметить, что в результате РХА у животных подгруппы 2 происходит активация как центрального, так и автономного звеньев регуляции сердечного ритма. Об усилении вагусного влияния свидетельствуют повышение значений SDNN и CV и замедление ЧСС, а повышение индекса вагосимпатического взаимодействия указывает на активацию симпатического влияния на ВСР. Повышение TP должно указывать на повышение вагусного влияния, но в данном случае основная доля этого роста вызвана повышением мощности VLF, которое согласно Баевскому указывает не только на активацию терморегуляторных механизмов, но также и на активацию симпатической регуляции. Показатель ϕ в этой подгруппе повышался после РХА с $0,49 \pm 0,14$ до $0,78 \pm 0,12$.

При проведении НХА наблюдались сходные с РХА изменения ВСР. Животных также можно было разделить на 2 подгруппы, только изменения ЧСС были не столь выражены, хотя тенденция сохранялась. В подгруппе 1 отмечалось значительное снижение TP (с $302,78 \pm 136,66$ до $9,13 \pm 3,47$) за счет снижения мощности всех диапазонов, снижение доли VLF диапазона, снижение показателей SDNN (с $7,60 \pm 2,08$ до $2,80 \pm 0,32$) и CV (с $4,48 \pm 0,93$ до $1,66 \pm 0,13$), что свидетельствует о преобладании симпатических механизмов регуляции ВСР, хотя уменьшение индекса LF/HF (с $4,25 \pm 2,54$ до $1,89 \pm 0,95$) указывает на участие парасимпатического звена. Показатель ϕ повышался с $0,66 \pm 0,06$ до $0,72 \pm 0,07$. В подгруппе 2 после НХА у животных происходило возрастание TP (с $36,35 \pm 24,18$ до $295,55 \pm 295,35$) за счет повышения мощности во всех диапазонах, но в первую очередь за счет VLF диапазона, хотя процентное содержание сверхмедленных колебаний в общей мощности спектра практически не менялось, увеличились индексы LF/HF (с $1,71 \pm 1,64$ до $2,67 \pm 1,81$), SDNN (с $3,67 \pm 1,44$ до $7,17 \pm 2,61$) и CV (с $2,30 \pm 0,75$ до $4,03 \pm 1,68$), что указывает на активацию как центрального так и автономного звеньев регуляции сердечного ритма. Показатель ϕ при этом повышался незначительно (с $0,66 \pm 0,07$ до $0,68 \pm 0,05$).

Таким образом, при адаптации к холоду в организме активируются все уровни регуляции сердечного ритма. Большое значение имеет исходный уровень вегетативной регуляции. Животные с разным исходным уровнем общей мощности спектра при адаптации к холоду реализуют разные стратегии вегетативного ответа, которые отличаются разной степенью вовлеченности симпатического и парасимпатического звеньев. При исходно высоком значении TP адаптация к холоду реализуется преимущественно за счет активации симпатической регуляции. Если же животные имеют изначально низкие значения TP, то в процессе акклимации активируются и симпатическое и парасимпатическое влияние. Практически во всех случаях холодовой акклимации наблюдается повышение значений показателя ϕ (наиболее значимое при РХА). Эти данные можно интерпретировать согласно (Майоров О. Ю., 2010), как повышение относительной стабильности RR интервалов за счёт перераспределения уровня симпатического контроля и парасимпатического управления ЧСС. Показатель ϕ может быть использован для выявления моментов качественного изменения характера функционирования системы регулирования сердечного ритма при акклимации. Выявленные закономерности указывают на важность предварительного анализа исходного уровня показателей ВСР ритма для прогнозирования результатов адаптации к холоду.

Показники варіабельності серцевого ритму в діагностиці функціональних станів

Ю. Є. Лях, Ю. Г. Вихованець, В. Г. Гур'янов, В. І. Остапенко
А. М. Черняк

Донецький національний медичний університет ім. М. Горького
Україна

В діагностиці функціональних станів (ФС) людини важливою задачею є оцінка показників варіабельності серцевого ритму (ВСР).

Необхідно відзначити, що функціональна система регуляції кровообігу є багатоконтурною, ієрархічно організованою системою, в якій домінуюча роль окремих ланок визначається поточними потребами організму. Варіабельність серцевого ритму відображає складну картину різноманітних керуючих впливів на систему кровообігу з інтерференцією періодичних компонентів різної частоти і амплітуди, нелінійним характером взаємодії рівнів управління. Зміни ВСР можуть характеризувати ступінь напруження регуляторних механізмів при стресових впливах, або відображати зв'язок спостережуваних змін із тонусом різних відділів вегетативної нервової системи тощо. При проведенні цифрової реєстрації можуть виникати проблеми пов'язані з дією різноманітних фізичних факторів на якість цифрового запису сигналів, що значно ускладнює проведення їх аналізу. Тому важливою задачею є розробка методики фільтрації та аналізу кардіосигналів. Метою досліджень було удосконалення методики фільтрації та аналізу біосигналів та оцінка показників ВСР у осіб з різним функціональним станом.

Дослідження проводилися на базі психофізіологічної лабораторії кафедри медичної, біологічної фізики, медичної інформатики і біостатистики ДОНМУ ім. М. Горького. Реєстрація електрофізіологічних показників (стабілограм, електрокардіограм) здійснювалася з використанням комп'ютерного комплексу «Поліграф». Проводилися стабілометричні тести в різних умовах сенсорного навантаження. Для цього було проведено тестування, що складалося з трьох частин: зі штучним зворотним зв'язком (ШЗЗ), з відкритими очима (ВО) та із заплющеними очима (30). Оцінка варіабельності серцевого ритму здійснювалася за даними кардіоінтервалограм, отриманих при проведенні стабілометричних тестів. Перешкоди, що утворюються при проведенні цифрових записів ЕКГ, усувалися за допомогою смугового фільтру, побудованого на основі розкладання сигналу в ряд Фур'є. Розкладання сигналу в цей ряд будувалося за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є, що дозволяло обробляти сигнал і в режимі реального часу. Кожен запис включав більше 100 кардіоінтервалів. Програмно проводився розрахунок наступних показників: стандартне відхилення всіх NN-інтервалів (SDNN); квадратний корінь із середньої суми квадратів різниць між сусідніми NN-інтервалами (RMSSD); кількість пар послідовних інтервалів (NN50); відсоток NN50 від загальної кількості послідовних пар інтервалів, що розрізняються більше, ніж на 50 мілісекунд, отриманих за увесь період запису (PNN50 (%)); індекс напруження регуляторних систем (ІН); індекс вегетативної рівноваги (ІВР); вегетативний показник ритму (ВІР); показник адекватності процесів регуляції (ПАІР); загальна кількість R-R інтервалів (N); середній період кардіоциклів (Т); частота серцевих скорочень (F).

Було обстежено 269 осіб віком від 17 до 70 років, серед яких виявилось 116 досліджуваних жіночої статі і 153 — чоловічої. З них було сформовано дві групи: контрольну та дослідну. У контрольну групу увійшли практично здорові особи, які не мали на момент досліджень гострих та загострень хронічних захворювань. У дослідну групу увійшло 105 осіб (чоловіків — 72, жінок — 33) з різними пограничними станами у структурі яких головне місце займали захворювання нервової системи та системи кровообігу в стадії клінічної ремісії.

При виконанні рухових задач з підтримки вертикальної пози змінюється тонус ВНС в залежності від типу тестування та функціональних і органічних порушень. Підтримка вертикальної пози при виконанні тестів у різних умовах сенсорного контролю в деяких групах супроводжується зростанням тонусу симпатичного, а в інших — парасимпатичного відділу ВНС.

Встановлені вірогідні відмінності між контрольною та дослідною групами за значеннями варіабельності серцевого ритму як у чоловіків, так і у жінок. При тестуванні із штучним зворотним зв'язком у чоловіків встановлено збільшення SDNN, ІН, ПАІР у осіб, які мають захворюваннями нервової системи, системи кровообігу (гіпертензивна енцефалопатія), у порівнянні з контрольною групою студентів ($p < 0,05$). У жінок встановлено збільшення SDNN, ПАІР у осіб, які мають захворювання нервової системи (енцефалопатії),

системы кровообігу (гіпертензивна енцефалопатія), у порівнянні з контрольною групою студентів і працівників вузу ($p < 0,05$). Аналогічні закономірності при аналізі варіабельності серцевого ритму були отримані при тестуванні з відкритими та заплющеними очима. Збільшення значень вищенаведених показників варіабельності серцевого ритму свідчить про зростання тону парасимпатичного відділу вегетативної нервової системи у дослідній групі порівняно з контрольною групою при виконанні рухових задач з підтримки вертикальної пози. При проведенні досліджень у осіб з захворюваннями систему кровообігу встановлено зростання індексу напруження регуляторних систем при тестуванні в умовах зі штучним зворотним зв'язком.

Таким чином, розроблений метод аналізу кардіоінтервалів дозволяє отримати якісні показники ВСР, які можуть ефективно застосовуватися при проведенні кількісної оцінки ФС людини.

Исследование вариабельности сердечного ритма (ВСР) с помощью локального индекса фрактальности

О. Ю. Майоров^{1,2,3}, В. Н. Фенченко^{1,2}, Т. Д. Нессонова^{1,2}

¹Харьковская медицинская академия последипломного образования МЗ Украины

²Институт Медицинской информатики и Телемедицины Харьков, Украина

³ГУ «Институт охораны здоровья детей и подростков НАМН Украины», Харьков

Исследование ВСР является одним из наиболее информативных неинвазивных методов оценки реакции сердечно-сосудистой системы при физических и ментальных нагрузках, в частности, он может применяться для оценки функционального состояния организма и его адаптационного ответа на стресс, для оценки состояния вегетативной регуляции кровообращения, для разработки прогностических заключений и т. п.

Ряд RR интервалов порожден сложной нелинейной системой, которую невозможно записать в виде дифференциальных уравнений или дискретных отображений. Но этот ряд является фракталом, т. е., несмотря на нерегулярность, характер его поведения остается неизменным на всех масштабах — и, с точностью до масштабного фактора, он на разных масштабах выглядит примерно одинаково. Основной характеристикой таких самоподобных структур, как известно, является Хаусдорфова размерность.

Между тем для ее корректного вычисления необходим достаточно длинный ряд RR интервалов, получить который не удастся, так как за время измерений он может изменить характер своего поведения.

Нами предложен метод анализа ВСР с позиций нелинейной динамики на основе вычисления локального индекса фрактальности. Так как локальный индекс фрактальности может быть вычислен по относительно короткому ряду RR интервалов (т. е. на масштабах, порядка характерного масштаба основных динамических состояний), то он может быть использован для выявления моментов качественного изменения характера функционирования системы регулирования ритма, связанного с перераспределением ролей β -симпатического контроля и парасимпатического управления.

Используя индекс фрактальности можно существенно продвигнуться в решении важнейших задач идентификации и прогноза, которые заключаются в корректном определении макросостояния системы на основе наблюдаемой реализации ряда RR интервалов — такой ряд, как известно, демонстрирует сложное неперіодическое поведение, при котором периоды относительно длительного увеличения или уменьшения RR интервалов и периоды относительной стабильности хаотическим образом сменяют броуновское движение. Зная локальное значение размерности, можно оценить какой тип поведения преобладает в каждой точке ряда.

С помощью индекса фрактальности нами был исследован ряд RR интервалов здоровых испытуемых, находящихся в начале исследования в состоянии спокойного бодрствования, а затем во время ментальной нагрузки — обратный счет в уме. Исследования показали, что амплитуда колебаний длительности RR интервалов уменьшается при переходе от состояния спокойного бодрствования к состоянию ментальной нагрузки.

Как известно крупномасштабные флуктуации RR интервалов соответствуют β -симпатическому контролю (большее время задержки), а мелкомасштабные — парасимпатическому управлению (меньшее время задержки). Из этого следует, что в состоянии спокойного бодрствования у исследуемого индивида преобладает роль β -симпатического контроля, а в состоянии ментальной нагрузки усиливается роль парасимпатического управления.

Как известно, нелинейные методы не привели пока к значительным достижениям при анализе ВСР. Возможно это обусловлено необходимостью использования более длительных периодов наблюдений для анализа, что не позволяло адекватно описать функционирование системы регулирования сердечного ритма. В этом плане индекс фрактальности, который может быть вычислен по относительно короткому ряду RR интервалов, дает перспективный инструмент для исследования ВСР методами нелинейного анализа.

Хаотическая динамика вариабельности сердечного ритма при форсированной акклимации к холоду (ФАХ) на ультраструктурном уровне определяет фрактальное функционирование гематоэнцефалического барьера (ГЭБ)

В. С. Марченко, Л. Н. Марченко, Д. Г. Луценко
Институт проблем криобиологии и криомедицины НАН Украины, Харьков

Нейрональная и капиллярная сеть ЦНС, их структурно-функциональная граница — ГЭБ всё чаще рассматриваются как фракталоподобные образования, определяющие хаотичную динамику ЭКГ и ЭЭГ. Фрактальный анализ хорошо зарекомендовал себя во многих морфофункциональных исследованиях. Представлялось целесообразным использовать этот метод нелинейной морфометрии при изучении механизмов адаптации теплокровных организмов к действию низких температур. Цель работы — определить фрактальные характеристики-корреляты функционального состояния ГЭБ крыс и хомяков при холодовой акклимации.

ФАХ проводилась на протяжении 1–3 месяцев путем обдувания животных (6 однократных воздействий в минуту) холодным воздухом (10 °С) по 15 мин в начале каждого из 9 дневных часов и непрерывно в последующие 15 ч в случайном режиме (4–12 воздействий по 5–60 мин), при этом хомяки впадали в нехарактерную для них спячку летом — эстивацию (Э).

Образцы ткани мозга для электронной микроскопии препарировали по общепринятым методам и рекомендациям. Просмотр и фотографирование осуществляли в электронном микроскопе ПЭМ-125К при ускоряющем напряжении 75 кВ.

Электрокардиограмма записывалась у наркотизированных животных до и после акклимации на аппаратно-программном комплексе «Поли-Спектр» («Нейрософт», РФ). Для анализа вариабельности сердечного ритма с позиции нелинейной динамики рассчитывали фрактальную размерность (D) с помощью разработанного нами программного комплекса FRAMv.1.060. В математической среде FRAM методом перекрывающихся окон сканировали график функции продолжительности интервалов RR ($F(rr)$). В каждом окне рассчитывали D, как тангенс угла наклона прямой графика линейной аппроксимации логарифмической зависимости площади поверхности изломов $F(rr)$ от стороны квадрата, который

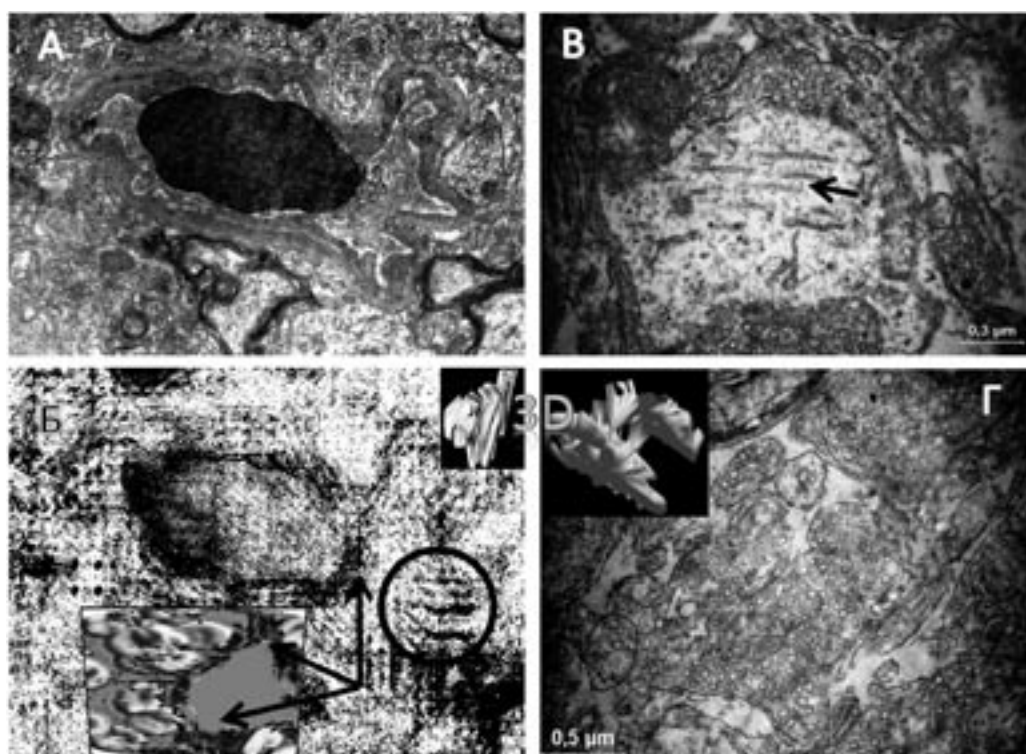


Рис. 1. Состояние синапсов и ультраструктурных элементов эндотелиального звена ГЭБ при ФАГ и Э: а, б — электроннограмма фрагмента профиля мозгового капилляра крысы при ФАГ, $\times 10000$ и её области с $D \sim 1,7$ (на врезках — трёхмерная реконструкция сильфоновидного образования и селективное по D изображение эритроцитов); в, г — электроннограммы и трёхмерная реконструкция (врезка) синапсов мозга хомяка при эстивации.

ее ограничивает. При обработке данных электронной и световой микроскопии, зная зависимость площади перепадов яркости изображений от стороны квадрата, который ее ограничивает, D рассчитывали аналогично.

В динамике ФАХ увеличивается хаотичность микрогемодинамики, световая био- и электронная микроскопия выявляет вокруг эритроцитов и микровиллей эндотелиоцитов фрактальный ареол ($D \sim 1,7$) размерность и площадь которого снижается при завершённой акклимации (рис. а, б, стрелки), при этом качественно изменяется характер функционирования системы регулирования сердечного ритма — уменьшаются значения D от 1,33 до 1,24.

В процессе ФАХ в эндотелиоцитах мозговых капилляров инициируются процессы транцитоза и, как следствие, повышается уровень проницаемости ГЭБ для кардиотропных нейромедиаторов. Эти структуры приобретают одинаковую размерность ($\sim 1,7$ или $\sim 1,3$) при снижении резистентности ГЭБ к ацетилхолину или норадреналину соответственно (электронногистохимическое окрашивание клатриновых везикул — маркера специфического транцитоза), формируются особые эндотелиальные области — «фрактальные поры» (рис. а, б, окружность). При 3-х месячной ФАХ и Эу 10–15 % синапсов обнаруживается шпиковый или парасинаптический аппарат, состоящий из субповерхностных цистерн с разными значениями D (рис. в, стрелка), что может явиться коррелятом вегетативной памяти. В условиях завершённой ФАХ как и Э в эндотелии мозговых капилляров отсутствует пиноцитоз, но путем многократной конформации микровильных комплексов могут формироваться специализированные морфофизиологические фрактальные системы, по форме напоминающие сильфоны (рис. б, врезка «3D»). Фрактальный рисунок подобных микроструктур специфичен для холодových воздействий он может быть объективным

количественным индикатором структурно-функционального состояния ГЭБ охлаждённого мозга, и определять чувствительные особенности центров терморегуляции в условиях Э и ФАХ. При Э (реже при ФАХ) некоторая часть пресинаптических бутонов трансформируются, приобретая сложную, сильно разветвлённую, но единую трёхмерную ультраструктуру (рис. г, врезка «3D»).

Таким образом, при ФАХ периодически «синхронизируется» геометрия эндотелиоцитов и синапсов с хаотичной динамикой ЭКГ. Динамический паттерн распределения D может быть индикатором или естественной шкалой уровня активности функциональной геометрии мозга, на его границе с сердечно-сосудистой системой, как правило, формируется комплекс фракталоподобных структур, хаотичность функционирования которых определяет избыточную робастность центров терморегуляции как стратегию адаптации.

Классификация сигналов с помощью нейронных сетей в системах электрокардиографии высокого разрешения

*Н. А. Матвеева, Н. Г. Иванушкина, К. О. Иванько
Национальный Технический Университет Украины «КПИ», Киев*

Усовершенствование методов ранней диагностики позволяет снижать уровень заболеваемости сердечно-сосудистой системы. Одним из новых направлений в кардиологии является электрокардиография высокого разрешения (ЭКГ ВР). ЭКГ ВР, как совокупность методов и средств регистрации и обработки низкоамплитудных компонент ЭКГ, всё больше привлекает внимание

кардиологов с целью внедрения метода в клиническую практику. Среди актуальных проблем развития ЭКГ ВР — детектирование и классификация поздних потенциалов предсердий (ППП), которые являются предвестниками предсердных тахикардий. Выявление ППП представляет собой сложную задачу из-за их малой амплитуды, которая сравнима с шумовой составляющей регистрируемого электрокардиосигнала.

В системах ЭКГ ВР существуют традиционные методы анализа поздних потенциалов предсердий:

1) временной анализ

Наибольшее распространение получила методика *временного анализа* ЭКГ ВР зубца *P*, при которой оцениваются амплитудно-временные характеристики фильтрованного зубца *P* среди которых:

- временные параметры (продолжительность зубца *P*, разница между продолжительностью фильтрованного и нефильтрованного зубца *P*, продолжительность сигналов с амплитудой ниже 5 микровольт);
- амплитудные параметры (всего зубца *P*, последних 10, 20, 30 мс (LP10, LP20, LP30));

2) спектральный анализ

При *спектральном анализе* ЭКГ ВР оцениваются изменения амплитудно-частотных характеристик определенного участка кардиосигнала, для чего используют метод быстрого преобразования Фурье (БПФ), с помощью которого сигнал можно разложить на составляющие колебания различной частоты и амплитуды.

Областью интереса при спектральном анализе является участок, который включает в себя компоненты с частотами 40–250 Гц;

3) вейвлет-анализ

В результате «*wavelet*» — преобразования имеется возможность представить ЭКГ в масштабно-временной области и выполнить оценку наличия или отсутствия ППП. Метод «*wavelet*» анализа имеет преимущества при выделении нестационарных характеристик изучаемого сигнала, что необходимо для исследования частотно-волновых составляющих кардиоцикла и отдельных его участков, в том числе и без усреднения сигнала.

При вейвлет-разложении сигналов ЭКГ ВР на аппроксимирующие и детализирующие составляющие, ППП находятся в первых уровнях детализации, которые состоят из высокочастотных и низкоамплитудных компонент.

