



# КИТ

[www.uacm.kharkov.ua](http://www.uacm.kharkov.ua)

## КЛИНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИКА И ТЕЛЕМЕДИЦИНА

Официальный журнал Украинской Ассоциации «Компьютерная Медицина»



2/2004

Научно-методический журнал  
Клин. информат. и Телемед.  
2004. Т.1. №2. с.127-253

<b>Редакционные материалы</b>	<b>Компьютерная Медицина'2005</b> Научно-практическая Конференция «Электронное здравоохранение», 23–25 июня 2005, Харьков	III
	<b>Компьютерная Медицина'2004</b> Отчет о научно-практической конференции «Клиническая информатика и телемедицина»	IV
<b>Оригинальные статьи</b>	<b>Джон Мантас (Греция)</b> Будущие тенденции в информатике здравоохранения Инициативы Европейского Союза	127
	<b>В. В. Домарев</b> Защита информации в медицинских информационных системах: врачебная тайна и современные информационные технологии	146
	<b>Орловская областная клиническая больница (ООКБ)</b> Автоматизированная больничная информационная система (АБИС)	155
	<b>В. М. Буяльский, В. М. Данилов</b> Модели и средства системного проектирования медицинской информационно-аналитической системы (МИАС) Реабилитационного центра объекта «Укрытие»	158
Информационные технологии в ЭЭГ/ВП	<b>Йохен Швинд (ФРГ)</b> Новые пути в традиционной ЭЭГ диагностике	165
	<b>О. Ю. Майоров</b> Компьютерная ЭЭГ – прошлое, настоящее, будущее Часть 1. История развития кЭЭГ, обзор специальных методов исследования	169
	<b>Стандарты Международной Федерации Клинической нейрофизиологии (IFCN) для цифровой регистрации клинических ЭЭГ</b> Марк Р. Ньюер (Marc R. Nuwer) с соавт.	178
Вариабельность сердечного ритма (ВСР)	<b>В. В. Гнездицкий, Е. Е. Генрихс, В. В. Киликовский, О. С. Корепина</b> Построение решающего правила для оценки риска вегетативных пароксизмов по данным кожно-симпатических вызванных потенциалов	181
	<b>Т. Ф. Миронова, В. А. Миронов, Ю. С. Шамуров, И. М. Уточкина, А. В. Калмыкова, В. Л. Кодкин, А. Н. Тарасов, Е. В. Давыдова, М. В. Миронов, А. М. Дубель</b> Клинический анализ variability сердечного ритма и его аппаратно-программное обеспечение	189
	<b>К. П. Воробьев</b> Мониторинг variability сердечного ритма как референтный метод оценки функционального состояния организма во время гипербарической оксигенации	197
Компьютерный анализ ЭКГ	<b>Н. И. Цирельников, Д. А. Евсеенко</b> Адаптивные и патологические изменения фетоплацентарной системы при внутриутробной гипоксии при осложненном течение беременности	202
	<b>В. И. Шульгин, А. В. Печенин, В. В. Федотенко, К. В. Наседкин, И. В. Лахно</b> Использование техники слепого разделения источников для выделения электрокардиограммы плода	208
Анализ изображений	<b>А. С. Барило, С. В. Павлов</b> Оптоэлектронные методы анализа микроциркуляторных нарушений при воспалительных процессах в челюстно-лицевой области	213
	<b>В. В. Кретов, Ю. Г. Украинцев</b> Информационные технологии лучевой диагностики на основе сканирующей системы получения изображений	217