1. Комплексный метод с применением нейронных сетей для классификации сигналов в системах ЭКГ ВР

Предлагаемый комплексный метод включает в себя применение вейвлет-разложения электрокардиосигналов и дальнейшей классификации вейвлет-образов сигналов в системе ЭКГ ВР с помощью алгоритма нейронных сетей.

Для классификации данных, полученных при разложении электрокардиосигналов, можно применить следующие архитектуры нейронных сетей:

- многослойный перцептрон. Многослойная сеть, состоящая из 3-ех слоев: входного, скрытого и выходного. Тип обучения сети — «с учителем», предполагает предварительное формирование обучающих выборок по выбранным признакам, которые подаются на входной слой. После обучения нейронная сеть готова для классификации данных.
- слой Кохонена. Самообучающаяся сеть, состоящая из одного слоя нейронов. В результате обучения слой приобретает способность разделять несхожие входные векторы, таким образом формируя классы.

2. Результаты применения комплексного метода на основе нейронных сетей для классификации образов поздних потенциалов предсердий в электрокардиографии высокого разрешения.

Для проведения эксперимента были взяты реальные записи ЭКГ ВР с добавлением в них моделей поздних потенциалов предсердий (ППП) в виде потенциалов действия, полученных в результате решения уравнений Ходжкина-Хаксли или суммы синусоид. В реальных записях ЭКГ соотношение сигнал/шум составило от 55 до 65 Дб.

Для классификации электрокардиосигналов с модельными ППП была выбрана сеть многослойный перцептрон. Обучающие выборки

для нейронной сети были сформированы на основе трех видов анализа: временного, спектрального и вейвлет-анализа.

В методе *временного анализа* для формирования обучающих выборок векторы содержали значения амплитуд ЭКГ сигналов, зарегистрированные в соответствующие моменты времени. В процессе обучения была достигнута ошибка обучения нейронной сети в размере 0.2727, что является слишком большой погрешностью. При тестировании сети проверочными сигналами она показывала неправильные результаты классификации.

В методе *спектрального анализа* были получены амплитудно-частотные характеристики электрокардиосигналов. Обучающие выборки для НС были сформированы из векторов разложения (спектральных признаков образов) ЭКГ сигналов в выбранном частотном диапазоне, который соответствует поздним потенциалам предсердий (80–215 Гц). Ошибка обучения достигла 0, результаты классификации проверочных ЭКГ сигналов были верными.

Обучение с помощью векторов, полученных после вейвлет-разложения электрокардиосигналов до 5 уровня детализации, дало наискорейшую сходимость по времени до нулевой ошибки обучения. Для формирования обучающих выборок были выбраны коэффициенты разложения первого и второго уровней детализации (признаки вейвлет-образов), при этом, результаты обучения и классификации были одинаковы: ошибка нулевая и правильная классификация проверочных электрокардиосигналов.

Сравнивая подходы к формированию обучающих выборок на основе базисных методов анализа в системах ЭКГ ВР можно отметить следующее:

- время процесса обучения нейронной сети и ошибка обучения максимальны для выборки на основе временного анализа и минимальны для выборки из вейвлет-образов;
- количество признаков образов ЭКГ в обучающей выборке максимально для спектрального анализа и минимально для вейвлет-анализа.

Таким образом, наиболее эффективным методом для формирования обучающей выборки является метод вейвлет-разложения.

Выводы. Предложен новый комбинированный метод для классификации в системах ЭКГ ВР, основанный на сочетании классических методов анализа и применения нейросетевых технологий. Результаты, полученные в работе, позволят усовершенствовать метод ЭКГ ВР в детектировании низкоамплитудных и высокочастотных сигналов — поздних потенциалов предсердий.

Бисопролол в биологической обратной связи с контуром метрономизированного дыхания под контролем параметров variability сердечного ритма у здоровых добровольцев

Е. Э. Морозова, С. А. Власов, С. А. С. Белал, А. Л. Кулик Н. И. Яблучанский

Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина Украина

Актуальность. Артериальная гипертензия (АГ) одно из наиболее распространенных хронических заболеваний человека, около 45% взрослого населения всего земного шара имеют эту патологию. Эффективность контроля АГ при этом неудовлетворительная и составляет, в среднем, около 15%, что дает повод искать новые подходы в терапии данного состояния.

Ранее мы показали, что одним из перспективных направлений в лечении АГ является биологическая обратная связь (БОС) с контуром метрономизированного дыхания под контролем параметров variability сердечного ритма (ВСР). Вмешиваясь в состояние регуляторных систем организма, данная методика позволяет влиять на ключевые механизмы возникновения АГ.

Бисопролол — селективный β_1 -адреноблокатор, обеспечивающий угнетение симпатической части вегетативной нервной

системы и снижение секреции ренина, что предполагает влияние на все звенья регуляции организма человека.

Представляет интерес оценить влияние бисопролола в сеансах БОС с контуром метрономизированного дыхания под контролем параметров ВСП на оптимизацию состояния системы регуляции как перспективную комбинацию в контроле и лечении АГ.

Цель работы: оценить влияние бисопролола на оптимизацию состояния регуляторных систем организма в сеансах БОС с контуром метрономизированного дыхания под контролем параметров ВСП.

Объект и методы исследования: 16 условно здоровым добровольцам (средний возраст — $19,53 \pm 1,55$) было проведено 2 серии ежедневных сеансов БОС в исследуемом контуре в течение 7 дней с временным интервалом в три месяца между ними. Во 2-ой серии сеансы проводили через час после перорального приёма бисопролола в дозе 2,5 мг.

Петля обратной связи организовывалась благодаря компьютерному диагностическому комплексу «CardioLab 2009» («ХАИ-Медика») со специальным модулем «Biofeedback», состоящий из программно-связанных визуально-звукового метронома дыхания и алгоритма определения параметров ВСП.

Анализ параметров ВСП проводили на основании длин R-R-интервалов мониторинговых записей ЭКГ в первом стандартном отведении с частотой дискретизации сигнала в 1000 Гц в рамках 7 минутного сеанса. Среди параметров ВСП оценивалась мощность медленных (V) частот от 0,0033 до 0,05 Гц, преимущественно связанных с терморегуляцией, гуморальной (калликреинкининовая, ренин-ангиотензиновая, гормональные, иные) и симпатическим звеном вегетативной нервной регуляции; мощность средних (L) частот 0,05 до 0,15 Гц, преимущественно связанных с симпатическим и парасимпатическим звеньями и мощность быстрых (H) частот от 0,15 Гц до 0,40 Гц, преимущественно связанных с парасимпатическим звеном вегетативной нервной регуляции. Параметры ВСП были преобразованы в двумерную координатную плоскость L/H и V/(L+H), отвечающие симпатовагальному и нейрогуморальному балансам системы регуляции.

О степени оптимизации баланса регуляторных систем в сеансах БОС судили по значению показателей оптимальности (O), чувствительности (S) и эффективности (E) как для системы в целом (D), так и по каждой из ветвей регуляции (L/H и V/(L+H)) и по интегральному показателю BQI, который охватывает все качественные изменения процесса биообратной связи.

Статистическая обработка результатов велась в программах MathCAD 15 и «Microsoft Excel 2003».

Результаты и обсуждение. Ранее мы показали, что БОС с контуром метрономизированного дыхания под контролем параметров ВСП воспроизводима во временном интервале в три месяца. Данный эффект позволяет оценить вклад бисопролола в оптимизацию состояния регуляторных систем организма в сеансах БОС на одном контингенте добровольцев путем проведения двух серий с дополнением второй серии бисопрололом.

Средние значения показателей O, S, E по D, L/H, V/(L+H) по всем испытуемым двух серий БОС представлены в табл. 1.

Средние значения параметра O^D по всем добровольцам в серии 1 составили $-3,82 \pm 5,50$ против $-2,74 \pm 4,78$ в серии 2, что достигалось

Табл. 1.

Показатели	Серия 1	Серия 2
O^D	$-3,82 \pm 5,50$	$-2,74 \pm 4,78$
S^D	$0,87 \pm 0,38$	$0,89 \pm 0,48$
E^D	$0,11 \pm 0,19$	$0,15 \pm 0,23$
$O^{L/H}$	$-13,10 \pm 23,91$	$-5,16 \pm 6,87$
$S^{L/H}$	$5,78 \pm 1,86$	$5,06 \pm 2,59$
$E^{L/H}$	$0,91 \pm 0,23$	$0,82 \pm 0,34$
$O^{V/(L+H)}$	$-2,01 \pm 0,93$	$-3,66 \pm 1,80$
$S^{V/(L+H)}$	$0,52 \pm 0,89$	$0,93 \pm 1,82$
$E^{V/(L+H)}$	$0,17 \pm 0,24$	$0,25 \pm 0,28$

большой оптимизацией симпатовагального звена регуляции $O^{L/H}$ во 2-ой серии ($-5,16 \pm 6,87$ против $-13,10 \pm 23,91$ в 1-ой серии). Показатель $O^{V/(L+H)}$ при этом в первой серии был незначительно выше ($-2,01 \pm 0,93$ против $-3,66 \pm 1,80$ во 2-ой).

Средние значения параметра S^D первой и второй серий практически соответствовали друг другу ($0,87 \pm 0,38$ против $0,89 \pm 0,48$, соответственно), что объяснялось отсутствием достоверных различий значения $S^{L/H}$ в 1-ой и 2-ой сериях ($5,78 \pm 1,86$ против $5,06 \pm 2,59$, соответственно). Значения $S^{V/(L+H)}$ 2-ой серии были незначительно выше, чем в 1-ой ($0,93 \pm 1,82$ против $0,52 \pm 0,89$, соответственно).

Средние значения параметра E^D также не имели достоверных различий и в 1-ой серии составили $0,11 \pm 0,19$ против $0,15 \pm 0,23$, что объясняется практически одинаковыми значениями как $E^{L/H}$ ($0,91 \pm 0,23$ в серии 1 против $0,82 \pm 0,34$ в серии 2), так и $E^{V/(L+H)}$ ($0,17 \pm 0,24$ в серии 1 и $0,25 \pm 0,28$ в серии 2).

Средние значения показателя BQI по всем испытуемым на каждом из 7 сеансов БОС в двух сериях представлены в табл. 2.

Систематическое проведение сеансов БОС в контуре метрономизированного дыхания под контролем параметров ВСП способствовало закономерному приближению индекса BQI к оптимальному уровню в обеих сериях при более удаленных от оптимального уровня исходных значениях в серии 2, что свидетельствовало о наличии эффекта тренировки системы регуляции.

Дополнение сеансов БОС бисопрололом позволяло достичь более оптимальных значений BQI начиная уже с 3 сеанса с сохранением этой закономерности до 7 сеанса.

Выводы. Бисопролол при исходно худшем состоянии системы регуляции способствует наступлению более ранней и выраженной оптимизации, что позволяет рекомендовать подобную комбинацию в терапевтических целях пациентам с АГ.

Табл. 2.

	№ серии						
	1	2	3	4	5	6	7
Серия 1	$1,77 \pm 0,76$	$1,74 \pm 0,76$	$1,60 \pm 0,68$	$1,56 \pm 0,86$	$1,53 \pm 0,50$	$1,49 \pm 0,46$	$1,39 \pm 0,72$
Серия 2	$2,71 \pm 3,09$	$2,27 \pm 1,13$	$1,38 \pm 0,65$	$1,36 \pm 0,50$	$1,10 \pm 0,23$	$1,10 \pm 0,17$	$1,09 \pm 0,10$

Оценка качества биологической обратной связи с контуром метрономизированного дыхания под контролем параметров variability сердечного ритма в комбинации с лизиноприлом у здоровых добровольцев

Е. О. Назаренко, А. О. Радченко, С. А. С. Белал, А. Л. Кулик
Н. И. Яблучанский

Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина
Украина

Актуальность. Артериальная гипертензия (АГ) является одним из наиболее распространенных патологических состояний. Одним из ключевых механизмов её возникновения является перенапряжение систем регуляций и, как следствие, нарушение их баланса в организме.

Ранее мы показали, что систематическое проведение сеансов БОС в алгоритме поиска оптимальной частоты метрономизированного дыхания при старте с физиологической нормы и со свободного дыхания, как у здоровых добровольцев, так и у пациентов с артериальной гипертензией, оптимизирует состояние регуляторных систем организма через восстановление симпатовагального и нейрогуморального балансов с длительным (в течение 3 месяцев) сохранением результата.

Лизиноприл занимает особое место среди ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента (ИАПФ) благодаря своей способности создавать высокую концентрацию препарата непосредственно в крови, эндотелии сосудов, миокарде и почках без депонирования в жировой ткани. Точкой приложения лизиноприла является ренин-ангиотензин-альдостероновая система (РААС). Блокируя преобразование ангиотензина I в ангиотензин II, он снижает в крови концентрацию не только ангиотензина II, но и альдостерона, уменьшая, тем самым, образование аргинин-вазопрессина и эндотелина-I, которые обладают вазоконстрикторным действием. Дополнительная сосудорасширяющая активность достигается сохранением брадикардии и повышением концентрации эндогенных простагландинов.

Учитывая значительное вмешательство лизиноприла на гуморальное звено регуляции, представляет интерес оценить качество сеансов БОС в контуре метрономизированного дыхания под контролем параметров variability сердечного ритма (ВСР) в комбинации с ним.

Цель. Оценить вклад лизиноприла в оптимизацию состояния регуляторных систем организма в сеансах БОС с контуром метрономизированного дыхания под контролем параметров ВСР.

Объект и методы исследования. В исследовании приняли участие 14 условно здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 22 лет. Критерии исключения: вредные привычки, приём медикаментов в течение последних 3 месяцев, ЧСС покоя менее 60 уд/мин в клинике, артериальное давление менее 100/60 мм рт. ст.

Исследование выполнено с помощью компьютерного диагностического комплекса «CardioLab 2009» («ХАИ-Медика»), содержащего специальный модуль «Biofeedback», состоящий из программно-связанных визуально-звукового метронома дыхания и алгоритма определения параметров ВСР.

Параметры ВСР определяли последовательности длин R-R-интервалов мониторинговых записей ЭКГ в первом стандартном отведении с частотой дискретизации сигнала в 1000 Гц в рамках 7 минутного сеанса. Среди параметров ВСР оценивали мощности низких (V, до 0,05 Гц), средних (L, 0,05–0,15 Гц) и высоких частот (H, 0,15–0,40 Гц), которые затем преобразовывали в двумерную координатную плоскость с осями L/H и V/(L+H), соответствующими мощностям симпатовагального и нейрогуморального звеньев регуляции.

В соответствии с целью исследования каждому испытуемому было проведено 2 серии ежедневных сеансов БОС в контуре метрономизированного дыхания под контролем параметров ВСР в те-

чение 7 дней с временным интервалом в три месяца между ними. Во 2-ой серии сеансы проводили через час после перорального приёма лизиноприла в дозе 2,5 мг.

Качество БОС оценивали на основании параметров оптимальности (O, оценка отдалённости систем регуляции от оптимального состояния за весь период сеанса), чувствительности (S, оценка восприимчивости систем регуляции к метрономизированному дыханию), эффективности (E, степень приближения параметров ВСР к физиологически оптимальному состоянию в период выполнения алгоритма оптимального биообратного управления) как по системе в целом (D), так и по каждому звену регуляции и интегральный показатель BQI (параметр, охватывающий все качественные изменения биологической обратной связи), расчёты значений которых производились с помощью программы PTC MathCad.

Статистическая обработка результатов проводилась в программе Microsoft Excel. В таблицы заносились данные средних значений (M) и стандартных отклонений (sd) параметров O, S, E для показателей D, L/H и V/(L+H) всех записей первой и серий каждого испытуемого.

Результаты и обсуждение. Технология БОС в контуре метрономизированного дыхания под контролем параметров ВСР воспроизводима во временном интервале в 3 месяца. Это позволяет оценить вклад лизиноприла в оптимизацию регуляторных систем организма на одном контингенте добровольцев путём проведения двух серий сеансов с данным интервалом, дополнив сеансы серии 2 лизиноприлом.

Табл. 1.

Показатели	Серия 1	Серия 2
O ^D	-3,82 ± 5,50	0,41 ± 1,71
S ^D	0,87 ± 0,38	0,71 ± 0,30
E ^D	0,11 ± 0,19	0,49 ± 0,26
O ^{L/H}	-13,10 ± 23,91	0,45 ± 30,05
S ^{L/H}	5,78 ± 1,86	7,96 ± 1,64
E ^{L/H}	0,91 ± 0,23	1,00 ± 0,04
O ^{V/(L+H)}	-2,01 ± 0,93	-1,25 ± 0,89
S ^{V/(L+H)}	0,52 ± 0,89	0,35 ± 2,57
E ^{V/(L+H)}	0,17 ± 0,24	0,26 ± 0,42

Средние значения параметра O^D по всем испытуемым в серии 1 составили -3,82 ± 5,50 против 0,41 ± 1,71 в серии 2, что достигалось большей оптимизацией симпатовагального звена регуляции O^{L/H} в 2-ой серии (0,45 ± 30,05 против -13,10 ± 23,91 в 1-ой серии). Значения O^{V/(L+H)} серии 1 и 2 практически соответствовали друг другу (-2,01 ± 0,93 и -1,25 ± 0,89, соответственно), не оказывая существенного влияния на O^D.

Средние значения параметра S^D первой и второй серий не имели достоверных различий (0,87 ± 0,38 против 0,71 ± 0,30, соответственно) при более высоком значении S^{L/H} во второй серии (7,96 ± 1,64 против 5,78 ± 1,86 в первой). Значения S^{V/(L+H)} также были практически равны и составляли 0,52 ± 0,89 в серии 1 и 0,35 ± 2,57 в серии 2.

Средние значения параметра E^D в 1-ой серии составили 0,11 ± 0,19 против 0,49 ± 0,26 во 2-ой, что объясняется более высокими значениями как E^{L/H}, так и E^{V/(L+H)} в серии 2 (1,00 ± 0,04 против 0,91 ± 0,23 и 0,26 ± 0,42 против 0,17 ± 0,24, соответственно).

Систематическое проведение сеансов БОС в контуре метрономизированного дыхания под контролем параметров ВСП способствовало закономерному приближению индекса BQI к оптимальному уровню в обеих сериях при их практически одинаковых исходных значениях в сравниваемых сериях. Дополнение сеансов БОС лизиноприлом позволяло достичь более оптимальных значений BQI начиная с 4 сеанса с сохранением этой закономерности до 7 сеанса.

Выводы. Систематическое проведение сеансов БОС в контуре метрономизированного дыхания под контролем параметров ВСП оптимизирует состояние регуляторных систем. Лизиноприл способствует более раннему наступлению и более существенной по степени оптимизации состояния регуляции, что позволяет рекомендовать подобную комбинацию в терапевтических целях пациентам с АГ.

Экспресс-анализ деятельности кардиореспираторной системы под влиянием низких температур

О. А. Панченко, В. О. Онищенко

ГУ «Научно-практический медицинский реабилитационно-диагностический центр МЗ Украины», Константиновка

В исследовании принимали участие 109 обследуемых (66% женщин и 34% мужчин) в возрасте от 18 до 75 лет, находящихся на амбулаторном лечении в ГУ «НПМ РДЦ» МЗ Украины и прошедших 20-тидневный курс криотерапии (60 криоминут). Криотерапия осуществлялась по методике R.Fricke с применением криокамеры «Cryo Therapy Chamber «Zimmer Midizin Systeme» –110 °C (Германия). Проводились клинические, физиологические, психологические, функционально-диагностические, клинико-лабораторные исследования.

Для оценки состояния сердечной деятельности в процессе исследования применялся анализ показателей variability сердечного ритма (ВСП). ВСП определялась диагностическим автоматизированным комплексом «Кардио+» (НПО «МЕТЕКОЛ», Украина) и проводилась до и после курса криотерапии. Состояние функции внешнего дыхания изучали до и после курса криотерапии с помощью компьютерного пневмотахометра диагностического комплекса «Кардио+». Состояние вегетативной нервной системы и механизмов регуляции было оценено посредством анализа статистических, спектральных показателей ВСП и путем проведения вариационной пульсометрии по Р. М. Баевскому до и после курса экстремального криовоздействия (ЭКВ).

Статистический анализ ВСП включал изучение показателей MEAN (мс), SDNN (мс), RMSSM (мс), pNN50 (%). После курсового ЭКВ наблюдалось статистически достоверное увеличение значений показателей, отражающих активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (SDNN, CVr, RMSSD, pNN50) ($p < 0,05$). Значения показателя SDNN росли с 27 ± 4 (21; 44) мс до 41 ± 5 (30; 56) мс, показатель CVr увеличивался с уровня $3,8 \pm 0,4$ (2,8; 5,6) у.е. до значений $5,41 \pm 0,68$ (3,62; 7,66) у.е., показатель RMSSD — из среднего уровня $16,0 \pm 2,5$ (9,0; 31,0) мс до значений $27,5 \pm 4,6$ (12,5; 40,4) мс, значения pNN50 менялись от уровня $5,0 \pm 0,5$ (0; 10)% до $7,0 \pm 0,1$ (0; 15)%. Значения показателя MEAN после курса ЭКВ оставались на первичном уровне ($p > 0,05$). Следует отметить, что изменения показателей статистического анализа ВСП происходили в направлении оптимума их значений.

Проведение спектрального анализа ВСП в процессе исследования позволило дифференцировать активность отделов вегетативной нервной системы у обследуемых в процессе ЭКВ. Этот вид анализа содержал оценку суммарной мощности спектра (TP), спектральной мощности в зоне очень низких (VLF), низких (LF), высоких частот (HF) и соотношения низкочастотных волн к высокочастотным

(LF / HF). Суммарная мощность спектра после курса ЭКВ статистически значимо не изменялась ($p > 0,05$). Среднее значение показателя LF, отражающее активность симпатического звена вегетативной нервной системы, уменьшалось с уровня 2102 ± 260 (1133; 3169) мс^2 до значений 1834 ± 318 (1130; 2661) мс^2 ($p < 0,05$). Наряду с этими изменениями происходило уменьшение значений показателя VLF со среднего уровня 2361 ± 600 (563; 4984) мс^2 до значений 1253 ± 741 (386; 3939) мс^2 ($p < 0,05$), что свидетельствует о снижении активности гуморального звена регуляции сердечного ритма. В результате анализа данных установлено увеличение значений показателя HF, который отражает активность парасимпатического звена вегетативной регуляции с уровня 696 ± 46 (527; 817) мс^2 до значений 838 ± 75 (732; 2661) мс^2 ($p < 0,05$).