Информационные технологии в клинике	<b>Л. Я. Ковальчук, В. П. Марценюк</b> Розробка методів системного аналізу патологічних процесів в доказовій медицині	221
Телемедицина	<b>Н. Н. Ермошкин</b> , Internet Business Solution Group Cisco Systems Cisco. Выполняя обещания Роль интегрированных технологических решений в реформе системы здравоохранения	227
	<b>Bekir Karlik, Yousif Al-Bastaki (Бахрейн)</b> Bad breathe diagnosis system using OMX-GR sensor and Neural Network for telemedicine	237
	<b>А. В. Владзимирский, В. Г. Климовицкий</b> Основные этапы и результаты телеконсультирования в клинической практике	240
Информационные технологии в медицинском образовании	<b>М. П. Бурых, Г. В. Горяинова, С. П. Шкляр, П. А. Лучшев, Р. С. Ворощук</b> Истинно топографический подход в клинической анатомии	245
	<b>В. М. Мороз, І. І. Хаїмзон, Є. П. Бондарчук</b> Система комп'ютерного моделювання процесів життєдіяльності органів і систем організму людини	249
<b>Нормативно-правовая база</b>	<b>Закон України</b> Про захист інформації в автоматизованих системах	VIII
	<b>Положення</b> про головного спеціаліста з питань інформатизації системи охорони здоров'я Міністерства охорони здоров'я України	XIII
	<b>Положення</b> про обласного спеціаліста з питань інформатизації системи охорони здоров'я Міністерства охорони здоров'я України	XV
<b>Юбилейные даты</b>	<i>К 60-летию со дня рождения Бориса Аркадьевича Кобринского</i>	XXVIII
	<i>К 60-летию со дня рождения Рольфа Энгельбрехта</i>	XIX
	<i>Памяти Анатолия Борисовича Глухова</i>	XX
<b>Научные общества мединформатики</b>	Украинская Ассоциация «Компьютерная Медицина» (УАКМ) – 2004	XXI
	Международная Ассоциация медицинской информатики (IMIA)	XXIV
<b>Мединформатика, события, конференции</b>	Европейская Федерация Конференций информатики (MIE) «Образовательные аспекты приложений медицинской информатики и информатики здравоохранения» <b>MIE – Special Topic Conference 2005</b> , Афины	XXVI
	Европейский Конгресс <b>MIE-2005</b> , Женева	XXVII
	Календарь Конференций, Конгрессов на 2005–2006 год	XXX
<b>Новые книги</b>	Новые книги по медицинской информатике, статистике и эпидемиологии, компьютерным методам диагностики	XXXIII
	Правила для авторов	XXXV
	<b>CONTENTS (IN ENGLISH)</b>	XL
	Анкета-заявка для Украины	XLII

От редакции

Сегодня возрастает интерес разных специалистов к объективным методам исследования мозга. Это в широком смысле, так называемые, методы нейровизуализации. Эти методы очень бурно развиваются и широко используются в нейрофизиологии, психофизиологии, неврологии, психиатрии, спортивной медицине и медицине труда в психофармакологических исследованиях. Центральное место занимает компьютерная электроэнцефалография (в англоязычной литературе quantitative (количественная) EEG (qEEG); digital (цифровая) EEG (dEEG)). Интерес к этим методам послужил стимулом для создания Ассоциации клинических нейрофизиологов Украины, которые остро нуждаются в информации, касающейся оборудования, новых методов анализа, международных стандартов, протоколов обследования с использованием этих технологий. Исходя из этого, мы открываем в журнале постоянную рубрику «Компьютерная ЭЭГ – оборудование, методы анализа, стандарты». Сохраняя выпуски журнала, можно будет собрать библиотеку клинического нейрофизиолога, в которой будут обзорные и оригинальные статьи по кЭЭГ / ВП, стандарты, новые технологии и компьютерные системы.

# Компьютерная ЭЭГ – прошлое, настоящее, будущее

## Часть 1. История развития кЭЭГ, обзор специальных методов исследования

**О. Ю. Майоров**

Институт Медицинской информатики и Телемедицины, Харьков, Украина  
Харьковская медицинская академия последипломного образования МЗ Украины  
Институт охраны здоровья детей и подростков АМН Украины, Харьков

### Резюме

Работа посвящена истории развития кЭЭГ, оценке состояния и перспективам дальнейшего развития этого метода.

В части 1 приведены некоторые исторические сведения о зарождении кЭЭГ и краткий обзор современных методов исследования ЭЭГ, которые входят в арсенал клинических нейрофизиологов. Среди них: преимущества кЭЭГ при классическом визуальном анализе, технологии исследования патологии сна, длительный мониторинг при эпилепсии, локализация источников нормальной и патологической ЭЭГ активности (инверсная проблема), цифровые технологии при регистрации ВП / ERP.

**Ключевые слова:** количественная ЭЭГ (кЭЭГ), исследования сна (полисомнография), обратная задача, долговременный мониторинг ЭЭГ при эпилепсии, локализация источников (инверсная проблема), компьютерные технологии регистрации ВП / ERP.

**Клин. информат. и Телемед.**  
**2004. Т.1. №2. с.165–173**

## Введение

Данное сообщение ориентировано на оценку состояния и перспективы дальнейшего развития кЭЭГ.

В части 1 приведены некоторые исторические сведения о зарождении кЭЭГ и краткий обзор современных методов исследования ЭЭГ, которые входят в арсенал клинического нейрофизиолога.

Часть 2 посвящена классическим и новейшим математическим методам анализа кЭЭГ/ВП.

С появлением метода электроэнцефалографии после кратковременной эйфории, связанной с надеждой на то, что этот метод позволит быстро раскрыть тайны работы мозга, возникло понимание не-

обходимости создания и применения методов, с помощью которых можно было бы количественно объективно оценивать электроэнцефалограмму.

Мы не будем останавливаться на истории развития классической ЭЭГ, которая включает совершенствование оборудования и накопление клинического опыта.

Инженер Albert M. Grass в 1935 году в лаборатории H. Davis в Гарвардской медицинской школе по заданию известного нейрофизиолога F. A. Gibbs создал первый коммерческий электроэнцефалограф. В этой же лаборатории был создан один из первых компьютерных энцефалографов [12].

У исследователей ЭЭГ практически сразу появилась потребность иметь количественные параметры для выявления корреляции регистрируемых кривых с функциями разных отделов коры и со-

стоянием мозга, в условиях покоя и при афферентных раздражителях, у здоровых и больных людей. Важное значение для оценки патологических нарушений имеют также характеристики межцентральных отношений.

Первое опубликованное сообщение об использовании количественной ЭЭГ было сделано J. R. Knott в 1936 году. Он первый использовал количественную оценку ЭЭГ нормально говорящих людей и заик [12].

В отделе возрастной физиологии Харьковского НИИ охраны здоровья детей и подростков мы начали разрабатывать кЭЭГ методы в 1976 году (рис. 1) [3–5].

Сегодня трудно дать точную оценку в отношении количества лабораторий, использующих кЭЭГ. В обзоре производителей приборов для кЭЭГ, опубликованном в 1994 году, сделано предположение, что их более 1000 единиц в мире и приблизительно 500–600 в Северной Америке. Многие лаборатории заняты исключительно академическими исследованиями, в некоторых из них — оборудование не используется вовсе. Ориентировочно 600 лабораторий занимаются клинической практикой и 300 из них в Северной Америке [15].

## Предпосылки развития кЭЭГ

Появлению компьютерной ЭЭГ (кЭЭГ) способствовали несколько направлений развития науки и техники. На определенном этапе произошла интеграция этих достижений в виде компьютерной ЭЭГ. Электроэнцефалографисты всегда внимательно следили за развитием технологий в разных областях науки и техники и немедленно адаптировали эти достижения для целей ЭЭГ.

Можно выделить наиболее существенные факторы, которые обусловили сегодняшнее состояние и перспективы развития кЭЭГ.

### 1. Оборудование для энцефалографии.

Повышение качества усилителей. Совершенствование электроэнцефалографической техники, связанное с развитием микроэлектроники: многоканальные (до 256 каналов) усилители для ЭЭГ и вызванных потенциалов (ВП), миниатюризация, помехоустойчивость, мобильность.

### 2. Компьютерная техника.

Стремительное развитие вычислительной техники. Увеличение мощнос-



Рис. 1. Коррелятор ЭЭГ на базе аналоговой вычислительной машины АВМ МН-10. (Отдел возрастной физиологии, НИИ охраны здоровья детей и подростков, Харьков, Украина. 1976. Диплом ВДНХ СССР за 1984 г. (фото из архива профессора О. Ю. Майорова)

ти персональных компьютеров — процессоров, памяти, улучшение качества и размеров мониторов, увеличение емкости жестких дисков, мобильных носителей информации. Важным элементом в этом процессе является стыковка ЭЭГ усилителя и компьютера — появление многоканальных высокочастотных аналого-цифровых преобразователей.

### 3. Математические методы обработки биоэлектрических сигналов (временных рядов).

В результате повышения мощности персональных компьютеров появилась возможность реализовать сложные математические вычислительные алгоритмы, которые значительно повышают разрешающие способности метода ЭЭГ. Многие из этих методов были разработаны ранее, однако только в последние годы появилась возможность их практического применения.