В результате курса ЭКВ значения показателей спектрального анализа ВСП в целом изменялись в направлении их оптимума.

При анализе данных вариационной пульсометрии по Р. М. Баевскому изучали следующие показатели: мода (Mo), амплитуда моды (АМо), индекс вегетативного равновесия (ИВР), индекс напряжения (ИН), вегетативный показатель регуляции (ВПР), показатель адекватности процессов регуляции (ПАПР). В результате курса ЭКВ происходило уменьшение значений показателей ИИР, ИН, ВПР, отражающих активность симпатического отдела вегетативной нервной системы. Значения ИИР менялись с уровня 361 ± 100 (177; 529)% $\times \text{с}^{-1}$ до значений 221 ± 54 (98; 322)% $\times \text{с}^{-1}$; ВПР с уровня $8,6 \pm 2,4$ (5,1; 12,0) с^{-2} до значений $6,2 \pm 1,1$ (3,2; 7,5) с^{-2} ; ИН с 213 ± 72 (104; 369)% $\times \text{с}^{-2}$ до значений 139 ± 40 (68; 202)% $\times \text{с}^{-2}$. Больше степени наблюдалось снижение значений ИН и ИИР, которые уменьшились на 68% и 67% соответственно ($p < 0,05$). Значения Мо, АМо после курса ЭКВ оставались на первичном уровне ($p > 0,05$).

Таким образом, установлено статистически достоверное увеличение значений показателей статистического и спектрального анализа ВСП, отражающих активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Вместе с этим, наблюдается снижение значений показателей вариационной пульсометрии по Р. М. Баевскому, отражающих активность симпатического отдела вегетативной нервной системы, что позволяет оценить степень напряжения и централизации управления сердечным ритмом.

Для комплексной оценки variability сердечного ритма проводилось определение ПАРС. Значения ПАРС выражались в баллах от 1 до 10. По баллам ПАРС у обследуемых диагностировали следующие функциональные состояния (ФС): ФС 1 — состояние оптимального напряжения регуляторных систем, необходимое для поддержания активного равновесия организма с окружающей средой; ФС 2 — состояние умеренного напряжения регуляторных систем, когда для адаптации к условиям окружающей среды организму нужны дополнительные функциональные резервы, связанное с активной мобилизацией защитных механизмов, в том числе повышением активности симпатико-адреналовой системы. Среди обследуемых как до, так и после курса ЭКВ не выявлено лиц с ФС 4, ФС 5, ФС 6.

В группе женщин до проведения курсового криовоздействия лица с ФС 1 составляли $65,6 \pm 8,6\%$, а с ФС 2 — $34,4 \pm 6,4\%$. В группе мужчин начальное распределение по ФС в зависимости от значений ПАРС был таким: лица с ФС 1 составляли $60,0 \pm 9,8\%$ от общего количества обследуемых, лица с ФС 2 — $36,0 \pm 5,6\%$, с ФС 3 — $4,0 \pm 0,9\%$. После курса криовоздействия структура распределения обследуемых по баллам ПАРС изменилась в направлении увеличения числа лиц с оптимальным или умеренным напряжением регуляторных систем: у женщин лица с ФС 1 составили $85,7 \pm 13,2\%$ всех обследуемых, обследуемые с ФС 2 — $14,3 \pm 4,2\%$; у мужчин — лица с ФС 1 составили $71,4 \pm 12,5\%$ от общего количества обследуемых, а лица с ФС 2 — $28,6 \pm 7,1\%$.

Значения ПАРС после курса ЭКВ снижаются как у мужчин, так и у женщин, в результате чего увеличивается количество обследуемых с оптимальным напряжением регуляторных систем, по сравнению с периодом до курса.

При анализе состояния функции внешнего дыхания следует отметить, что на протяжении курса ЭКВ значения частоты дыхания (ЧД), дыхательного объема (ДО), минутного объема дыхания (МОД), жизненной емкости легких (ЖЕЛ) обследуемых существенно не меняются ($p > 0,05$). У мужчин и женщин происходит увеличение максимальной вентиляции легких (МВЛ), что достоверно связано с увеличением резервного объема вдоха. Такие изменения объясняются адаптивными реакциями, позволяющими достичь увеличения поверхности газообмена и приспособиться к удовлетворению метаболических потребностей организма при низкотемпературном воздействии, и приводят к увеличению функциональных резервов организма.

В результате экспресс-анализа деятельности кардиореспираторной системы под влиянием низких температур установлено, что реакция сердечно-сосудистой системы на курс ЭКВ проявляется в оптимизации значений АД, в увеличении активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы и уменьшении гуморальных регуляторных влияний, в увеличении количества обследуемых с оптимальным напряжением регуляторных систем по значениям ПАРС в сравнении с исходными данными.

Экспресс-анализ психофизиологических параметров человека

О. А. Панченко, С. М. Радченко, А. В. Зарубайко
ГУ «Научно-практический медицинский реабилитационно-диагностический центр МЗ Украины», Константиновка

Цель работы: установить корреляционные связи между физическим и психологическим состояниями.

Исследования проводили у 200 человек в возрасте от 20 до 55 лет с различным физическим и психологическим состоянием, которые были разделены на три группы. В I (контрольную) группу вошли 50 человек в возрасте 28–52 лет, у которых состояние физическое и психологическое было в пределах нормы. Во II группу — 72 человека в возрасте 31–53 лет с изменением психологического состояния, а в III — 78 человек в возрасте 30–55 лет, с изменением и психологического и физического состояния лиц, проходивших обследование в Государственном учреждении «Научно-практический медицинский реабилитационно-диагностический центр МЗ Украины».

Для анализа был использован метод нейросетевого моделирования. Была построена модель классификации обследуемых в две группы: норма (контрольная группа) и патология (2 и 3 группа).

В качестве факторных признаков при построении исходной модели были использованы показатели психотестов (ММРП) и тренажера EN-TreeM («Enraf-Nonius B.V.», Нидерланды) — всего 63 признака.

При проведении анализа в качестве оценки состояния (результатирующий признак) прогнозировалось состояние пациента Y . При построении модели значению результирующего признака $Y = 0$ соответствовало отнесение пациента к группе контроля, $Y = 1$ — к группе патологии.

Модель строилась по результатам 200 пациентов, при этом в 50 случаях это была норма, а в 150 случаях — патология.

Для проверки качества прогнозировании модели все случаи (с использованием генератора случайных чисел) были разделены на 3 множества: обучающее (138 случаев), контрольное (21 случай) и тестовое (40 случаев).

На первом этапе исследования была построена модель прогнозирования на основании всех 63 признаков. После обучения модели, построенной на полном наборе факторных признаков, была проведена оптимизация порога принятия–отвержения с использованием метода построения кривых операционных характеристик (ROC-процедура). При оптимизации порога принятия решения

модели было получено значение $Y_{crit} = 0,44$. В случае, когда в результате расчетов в рамках построенной модели значение $Y > 0,44$ прогнозировалась патология, в противном случае — норма.

Чувствительность модели на обучающем множестве составила 74,3% (ДИ 58,1%–87,6%), специфичность — 78,6% (ДИ 70,1%–86,1%). На тестовом множестве чувствительность модели была 50,0% (ДИ 12,9%–87,1%), специфичность — 78,1% (ДИ 61,7%–90,9%).

Для выявления факторов, в наибольшей степени связанных с патологией, был проведен отбор наиболее значимых признаков. Для проведения отбора использовался метод пошагового исключения. В результате было отобрано 2 признака: К (шкала ММРП) (X7) и пиковая скорость мышц (X36). Была построена модель прогнозирования. После обучения модели была проведена оптимизация порога принятия–отвержения. Получено значение $Y_{crit} = 0,809$. В случае, когда в результате расчетов в рамках построенной модели значение $Y > 0,809$ прогнозировалось прогрессирование патологии, в противном случае — норма.

Чувствительность модели на обучающем множестве составила 74,3% (ДИ 58,1%–87,6%), специфичность — 74,8% (ДИ 65,8%–82,7%). На тестовом множестве чувствительность модели составила 75,0% (ДИ 34,8%–98,9%), специфичность — 71,9% (ДИ 54,6%–86,3%).

Чувствительность и специфичность на обучающем и тестовом множестве статистически значимо не различаются ($p = 0,68$ и $p = 0,93$, соответственно, при сравнении по критерию χ^2), что свидетельствует о ее адекватности.

При этом уменьшение количества прогнозирующих признаков от 63 до 2 не привело к снижению качества прогнозирования ($p > 0,7$), что указывает на значимость отобранных переменных.

Для выявления значимости влияния факторных признаков была построена логистическая регрессионная модель, модель адекватна ($p < 0,001$ по критерию χ^2).

Из анализа модели и результатов анализа логистической регрессионной модели следует, что увеличение показателя пиковая скорость мышц (X36) связывается с уменьшением ($p < 0,05$) шанса отнесения к группе патологии (на каждую единицу увеличения показателя ОШ = 0,92 (95% ДИ 0,87–0,97), для показателя же К (шкала ММРП) (X7) — наоборот, увеличение его значения связывается с увеличением ($p < 0,05$) шанса отнесения к группе патологии (на каждую единицу увеличения показателя ОШ = 1,13 (95% ДИ 1,07–1,19)).

Выявленные корреляционные связи позволяют прогнозировать изменения в психофизиологическом состоянии человека, что предупреждает развитие осложнений со стороны мышечной системы.

R-R interval analysis in moderate psoriasis

**G. Raimondi¹, B. Scordamaglia¹, J. M. Legramante²
G. Montanari², N. Skroza¹, M. C. Potenza¹**

¹Dept. of Medico-Surgical Sciences and Biotechnologies, Pharmacy and Medicine Faculty, University of Roma «Sapienza», Italy

²Dept. Medicina dei Sistemi. Medical and Surgery Faculty, University of Roma «Tor Vergata», Italy

Psoriasis is a chronic inflammatory immune-mediated skin disease characterized by chronic erythematous plaques that affects about 2–3% of the population. Recent studies have reported that psoriasis is associated with metabolic syndrome and other disorders, including obesity, dyslipidemia, and diabetes.

An increased mortality due to cardiovascular diseases in patients with severe psoriasis has been documented and several hospital-based studies have indicated that psoriasis is associated with a higher prevalence of cardiovascular diseases, including myocardial infarction (MI). These studies did not control for other potentially associated risk factors for MI and therefore it is unclear if psoriasis itself, or co-

morbidities and behaviours associated with psoriasis, might explain this association.

Furthermore, no data exist concerning a possible relationship between cardiovascular risk factors and psoriasis. In particular the effects of psoriasis on autonomic nervous system are not defined.

Among the different available techniques for assessing the autonomic cardiovascular regulation, heart rate variability (HRV) has emerged as a simple, non invasive method to evaluate the sympatho-vagal balance within the autonomic control of sinus node. It has been used in a variety of clinical situations including diabetic neuropathy, myocardial infarction, sudden death and CHF.

Several methods of heart rate variability (HRV) have been used to describe the complex regulatory system between heart rate and the autonomic nervous system (Task Force 1996). The conventional methods based on time and frequency domain analysis of HRV are most often used. There are several other indices and mathematical methods that have been used in characterizing the human heartbeat dynamics.

Because the impaired autonomic function correlated with an increase in sympathetic activity may represent a cardiovascular risk (ventricular arrhythmias, sudden cardiac death, etc, in the general population) the aim of our study has been to evaluate whether in young patients with moderate psoriasis in absence of the metabolic syndrome or other comorbidities the autonomic function, analyzed by linear and nonlinear methods of heart rate variability, is affected.

Material and Methods: 26 young subjects (20 F), aged between 18 and 35 years, of both sexes affected by moderate Psoriasis (PASI Index 5.9 ± 1.3) without any other diseases have been enrolled and compared with a control group of 27 (14 F) normal subjects age matched. We recorded 10 min ECG (XAI-MEDICA) in rest condition. We analyzed recorded data with XAI-MEDICA software for HRV linear analysis and also with KUBIOS-HRV software for the HRV non linear analysis.

Linear methods: These methods are used for direct amounting of estimation of HRV at investigated period of time. Statistic characteristic of dynamic row of cardiointervals include: SDNN, RMSSD and TINN. Frequency domain analysis of HRV describes the periodic oscillations of the heart rate signal decomposed at different frequencies and amplitudes, and provides information on the amount of their relative intensity in the heart's sinus rhythm. The power spectrum can be classified into two principal bands: the low frequency band (LF) and the high frequency band (HF). The HF component is generally defined as a marker of vagal modulation. The LF component is modulated by both the sympathetic and parasympathetic nervous systems. The LF/HF Ratio is considered an index of sympato-vagal balance.

Nonlinear Methods: Poincaré Plots: Two-dimensional vector analysis was used to quantify the shape of the plots. In this quantitative method, short-term (SD1) and long-term R-R interval variability (SD2) and the ellipse area of the plot are separately quantified. SD2 is generally considered expression of the vagal modulation of sinus node.

Detrended fluctuation analysis (DFA). This technique was used to quantify the fractal scaling properties of short- and intermediate-term R-R interval time series. The HR correlations were defined separately for short-term (<11 beats, α_1) and longer-term (>11 beats, α_2) R-R interval data. Thus, fractal analysis can be considered as an improvement of spectral analysis, without any interference of environmental and physiological changes, such as respiration and physical activity.

Several different measures of entropy have been used to quantify the complexity of heart rate dynamics that have already provided some interesting information on abnormalities in heart rate behaviour in relation to cardiac disorders and physiological conditions. In simple way the Entropy is a measure quantifying the regularity or complexity of time series. Lower values of ApEn indicate a more regular (less complex) signal; higher values indicate more irregularity (greater complexity).

Statistics: to compare the two groups we used non paired t-test with a p value of 0.05 considered significant. Data are expressed as mean \pm ESM.

Results: RMSSD showed a significant difference between the two groups (Normal 53.2 ± 6.0 vs Psoriasis 39.4 ± 4.2 msec). Concerning Power spectral analysis: Total power was less in psoriasis group (2611 ± 90.6 vs 2125.5 ± 308.7 msec²), and in HF component (46.7 ± 0.6 vs 33.4 ± 3.2 nu), while the LF component and LF/HF ratio showed a significant increase in the psoriasis group (46.5 ± 0.5 vs 53.3 ± 2.9 nu, and 1.3 ± 0.04 vs 2.6 ± 0.6 respectively). Using the Poincaré plot the SD1 and SD2 index were significantly more less in the psoriasis group (38.5 ± 0.7 vs 28.5 ± 2.8 and 79.5 ± 4.9 vs 66.8 ± 4.0 msec respectively). Finally the DFA α_1 index was significant more high in the psoriasis group (0.99 ± 0.01 vs 1.2 ± 0.04). We didn't find any differences in the Entropy analysis between the two groups

Our data suggest that in the moderate psoriasis there is a balanced reduction in the parasympathetic modulation associated with an increased sympathetic modulation of sinus node explored not only by time and frequency domain methods of HRV analysis but also by non linear methods as Poincaré plot.

In our data the Detrended Fluctuation Analysis showed a significant increase in the α_1 index. But conflicting results are present in literature. In fact while some authors report that a reduction of α_1 index is predictor of a major mortality in patients with ischemic cardiac diseases or in heart failure others report that the cold pressure test (sympathetic activation) determines an increase of the α_1 index. Maybe in our opinion the utilization of different methods in subjects with different ages could explain these different results. The decrease is present in old patients and the analysis has been performed in records of 24 hours, while the cold pressure test has been performed in normal young subjects in short-duration recordings.

All measures of entropy are a global representation of autonomic nervous system functioning and complexity. The most commonly used variables are approximate entropy (ApEn) and sample entropy (SampEn), which are a reflection of the amount of irregularity in the R-R interval. Our study did not show significant differences in the measures of Entropy.

Clinical, pharmacological and experimental data seem to support a role of the nervous system in the pathogenesis of psoriasis. Our data suggest that psoriasis might affect the cardiac autonomic regulation as shown by the HRV analysis performed with linear and non linear methods. Because the increase in sympathetic activity may be associated with an increase in cardiovascular risk (ventricular arrhythmias, sudden cardiac death, etc.) we can conclude that moderate psoriasis might represent a possible independent cardiovascular risk.

In conclusion, methods derived from non linear dynamics have provided new insights into the HRV changes under various physiological and pathophysiological conditions. They provide additional prognostic information and complement traditional time — and frequency-domain analyses of HRV. Today, the question is no longer about whether or not methods from non linear dynamics should be applied; however, it is relevant to ask which of the methods should be selected and under which basic and standardized conditions should they be applied.

Стан вегетативних регуляторних систем у хлопчиків з вадами зору

І. В. Редька

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Харківська медична академія післядипломної освіти МОЗ України
Херсонський державний університет, Україна*

Сучасні морфо-функціональні дослідження наводять все більше доказів існування оптико-вегетативної системи, що вказує на наявність нервових зв'язків сітківки не лише з первинними зоровими центрами та модальностеспецифічними проєкційними полями кори головного мозку, але й з іншими структурами мозку. Так описані волокна оптичного тракту, що мають зв'язки з структурами серед-

нього мозку, ядрами гіпоталамуса та гіпофізом (Saper et al., 2005; Lockley, Gooley, 2006; Kalsbeek et al., 2007). Базальний корінець ретино-гіпоталамічного шляху забезпечує зв'язок сітківки з парасимпатичною нервовою системою, а задній корінець — з симпатичною нервовою системою (Бусурин М. Ю. и др., 2002). Зазначене обумовлює можливість участі зорової аферентації в регуляції та модуляції функцій організму не залежно від процесів зорового сприйняття. Вищевикладене дозволяє припустити, що обмеження зорової аферентації впливатиме на функціональний стан вегетативних регуляторних систем організму.

На сьогодні найпоширенішим методом кількісного аналізу функціонального стану вегетативних регуляторних систем є варіабельність серцевого ритму.

У зв'язку з цим проведено аналіз варіабельності серцевого ритму у 11 хлопчиків з вродженими та рано набутими вадами зору (корегований *vis. OD* — $0,05 \pm 0,02$; *vis. OS* — $0,07 \pm 0,03$) 14–18 років (середній вік — $16,10 \pm 0,38$ років) та 19 практично здорових нормальнозорих хлопчиків (некорегований *vis. OU* = 1,00) того ж віку ($16,04 \pm 0,37$). Участь дітей у дослідженні відбувалася за попередньої згоди батьків та самих дітей з дотриманням принципів Хельсинської декларації.

Реєстрація електрокардіограми здійснювалася в стані відносно спокою в положенні досліджуваного «сидячи» впродовж 2,5 хв. на електроенцефалографічному комплексі «DX-5000» (ТОВ НВФ «DX-системи», Харків, Україна), а аналіз варіабельності серцевого ритму здійснювався за допомогою модуля «Cardio-Tension-Test» (Mayorov O. Yu., Bayevsky R., 2000) програмного комплексу Neuro-Researcher® (Mayorov O. Yu. et al., 2003) з розрахунком статистичних та спектральних показників.

Вірогідність відмінностей між показниками ВСР встановлювалася на основі U-критерію Вількоксона-Манна-Уїтні в програмному пакеті для статистичного аналізу «STATISTICA. Version 10» (StatSoft, USA).

Встановлено, що у хлопчиків з вадами зору достовірно нижчі значення *M₀*, порівняно з нормальнозорими хлопчиками (відповідно $0,75 \pm 0,04$ с і $0,85 \pm 0,03$ с, $p < 0,05$), що узгоджується з дещо нижчими значеннями ЧСС (відповідно $79,58 \pm 4,41$ уд./хв. і $71,83 \pm 1,96$ уд./хв., $p > 0,05$) та *Mean* (відповідно $0,77 \pm 0,04$ с і $0,85 \pm 0,02$ с, $p > 0,05$). Значення показників *AM₀*, *IN* та *ПАПР* у хлопчиків з вадами зору дещо вищі ($p > 0,05$), ніж у нормальнозорих хлопчиків, а значення показників ΔX , *CVr*, *SDNN*, *pNN50* — дещо нижчі ($p > 0,05$).

Статистично достовірні відмінності між хлопчиками з різним станом зорової функції виявлені за спектральними показниками ВСР. Так, у хлопчиків з вадами зору, порівняно з нормальнозорими, виявлено достовірне зниження сумарного рівня активності вегетативних регуляторних систем (відповідно $563,45 \pm 174,70$ мс² і $1099,47 \pm 174,55$ мс², $p < 0,05$), максимальних рівнів активності симпатичної нервової системи (відповідно $171,73 \pm 60,19$ мс² і $429,89 \pm 90,58$ мс², $p < 0,05$), активності вазомоторного центру (відповідно $390,82 \pm 12-0,24$ мс² і $667,16 \pm 123,43$ мс², $p < 0,05$) та парасимпатичної нервової системи (відповідно $0,82 \pm 0,40$ мс² і $2,68 \pm 0,59$ мс², $p < 0,05$). Крім того, у хлопчиків з вадами зору, порівняно з нормальнозорими, зменшена кількість зсувів автокореляційної функції, які необхідні для досягнення коефіцієнта кореляції меншого за нуль (відповідно $5,45 \pm 2,11$ і $9,37 \pm 2,47$, $p = 0,051$).

Зазначене вказує на виснаження механізмів саморегуляції (автономний контур регуляції) на фоні недостатньої активності центрального контуру регуляції у хлопчиків з вадами зору, що може свідчити про виснаження регуляторного резерву. Зокрема, на основі аналізу індивідуальних значень показника активності регуляторних систем встановлено, що у хлопчиків з вадами зору спостерігалось перенапруження вегетативних регуляторних систем у 18,18% випадків, що не притаманне нормальнозорим хлопчикам, та свідчить про незадовільний рівень адаптаційних можливостей організму.

Отже, зниження потоку зорової аферентації супроводжується змінами у функціональному стані вегетативних регуляторних систем.

Анализ функционального состояния хоккеистов в условиях тренировочного сбора с помощью портативного шестиканального электрокардиографического программно-аппаратного комплекса

В. А. Секретный², И. А. Чайковский¹

¹Институт кибернетики НАНУ, Киев, Украина

²Украинский центр спортивной медицины МОЗ, Киев

Введение. Эффективное управление тренировочным процессом невозможно без установления количественных критериев и зависимостей связываемых объем, интенсивность и направленность воздействия применяемых средств и методов тренировки с объективными физиологическими показателями, описывающими функциональное состояние спортсмена. Особенно актуален контроль функционального состояния в таких популярных игровых видах спорта как футбол и хоккей. Эти виды спорта представляют собой наиболее сложные виды спортивной деятельности. С физиологической точки зрения это преимущественно динамическая работа переменной интенсивности. Интенсивность физической нагрузки во время игры колеблется от умеренной до максимальной, происходит постоянное чередование активных действий с периодами относительной пассивности.