### 4. Создание информационных медицинских нейродиагностических технологий.

Развитие операционных систем для персональных компьютеров, инструментов программирования, в том числе средств компьютерной графики и построения баз данных позволили создавать развитый дружественный интерфейс для мониторингования, регистрации, просмотра, сохранения и анализа ЭЭГ.

### 5. Стандартизация.

Начиная с появления первых коммерческих энцефалографов и до насто-

ящего времени, разрабатываются и корректируются стандартные требования к ЭЭГ оборудованию, протоколам и условиям обследования, процедурам анализа.

## Направления использования кЭЭГ

Компьютерная ЭЭГ используется как для традиционных рутинных клинических обследований, так и для глубоких исследований деятельности здорового и больного мозга.

Основными направлениями использования кЭЭГ, являются:

1. Визуальный анализ.
2. Специальные методы исследования, в том числе исследование вызванных потенциалов (ВП).
3. Количественная оценка фундаментальных свойств нервной системы (корреляционный, спектральный, парный когерентный анализ).
4. Исследование системной (интегративной) деятельности мозга (многомерный линейный и многомерный нелинейный (детерминистский хаос) анализ).



5. Сочетание кЭЭГ с вариабельностью сердечного ритма (BCP).

## Возможности и преимущества кЭЭГ для стандартного клинического обследования и визуального анализа

Компьютерная ЭЭГ позволяет перейти к безбумажной технологии, как для создания электронной медицинской записи пациента, так и для регистрации и хранения ЭЭГ.

Современные мониторы с высоким разрешением и большими размерами (19–21" и более), позволяют получать изображение более точное, чем при записи на бумагу, т.к. отсутствует инерция перьев, закрепленных на электромеханических гальванометрах, которые использовались в чернильно-пишущих электроэнцефалографах.

Первое разделение экрана (Split/video) было предложено E. S. Goldenson and R. Kochle в 1963 году для обучения и клинических нужд. На одной половине экрана можно было контролировать и просматривать ЭЭГ, на другой – видео-изображение [16].

Использование возможностей операционной системы Windows и некоторых других дало возможность значительно улучшить визуальный анализ за счет многооконного просмотра или разделения экрана монитора. Эта технология позволяет просматривать на одном экране разные события одной ЭЭГ сессии, сравнивать результаты текущего и предыдущих исследований на одном экране.

Другое важное преимущество кЭЭГ для визуального анализа – возможность математической фильтрации сигнала на этапе просмотра ЭЭГ на экране монитора и при последующем математическом анализе. Этому способствовали работы Н. Винера по фильтрации и прогнозированию временных рядов при помощи аппарата обобщенного гармонического анализа [45, 46].

Можно использовать целый набор математических фильтров. Математи-

ческие фильтры низких и высоких частот позволяют вырезать низкие (0–1 Гц) и высокие (более 30 Гц) частоты. Узкополосный фильтр (Notch filter) дает возможность «вырезать» только частоты, на которых идет сетевая помеха (50 или 60 Гц). Полезным для визуального анализа являются и полосовые фильтры ( $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ), позволяющие просматривать на экране динамику активности только в одном из диапазонов ЭЭГ.

Преимуществами кЭЭГ для визуального анализа являются также и возможности просматривать один и тот же участок ЭЭГ с различной разверткой (различной «скоростью бумаги»). С помощью быстрой протяжки – в 2–10 и более раз быстрее, чем время, затраченное на производство записи ЭЭГ, можно осуществить быстрый поиск участка ЭЭГ для анализа. Особенно это экономит время при анализе и поиске нужного участка после длительного суточного мониторинга ЭЭГ при нарушениях сна, эпилепсии.

Недостатком первых кЭЭГ систем были значительные ограничения размеров участка записи ЭЭГ. Регистрировались только короткие участки длительностью 2–10 с. В настоящее время оборудование позволяет производить холтеровское мониторирование по 21 каналу в течение 48 часов на миниатюрный мобильный электроэнцефалограф (см. статью доктора J. Schwind [7] в этом номере журнала).

Для облегчения выявления асимметрии ЭЭГ в симметричных отведениях используется выделение ЭЭГ цветом.

При визуальном анализе имеется возможность редактировать записи – вносить комментарии, пометать или выявлять артефактные участки [35], выбирать диагностически значимые участки ЭЭГ для компактной компоновки и последующей печати, для включения в медицинский отчет по результатам обследования.

## Специальные исследования с использованием кЭЭГ

К специальным исследованиям ЭЭГ с помощью кЭЭГ можно отнести:

1. Долговременные исследования нормального и патологического сна (полисомнография).

2. Долговременный мониторинг больных эпилепсией с автоматической

детекцией патологических элементов ЭЭГ (пиков, медленных волн, комплексов пик-волна и т.п.).

3. Определение локализации источников нормальной и патологической активности ЭЭГ и вызванных потенциалов (ВП). Решение обратной задачи ЭЭГ (инверсная проблема).

4. Исследование биоэлектрической активности глубинных структур мозга человека и животных через стереотаксически вживленные электроды.

5. Исследование вызванных потенциалов (ВП) и связанных с событиями потенциалов (event related potential – ERP).

6. Телемедицина. Теле ЭЭГ.

## Долговременные исследования нормального и патологического сна (полисомнография)

Особое место занимают исследования сна и сноподобных патологических состояний (кома и прекоматозные состояния).

Исследования ЭЭГ сна были впервые проведены Ch. Henry и J. Hadley в 1937 году. Они использовали одноканальную ЭЭГ регистрацию и кинокамеру [12].

Современные технологии наложения электродов (электродные шапочки, специальные электродные гели, неполяризующиеся электроды, мобильные энцефалографы) и специально разработанные информационные технологии позволили проводить долговременную непрерывную регистрацию ЭЭГ во время сна (полисомнограммы). Алгоритмы анализа сомнограмм дают возможность выделять и количественно оценивать время и соотношение фаз медленноволнового сна и фазу, сопровождающуюся быстрым движением глазных яблок с параллельной регистрацией вегетативных показателей. Эти исследования позволяют выявить, во время какой фазы сна происходит пробуждение, дают ценную диагностическую информацию, которая является основанием для назначения адекватной медикаментозной терапии в зависимости от длительности и соотношения фаз сна.

## Суточный мониторинг больных эпилепсией с автоматической детекцией патологических элементов ЭЭГ (пиков, медленных волн, комплексов пик-волна)

В 1954 году H. Gastaut и J. Bert провозгласили, что запись ЭЭГ для диагно-

стики эпилепсии необходимо делать «близко как только возможно к жизни» [16]. J. R. Stevens с соавт. [44] сообщили о первом использовании телеметрии для долговременного мониторинга эпилепсии. Об этом также сообщили R. S. Porter и J. K. Penry в 1971 году [36].

В 1964 году в лаборатории Ross Adey была разработана мультиплексорная система на основе частотной модуляции для записи многоканальной ЭЭГ на магнитную ленту. Эта система использовалась для регистрации ЭЭГ от глубоких электродов для локализации эпилептических фокусов при хирургическом лечении пациентов [8].

Мониторинг клинических судорожных приступов был возобновлен J. R. Ives, P. Gloog с соавт. в Монреальском Неврологическом институте в 1973 году [27]. Для мониторинга также были использованы телевидение и связанные с этим технологии. Там же этот метод успешно развивается до настоящего времени [18].

Метод позволяет регистрировать ЭЭГ в течение 24–48 часов с одновременным видео наблюдением за пациентом. Значение такого мониторинга очень велико, когда необходимо выявить наличие и локализацию эпиактивности, особенно в предприступный период и во время приступа.

Разработаны разнообразные математические алгоритмы для детекции эпиактивности в «on-line» и в «off-line» режимах.

Пионером в этой области является J. Gotman из Монреальского неврологического института [18, 19].

В нашей лаборатории функциональной диагностики Института охраны здоровья детей и подростков АМН Украины такая технология начала внедряться в 1994 году.