Для эффективной подготовки к такого рода деятельности проводятся учебно-тренировочные сборы. Очевидно, что объективная оценка функционального состояния спортсмена в динамике во время такого сбора является важной и актуальной задачей.

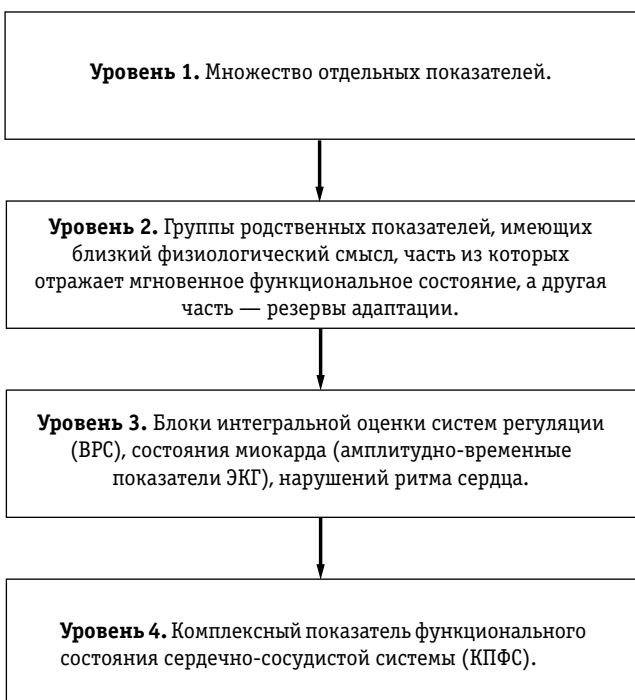
Цель работы. Исследовать возможности нового шестиканального электрокардиографического программно-аппаратного комплекса для оценки функционального состояния хоккеистов в «полевых» условиях.

Материалы и методы. В исследование были включены 28 спортсменов — игроков молодежной сборной команды Украины по хоккею с шайбой (средний возраст 18 ± 3 года). Все спортсмены выступают в клубах ПХЛ (Украина) и МХЛ (Россия) и имеют спортивную квалификацию не ниже кандидата в мастера спорта. Обследование проводилось в утренние часы, во время учебно-тренировочного сбора, предшествующего чемпионату мира. С помощью портативного электрокардиографического программно-аппаратного комплекса (ПАТ) «Кардиоплюс 6П» регистрировались стандартные и усиленные отведения от конечностей. Продолжительность регистрации электрокардиограммы составляла 3 минуты. Анализировался набор амплитудно-временных показателей электрокардиограммы в 6-ти отведениях, набор показателей вариабельности ритма сердца, наличие или отсутствие 12 видов нарушений ритма сердца и проводимости. Формировались интегральные показатели отдельно по блокам вариабельности ритма сердца, амплитудно-временных параметров электрокардиограммы, нарушений ритма сердца а также комплексный показатель функционального состояния (КПФС). Результаты представлялись в наглядной форме, в рамках так называемой «светофорной логики»: Значения всех показателей, как отдельных так и комплексных, были разделены на 4-ре диапазона — от оптимальных значений к очевидно патологическим. При этом первый диапазон отображался зеленым цветом, второй — желтым, третий — оранжевым, четвертый — красным. Иерархическая структура анализа электрокардиограммы, реализованная в программном обеспечении ПАТ «Кардиоплюс 6П» представлена на схеме ниже.

Результаты и их обсуждение. Комплексный показатель функционального состояния (КПФС) оказался в диапазоне оптимальных значений («зеленая» зона) у 26 спортсменов (93%). У двоих (7%) хоккеистов КПФС был во втором диапазоне («желтая» зона). При анализе отдельных блоков показателей, входящих в КПФС было выявлено, что у 20 (71%) спортсменов интегральный показатель

вариабельности ритма сердца оказался в «зеленой» зоне, а у 8 (29%) — в «желтой». В то же время интегральный показатель амплитудно-временных параметров электрокардиограммы у 23 (32%) спортсменов оказался в «зеленой» зоне а у 5 (18%) — в желтой». У одного хоккеиста выявлены клинически значимые нарушения ритма.

Эти данные использовались тренерским штабом сборной команды для оценки функционального состояния спортсменов. При этом данные показателей вариабельности ритма сердца оказались информативными для тренеров с целью подбора игроков к решающим матчам. Параметры амплитудно-временных показателей ЭКГ использовались прежде всего для индивидуализации физических нагрузок, коррекции режима дня, отдыха и питания, фармакологической коррекции.



Иерархическая структура анализа ЭКГ, реализованная в программном обеспечении — аппаратного комплекса «КардиоплюсП6».

Данное исследование продемонстрировало целесообразность использования портативных электрокардиографических программно-аппаратных комплексов для оценки функционального состояния спортсменов и медицинского контроля в условиях учебно-тренировочных сборов. Особенно полезно использование таких ПАТ именно в сборных командах, куда спортсмены прибывают на короткий срок, в разном функциональном состоянии, и тренерский и врачебный персонал должны оперативно получить информацию для правильного построения сбора.

Дифференцированная оценка разных компонентов, характеризующих функциональное состояние спортсменов, а именно вариабельности ритма сердца, амплитудно-временных показателей ЭКГ, нарушений ритма сердца и проводящих путей дает возможность решать как оперативные задачи выбора игроков на конкретные матчи, так и обоснованно строить программу индивидуализированной подготовки спортсмена на более отдаленную перспективу.

Дослідження інформативності показників ентропії для аналізу карт розподілу щільності струму

І. Сиропятов¹, І. Чайковський², М. Будник², Ю. Фролов²

¹Київський НТУУ «Київський політехнічний інститут»

²Міжуніверситетський медико-інженерний факультет кафедра медичної фізики

²Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАНУ, Київ

Вступ та постановка задачі. Магнітокардіографія (МКГ) є неінвазивним та безпечним методом, який дає змогу отримати принципово нову інформацію про електричну активність серця (ЕАС) у нормі та патології. За допомогою вирішення оберненої задачі магнітостастики з карт розподілу магнітного поля отримують карти розподілу густини струмів (РГС). Це двовимірне представлення ЕАС у вигляді поля векторів електричного струму, розподіленого у фронтальній площині, яка січе міокард на глибині залягання еквівалентного дипольного джерела. Діагностика на основі показників карт РГС є найбільш перспективним напрямком у МКГ. Проте, точність діагностики на основі аналізу РГС у ряді випадків недостатня, що можливо пов'язано з недостатньою роздільною здатністю (10×10 точок з кроком 2 см), а також розмиттям (згладжуванням) зображення, спричинене додаванням магнітних полів в кожній точці простору від кожного елемента іонного струму в міокарді. Тому актуальний пошук нових інформативних параметрів, мета роботи — оцінити придатність показників ентропії карт РГС.

Матеріал та методи. Аналізувалися 61 миттєві карти РГС — по одній характерній карті для обстеженого. Групи: ІХС 16 пацієнтів, 15 — міокардит, 15 — з гіпертрофія лівого шлуночка, контрольна група — 16 осіб, всього 11 жін. та 50 чол. віком 18–92 рр. МКГ обстеження виконано кардіомагнітним сканером, створеним в Інституті кібернетики ім. В. М. Глушкова НАНУ.

Карта має 100 векторів, тому масив даних включає 200 кількісних показників — проєкцій векторів x та y . Ідея аналізу — підвищити точність діагностики за рахунок зменшення кількості показників за рахунок переходу до узагальнених ентропійних показників. Ентропійний підхід є одним з відомих підходів до оцінки масивів даних в різних галузях. Поняття ентропії було введено Шенноном на основі щільності ймовірності $p_k = m_k / N$, де $N=100$ — об'єм вибірки або кількість векторів, які попадають в інтервали $m_k, k \in \{1, 2, \dots, M\}$ ($x_k, x_k + \Delta x$) карти $X(t)$. У нашому випадку масиви — це довжина $d = \sqrt{x^2 + y^2}$ та кут $\alpha = \arctg(y/x)$ векторів, досліджувались 4 типи ентропій — за Burg та Frieden (1), Gull і Skilling (2), за Шенноном (3).

Але для карт РГС застосувати прямо відомі формули неможливо у зв'язку з проблемою розходження логарифмів. Так, значення кута лежать в діапазоні $(-\pi; \pi)$, тому потрібно перенормувати діапазон щоб він був більше нуля для уникнення розходжень в (1–2). Також при обчисленні ентропії Шеннона є випадки, коли в певний інтервал значень амплітуди чи кута не попадає жодний вектор, тому що карта РГС — це динамічний, а не статистичний об'єкт. Для уникнення аналогічних розходжень для ентропії Шеннона в (3) введено «регуляризуючий» коефіцієнт $\beta = 1 / (N+t)$, де t — кількість інтервалів, взята 10 для довжини та 12 для кута, що забезпечило сумісність з 6-осевою системою відведення Бейлі в ЕКГ. Похибка, яку вносить коефіцієнт несуттєва, бо в обох випадках складає менше 1%, тобто точності обчислень p_k .

$$H_{Burg}(X) = -\sum \ln(X), \quad H_{Frieden}(X) = -\sum X \ln(X),$$

$$\alpha_i = \frac{\arctg\left(\frac{y_i}{x_i}\right) + (1 + \pi)}{1 + 2\pi}. \quad (1)$$

$$H_{Gull}(X) = \sum X - M - X \ln(X | M), \quad (2)$$

де $M=1$ — модельне зображення M .

$$H_{Shannon}(d) = -\sum_{k=1}^{100} p_k \ln(p_k + \beta), \beta(d)=1/(110), \beta(\alpha)=1/112, (3)$$

Далі рахують 4 сумарні ентропії, які використовують всю інформацію, що містить карта (4–5).

$$H_{Burg}(\Sigma) = H_{Burg}(d) + H_{Burg}(\alpha),$$

$$H_{Freiden}(\Sigma) = H_{Freiden}(d) + H_{Freiden}(\alpha) \quad (4)$$

$$H_{Gull}(\Sigma) = H_{Gull}(d) + H_{Gull}(\alpha),$$

$$H_{Shannon}(\Sigma) = H_{Shannon}(d) + H_{Shannon}(\alpha) \quad (5)$$

Також була розрахована бінарна ентропія (6) карти на основі обчислення ймовірності належності вектору об'єкту $p_1 = 1$ чи фону $p_0 = 1 - p_1$. Поріг становить 0,5 (вектори нормовані на 1), тоді $p_1 = K/100$, де K — кількість векторів з довжиною більше 0,5.

$$H_{bin} = H_1 + H_0 = -p_1 \log_2(p_1) - p_0 \log_2(p_0) = p_1 \log_2\left(\frac{1-p_1}{p_1}\right) - \log_2(1-p_1). \quad (6)$$

В результаті отримано набір 13 показників: 4 оцінюють довжину векторів струму, 4 – їх напрямки, 4 – обидва фактори, та бінарна ентропія, яка оцінює карту РГС по кількості «сильних» векторів, довжина яких перевищує 50%.

Результати. Обчислено параметри описової статистики: середнє, СКВ, похибка середнього, коефіцієнт варіації (CV), достовірність середнього, довірчий інтервал (ДІ). Далі застосовано 2-вибірковий тест Ст'юдента з нерівними дисперсіями для оцінки відмінності параметрів при патології порівняно з нормою, дані зведено в табл. 1.

Висновки. Видно, що достовірно відрізняються від норми:

1) по довжині векторів — ентропії Burg, Freiden, Gull-Skilling та ентропія бінарного зображення – для всіх 3-х хвороб, а ентропія Шеннона — лише для ІХС та ГЛШ ($p \leq 0,05$).

2) сумарні ентропії Burg, Freiden, Gull-Skilling – для ІХС та міокардиту ($p \leq 0,05$).

3) по напрямку векторів — ентропії Burg, Freiden та Gull-Skilling — для міокардиту, Freiden — для ІХС, Gull-Skilling — для ГЛШ, причому мають значно гіршу статистику з ($p \leq 0,12$).

Не відрізняється від норми:

4) ентропія Шеннона — як по куту, так і сумарна, причому ні по одній хворобі.

Отже, знайдено, що серед 13-ти ентропійних показників карт РГС є 5 інформативних, які оцінюють амплітуди векторів, причому всі вони перспективні для діагностики ГЛЖ та ІХС, а для діагностики міокардиту — всі, крім ентропії Шеннона.

Табл. 1. Середні значення та СКВ параметрів ентропії у 4-х групах.

Параметр	Норма	Міокардит	ІХС	ГЛШ
$H_{Burg}(d)$	108,28 (12,67)	89,58 (17,49)*	81,11 (7,3)*	98,00 (11,66)*
$H_{Freiden}(d)$	30,38 (1,20)	29,57 (0,90)*	29,09 (1,05)*	29,53 (1,32)*
$H_{Gull}(d)$	-28,67 (3,71)	-22,94 (5,65)*	-20,24 (2,33)*	-25,61 (3,58)*
$H_{Shannon}(d)$	2,00 (0,06)	2,02 (0,06)	2,05 (0,06)*	2,06 (0,06)*
$H_{bin}(d)$	0,88 (0,06)	0,96 (0,08)*	0,99 (0,02)*	0,94 (0,07)*
$H_{Burg}(\alpha)$	76,02 (9,64)	69,37 (8,93)**	71,76 (14,14)	79,99 (7,91)
$H_{Freiden}(\alpha)$	26,72 (1,91)	25,57 (1,75)**	25,35 (2,59)**	26,00 (2,43)
$H_{Gull}(\alpha)$	-19,41(3,13)	-17,29 (2,76)**	-18,2 (4,47)	-21,00 (2,33)**
$H_{Shannon}(\alpha)$	2,21(0,10)	2,25 (0,07)	2,20 (0,08)	2,18 (0,10)
$H_{Burg}(\Sigma)$	184,3 (18,84)	158,95 (21,82)*	152,87 (14,60)*	177,99 (8,93)
$H_{Freiden}(\Sigma)$	57,10 (2,28)	55,14 (1,78)*	54,45 (2,62)*	55,53 (2,71)**
$H_{Gull}(\Sigma)$	-48,08 (5,71)	-40,23 (6,93)*	-38,44 (4,61)*	-46,61 (2,89)
$H_{Shannon}(\Sigma)$	4,21 (0,09)	4,28 (0,08)	4,25 (0,09)	4,24 (0,08)

Примітка: * – різниця за тестом Ст'юдента з $p \leq 0,05$;

** – різниця за тестом Ст'юдента з $p \leq 0,12$

Оценка изменений функционального состояния человека в эргатической обучающей системе

О. П. Страхова, А. А. Рыжов

Запорожский государственный медицинский университет, Украина

Цель работы: изучить влияние проведения учебного занятия в эргатической среде на изменение функционального состояния обучающегося.

Материалы и методы. Для оценки степени влияния обучения в эргатической системе на степень изменения текущего функционального состояния человека мы провели исследование, состоявшее из нескольких этапов:

- записи variability сердечного ритма ВСР с помощью комплекса Кардиолаб (ХАИ Медика, г. Харьков),
- измерения электропроводимости микрзон на коже человека ЭКХ МЗ устройством измерения ЭКХ Рада-5, Москва,

- реовазографии конечностей РВГ комплексом Реоком, ХАИ Медика, Харьков;
- оценки личностной и ситуативной тревожности.

проводившихся до начала 4-часового занятия в компьютерном классе и по его окончании. Изучение методического и учебного материала, выполнение задания проводились только на компьютере.

Статистическая оценка полученных результатов выполнена с помощью программы STATISTICA.

Обследовалась группа добровольцев в количестве 157 человек, студентов ВУЗа, в возрасте 18–19 лет, мужского и женского пола, в одинаковое время суток, для избежания влияния циркадных ритмов на общее состояние исследуемых.

Перед началом занятия участникам предлагалось ответить на вопросы теста Спилберга оценки личностной и ситуативной напряженности (субъективная часть). По результатам измерения была проведена оценка корреляции относительных изменений измерений параметров ВСР и электрокожных характеристик микрзоны участников исследований.

Результаты исследования. Были выделены несколько наиболее сильно коррелирующих между собой (коэф. корреляции от 0.64 до 0.79) показателей ВСР и ЭКХ МЗ.

Была определена корреляция с коэффициентом 0.74 между направлением изменений параметров ЭКХ в этих микрizonaх и уровнем ситуативной тревожности участника. Коэффициент личностной тревожности имеет слабую корреляцию (не более 0.33) с некоторыми величинами ВСР и несколькими ЭКХ МЗ.

Наиболее выраженной оказалась корреляционная зависимость с показателями ВСР изменений в следующих микрizonaх: F, IG, RP, P, VB, R.

Статистические характеристики динамического ряда кардиоинтервалов RMSSD, PNN50, HRV Ti, SDNN, а также количество эктопических комплексов заметно выросли. Общая мощность TP спектра частот от 0.015 до 0.15 Гц, выражающая суммарную активность воздействия вегетативной нервной системы на сердечный ритм, возросла почти на 16%. Рост произошел во всех диапазонах спектра. Особенно существенно вырос показатель мощности спектра низких волн LF (17%). Изменение в диапазоне VLF — 14%, оно отражает повышение активности самой медленной системы регуляции кровообращения — гуморально-метаболической. Низкочастотная часть спектра, LF, возросла на 17%. Мощность высокочастотных колебаний HF возросла почти на 13%. Несмотря на рост показателей как симпатической, так и парасимпатической регуляции сердечно-сосудистой системы, симпато-вагальный индекс, LF/HF, характеризующий соотношение или баланс симпатических и парасимпатических влияний на ритм сердца, вырос лишь на 6%. Это свидетельствует о небольшом смещении вегетативного баланса в сторону доминирования симпатического отдела ВНС, что свойственно стрессовому состоянию организма.

Показатели вариационной пульсометрии заметно снизились. Амплитуда моды, Амо, отражающая стабилизирующий эффект централизации управления ритмом сердца, показала снижение числа кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, в процентах к объему выборки, почти на 7%. Почти на 13% снизился индекс напряженности регуляторных систем. Это очень чувствительный к состоянию ВНС показатель характеризует активность симпатического отдела ВНС, используется в спортивной медицине. Значительно снизились индекс вегетативного равновесия ИВР и вегетативный показатель ритма ВПР, на почти 11% и почти 7% соответственно. Увеличилось рассеяние скаттерограммы. Заметно, на 12.7% вырос показатель скаттерограммы W.

Проведенные одновременно с записью ВСР измерения ЭКХ МЗ показали существенное изменение показателей проводимости. Средние значения измерений правой и левой стороны снизились суммарно на 7% в конце занятия по сравнению с началом. По некоторым МЗ снижение было более 12%: CV, C, F, R, IG, VB.

Выводы. В ходе проведенного исследования было выявлено увеличение статистических показателей вариационного ряда

кардиоинтервалов ВСР, возрастания мощности спектра волн во всех диапазонах и снижения показателей вариационной пульсометрии, при небольшом превалировании симпатической регуляции над парасимпатической (индекс LF/HF равен 6.33). В результате занятия, проведенного в статичной позе, перед экраном компьютера повысилась активность как симпатического, так и парасимпатического отделов ВНС, увеличилась частота экстрасистол, увеличилась недыхательная аритмия, снизилась электрическая активность определенных МЗ, причем показатели левой стороны тела более выражено изменились по сравнению с правыми.

Обсуждение: длительное, в течение 4 часов, пребывание в эргатической системе и обучение с представлением учебного и методического материала с помощью компьютера приводит к заметным изменениям в функциональном состоянии человека. Показано, что обучение в эргатической среде является существенной функциональной нагрузкой для организма человека. Для компенсации возникших изменений, предлагается проводить небольшие спортивные перерывы, с выполнением специального комплекса упражнений для тела и глаз обучающегося. Комплекс разработан по рекомендациям кафедр офтальмологии и физической реабилитации ЗГМУ.

Компьютерная диагностика сердечно-сосудистой системы по фазовому портрету электрокардиограммы (К 100-летию со дня рождения академика Н. М. Амосова)

Л. С. Файнзильберг

Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, Киев

В первом номере Докладов Академии наук СССР за 1972 год была опубликована статья Николая Михайловича Амосова с коллегами «Исследование сократительной функции миокарда методом фазовых координат», в которой для анализа внутрисердечной гемодинамики предложено использовать фазовую траекторию, отображающую процесс сокращения желудочка на плоскости с координатами $P(t)$, $\dot{P}(t)$, где $P(t)$ и $\dot{P}(t)$ — соответственно давление и скорость изменения давления в момент времени t . Впервые была сформулирована гипотеза о возможности диагностики заболеваний сердца по форме такой кривой.

Хотя эта публикация не имела отношения к электрокардиографии, но именно ее по праву можно отнести к основополагающей в формировании нового перспективного направления — компьютерной диагностике по фазовому портрету электрокардиограммы (ЭКГ).

В подавляющем числе известных публикаций, посвященных исследованию ЭКГ на фазовой плоскости, применяют метод задержек, когда координаты фазовой плоскости представляют собой амплитуды временного сигнала $z(t)$ в моменты времени t и $t-\tau$, где τ — величина задержки (лаг преобразования). Главным образом такие исследования направлены на анализ вариативности сердечного ритма, оценку степени хаотичности сигнала и классификацию аритмий, а отображение ЭКГ на фазовой плоскости $z(t)$, $z(t-\tau)$ дает наглядное представление об экстрасистолических комплексах.

В упомянутой работе Н. М. Амосова заложена более прогрессивная идея: при построении фазового портрета в явном виде использовать скоростные показатели сердечной деятельности. Это идея побудила нас исследовать диагностическую ценность фазового портрета ЭКГ, построенного не в координатах $z(t)$, $z(t-\tau)$, а в координатах $z(t)$, $\dot{z}(t)$, где $\dot{z}(t)$ — скорость изменения сигнала, несущего информацию об электрической активности сердца в момент времени t .

Несмотря на то, что еще в давних исследованиях кардиологов указывалось на диагностическую ценность скоростных показа-

телей ЭКГ, анализ фазового портрета ЭКГ в координатах $z(t), \dot{z}(t)$ до последнего времени не использовался в клинической практике. Некоторые авторы даже отрицают саму возможность такого подхода только лишь из-за трудностей оценки производной $\dot{z}(t)$ реальных ЭКГ.