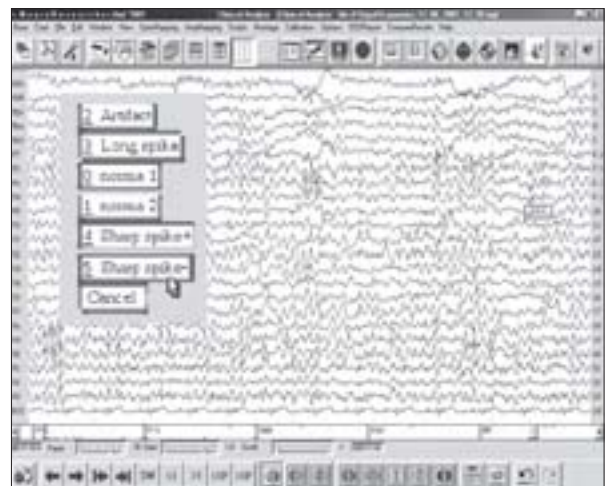
В 1994–97 годах нами были разработаны алгоритмы распознавания патологических элементов ЭЭГ в реальном времени (on-line) и при ретроспективном просмотре (4 усложняющихся алгоритма off-line). Кроме того, была создана технология, с помощью которой специалист – клинический нейрофизиолог может «обучить» компьютер распознавать необходимые патологические элементы. Этот модуль был включен еще в версию 5.5 системы кЭЭГ *NeuroResearcher*® (рис. 2). Специалист клинический нейрофизиолог выделяет на экране-мониторе типичные патологические графоэлементы (в том числе медленные волны, комплексы спайк-волн, спайки) и «обучает» компьютер распознаванию этих элементов *по каждому из отведенных* с учетом региональных особенностей областей полушарий. В широком смысле эта технология позволяет автоматически выделять различные состояния (не только эпилепсию), например, стадии наркоза, фазы сна и многое другое.

Одновременное видео наблюдение и привязка его по времени с выделен-

ными графоэлементами дает возможность в ряде случаев, в зависимости от характера мимики и двигательной активности, более точно локализовать фокусы патологической (эпилептической) активности.

### Определение локализации источников нормальной и патологической активности ЭЭГ и вызванных потенциалов (ВП). Решение обратной задачи ЭЭГ (инверсная проблема)

Цель рассматриваемого подхода, выявить (определить) источник биоэлектрической активности в глубоких структурах мозга по ЭЭГ или ВП, зарегистрированных с поверхности головы. Впервые эта идея была выдвинута выдающимся нейрофизиологом М. А. Brazier в 1949 г. [10]. Этой проблемой занимаются мощные научные центры, такие, как Ливерморская национальная лаборатория в США (система BrainStorm), институтим. Макса Планка в ФРГ (система BESA), Key-Institute в Швейцарии (LORETA), Институт неврологии РАМН в России (система Brain Loc) и др. Одним из пионеров этой проблемы в СНГ является



**Рис. 2. Технология долговременного (суточного) мониторинга больших эпилепсией.**

А. Мониторинг ЭЭГ с видео наблюдением.

Б. «Обучение» системы распознаванию патологических элементов ЭЭГ. (Система компьютерной ЭЭГ *NeuroResearcher*® '2003 (версия 11.1), Институт Медицинской информатики и Телемедицины).

В. В. Гнездицкий (Москва), который разрабатывает эту технологию с 1976 года [2].

До настоящего времени не выработаны стандарты такого рода исследований. Большинство компьютерных программ трехмерной локализации в основе своего алгоритма используют дипольную модель (методология дипольной локализации – DLM) [31, 41].

Эта модель имеет ограничения, вызванные тем, что энцефалографический сигнал сложен и нестационарен. Это приводит к тому, что математические методы обработки, применяемые для стационарных процессов, могут использоваться лишь с некоторым приближением. Результаты анализа ЭЭГ совершенно не обязательно совпадут с результатами, полученными повторно, даже через очень короткий промежуток времени.

Любое распределение потенциалов на поверхности головы сводимо к дипольному с некоторой ошибкой, величина которой не обоснована. И если ошибка после всех итераций слишком велика, предполагают наличие второго, третьего диполя и т.д. Трудно предсказать, сколько диполей должно быть в мозге и чем определяется это количество.

Дипольные модели в 30 % случаев дают выход за пределы радиуса головы. Для метода электроэнцефалографии это означает, что каждый третий результат анализа будет давать локализацию диполя за пределами головы.

Обратная задача в дипольном варианте при некоторых случаях распределения ЭЭГ сигнала не решается вообще.