И это не случайно, поскольку оценка производной сигнала на фоне помехи действительно является не простой задачей, а дифференцирование зашумленных сигналов относится к числу некорректно поставленных математических задач. Тем не менее при использовании оригинальных процедур фильтрации и регуляризации нам удалось на основе конечно-разностных аппроксимаций для дискретно заданной функции $z[k]$, $k=0, \dots, K-1$ вычислять приближенные значения производной реальных ЭКГ и получать приемлемые оценки $\dot{z}(k)$.

Этот результат открыл путь к развитию идеи Н. М. Амосова и позволил построить эффективную технологию перехода от скалярного представления ЭКГ $z(t)$, заданной в дискретные моменты времени $t_k = k\Delta$, $k=0, 1, \dots, K-1$, где Δ — шаг квантования по времени, к последовательности двумерных векторов (точек)

$$(z(t_0), \dot{z}(t_0)), (z(t_1), \dot{z}(t_1)), \dots, (z(t_{K-1}), \dot{z}(t_{K-1}))), \quad (1)$$

лежащих на фазовой траектории в плоскости $z(t), \dot{z}(t)$.

Модельные эксперименты показали, что изменения традиционных диагностических признаков ЭКГ более выразительно проявляются при отображении ЭКГ в фазовых координатах $z(t), \dot{z}(t)$, чем при ее представлении во временной области $z(t)$. Более того, используя оригинальные компьютерные алгоритмы, удалось оценить параметр β_T , характеризующий симметрию фрагмента реполяризации усредненной фазовой траектории, который может быть использован как *дополнительный* диагностический показатель для выявления начальных признаков ишемической болезни сердца (ИБС).

Диагностическая ценность показателя β_T подтверждена обработкой клинических данных, полученных в отделении ишемических болезней сердца Института кардиологии им. акад. Н. Д. Стражеско АМН и четырех клиниках Германии. Клинический материал составил 441 запись ЭКГ больных с подтвержденным диагнозом ИБС (коронароангиография) и 387 запись ЭКГ здоровых добровольцев, включенных в контрольную группу.

Установлено, что принятие решений по пороговому правилу

$$\begin{aligned} \text{ВНИМАНИЕ, если } & \beta_T > \beta_0 \\ \text{НОРМА, если } & \beta_T < \beta_0' \end{aligned} \quad (2)$$

где $\beta_0 \approx 0,72$ обеспечивает разделение представителей указанных групп с чувствительностью $S_E = 81\%$ и специфичностью $S_P = 78\%$.

Следует подчеркнуть, что в группу верифицированных больных были включены лишь пациенты, у которых традиционный ЭКГ-анализ в 12 отведениях *не выявил* каких либо отклонений от нормы. Поэтому диагностическое правило (2), подтвердившее сравнительно высокие показатели чувствительности и специфичности на таком «сложном» клиническом материале, вполне можно считать приемлемым для профилактических обследований и решения задачи *скрининга* ИБС.

Неожиданные результаты получены в инфарктном отделении городской клинической больницы № 5 г. Киева. Оказалось, что изменения показателя β_T в первом стандартном отведении у больных с острым инфарктом миокарда *задней стенки* левого желудочка адекватно отражали динамику протекания заболевания на госпитальном режиме хотя, как известно, при такой локализации традиционные показатели ЭКГ не проявляются в первом отведении. Подобные результаты получены также в *активных* экспериментах на животных в условиях искусственной ишемии, которые проводились в Институте физиологии им. А. А. Богомольца НАН Украины.

Эти факты породили гипотезу о том, что вследствие взаимосвязи скоростных характеристик электрической активности сердца

в период реполяризации показатель β_T в первом стандартном отведении *косвенно* несет информацию о патологических изменениях, возникающих в других отведениях.

Для проверки этой гипотезы проведены дополнительные исследования показателей β_T в 12-ти традиционных отведениях в группе ИБС и контрольной группе здоровых волонтеров. Обработка накопленного материала показала, что значения показателей β_T измеренные в различных общепринятых отведениях, действительно имеют высокую степень корреляции.

Разумеется, упрощенный метод регистрации информации только от одного отведения не может заменить стандартное ЭКГ-заключение. Во же время даже такая ограниченная информация при обработке ЭКГ в фазовых координатах $z(t), \dot{z}(t)$ позволяет с определенной степенью достоверности *интегрально* судить о функциональном состоянии сердечной деятельности.

На основе предложенной информационной технологии создан и передан в серийное производство портативный диагностический комплекс ФАЗАГРАФ®, который подтвердил свою эффективность в медицинских учреждениях, спортивных организациях, предприятиях с повышенным техногенным риском, учебных заведениях (школах) и в других сферах применения.

Таким образом сбылось предвидение академика Н. М. Амосова о перспективности использования метода фазовых координат для диагностики заболеваний сердца.

«Гомеостаз» и «вариабельность» параметров гемодинамики

В. Ф. Фёдоров

Кафедра телемедицины МГМСУ им. А. И. Евдокимова
Москва, Россия

Одним из самых распространённых терминов в работах по регуляции внутриорганизменных процессов, безусловно, является термин «гомеостаз». Наиболее распространённая трактовка его смысла связана с исходными древнегреческими корнями, обозначающими «одинаковый», «подобный» и «стояние», «неподвижность». Отсюда и распространённое представление о том, что организм затрачивает энергию на поддержание «*внутреннего равновесия*», неких внутренних *констант*, обеспечивающих его существование.

Если же мы обратимся к первоисточникам, то увидим, что американский физиолог Walter B. Cannon, предложивший этот термин в своей книге «The Wisdom of the Body», вышедшей в 1932 году, имел в виду «координированные физиологические процессы, которые поддерживают большинство *устойчивых состояний организма*». Т. е. автор термина вовсе не говорил о равновесии и постоянстве параметров. Иначе говоря, он предполагал, что любой внутренний параметр может колебаться в некоторых пределах, если совместные колебания совокупности параметров при этом обеспечивают *устойчивое* (а вовсе не равновесное) состояние. В той же первой половине двадцатого века трижды доктор медицинских наук¹, профессор А. С. Залманов писал, что регуляция физиологических процессов в организме человека представляет собой сложную организованный иерархический ансамбль квазипериодических осцилляторов — «эуритмию». В «Теоретической биологии» Эрвина Бауэра, изданной в 1935 году, довольно пространно объясняется, почему в живом не может быть равновесия и всячески обосновывается тезис об отличии живого от неживого именно *устойчивой неравновесностью*. Позже сходную точку зрения на организацию функционирования живого разработывал лауреат Нобелевской премии И. Р. Пригожин, дополнивший взгляды Бауэра обоснова-

¹Залманов получал степень доктора медицины в трёх странах: Германии, Италии и России.

нием возможности **качественного скачка к усложнению**, при определённых условиях, **неравновесных** термодинамических систем путём поглощения вещества и энергии из окружающего пространства (диссипативные структуры).

Образно это можно сравнить с канатоходцем, который, затрачивая энергию, небольшими вертикальными колебаниями концов шеста обеспечивает себе устойчивость за счёт его момента инерции, но при этом ни на мгновение не находится в равновесном состоянии.

Как в работе самого Кеннона, так и в других работах, посвящённых этому вопросу (например, в «Общей теории систем» Людвиг фон Бергаланфи, вышедшей в 1962 году) предполагается, что устойчивость обеспечивается наличием множества обратных связей от локальных, работающих на микро уровне (типа химического ретроингибирования), до общеорганизменных. Поскольку в живом, как правило, не бывает обратных связей без линий задержки, достижение «равновесного состояния» для каких-либо параметров живого организма практически невероятно. А с учётом открытости живых систем можно утверждать, что даже теоретически достижение «гомеостаза» невозможно. Любой параметр подвержен всем типам динамики: *девиациям, колебаниям и флуктуациям*. Даже такие консервативные параметры как температура и рН плазмы крови, обычно приводимые в качестве примера «неизменности» параметров, постоянно претерпевают изменения (например, под действием акта дыхания), не говоря уже о ритме сердца или артериальном давлении. Вопрос *только в амплитуде и характерных временах* этих изменений.

За десятилетия, прошедшие с момента введения неудачного термина, он настолько укрепил неверное понятие, что бороться с ним стало совсем не просто. И даже многие исследователи, которые занимаются изучением «вариабельности» ритма сердца (т. е. количественной оценкой неравновесности!) постоянно применяют термин «гомеостаз» в смысле именно поддержания не устойчивости, а равновесия.

Сам термин «вариабельность», являющийся калькой с английского и обозначающий буквально «способность к изменению» или «изменчивость», тоже не отличается понятийной строгостью. В действительности мы можем измерить не способность, а только её реализацию, т. е. не «вариабельность», а вариацию.

В своих исследованиях, опираясь на понятия, введённые Бауэром и Залмановым, мы изучали вариации базовых параметров гемодинамики — ритма сердца, ударного объёма и общего периферического сопротивления, как по отдельности, так и в совокупности.

Для исключения влияния индивидуальных антропометрических и половозрастных характеристик мы ввели внутреннюю нормировку, преобразовав пространства исходных количественных параметров хронокардиографии (ХКГ), волюмокардиографии (ВКГ) и реовазографии (РВГ) в пространства относительных изменений этих величин во времени. Для ритма сердца эта замена выглядела следующим образом:

$$\tau_n = (\lg T_n - \lg T_{n-1}) \text{ или } \tau_n = \lg(T_n / T_{n-1}),$$

где T_n — это длительность кардицикла с номером n , а τ_n — логарифм его относительного приращения по сравнению с предыдущим.

Логарифмирование было введено для раздельного отображения влияний, ускоряющих и тормозящих ритм сердца. Аналогично преобразовывались временные ряды ударного объёма и общего периферического сопротивления.

Методики, изучающие динамику полученных параметров, были названы нами, соответственно дифференциальной хронокардиографией (ДХКГ), дифференциальной волюмокардиографией (ДВКГ) и дифференциальной реовазографией (ДРВГ). Объединив эти методики, мы получили комплексную методику обследования гемодинамики на основе относительных изменений базовых количественных параметров — дифференциальную поликардио-вазографию (ДПКВГ).

Проведя обследования 249 лиц различного возраста и пола, как здоровых, так и с гемодинамическими нарушениями, мы сформировали как пространства исходных параметров, так и пространства, полученные нашим преобразованием, и обработали данные программами многомерной статистики: кластерным и дискриминантным анализом.

В результате было показано, что введённые нами параметрические пространства позволяют лучше разделять смешанную выборку на группы и определять принадлежность пациентов к известным группам с большей точностью, чем пространства исходных параметров.

Объединение статистических мод исходных величин, отражающих уровень функционирования системы, с пространствами относительных изменений этих величин во времени, отражающих устойчивость функционирования на выбранном организмом уровне, дали возможность получить автоматическое отнесение пациентов к известным группам с вероятностью выше 90%.

Резюмируя изложенное, мы можем предполагать, что дополнение пространств в исходных метриках пространствами относительных изменений отдельных измеряемых величин в функциональной диагностике позволит частично снять проблему нормы и повысить достоверность процедур автоматизированной диагностики как при исследовании гемодинамики, так и при исследовании других квазипериодических процессов в организме (например, процесса дыхания).

Кроме того, мы считаем целесообразным замену термина «гомеостаз», вносящего существенную понятийную неоднозначность, более соответствующим реалиям термином «гомеокинез», введённым Arthur S. Iberall в конце 1970-х годов, переопределив его следующим образом:

Гомеокинез — это явление перманентной адаптации организма к условиям и воздействиям внешней среды путём поддержания устойчивого неравновесного состояния ансамблей внутренних параметров, в соответствии с генетическими и выработанными в процессе онтогенеза «программами», собственным целенаправленным и активностью, за счёт обмена веществом, энергией и информацией с внешней средой.

Гибридная технология профилактики кардиореспираторной системы

А. В. Фролов

Республиканский научно-практический центр «Кардиология»
Минск, Беларусь

Введение. Эпидемический характер сердечно-сосудистой патологии в Республике Беларусь подтверждается высокой распространенностью заболевания (30486,3 на 100000 населения) и доминирующим весом в структуре смертности (51,9%). Континуум сердечно-сосудистых заболеваний можно представить в форме многослойной пирамиды, каждый слой которой соответствует стадии развития заболевания от донозологических и преморбидных форм до тяжелых стадий. Для 9,5 миллионной Беларуси нижний донозологический слой включает миллионы жителей, а самый верхний — тысячи больных с кардиореспираторной патологией. Переход на каждый высший уровень сопровождается уменьшением на порядок количества нуждающихся и параллельным увеличением, примерно, на порядок стоимости диагностики и лечения от десятков долларов до десятков тысяч. Естественно, любую эпидемию, в том числе сердечно-сосудистую и легочную, желательнее затормозить на ранних стадиях развития. Тем не менее, ситуация, сложившаяся с профилактикой этих наиболее частых заболеваний, крайне противоречива. С одной стороны, не отрицается, что профилактика — самый эффективный путь влияния на статистику заболеваемости и смертности среди населения, с другой стороны, намерения носят чисто декларативный характер. Эпизодичный

характер и междисциплинарность клинической медицины обуславливают малоэффективность и непопулярность профилактики среди населения. Дополнительной веской причиной низкой мотивации является отсутствие многопрофильных высокопроизводительных технологий, легко перестраиваемых от задач клинической диагностики на профилактику.

Поставлена цель разработки технологии многопрофильной диагностики и профилактики на основе сочетанного контроля электрофизиологической функции миокарда (ЭКГ), функции внешнего дыхания (спирометрия), состояния сосудов (пульсометрия) и состава тела (спектральная биоимпедансометрия).

Материалы и методы. В основу гибридной профилактической системы положены методологические принципы:

- выбор наиболее «слабого звена», предложенный профессором В. А. Лищуком (1991);
- классификация состояний, разработанная группой профессора Р. М. Баевского для нужд космической и профилактической медицины: норма, донозология, преморбидное состояние и патология (2002).

Выбор наиболее слабого звена в системе «миокард–артериальные сосуды–легкие–состав тела» основан на сопоставлении обобщенных оценок состояний органов-мишеней. Обобщенные оценки основаны на анализе нескольких важнейших показателей, отражающих функцию органа и имеющих общепризнанные физиологические нормы. На базе сетевой структуры с набором ранжирующих коэффициентов орган-мишень классифицируется как норма, донозология, преморбид или патология.

За обобщенное функциональное состояние миокарда взята средневзвешенная сумма отклонений ширины зубца Р, интервалов PQ, QRS и QT от возрастной нормы. Временные параметры зубцов ЭКГ менее вариабельны в отведениях ЭКГ, чем амплитудные, поэтому рационально их применение в профилактике (М. М. Хомич, 2005).

Состояние артериальных сосудов оценивается по скорости распространения пульсовой волны, которая пропорциональна их жесткости (Г. И. Сидоренко с соавт., 2004). По данным скорости пульсовой волны и артериального давления вычисляется кардиологический васкулярный индекс САVI. За обобщенную оценку состояния сосудов принимается относительное отклонение индекса САVI от возрастной нормы. Состояние легких определялось по дыхательному объему, частоте дыхания и минутному объему дыхания (МОД). Для получения достоверных оценок дыхания требуется период стабилизации дыхания, который индивидуален для каждого обследуемого. Поэтому измерения считались корректными, если расхождение между двумя последовательными оценками МОД не превышало 5%. Методом биоимпедансной двухчастотной спектрометрии определяли состав тела в процентах отклонений жира, жидкости и активной клеточной массы от антропометрической нормы (Д. В. Николаев с соавт., 2001).

Результаты исследования. Синхронная регистрация ЭКГ и спирограммы позволила вычислять кардиореспираторный индекс, равный отношению частоты ритма сердца к частоте дыхания (в норме 4–5). По соответствующим коэффициентам вариации S_v оценивались ригидности ритма сердца и ритма дыхания (в норме $S_v > 4,5\%$ для ритма сердца и $S_v > 14,6\%$ для ритма дыхания). При отклонении от нормы до 10 % фиксируется донозологическое состояние кардиореспираторной системы, от 10 до 20 % — преморбидное состояние, более 20 % — патологическое состояние. Решающее правило по сосудистой компоненте таково: при отклонении от возрастной нормы до 10% — донозологическое состояние, от 10 до 20 % — преморбидное состояние (атеросклероз под вопросом?), выше 20% — сосудистая патология (высокая вероятность атеросклероза). Аналогичный подход предпринят для классификации состава тела.

Ранжирование трех основных компонент кардиореспираторной системы по классификации Р. М. Баевского и использование обобщенных функций позволило в форме наглядной пентограммы отобразить общее состояние испытуемого с выделением наиболее

уязвимого звена и рангов состояний органов от физиологической нормы, донозологии и преморбидного состояния до патологии. Лица с выявленными преморбидными и патологическими состояниями направляются на углубленные функциональные исследования: ЭКГ в 12 отведениях, велоэргометрия, УЗИ сердца и сосудов, полное спирографическое исследование с дыхательными маневрами, рентгенографию и т.п.

Для обеспечения высокой пропускной способности гибридная профилактическая система должна обладать высокой степенью автоматизации и доступностью по приемам эксплуатации среднему медицинскому персоналу. В разработанном нами варианте в состав гибридной профилактической системы включены 12-канальный цифровой электрокардиограф «Интекард», анализатор эластичности сосудов «Импекард-М», спирограф «МАС» (все Беларусь) и анализатор состава тела «Спрут» (Россия). Все приборы обладают полноценными программами функциональной диагностики. Поэтому система из профилактической при необходимости легко трансформируется в диагностическую и наоборот.

Глубину профилактического обследования при соблюдении вышеописанной методологии можно увеличивать. В частности, посредством метода вариабельности сердечного ритма, основанного на измерении RR-интервалов ЭКГ, можно оценить общую мощность регуляторных механизмов и симпатовагусный баланс. По частотным показателям вариабельности оценивается степень напряженности регуляторных сердечно-сосудистых и дыхательных механизмов.

Объектом внедрения гибридной профилактической технологии являются кабинеты доврачебного приема поликлиник, диспансеры, водительские и военные комиссии. Для профилактических осмотров жителей удаленных сельских регионов оборудование без труда размещается на борту легкового автомобиля.

Выводы:

1. Разработанная гибридная технология профилактики предназначена для массовых диспансерных и профилактических осмотров широких слоев населения.

2. Выявление патологии на ранних стадиях развития заболевания тормозит развитие патологического процесса, минимизируя трудовые, временные и материальные ресурсы как системы здравоохранения, так и населения.

3. Наглядные диагностические пентограммы с указанием наиболее уязвимой системы организма и биологического возраста внутренних органов оказывают обратное психологическое воздействие на человека и мотивируют его на выполнение медицинских рекомендаций и коррекцию образа жизни.

Компьютерная оценка риска фатальных аритмий у больных с кардиомиопатией

**А. В. Фролов, Т. Г. Вайханская, А. П. Воробьев
О. П. Мельникова, А. Г. Мрочек**

*Республиканский научно-практический центр «Кардиология»
Минск, Беларусь*

Доля внезапной сердечной смерти (ВСС) составляет 11% в общей структуре смертности.

В основе патологических механизмов ВСС лежит электрическая нестабильность миокарда, приводящая к жизненно-опасным желудочковым аритмиям. Нестабильность выражается в гетерогенном характере процесса реполяризации миокарда. Если гетерогенные изменения в близлежащих кардиомиоцитах происходят в противофазе, возникают благоприятные условия формирования очагов re-entry. Временная гетерогенность реполяризации миокарда проявляется на ЭКГ в форме высокой микроальтерации Т-зубца (mTWA), а пространственная — в форме высокой дисперсии QT (dQT) и удлиненного интервала QT, которые вместе с турбулентностью сердечного ритма (HRT) считаются независимыми пре-

дикторами ВСС и включены в ряд Guidelines по лечению больных с нарушениями сердечного ритма.

У больных с кардиомиопатией, для которых риск ВСС весьма высок, часто возникает дилемма: продолжать консервативное лечение либо имплантировать поддерживающее устройство? Использование в качестве традиционного критерия выбора низкой фракции выброса левого желудочка не оправдано, так как в 66% случаев ВСС у больных сохранялась контрактильная функция миокарда (D. Ancona, 2012). Другие маркеры типа изменение геометрии полостей сердца, наследственность и т. п. не имеют прямой функциональной связи с ритмом сердца. Поэтому поиск новых объективных критериев выбора и оценка их прогностической мощности сохраняет свою актуальность.

Цель исследования. Создание нового программного обеспечения для оценки комплекса маркеров ВСС (mTWA, dQT, QT и HRT) и пилотная апробация программы у больных с кардиомиопатией.

Материал, методы. Предикторы ВСС изучены у 279 пациентов с дилатационной кардиомиопатией. Мужчин 74%; средний возраст $47,2 \pm 11,0$ лет; $3,1 \pm 0,3$ класс NYHA; фракция выброса $28,6 \pm 3,9\%$. Сформированы две группы: 1 группа — 38 больных с жизнеопасными желудочковыми аритмиями (ЖЖА), 2 группа — 33 больных без ЖЖА, допускалась нечастая желудочковая экстрасистолия (<10 в час). Группы статистически не различались по возрасту и параметрам эхоКГ. Записи ЭКГ выполнялись при легко переносимой физической нагрузке 25 Вт. Данные сопоставлялись с результатами 24-часового холтеровского мониторирования. У 36 больных из 279 (12,9%) зафиксировали кардиоваскулярные события (ВСС, электрический шторм, срочная операция).

Использовался метод прецизионной цифровой обработки ЭКГ-сигнала с дискретностью 1000 Гц, разрешением 22 бита и длительностью выборки 5–7 минут. Нативный сигнал предварительно очищался от сетевой, мышечной и дыхательной помех адаптивными цифровыми фильтрами с минимальным искажением формы ЭКГ (<5%). Аппаратной платформой служил 12-канальный цифровой электрокардиограф экспертного класса «Интекард» (Минск).

Результаты. Альтернатива mTWA вычислялась методом модифицированной бегущей средней в каждом 15 с сегменте сигнала. Для этого строились усредненные четные и нечетные передние фронты Т-зубцов. Абсолютная разность служила мерой альтернативы в данном сегменте и признавалась высокой, если $mTWA > 45$ мкВ. Вычислялся процент 15 с сегментов, в пределах которых был превышен пороговый уровень. Программа оценивала усредненные амплитуды mTWA в сегментах с высоким и низким уровнем.

Параллельно вычислялась дисперсия QT, которая отражает пространственную неоднородность реполяризации. Для повышения точности оценки дисперсии окончание Т-зубца идентифицировалось тангенциальным способом. Высокая дисперсия признавалась при $dQT > 70$ мс. В случае обнаружения хотя бы одной желудочковой экстрасистолы вычислялись параметры турбулентности сердечного ритма Т0-начало и ТS-наклон. По международным стандартам патологическая HRT выявлялась при $T0 < 0$ и/или $TS > 2,5$ мс/RR.

В 1-ой группе в сравнении со 2-ой группой выявлена достоверно высокая mTWA: 48 ± 9 против 22 ± 8 мкВ, $p < 0,0001$. Дисперсия dQT в 1-ой группе также была достоверно выше: 98 ± 14 против 67 ± 19 мс, $p < 0,02$. Аналогично, сильнее проявилась патология HRT по параметрам Т0 и ТS: $9,3 \pm 4,7\%$ против $0,2 \pm 0,2\%$, $p < 0,0001$ и $1,3 \pm 0,9$ против $9,3 \pm 5,2$ мс/RR, $p < 0,0001$. Положительные тесты на высокую mTWA, высокую дисперсию QT и патологическую HRT ассоциировались с мужским полом ($p = 0,01$), низкой фракцией выброса ($p = 0,04$) и увеличенным конечно-диастолическим объемом левого желудочка ($p = 0,01$). Коэффициент корреляции между данными анализа mTWA, dQT и HRT, установленными программой «Интекард-7», и желудочковой патологией по ХМ-ЭКГ составил 0,76. При этом трудоемкость обследования в сравнении с ХМ-ЭКГ оказалась ниже примерно в 7 раз.

Обсуждение. Наше исследование выявило статистически достоверную связь между тяжестью патологии и уровнем микроаль-

тернации Т зубцов, дисперсией QT и турбулентностью сердечного ритма. Так в группе больных с ЖЖА коэффициент вариации mTWA Cv составил 48,2%, что указывает на неоднородность данного признака, то есть подтвержден гетерогенный характер реполяризации миокарда. В группе больных без ЖЖА коэффициент вариации Cv составил всего 14,7%, что в соответствии с рекомендациями по статистическому анализу числовых рядов свидетельствует о гомогенном характере реполяризации в данной группе больных. Полученные результаты конкордируют с фактом отсутствия опасных желудочковых аритмий.

Можно предположить, что при неоднородной реполяризации стимулируется завихрение волн возбуждения re-entry. Гипотетически можно ожидать, что при активизации множества независимых очагов re-entry развивается фибрилляция желудочков. Если же доминирует один мощный источник re-entry, поглощающий источники с более низкими частотами колебаний, развиваются пароксизмы желудочковой тахикардии. И. Пригожин предложил изучать неустойчивые волновые процессы в миокарде методами нелинейной динамики (1986). Позже Е. Суровяткиной на математических моделях было показано, что в пограничных средах скачкообразно изменяется коэффициент передачи возбуждения с 1:1 на 1:2,2:1,3:2 и т. п. (2010). Такими пограничными средами являются зоны некроза, ишемии, дилатации миокарда. Нелинейный анализ во многом сможет прояснить природу зарождения аритмий, однако в данном направлении пока сделаны лишь первые шаги.

Наше исследование выявило, что высокая mTWA+ у больных с кардиоваскулярными событиями имеет высокое отношение шансов ОШ = 5,0; ДИ 95%; {2,3;11,1}. Предикторная мощность маркеров ВСС аналогично доказана Е. А. Окишевой с соавт. (2012). Случаи ВСС у больных инфарктом миокарда в течение 1 года были зафиксированы при патологической HRT+ (ОШ = 4,9), высокой mTWA (ОШ = 7,5), а при их сочетании ОШ резко возросло до 63,3.

Полезно контролировать весь комплекс маркеров электрической нестабильности. Так в наших исследованиях у 5 больных с ЖЖА (13%) обнаружено сочетание всех положительных предикторов +mTWA, +dQT, +HRT. Из них четверем больным по клиническим показаниям (классы I, IIa) были имплантированы кардиовертеры-дефибрилляторы. Следовательно, результаты контроля предикторов ВСС могут нацеливать на имплантацию поддерживающих устройств, ресинхронизирующую терапию, РЧА или более агрессивную фармакологию.

Сдерживающим фактором использования маркеров ВСС в клинике было отсутствие специализированного программного обеспечения. Данный пробел устранен выполненной нами разработкой «Интекард-7».

Выводы:

1. У больных с дилатационной кардиомиопатией и жизнеопасными желудочковыми аритмиями уровень микроальтернации Т-зубца в 2,2 раза, дисперсия QT в 1,5 раза выше, а патологическая турбулентность ритма в 7,1 раз а чаще, чем у больных без желудочковых аритмий.
2. Комплекс предикторов ВСС объективизирует логику принимаемых лечебных решений у больных ишемической болезнью сердца.

Рекомендации по созданию 12-ти канальная кардиографическая приставка к персональному компьютеру

Г. И. Хара, В. Н. Зефирова, Ю. М. Пенкин

Национальный фармацевтический университет, Харьков

В настоящее время различными фирмами выпускаются электрокардиографы (ЭКГ) спектр возможностей, которых изменяется от обязательного минимального набора сервисных функций

до сложных диагностических центров. Ценовой диапазон этих приборов также очень широк и изменяется от 400 \$ (Medinova ECG-9801) до нескольких тысяч и долларов США (Medinova ECG-9812). Перспективы развития этих приборов тесно связаны с развитием элементной базы современной электроники и компьютерных технологий. Эти отрасли развиваются столь динамично, что представляется возможным существенное снижение ценовых характеристик электрокардиографов при сохранении и даже улучшении их технических характеристик.

В структуре ЭКГ можно выделить три основных компонента, которые определяют технические характеристики: блок входных усилителей, блок аналого-цифровых преобразователей сигналов и записи их в память и блок анализа электрокардиограммы.

Последний из этих блоков в современных ЭКГ представлен встроенным компьютером. Этот компьютер по своему использованию жестко специализирован. Изменить программу его работы могут лишь специалисты фирмы производителя. В то же время в распоряжении большинства пользователей ЭКГ имеются универсальные персональные компьютеры (ПК), характеристики которых выше. Это позволяет убрать из структуры ЭКГ блок анализа, возложив его функции на специализированное программное обеспечение универсального компьютера. За счет этого можно достичь не только существенного упрощения ЭКГ, но и значительно расширить его анализирующие и диагностические возможности. Следовательно, ЭКГ можно проектировать как приставку к персональному компьютеру переложив сложные в аппаратной реализации функции (регистрация, хранение, анализ, визуализация и печать) на ПК.

Основная сложность построения блока входных усилителей ЭКГ связана с тем, что необходимо обеспечить точное измерение сигналов низкого уровня на фоне существенно большего сигнала синфазной помехи. Кроме того, входное сопротивление измерительных каналов должно быть очень высоким (десятки гигаом). Построенный на дискретных элементах входной усилитель, решающий указанные проблемы, сложен в изготовлении и настройке. Применение прецизионных операционных усилителей (ОУ) в интегральном исполнении упрощает задачу, но каждый такой ОУ до недавнего времени стоил более 10 \$, а для каждого измерительного канала необходимо 4 подобных микросхемы. Именно с этим связан выпуск ЭКГ с малым количеством измерительных каналов. На сегодняшний день ситуация существенно изменилась. Корпорация Analog Device выпустила на рынок ОУ серии AD8051 (AD8052, AD8054). Сдвоенный прецизионный ОУ AD8052 имеет прекрасные характеристики: входной ток менее 20 пикоампер, дрейф — 1 микровольт/С°, коэффициент ослабления синфазной помехи более 120 децибел. При этом потребляемый ток составляет 750 микроампер на один ОУ. Стоимость сдвоенного ОУ AD8052 составляет 2.5 \$ (или 8 \$ на один измерительный канал со всей необходимой обвязкой). Использование в блоке входных усилителей указанных ОУ позволяет снять ограничение на количество измерительных каналов ЭКГ при приемлемой стоимости.

Для борьбы с различного рода помехами в состав входных усилителей включались достаточно сложные аналоговые фильтры, требующие кропотливой точной настройки. Использование таких фильтров повышало качество снимаемого сигнала, но отрицательно сказывалось на ценовых характеристиках приборов, особенно в случае многоканальных ЭКГ. В настоящее время вычислительная мощность современных процессоров, используемых в универсальных ПК, существенно выросла и позволяет реализовать в реальном времени самые сложные алгоритмы цифровой фильтрации. Применение цифровой компьютерной фильтрации позволяет отказаться от применения аналоговых фильтров в блоке входных усилителей.

Значительные трудности при построении блока входных усилителей создает требование обеспечить его работу в условиях применения дефибриллятора (высоковольтная, около 10 киловольт,

помеха, способная повредить высокочувствительную входную часть). Однако, необходимость использования ЭКГ в таких условиях возникает не часто, в основном в работе кардиологической скорой помощи и стационарных операционных, которые оснащены соответствующим оборудованием. Авторами же рассматривается возможность создания недорогого ЭКГ, предназначенного для использования кардиологами и терапевтами в диагностических целях. В этих приборах функция защиты от высоковольтной помехи может отсутствовать без ущерба для функциональных возможностей ЭКГ.

Прогресс в области аналого-цифровых преобразователей таков, что в настоящее время имеются точные (с разрешением 12 бит), многоканальные (16 каналов) быстродействующие (2.5 микросекунды на канал) микросхемы, в состав которых к тому же входит программируемый микропроцессор с оперативной памятью, памятью программ и интерфейсом, позволяющим обеспечить связь с ПК. Стоимость такой микросхемы семейства STM32A100 составляет 2.5 \$ США. Применение этого микропроцессора при скорости передачи данных 64 килобайта в секунду позволяет установить частоту дискретизации входного сигнала на уровне 3.64 килогерц, что по существующим представлениям более чем достаточно. При необходимости частота дискретизации может быть повышена до 33 килогерц при скорости передачи данных 600 килобайт в секунду, однако такое решение приведет к существенному усложнению и, следовательно, удорожанию схемы гальванической развязки между компьютером и ЭКГ-приставкой. Дело в том, что схема развязки строится на диодно-транзисторных оптронах, высокочастотные варианты которых дорогие. В то же время отказаться от применения развязки нельзя, поскольку это будет грубым нарушением техники безопасности.

Очевидно, что одна микросхема STM32F100 позволяет решить все проблемы конструирования блока аналого-цифровых преобразователей и обеспечивает связь с ПК по стандартному интерфейсу, причем вместе со схемой гальванической развязки и интерфейсом связи с ПК стоимость комплектующих для блока аналого-цифровых преобразователей составит менее 10 \$.

В настоящее время опубликовано большое количество работ, посвященных совершенствованию обработки данных электрокардиограмм. Авторы этих работ используют стандартные фирменные ЭКГ, а затем переносят полученные данные на компьютер и экспериментируют с их обработкой. ЭКГ, разделенный на измерительную часть и блок обработки на основе универсального ПК позволяет упростить и ускорить работу по совершенствованию программного обеспечения.

Для рядовых пользователей подобное разбиение позволяет постоянно совершенствовать прибор, обновляя его программное обеспечение. Использование в качестве обрабатывающего блока ПК позволяет создать простой и понятный пользователю интерфейс с прибором, поскольку принципы взаимодействия с ПК большинством пользователей уже освоены.

Универсальный ПК, в сравнении со специализированным встроенным компьютером традиционного ЭКГ, имеет существенно большую память на жестком диске. Это позволяет создавать и хранить большие архивы электрокардиограмм.

С учетом приведенных соображений, представляется возможным и целесообразным создание недорогой (стоимостью 150–200 \$ США), 12-ти канальной ЭКГ-приставки для совместной работы с мобильным или стационарным ПК. При этом технические характеристики блоков сбора и аналого-цифровых преобразователей будут на уровне лучших современных образцов, а возможности блока анализа будут определяться специализированным программным обеспечением ПК и могут совершенствоваться с учетом достижений кардиологии и модифицироваться в соответствии с требованиями конкретных групп пользователей.

Центральное аортальное давление как фактор сердечно-сосудистого риска.

В. Й. Целуйко, А. В. Жадан

Харьковская медицинская академия последипломного образования, Украина

В последние годы предложены новые факторы риска развития сердечно-сосудистых осложнений, среди которых важное место занимает центральное — аортальное давление (ЦАД). Доказана четкая зависимость между показателями, характеризующими АД в аорте, наличием и выраженностью поражения органов мишеней, риском развития инфаркта миокарда, инсульта и смерти. Использование данного метода до последнего времени было ограничено отсутствием необходимого оборудования. Появившаяся возможность измерения ЦАД при регистрации пульсовой волны прибором SphugmoCor позволяет получить дополнительную информацию о течении заболевания и эффективности терапии. Главным достоинством данного метода является возможность регистрировать прямую и отраженную от периферии пульсовую волну. Как известно, ЦАД может быть представлено как алгебраическая сумма трех переменных — со знаком плюс это величины сердечного выброса и периферического сосудистого сопротивления, а со знаком минус — упругоэластические характеристики сосудов. Упругоэластические свойства крупных сосудов обеспечивают феномен систолического расширения аорты, позволяющего аккумулировать до 40–50% объема сердечного выброса и около 10% энергии сердечного сокращения.

ЦАД — это показатель, косвенно отражающий состояние всего сердечно-сосудистого русла, поскольку зависит от эластических свойств крупных артерий, структурно-функционального состояния артерий среднего калибра и микроциркуляторного русла.

Формирование центрального аортального давления происходит следующим образом:

- после сокращения желудочка в систолу пульсовая волна направляется из места возникновения (аорта) в крупные, средние, и мелкие сосуды с определенной скоростью (30–40 км/ч);
- по пути прохождения волна встречается с различными препятствиями (например, бифуркации), вследствие чего возникают отраженные волны, направляющиеся к аорте;
- сумма прямой и отраженных пульсовых волн отличается на разных участках.

При достаточной эластичности крупных сосудов, прежде всего аорты, отраженная волна гасится; а при увеличении жесткости аорты отраженная волна не поглощается, а

Наиболее важными показателями при использовании данной методики являются:

- индекс аугментации (Aix);
- индекс аугментации, нормализованный для частоты пульса 75/мин (Aix75);
- давление аугментации (AP);
- продолжительность систолы (ED, ejection duration);
- продолжительность систолы в процентах (ED%);
- центральное систолическое АД (SPA, systolic pressure aortic);
- центральное пульсовое АД (PPa, pulse pressure aortic).

наслаивается на пульсовую в период систолы, что приводит к увеличению ЦСАД.

Индекс аугментации — это разница давлений между первым, ранним пиком (вызванным сердечной систолой) и вторым, поздним (появляющимся в результате отражения первой пульсовой волны) систолическим пиком, деленная на центральное пульсовое давление, выраженная в процентах.

Результаты исследований последних лет свидетельствуют, что достоверное влияние на жесткие конечные точки (сердечно-сосудистые осложнения), при лечении больных с артериальной гипертензией наблюдается только в том случае, если наблюдается снижение показателей ЦАД, в частности индекса аугментации. При этом влияние современных антигипертензивных препара-

тов на ЦАД может быть разнонаправленным и иметь различную выраженность. Так наиболее значимое положительное влияние на индекс аугментации имеют антагонисты кальция, ингибиторы АПФ и сартаны. В то время, как большинство бета-блокаторов, снижая частоту сокращений сердца, могут повышать ЦАД. Следует отметить, что даже в пределах одного класса антигипертензивных препаратов могут быть существенные отличия по влиянию на показатели, характеризующие ЦАД.

Таким образом, измерение показателей ЦАД с помощью аппланационной тонометрии лучевой артерии прибором SphugmoCor позволяет более качественно оценивать индивидуальный сердечно-сосудистый риск у пациентов с артериальной гипертензией и эффективность терапии.

«Карманные» малоканальные электрокардиографы: между эффективностью и эффективностью

И. Чайковский

Институт кибернетики НАН Украины, Киев

Одной из основных тенденций современной медицины, несомненно, должно быть признано явление, которое по английски называется point-of-care testing (POST), что в свободном переводе означает медицинский тест, осуществляемый непосредственно в месте нахождения пациента, вне офиса врача

По-видимому, первыми представителями этого направления являлись портативные автоматические тонометры, широкое распространение которых началось 20–25 лет назад (серийное производство бытовых тонометров начато фирмой OMRON в 1988 году). Затем, 5–10 лет назад, появились индивидуальные анализаторы крови, прежде всего, определители уровня глюкозы. Электрокардиографы «карманного» формата, весом 100–250 г, с ограниченным числом электрокардиографических отведений — 3-я волна инструментальных средств для POST, зарождале которой мы наблюдаем сегодня. В основном это одноканальные электрокардиографы, которые позволяют регистрировать только одно электрокардиографическое отведение, чаще I-е стандартное. На рынке присутствуют несколько десятков таких устройств. Перечислим некоторые из них — OMRON (Япония), Health frontier (Канада), Instant Check (Великобритания), ReadMyHeart (США), FP-80 (Китай), MB-100 и MB-100A1 (Китай), «Vitaphone» (Германия), РС-80В (Россия), «Гном» (Россия), «Фазаграф» (Украина) и другие. Дизайн электродной площадки некоторых устройств, например, компаний OMRON и «Choicemed», позволяет кроме I-го стандартного вводить также одно из грудных отведений. Имеется также «карманные» электрокардиографы с большим числом отведений — трехканальные (Кардиовизор (Россия)) и шестиканальные (Кардиоплюс-Пб, Украина).

Все без исключения перечисленные приборы снабжены программным обеспечением, и могут общаться с персональным компьютером с помощью интерфейса USB. Кроме того, большинство из этих приборов (кроме российских и украинских) имеют встроенный микропроцессор, жидкокристаллический экран и автономное питание, то есть могут работать и не будучи соединенными с ПК. Таким образом, все перечисленные электрокардиографы являются программно-аппаратными комплексами (ПАК), т. е. набор технических и программных средств, работающих совместно.

Среди отличий портативных электрокардиографических ПАК от стандартных 12-ти канальных электрокардиографов в первую очередь следует отметить их миниатюрность, привлекательный, броский дизайн а также легкость и доступность проведения измерения — отсутствует необходимость для наложения грудных электродов. Следовательно, регистрация ЭКГ с помощью такого прибора легко осуществима и вне медицинского учреждения,

пользователем, который не обладает профессиональными медицинскими знаниями. Как показывает практика, миниатюрные электрокардиографы производят на такого пользователя сильное впечатление и часто создают ложное ощущение что электрокардиограмма, зарегистрированная с помощью подобного прибора может заменить полноценное электрокардиографическое обследование. Поэтому крайне важно правильно «позиционировать» карманные электрокардиографические ПАК, т. е. сформулировать оптимальную нишу применения и необходимые ограничения, а также разработать их классификацию. Важнейшими характеристиками портативного ПАК является количество отведений и объем информации предоставляемой пользователю. На основании этих критериев нами предложена следующая классификация.

Классификация миниатюрных электрокардиографических ПАК

По возможностям ввода ЭКГ-сигнала	
Уровень 1	Только 1-е стандартное отведение ЭКГ
Уровень 2	Все 3 стандартные отведения (последовательно)
Уровень 3	Все 3 стандартные отведения (последовательно) и одно из грудных отведений
Уровень 4	Все 6 отведений от конечностей (параллельно) и одно из грудных отведений
По возможностям программного обеспечения	
Уровень 1	Только визуализация ЭКГ, измерение нескольких наиболее простых амплитудно-временных параметров ЭКГ
Уровень 2	Возможность немедленной оценки функционального состояния и его трендов на основе анализа тонких изменений формы зубцов ЭКГ
Уровень 3	Возможность немедленной оценки функционального состояния и его трендов на основе формирования многостороннего интегрального показателя. Автоматическая диагностика нарушений ритма сердца
Уровень 4	Возможность немедленной оценки функционального состояния и его трендов. Автоматическая диагностика нарушений ритма сердца. Элементы морфологического анализа ЭКГ с топической диагностикой

Что касается сферы применения таких приборов, то обращает на себя внимание тенденция свойственная некоторым авторам (чаще отечественным) — рассматривать миниатюрные ПАК в первую очередь как средство для кардиологического скрининга.

Это психологически объяснимо — легкость проведения обследования с помощью таких приборов «провоцирует» разработчиков именно на такое их позиционирование. Однако вопрос о полезности электрокардиографического скрининга у лиц без симптомов заболеваний сердца даже с помощью электрокардиографии в 12-ти отведениях на основании вывода, например, последнего метаанализа Американской комиссии по задачам профилактических служб, остается нерешенным. Недостаточно данных, свидетельствующих о том, что ЭКГ-скрининг на деле предотвращает острые формы ИБС а также увеличивает продолжительность жизни. Естественно,

это еще в большей степени относится к электрокардиографии с меньшим числом отведений. Ряд разработчиков малоканалных ПАК стремятся компенсировать недостаток информативности использованием «особо ценных» параметров, таких как показатель β_T в фазовом пространстве (Фазаграф) или дисперсионное картирование (Кардиовизор). По-сути, эти параметры являются вариациями известных ранее дополнительных электрокардиографических параметров и подходов (симметрия зубца Т и изменчивость формы электрокардиограммы от комплекса к комплексу). Не отрицая определенного потенциала этих показателей (параметр β_T , например, был предложен нами для реализации в ПАК «Фазаграф») заметим, что их применение не является достаточным аргументом для того, чтобы игнорировать данные последних масштабных многоцентровых исследований.

По нашему мнению, основная цель использования таких миниатюрных приборов — дать пациенту возможность ежедневной объективной оценки в негоспитальных условиях своего функционального состояния на основе малых изменений в электрической деятельности сердца. Надежные результаты могут быть получены не при однократном исследовании, а лишь при динамическом наблюдении в течении нескольких дней или даже недель. В особенности это относится к одноканальным устройствам (уровень 1–2 по нашей классификации).

Электрокардиографические ПАК являются синтетическим продуктом совместной работы инженеров, математиков и врачей. Очевидно, что важнейшая функция врача-разработчика — определение рациональной сферы применения и формулирование разумных ограничений исходя из принципа «не навреди», что позволит использовать «карманные» электрокардиографы с максимальной эффективностью.

Роль магнитокардиографии в клиническом алгоритме диагностики хронической ИБС

И. Чайковский

Институт кибернетики НАН Украины, Киев

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) в последние десятилетия приняла характер пандемии. В развитых странах ИБС является причиной смерти примерно в 20%. По прогнозным оценкам ВОЗ смертность от ИБС к 2030 году достигнет 23.4 миллиона человек. Поэтому своевременная диагностика ИБС — одна из важнейших задач современной кардиологии. Несмотря на большое количество диагностических альтернатив, остается потребность в недорогом, доступном и полностью безопасном методе, обладающем достаточно высокой диагностической точностью. Особенно перспективной с этой точки зрения нам представляется магнитокардиография (МКГ) — метод неинвазивного исследования магнитного поля, порожденного электрической активностью миокарда. В последние годы получены многочисленные доказательства высокой диагностической эффективности магнитокардиографии в диагностике хронической ИБС, в том числе и в трудных для диагностики случаях, когда рутинные тесты (ЭКГ и ЭхоКГ покоя) неинформативны. Следует также отметить, что стоимость магнитокардиографического обследования относительно невысока, существенно меньше чем стоимость коронарографии или радионуклидного исследования миокарда. Важно также то, что магнитокардиографическое обследование полностью лишено негативного побочного эффекта и не имеет противопоказаний.

Процесс диагностики многих заболеваний, в особенности заболеваний сердца, сегодня в высокой степени формализован, и представлен в виде клинических алгоритмов — последовательности клинических решений, состоящей из нескольких уровней, причем решения, принимаемые на каждом следующем уровне определяются в зависимости от результатов, полученных на предыдущем уровне. Современные алгоритмы диагностики хронической ИБС

с учетом предтестовой вероятности болезни находятся в центре внимания кардиологического сообщества. Наиболее детально разработанным, по нашему мнению, является современный алгоритм с учетом предтестовой вероятности заболевания, предложенный в рекомендациях Chest pain of recent onset (National Clinical Guideline Centre for Acute and Chronic Conditions, UK). Предтестовая вероятность ИБС рассчитывается по известному алгоритму с учетом характера болевого синдрома, возраста, пола, наличия или отсутствия факторов риска и патологических изменений ЭКГ. Эта вероятность выражается в процентах и разделяется на 3 уровня — низкая (10–29%), средняя (30–60%), высокая (более 60%). В зависимости от рассчитанной предтестовой вероятности, диагностический алгоритм включает в себя три (средняя или высокая вероятность) или четыре (низкая вероятность) уровня. Диагностический поиск начинается с определения уровня кальция в сосудах сердца, затем следуют такие неинвазивные функциональные тесты визуализации миокарда как стресс-ЕхоКГ, сцинтиграфия миокарда или СПЕКТ, МРТ миокарда, наконец, если, неинвазивные методы диагностики оставляют место для сомнений в диагнозе, рекомендуют инвазивную коронарографию.

Важнейшим этапом становления любого нового диагностического или лечебного метода является его включения в существующие диагностические алгоритмы. На основании собственных исследований и данных зарубежных систематических метаанализов мы предлагаем использовать магнитокардиографический тест в алго-

ритме диагностики хронической ИБС в зависимости от предтестовой вероятности заболевания как показано в таблицах А, Б, В.

Существуют 3 стратегии применения нового диагностического метода. Он может заменить существующие методы (replacement), использоваться как «сортировщик» для направления на исследование с помощью более сложных методов (triage) или использоваться как дополнительный по отношению к существующим методам (add-on). Мы считаем, что на современном этапе развития магнитокардиографии этот метод должен использоваться как сортировочный или дополнительный. Кроме того, учитывая что не все функциональные тесты, рекомендованные в алгоритме широко доступны в Украине, мы выделяем 2 степени целесообразности проведения МКГ-теста. МКГ-тест **необходим**, когда функциональные тесты недоступны для больного. В случаях, когда тот или иной функциональный тест может быть проведен, МКГ-исследования **полезно**, поскольку дает больному и врачу дополнительную альтернативу. В этом случае полностью безопасный, комфортный для больного МКГ — тест должен быть проведен вместе с одним из функциональных тестов, перечисленных в алгоритме, с целью повышения достоверности диагноза.

По нашему мнению, включение магнитокардиографии в диагностический алгоритм диагностики хронической ИБС целесообразно с точки зрения цена-эффект и будет способствовать раннему выявлению и своевременному лечению этого наиболее распространенного и опасного заболевания сердца.

А) Предтестовая вероятность ИБС 10–29 %

Альтернатива какому методу?	Целесообразность проведения МКГ-исследования	
	При условии доступности КТ	При условии недоступности КТ
КТ для определения содержания кальция	Полезна	Необходима

Б) Предтестовая вероятность ИБС 30–60 %

Альтернатива какому методу?	Целесообразность проведения МКГ-исследования	
	При условии доступности	При условии недоступности
	Стресс-ЕхоКГ, Сцинтиграфия миокарда или СПЕКТ, МРТ миокарда	
Стресс-ЕхоКГ, Сцинтиграфия миокарда или СПЕКТ, МРТ миокарда	Полезна	Необходима

В) Предтестовая вероятность ИБС более 60 %

Альтернатива какому методу?	Целесообразность проведения МКГ-исследования		
	При условии доступности	При условии недоступности	Дополнительная целесообразность при условии позитивного результата МКГ теста
	Стресс-ЕхоКГ, Сцинтиграфия миокарда или СПЕКТ, МРТ миокарда		
Стресс-ЕхоКГ, Сцинтиграфия миокарда или СПЕКТ, МРТ миокарда	Полезна	Необходима	Помогает врачу как можно скорее принять решение относительно необходимости инвазивной коронарографии

Вегетативная регуляция ритма сердца при искусственном гипометаболическом состоянии

А. В. Шило, В. В. Ломако

Институт проблем криобиологии и криомедицины НАН Украины, Харьков

Введение. Изучение естественных и искусственных гипометаболических состояний — одно из наиболее важных и актуальных направлений в современных фундаментальных медико-биологических исследованиях. Известно что, гетеротермные млекопитающие не только сохраняют ритмическую активность сердца при околонулевых температурах тела (T_t), но их сердце устойчиво к аритмиям, что, вероятно, связано как с особенностями структурной организации проводящей системы миокарда, так и изменением взаимоотношений между симпатическими и парасимпатическим звеньями регуляции активности сердца при погружении в зимнюю спячку (гибернацию). Состояние сниженной жизнедеятельности у негибернирующих млекопитающих, сходное с естественной гибернацией, достигается, в частности в условиях нарастающей гипоксии-гиперкапнии и низкой температуры окружающей среды. При этом чрезвычайно важно контролировать функциональное состояние организма и в первую очередь сердечнососудистой системы, оценивать которые можно по вариабельности сердечного ритма (ВСР). Анализируя ВРС в условиях нарастающей гипоксии-гиперкапнии и низкой температуры окружающей среды, можно получить информацию как о состоянии механизмов регуляции физиологических функций организма, так и об общей активности регуляторных систем и нейрогуморальной регуляции сердца, соотношении между симпатическим и парасимпатическим отделами ВНС и его изменении в процессе погружения и выхода из гипометаболического состояния.

Цель работы — изучить изменение вегетативной регуляции ритма сердца крыс при искусственном гипометаболическом состоянии (ИГМС) и выходе из него.

Материалы и методы. Эксперименты проведены на половозрелых самцах беспородных белых крыс с соблюдением всех биоэтических норм при работе с экспериментальными животными. До начала эксперимента крыс содержали в условиях вивария на стандартном рационе с добавлением зерен пшеницы и семян подсолнечника. ИГМС моделировали методом Бахметьева-Анджуса-Джайя (метод «закрытого сосуда»). Животных в герметически закрытом сосуде (объемом 3 дм³) помещали в темную холодную камеру (2–5 °С). Находясь в среде с постоянно понижающимся содержанием O_2 и нарастающим CO_2 , животные постепенно, в течение 2,5–3 ч, погружались в состояние, сходное по ряду параметров (гипотермия, отсутствие тактильной и болевой чувствительности, редукция биоэлектрической активности (БЭА) мозга, снижение ЧСС и частоты дыхания и др.) с естественной гибернацией. После достижения ИГМС животных извлекали из сосуда, подсоединяли электроды для регистрации БЭА сердца и оставляли их в условиях с нормальным газовым составом и при температуре 2–5 °С еще на 15 мин. Затем их перемещали в условия с нормальным газовым составом при комнатной температуре (21±2 °С) и продолжали регистрацию до восстановления двигательной активности. Температуру тела измеряли раз/мин с помощью медь-константановой термопары и электронного вольтметра В7-21А.

Для регистрации активности сердца животных в область передних и задних конечностей подсоединяли стерильные игольчатые электроды. Регистрацию, запись и обработку БЭА сердца производили на компьютерном электрокардиографе фирмы «НейроСофт» (Россия) с помощью программы «Поли-Спектр». Затем рассчитывали: минимальное RR min и максимальное RR max (мс) расстояние между ударами сердца; среднюю длительность между ударами сердца — RRNN (мс); коэффициент вариации (CV) длительности RR-интервалов (%). Спектральный анализ кардиоритмограммы проводили с последующим расчетом общей мощности спектра (TP), мощности спектров в высоком (HF), низком (LF) и очень низком

(VLF) диапазонах частот, а также рассчитывали нормированные мощности LF norm и HF norm, определяли соотношение LF/HF и уровни мощности в диапазонах в процентах (%VLF, %LF и %HF).

Статистическая обработка данных проведена методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA).

Результаты исследований. При достижении ИГМС T_t у крыс снижалась до 17 ± 1 °С (в контроле 38 ± 1 °С) и наблюдалось выраженное замедление ЧСС (до 99 ± 20 уд/мин, контроль — 360 ± 50 уд/мин). Перемещение животных в условия с нормальным газовым составом при пониженной температуре окружающей среды вызывало снижение T_t в среднем еще на 1 °С. В соответствии с особенностями распределения длительности RR-интервалов и в зависимости от величины CV при погружении в ИГМС и в период последующего восстановления T_t при комнатной температуре экспериментальные животные разделились на 2 основные группы: группа 1 — с «мономодальным» распределением RR-интервалов (CV < 5%) и группа 2 — с «бимодальным» распределением RR-интервалов (CV > 15%).

Динамика активности сердца в группе 1 (CV = $3,5 \pm 0,7\%$) отличалась кратковременным (в течение 5 мин) укорочением длительности RR-интервалов (с 595 ± 40 до 515 ± 20 мс), небольшим периодом плато и последующим монотонным возрастанием длительности R-R-интервалов (до 690 ± 50 мс). При этом на максимуме развития ИГМС распределение длительности RR-интервалов, как правило, характеризовалось несколько большей дисперсией, чем в предшествующие и последующие моменты времени. После перемещения животных в условия среды с нормальным газовым составом и комнатной температурой длительность RR-интервалов начинала прогрессивно уменьшаться.

Развитие ИГМС в группе 2 (CV = $19,8 \pm 2\%$) сопровождалось аритмией: на ритмограмме появлялись чередующиеся длинные и короткие R-R-интервалы (RR min = 471 ± 20 мс, R-R max = 1025 ± 300 мс). Аритмия регистрировалась на протяжении всего периода пребывания животных при пониженной температуре окружающей среды и в первые минуты выхода из ИГМС. В нормальных условиях среды снижался CV (до 8%), начинала уменьшаться средняя длительность R-R-интервалов. По мере восстановления T_t аритмия «исчезала». Характер и скорость последующего самопроизвольного отогрева животных в группах 1 и 2 практически не различались и характеризовались равномерным снижением длительности RR-интервалов.

Спектральный анализ ВРС при ИГМС показал, что в группе 1 мощность спектра в диапазоне LF была значительно выше, чем в диапазоне HF, что может указывать на преимущественную активацию симпатического отдела ВНС. В группе 2 динамика была диаметрально противоположной: отмечалось усиление мощности в диапазоне HF, что может свидетельствовать о преобладании активности парасимпатического звена ВНС. Последующее самосогревание организма, как в группе 2, после прекращения аритмии, так и в группе 1, характеризовалось доминированием симпатического отдела ВНС, о чем свидетельствовало преобладание мощности в диапазоне LF.

Различия в группах 1 и 2 могут быть связаны как с особенностями достижения ИГМС, так и различной устойчивостью животных к вызывающим его факторам (в первую очередь гипоксии), а также индивидуальными особенностями функционирования сердца в данных условиях.

Анализ изменения активности сердца при ИГМС и выходе из него позволил выявить 2 преобладающих тенденции: для первой (с низким значением CV длительности RR-интервалов) характерно постепенное увеличение длительности RR-интервалов при охлаждении и такое же плавное ее уменьшение при самопроизвольном разогреве; для второй (с высоким значением CV длительности RR-интервалов) — развитие «мономодального» распределения RR-интервалов при охлаждении и появление аритмии, которая исчезает в течение нескольких минут после переведения животных в нормальные условия среды. Наблюдаемые изменения могут зависеть от уровня и направленности вегетативной регуляции активности сердца гомеотермных животных при ИГМС и выходе из него.

Таким образом, при выходе из ИГМС вегетативная регуляция ритма сердца у гомеотермных животных (крысы) осуществляется двумя путями: 1 — постоянное доминирование симпатического отдела ВНС, 2 — первоначальное доминирование парасимпатической системы сменяется преобладанием симпатического отдела ВНС.

Сетевая реабилитация (на примере постинсультного восстановления)

М. Б. Штарк^{1,3}, Р. Ю. Гук², О. А. Джафарова^{1,3}, Е. А. Тарасов¹

¹ФГБУ «НИИ молекулярной биологии и биофизики» СО РАН
Новосибирск

²ФГУЗ Сибирский клинический центр ФМБА МЗ РФ, Красноярск

³НПФ «Компьютерные системы биоуправления», Новосибирск

Доклад содержит материалы проекта «Сетевая нейрореабилитация», реализованного авторами в 2009–2012 гг. на основе технологии электромио-энцефалографического биоуправления, выложенной в Интернет и, таким образом, превращающего пациента в активного субъекта **непрерывного** лечебно-восстановительного процесса. Проект инвариантен характеру патологии и может быть программно реконструирован с учетом специфики сбора, обработки информации on line и off line, и управления мониторируемыми физиологическими характеристиками.

1. Структурные элементы проекта — алгоритмы взаимодействия пациента и реабилитолога, программное обеспечение системы дистанционной нейрореабилитации на основе технологии биоуправления, интегрированного в интерфейс программно-аппаратного комплекса «БОСЛАБ»; программные модули: «ДОКТОР», устанавливаемого на компьютерах врачей, «ПАЦИЕНТ», устанавливаемого на компьютерах пациентов, работающих с программно-аппаратными комплексами «БОСЛАБ-Миография», «СЕРВЕР» — Интернет-портала, размещаемого на сервере хостинг-провайдера.

Система дистанционной реабилитации на базе биоуправления организована по трехуровневому принципу: первый — компьютер пациента, первичный анализ и компрессия данных; второй — распределенное хранилище данных, локальная высокоскоростная сеть из одного или нескольких серверов; третий — набор предметно-ориентированных OLAP-приложений, представление и анализ данных.

2. При асинхронном доступе пациент самостоятельно или с помощью родственников проводит тренировки средствами электромиографического биоуправления (программно-аппаратный комплекс «Бослаб-МИО-М»), передает данные тренинга посредством сети Интернет на сервер и получает откорректированные программы в удобное для него время. Врач-реабилитолог имеет возможность в любой момент воспользоваться результатами проведенных пациентом сеансов ЭМГ-биоуправления, анализируя и отправляя их пациенту.

3. Особые варианты технологии биоуправления, широко используются на разных этапах лечебно-реабилитационного процесса — игровые сюжеты, мультимедийные формы, элементы виртуальной реальности, предназначенные для формирования мотивационной составляющей обучения и придания всему процессу соревновательного характера.

Современные средства глобальной сети-блоги, Интернет-энциклопедии, чаты, документальные сервисы (Google Docs), соревновательные игры «социализируют» пациента в домашних условиях.

При необходимости (контроль мест наложения электродов, правильности выполнения упражнений, анализ качества колебательного процесса во время тренинга, устранения помех переменного тока) возможно проведение сеансов тренинга on-line с использованием Web-камеры через программу Skype. Теоретически сеть предполагает неограниченное включение новых пользователей, учитывая при этом разумную организацию работы реабилитологов.

4. В докладе будут обсуждены результаты работы 2010–2012 гг. преимущественно на примере пациентов, перенесших острое нарушение мозгового кровообращения, обученных работе с реабилитационным оборудованием в стационаре и прошедших полный курс домашней реабилитации в сети.

Функциональная магнитно-резонансная томография головного мозга и механизмы саморегуляции физиологических функций

М. Б. Штарк^{1,3}, М. В. Резакова², А. А. Савелов²

¹НИИ молекулярной биологии и биофизики СО РАН, Новосибирск

²НИИ «Международный томографический центр» СО РАН
Новосибирск

³НПФ «Компьютерные системы биоуправления», Новосибирск

1. Доклад представляет собой попытку анализа места и роли фМРТ в исследованиях мозга и знакомства с собственными результатами в рамках проблемы нейробиоуправления. Основа обсуждаемых исследований — технология функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) — прижизненное неинвазивное динамическое картирование мозговых структур в момент их деятельности. фМРТ, как известно, основано на BOLD-эффекте (blood oxygenation level independent), различии магнитных свойств оксигемоглобина — носителя кислорода, и дезоксигемоглобина — продукта, образующегося в местах потребления кислорода — паренхиме мозга в связи с возникновением локальной гомогенности магнитного поля, где, собственно, феномен и визуализируется в виде зон активности мест формирования нейронных ансамблей (НА), вовлеченных в текущую деятельность.

2. Осуществление стереотипных или, наоборот, эвристических, когнитивно-мнестических действий, связанных с решением креативных задач, а также сенсомоторных, зрительно-слуховых и речевых операций, сопровождается формированием новых и/или реорганизацией предсуществующих нейронных ансамблей. Их вызванная внешнередовыми либо эндогенными влияниями активность проявляется увеличением локального (регионального) кровенаполнения мозговой ткани, изменениями объема и скорости мозгового кровотока.

Конкурентоспособность и, говоря современным языком, инновационность фМРТ в сравнении с ныне существующими технологиями исследований структурно-функциональной организацией головного мозга и высшей нервной деятельности определяется ее исключительным пространственным разрешением и возможностью многократного повторения условий эксперимента, что позволяет в режиме 3D реконструировать реальную внутримозговую стереометрию НА. Возможно декларировать, что фМРТ — есть оптимальный инструмент картирования (визуализации) нейронной активности и реконструкции нейронных сетей.

3. Анализ литературы 1990–2011 гг., посвященный роли и месту фМРТ мозга в нейробиологии позволяет оценить динамику библиографического индекса (отношения отдельного (самостоятельного) раздела к общему числу публикаций) в следующем возрастающем по траектории развития градиенте: нейроонтогенез, развитие, локализация двигательных и речевых функций → природа BOLD-феномена → ЭЭГ/фМРТ параллели → фармфМРТ → фМРТ и церебро-васкулярная недостаточность → фМРТ и нейробиоуправление → проблема «мозг-интерфейс-компьютер».

4. Дизайн собственных экспериментов: исследования проводились на праворуких добровольцах (после получения письменного согласия) на приборе Achieva Nova Dual (Филипс, Нидерланды) с индукцией магнитного поля 1.5 Тл. Основные рабочие T2*-взвешенные изображения получены с помощью метода 3D EPI (Echo Planar Imaging) с матрицей 64×64×48, размером воксела 3×3×3 мм³, время повторения TR = 1700 мс, время эха TE = 25 мс, что обеспечило длительность сканирования одного кадра в 5 секунд.

Анатомический референс представляет собой трехмерное T1-взвешенное изображение, полученное с помощью метода TFE (Turbo Field Echo) с матрицей $256 \times 256 \times 64$, размером воксела $1 \times 1 \times 3$ мм³, время повторения TR=4.8 мс, время эха TE=2.4 мс. Структура эксперимента включала периодические активации длительностью 30–90 секунд, с промежуточным отдыхом в течение одной минуты. Типичный эксперимент состоял из 5 циклов «отдых–работа». Обработка полученных результатов проводилась с помощью программного пакета SPM8 (<http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8/>) и включала следующие шаги: совмещение геометрии, устранение произвольных движений внутри динамических серий; согласование динамических кадров с анатомическим референсом; спецификация парадигмы, выбор параметров фильтрации и представления результатов; расчет и визуализация зон активации.

Результат представлялся в виде референсного T1-взвешенного трехмерного изображения в серой шкале с нанесенными цветными зонами, отражающими интенсивность BOLD-эффекта.

5. В докладе будут изложены результаты исследований, посвященных пространственному и временному картированию мозговых структур — зон BOLD-активности, участвующих в когнитивном (мысленном, волевым) управлении центральными механизмами саморегуляции функций в парадигме адаптивной обратной связи — основы формулы «мозг-интерфейс-компьютер».

5.1. Альфа-биоуправление, направленное на устойчивую модификацию альфа-ритма ЭЭГ в «лексике» фМРТ.

5.2. BOLD-эффект как маркер (тест) цереброваскулярной недостаточности.

5.3. Игровое биоуправление — мысленная «навигация» физиологическими характеристиками — ЭЭГ, Т^о, ЧСС, ЭМГ виртуальным игровым сюжетом соревновательного характера с целью пространственной визуализации внутримозговых структур — т. н. «навигационных территорий».

5.4. Клинические вызовы фМРТ.

6. Основные результаты и перспективы развития этого направления работ, как представляется, связаны с анализом новых принципов нейрокоммуникаций и созданием стереопографической «дорожной карты» фМРТ.

Математичне моделювання кардіоінтервалограм при оцінюванні варіабельності ритміки серця

Б. Яворська

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Вступ. Використання варіабельності серцевої ритміки (ВСР) для оцінювання патологічних станів системи кровообігу людини (СКЛ) регламентовано низкою стандартів. Особливо важливим є використання ВСР для прогнозування або оцінювання наявності початкового етапу патологічного стану СКЛ. Останнє вимагає відповідних ефективних (за показниками габарити, швидкодія, достовірність, точність, ціна тощо) засобів. Оцінками ВСР служать характеристики або параметри ритмокардіосигналу (РКС) або інтервалокардіограми (ІКГ) — відповідних послідовностей значень RR-інтервалів ЕКГ. Якість оцінок залежить від адекватності математичної моделі РКС.

В біофізиці представлення функціями змінних величин названо представленнями в конфігураційному просторі (або траєкторіями — залежностями координати від часу). Особливості будови та поведінки біооб'єктів спричинили використання представлень у фазовому (змінних стану) і енергетичному (спектрів) просторах. Всі ці представлення є еквівалентними, для лінійної і стаціонарної біосистеми поміж представленнями в останніх двох просторах існує взаємно-однозначна відповідність (ізоморфізм). Представлення

в енергетичному просторі (спектри) є інваріантом зсуву конфігураційного представлення. Оскільки для СКЛ не характерні стаціонарність та лінійність, то використання стандартних представлень значень RR-інтервалів на практиці приводить до появи різноманітних методів забезпечення достовірних, стійких (інформативних) ознак типу послідовності значень RR-інтервалів, наприклад, таких як функція складності представлення значень RR-інтервалів (у фазовому просторі) тощо, що значно знижує ефективність засобів оцінювання варіабельності РКС і вказує на неадекватність його математичної моделі і необхідність її удосконалення.

Результати дослідження. При обґрунтуванні вибору досконалішої математичної моделі взято стохастичні коливання і ритміку природних процесів. Покладено, що основний ритм ЕКС описує періодично-корельований випадковий процес (ПКВП), та враховано його поліімпульсність, причому синфазними щодо циклів серцевої діяльності будуть одноіменні R-зубці. Застосовано метод усереднення, аналогом якого є відомий синфазний метод статистики

ПКВП: $\phi_{\xi}^N(t_0, T) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \phi_{\xi}(t_0 + kT)$, де $\phi(\cdot)$ — функція від значень РКТ; t_0 — початкова фаза відбору ЕКС, $t_0 \in [0, T]$; T — період корельованості — параметр цієї моделі, N — кількість урахуваних значень RR-інтервалів. Такий аспект явища кардіоритміки є мало дослідженим у деталях структури. Для врахування цих деталей (тонкої структури) застосовано до послідовності RR-інтервалів підхід як до двомасштабної, яка враховує можливість розділення її на основне коливання та високочастотні пульсації. Отримано модель РКС, який є ритмічним у своїй структурі, у її характеристиках і параметрах: $\xi(i\Theta) = \xi(t, -i\Theta)$, де Θ — ритм як випадкова величина, t_i — значення часу появи i -го R-зубця, $i = 1, 2, 3, \dots$

Ритм, як параметр оцінювання визначено за критерієм: $\arg \min_{\Theta \in T, h \in H} \text{VAR}_d f(h, \Theta)$, де T — множина значень періоду ритму, H — множина значень функцій гільбертового простору, f — спектральна густина потужності, $\text{var}_d = \|\xi(t)\|_d^2 < \infty$ — d-варіація функції, $\|\cdot\|_d$ — норма у варіанті гільбертового простору \mathcal{H} , наприклад, потужність РКС.

Розвинуто методологічні основи оцінювання РКС, варіабельності, його ритміки. Априорно невідомі параметри оцінювання експериментальних РКС визначалися за екстремальністю варіації його спектральних оцінок.

Розвинуто спектрально-кореляційний метод отримання інформативних характеристик РКС на підставі застосування синфазного та компонентного методів його аналізу.

Встановлено, що синфазний метод аналізу є ефективним при тривалішій однорідності статистики РКС, а компонентний — при короткочасовій стабільності, тобто він чутливіший до швидких змін. Цей метод базується на відомому факті, що відліки значень ПКВП через період корельованості T при різному виборі початку відліку (початкової фази) $t \in [0, T]$ утворюють стаціонарну ергодичну векторну випадкову послідовність $\{\xi(t), t \in [0, T]\}$, де $\xi(t) = \{\xi(t + kT), k \in Z\}$.

Компонентний метод базується на тому, що математичне сподівання та середня коваріація РКС є періодичними функціями часу, а тому виражені за аналогією до розкладів у ряди Фур'є через співвідношення: $m(t) = \sum_{k \in Z} m_k e^{i(k \frac{2\pi}{T} t)}$, $b(t, u) = \sum_{k \in Z} B_k(u) e^{i(k \frac{2\pi}{T} t)}$, $t \in [0, T]$,

де m_k , $B_k(u)$ — відповідні стаціонарні компоненти.

Для таких статистик РКТ отримано оцінки їх зсуву, дисперсії та кореляційні функції. Установлено, що ефективними будуть незсунуті (з нульовим зсувом) оцінки з найменшою дисперсією та некорельованими значеннями. Властивості оцінок залежать від вибраного правила оцінювання (такого, що визначає вигляд функції спостережених значень) та довжини відрізка аналізованої реалізації.

Застосовано кореляційний аналіз РКТ, при якому окрім обчислення оцінок коваріації $b(t, u)$, проведено оцінювання кореляційних компонент $B_k(u)$. Оцінка кореляційних компонент (при відомому ма-

тематичному сподіванні така оцінка є незміщеною) є статистикою:

$$\hat{B}_k(u) = M_t \left\{ \xi(t+u) \bar{\xi}(t) e^{-ik \frac{2\pi}{T} t} \right\}, k \in Z \text{ де } M_t \langle \bullet \rangle — \text{ символ усереднення}$$

по всій числовій осі, що є областю параметра t .

Для верифікації застосовано тестові послідовності (тестові РКГ). Приклади тестових РКГ, згенерованих програмно за алгоритмами, розробленими в рамках методів. Наведено результати спектрального аналізу тестових РКС.

Досліджено використання для спектрального аналізу РКС параметричних методів та непараметричних, модифікованих для застосування до випадкових послідовностей, у тому числі, ПКВП (синфазні, компонентні та фільтрові методи оцінювання спектральних компонент).

Для порівняльного аналізу результатів, отриманих при комбінуванні тестових РКГ і методів спектрального аналізу, застосовано систему показників, регламентованих у відповідних нормативних документах — задану імовірність P_F помилкового та імовірність P_D вибраного результату, величину v та значення порогу вибору (регламентовані стандартом та відповідними методичними вказівками, вимогами і методиками повірки засобів вимірювань).

Наведено методи модифікації таких стандартних показників для оцінювання їх за компонентами спектральної густини потужності ПКВП — удосконаленої математичної моделі РКС чи спектральної густини потужності — стаціонарної моделі.

Експрес-діагностика функціонального стану людини з серцево-судинними захворюваннями

В. С. Якимчук

НТУУ «КПІ», ММІФ, Київ, Україна

До однієї з найактуальніших проблем сьогодення відноситься проблема діагностування ранньої стадії розвитку захворювань серцево-судинної системи (ССС) та їх подальшого лікування. Це викликає необхідність створення методу діагностики функціонального стану ССС людини, що дозволить попередити розвиток хронічної форми хвороби та летальні випадки.

Останнім часом значно збільшилась кількість досліджень різних груп населення, які відрізняються за віком, статтю та іншими ознаками. В першу чергу, дослідники оцінювали наявність шкідливих звичок та їх вплив на стан ССС людини. Також, вони аналізували проведення корекції цих факторів. Отримані результати підтвердили, що при наявності одного чи декількох факторів ризику (шкідливі звички, артеріальна гіпертензія, цукровий діабет, підвищений рівень холестерину та ожиріння) ризик смерті від серцево-судинного захворювання (ССЗ) підвищується. Небезпечним фактом є те, що в умовах повсякденної клінічної практики, не проводяться адекватні дії щодо усунення цих факторів, результатом чого може бути ріст летальних випадків від такого захворювання.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, Україна випереджає європейські країни по рівню смертності від ССЗ. В 2011–2012 роках від інфарктів, інсультів та інших ССЗ померло близько мільйону жителів України. За прогнозами вчених до 2030 року щорічна статистика смертності від захворювань серця наблизиться до 25 мільйонів.

Високий рівень смертності в Україні пов'язаний, в першу чергу, з відсутністю ранньої діагностики та профілактики кардіологічної патології, а також недоступністю для більшої частини населення медичних препаратів та послуг медично-санітарних служб.

Це дослідження побудоване на оцінці функціонального стану ССС людини для створення системи моніторингу захворювань серця. Відповідно, для реалізації такого підходу необхідно визначити достатній набір параметрів, розробити методи та засоби

їх контролю. Такі системи мають відповідати наступним вимогам: об'єктивність, оперативність, неінвазивність, дешевизна, доступність, висока чутливість та відсутність впливу на досліджуваного пацієнта. Перераховані вимоги задовольняють прилад типу «Електронний ніс».

В результаті довготривалих досліджень було розроблено програмно-апаратний комплекс для оцінки газового складу повітря, що видихається людьми з серцево-судинними захворюваннями. Його можна розбити на декілька системних блоків обробки інформації.

Перший крок обробки інформації включає:

1. Реєстрацію пацієнта та забір його проби (повітря, яке видихається людиною, та збирається у спеціальний контейнер) для аналізу.
2. Під'єднання контейнера з пробною до пробовідбірника. Пробовідбірник — це циліндр з поршнем, для втягування проби з контейнеру. Він містить сім амперметричних хімічних сенсорів для аналізу проби.

Наступний крок включає:

1. Обробка сигналів, які подаються хімічними сенсорами, електронним підсилювачем.
2. Перетворення аналогового сигналу в цифровий за допомогою спеціально відібраного аналого-цифрового перетворювача.
3. Занесення цифрових сигналів до комп'ютеру.

Останній крок в себе включає:

1. Збереження отриманих сигналів від хімічних сенсорів в базі даних, де в свою чергу занесена інформація про досліджуваного пацієнта.
2. Графічна візуалізація сигналів.
3. Аналіз отриманих даних.

Було проведено дослідження хворих з наступними діагнозами: ішемічна хвороба серця, стеноз аортального клапану та стеноз мітрального клапану. Для статистичного аналізу та побудови статистичної моделі прогнозування постановки діагнозу також відібрана група здорових пацієнтів. До бази даних внесені не лише показники датчиків відповідного пацієнта, але й наступні дані: прізвище та ім'я, вік та стать, діастолічний та систолічний тиск, частота серцевих скорочень, поставлений діагноз кардіологом, чи курить пацієнт та ін. Завчасно в БД відведені поля для внесення інформації і про стан приміщення, де відбувається дослідження: температура та вологість повітря, атмосферний тиск та ін.

Результати проведеного аналізу показали відмінності у пробах здорових та хворих досліджуваних пацієнтів. В першу чергу, це говорить про підтвердження теорії щодо відмінностей фізіологічних процесів, які відбуваються у здоровому та хворому організмі людини. Тобто, процес метаболізму формує різний склад газів, які видихаються людиною. За правильним підбором хімічних датчиків, які аналізуватимуть газовий склад повітря, що видихається, можна робити прогноз не лише серцево-судинних захворювань. Такий результат стимулює покращувати та вдосконалювати розроблену систему для експрес-аналізу фізіологічного стану організму людини.

Статистична обробка зібраних даних дозволила зробити й інші висновки, деякі з них:

- з'ясовані відмінності між повітрям приміщення, де відбуваються дослідження, та повітрям, що видихається пацієнтом;
- за показниками датчиків чітко видно різницю між контрольною групою пацієнтів та групою пацієнтів з ішемічною хворобою серця;
- в групі здорових визначено відмінності серед пацієнтів, які курять та не курять.

Розроблений програмно-апаратний комплекс типу «Електронний ніс» є об'ємним поєднанням приладобудування та використанням інформаційних технологій для проведення попередньої діагностики функціонального стану організму людини, а саме прогнозу та постановки діагнозу по хворобах серця.

Форми використання інформаційних технологій на кафедрі загальної та клінічної фармації

О. А. Подплетня, Л. І. Хмельникова, В. Ю. Слесарчук, Є. О. Клебанський
ДЗ «Дніпропетровська медична академія» МОЗ України

Використання комп'ютерів та інформаційних технологій в навчальному процесі є одним з пріоритетних напрямків удосконалення освіти.

Метою інформатизації системи освіти є модель підготовки фахівців, яка орієнтована на отримання знань, здатності самостійно доповнювати їх, вмінню ставити та вирішувати професійні задачі, володіти інформаційними і комунікаційними технологіями, розвивати творче мислення.

Використання комп'ютера та інформаційних технологій на заняттях може вирішувати наступні проблеми: освітянську — ефективне використання комп'ютера та прикладних програм в навчальній діяльності; педагогічну — швидко і якісно оволодіти вивчаємим матеріалом, візуалізувати його, забезпечити індивідуальне навчання; організаційну — проведення комп'ютерного тестування, обліку та планування. Для активації мотивації до вивчення інформаційних технологій, формування інформаційної культури студентів-фармацевтів на кафедрі з великою кількістю курсів (понад 15) з фундаментальних та фармацевтичних дисциплін проводиться навчально-дослідницька робота студентів з різних розділів предметів.

Основні форми використання інформаційних технологій в системі підготовки студентів по дисциплінам наступні: вивчення інформаційного блоку дисциплін через Інтернет-сайт ДЗ «ДМУ» МОЗ України; комп'ютерне супроводження практичних занять; комп'ютерне тестування; підготовка творчих, науково-дослідницьких робіт; звертання до Інтернету.

Програма підтримки навчального процесу дозволила виявити на кафедрі програмні продукти, які найчастіше використовуються, а саме: комп'ютерні презентації занять та їх фрагментів; відеоматеріали, навчальні відеофільми: електронні довідники, посібники та підручники, навчальні програми та системи, тестові контролюючі програми.

Комп'ютерні презентації або їх фрагменти є найпоширенішими засобами використання викладачами кафедри інформаційних технологій при проведенні лекцій та практичних занять. Широке застосування презентацій в навчальному процесі можна з'ясувати доступністю та легкістю засвоєння програми MS Power Point, яка необхідна для їх розробки та великими можливостями цієї програми, а саме: розміщення тексту, таблиць, схем, діаграм, малюнків фотографій, які можна супроводити звуком та анімаційними ефектами.

Використання мультимедійних презентацій дозволяє зробити лекції та заняття більш наглядними, підвищити рівень оволодіння матеріалом, сконцентрувати увагу студентів-фармацевтів на важливі моменти тем, розділів, що вивчаються, тобто підвищити якість засвоєння матеріалу.

Демонстрація відеокліпів, відеофільмів дозволяє замінити викладача як джерела нової інформації; допомагає ознайомитися з новим матеріалом на підставі безпосереднього сприйняття того чи іншого явища, довести до студентів основні поняття, сформулювати визначення, положення, з'ясувати і проілюструвати їх, а також зробити висновки. Відеоматеріали дозволяють сконцентрувати увагу на важливих моментах з'ясування нової інформації. Дослід застосування відеоматеріалів доводить, що студенти більш ефективно сприймають матеріал, активно приймають участь в його обговоренні, розвивають відповідний тип пам'яті, професійну спостережливість, вчать правильно і красиво розмовляти, відстоюють та доводять свою точку зору. Електронні довідники та посібники є найбільш поширеними технічними засобами навчання (ТЗН), тому що на відміну від таких же самих «паперових» видань, мають певні переваги, наприклад, наявність мультимедійних об'єктів,

гіперпосилання тощо. На даний час на кафедрі існує достатня кількість електронної методичної літератури, якою користуються студенти при самостійній підготовці.

Тестові контролюючі програми дозволяють швидко встановити зворотний зв'язок зі студентами, внести корективи до їх знань, стимулювати підготовку до кожного заняття, а також регулярно економити час викладача та об'єктивно оцінювати студента на тестовому етапі іспита.

Великі можливості в вирішенні проблеми вільного доступу як до навчального матеріалу, так і до спілкування з викладачами робота дистанційно-навчальні технології, особливо для заочної форми навчання. Такі форми пов'язані з наступними принципами: незалежністю знаходження студента від місця його розташування; вар'їруванням часом та термінами отримання освіти за принципом незалежності.

Основу навчального процесу дистанційної технології навчання складає цілеспрямована, контролюєма, інтенсивна самостійна робота студентів. Перевага в багатьох питаннях дистанційно-навчальних технологій перед традиційними методами навчання безперечна, що пов'язано з основними принципами дистанційно-навчальних технологій: незалежністю знаходження студента від місця розташування, вар'їруванням часом та термінами отримання освіти, індивідуальним навчанням, самоствердженням, самовшануванням та самовідповідальністю особистості. Можна виділити декілька основних умов застосування елементів дистанційної освіти при навчанні студентів: формування соціально-психологічної потреби самостійного придбання та застосування знань повинно стати потребою сучасної людини на протязі всього її життя; використання новітніх технологій навчання, передбачати не тільки індивідуальні форми навчання з викладачами, але й групові форми навчання в режимі різноманітних конференцій, дискусій тощо.

Планується використання в навчальному процесі системи віртуальної реальності — системи неконтактної взаємодії, що здійснює уявлення безпосередньої присутності користувача в стереоскопічно представленим світі. Така система дозволяє отримати практичні навички роботи з крупногабаритним дорогим обладнанням, не доступним у реальному часі.

Таким чином, використовування інфокомунікаційних технологій дозволяє удосконалювати навчальний процес на кафедрі, реалізувати нові підходи до навчання, організувати самостійну, творчу діяльність студентів, давати нові способи пошуку та обробки інформації, збільшувати частку експериментальної та дослідницької діяльності, мотивувати студентів до вивчення матеріалу, зберігати інтерес до предметів на протязі всього часу їх вивчення, підвищувати пізнавальну активність, виробляти потребу до безперервної самоосвіти, підвищувати якість та ефективність засвоєння знань.

**Авторский указатель материалов Международной Конференции
«Информационные технологии в кардиологии»,
опубликованных в журнале
Клин. информат. и Телемед. 2013. Т.9. Вып.10.**

Антонова-Рафи Ю. В.	с. 164	Луценко Д. Г.	с. 181, 183	Целуйко В. Й.	с. 200
Апанасенко Г. Л.	с. 165	Лях Ю. Е.	с. 182	Чайковский И. А.	с. 167, 171, 175, 191, 192, 200, 201
Ахметшин А. М.	с. 165	Майоров О. Ю.	с. 183	Черняк А. М.	с. 182
Ахметшин К. А.	с. 165	Маленкин В. А.	с. 179	Шило А. В.	с. 203
Бабийчук Г. А.	с. 181	Мамаева С. М.	с. 164	Широкий Г. Б.	с. 174
Белал С. А. С.	с. 185, 187	Марченко В. С.	с. 181, 183	Штарк М. Б.	с. 204
Бокатуева В. В.	с. 166	Марченко Л. Н.	с. 183	Яблчанский Н. И.	с. 185, 187
Будник М.	с. 167, 192	Матвеева Н. А.	с. 184	Яворська Є.	с. 205
Вайханская Т. Г.	с. 197	Мельникова О. П.	с. 197	Якимчук В. С.	с. 206
Вакуленко Д. В.	с. 168	Михайличенко Е. С.	с. 176		
Васильев В. Е.	с. 171	Михайлюк А. Л.	с. 169		
Вербицкий Е. В.	с. 169	Моисеенко Е. В.	с. 179		
Вишованець Ю. Г.	с. 182	Montanari G.	с. 189		
Вишневецкий В. В.	с. 170, 171	Морозова Е. Э.	с. 185		
Власов С. А.	с. 185	Мрочек А. Г.	с. 197		
Войнов В. Б.	с. 169	Мухина И. В.	с. 174		
Воробьев А. П.	с. 197	Назаренко Е. О.	с. 187		
Воробьев К. П.	с. 172	Нессонова М. Н.	с. 180		
Высоцкая Л. Г.	с. 179	Нессонова Т. Д.	с. 183		
Гнилорыбов А. М.	с. 176	Онищенко В. О.	с. 188		
Гук Р. Ю.	с. 204	Остапенко В. І.	с. 182		
Гур'янов В. Г.	с. 182	Панченко О. А.	с. 188, 189		
Джафарова О. А.	с. 204	Пенкин Ю. М.	с. 198		
Евтушенко А. С.	с. 179	Пилипенко И. Б.	с. 172		
Ена А. А.	с. 175	Подплетня О. А.	с. 207		
Ена Л. М.	с. 171	Potenza M. C.	с. 189		
Ена Т. А.	с. 175	Радченко А. О.	с. 187		
Жадан А. В.	с. 200	Радченко С. М.	с. 189		
Зарубайко А. В.	с. 189	Raimondi G.	с. 189		
Зефиоров В. Н.	с. 198	Редька І. В.	с. 190		
Иванов Г. Г.	с. 173	Резакова М. В.	с. 204		
Иванушкина Н. Г.	с. 184	Риженко Т.	с. 167		
Иванько К. О.	с. 184	Рыжов А. А.	с. 193		
Иляхинский А. В.	с. 174	Савелов А. А.	с. 204		
Кальниш В. В.	с. 175	Секретный В. А.	с. 191		
Каминский А. А.	с. 179	Сиропятов І.	с. 192		
Кардашевская Л. И.	с. 176	Scordamaglia B.	с. 189		
Кибальников Е. В.	с. 169	Skroza N.	с. 189		
Киселев С. М.	с. 177	Слесарчук В. Ю.	с. 207		
Клебанский Є. О.	с. 207	Страхова О. П.	с. 193		
Коваленко А. С.	с. 175	Тарасов Е. А.	с. 204		
Костра В. В.	с. 178	Файнзильберг Л. С.	с. 194		
Кочина М. Л.	с. 179, 180	Фёдоров В. Ф.	с. 195		
Кривова О. А.	с. 175	Фенченко В. Н.	с. 183		
Кулик А. Л.	с. 185, 187	Фролов А. В.	с. 196, 197		
Леванов В. М.	с. 174	Фролов Ю. А.	с. 175, 192		
Legramante J. M.	с. 189	Хара Г. И.	с. 198		
Ломако В. В.	с. 203	Хмельникова Л. І.	с. 207		

Институт Медицинской информатики и Телемедицины Институт МИТ

Предлагаем для внедрения разработки института:

- **Госпитальная информационная система «Институт-МИТ@Клиника®»**
Управление лечебно-диагностическим процессом лечебного учреждения любой формы собственности в условиях рыночной экономики, семейной и страховой медицины. Полный анализ деятельности ЛПУ за любой период, использование уникальной постреляционной базы данных, учет индивидуальных затрат на пациента, алгоритмизация работы и профессиональное наполнение рабочих мест разных специалистов медицинской информацией. Внедрение, сопровождение, обучение
- **Системы компьютерной ЭЭГ «НейроИсследователь®»**
и вариабельности сердечного ритма «Кардио-Стресс-Тест®»
Уникальный инновационный набор инструментов. Углубленный анализ ЭЭГ и ВСР: классические спектрально-когерентные методы и новейшие технологии многомерного линейного и нелинейного анализа (детерминированный хаос)
- **Интеллектуальные медицинские системы**
для дифференциальной диагностики и программы для создания собственной диагностической системы
- **Телемедицинские технологии**
для нейро- и нейро-кардиодиагностики

Институт Медицинской информатики
и Телемедицины
Харьков, 61002, а/я 7313
Украина
тел. +380 (57) 700 6881
Institute-Mit@ukr.net





www.nacm.kharkov.ua