В качестве входных данных в этой модели используются мгновенные значения электрического потенциала на поверхности головы. Они, однако, непрерывно меняются, размещается и диполь. Зачастую он имеет обыкновенное «гулять» по всей голове, и какому из его положений нужно уделить внимание, а какие игнорировать, не всегда понятно. Обычно рекомендуют анализировать только те моменты времени, в которые регистрируется спайк или спайк-волна.

В итоге – результат трехмерной локализации полностью зависит от некоторого стохастического выброса и повторение результата в следующие моменты времени является скорее исключением, чем правилом. Для решения этой проблемы приходится многократно определять локализацию. То место, где диполь бывает чаще всего, предлагается признавать очагом.

Следует отметить, что даже для случаев известной локализации электрической активности редко удается получить требуемую локализацию диполя.

Анализ недостатков дипольной модели, позволяет сделать заключение, что дипольная модель является недостаточно надежной для создания информационной технологии, предназначенной для реальной диагностики в неврологической и нейрохирургической практике. Необходим поиск моде-

ли, которая бы давала более однозначный и повторяемый результат [6].

Таким образом, инверсная проблема в ЭЭГ – это сложная, неоднозначно решаемая математическая задача, она еще далека от завершения. Имеется ряд методов и моделей, с помощью которых делаются попытки ее решения

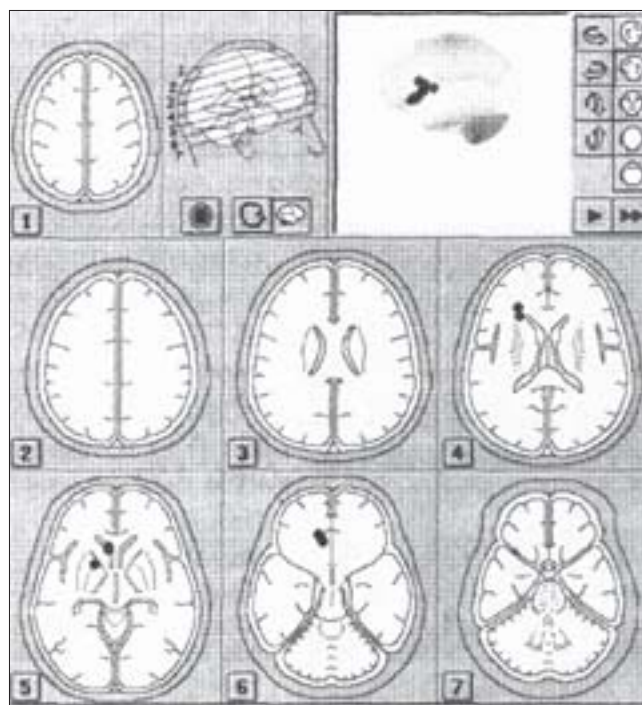


Рис. 3. Программа, основанная на методе дипольной локализации BrainLoc (Brain Localization System) [2].

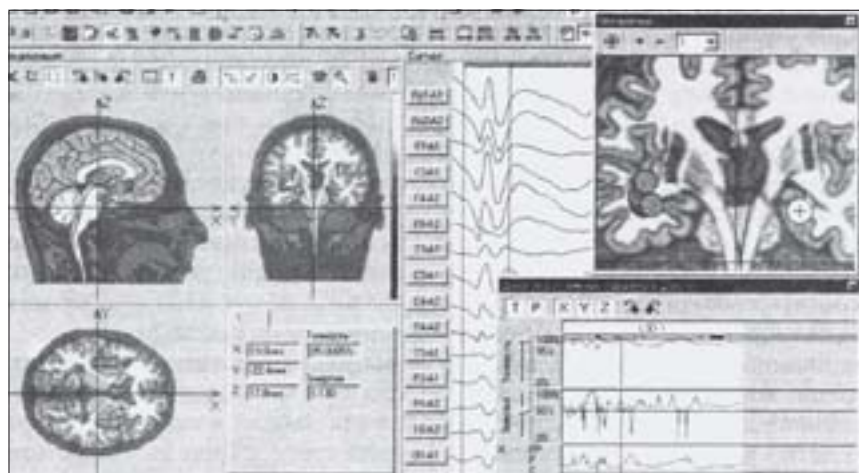


Рис. 4. Панель программы трехмерной локализации патологической активности мозга «Энцефалан-3d». Фирма «Медиком ИТД» [2].



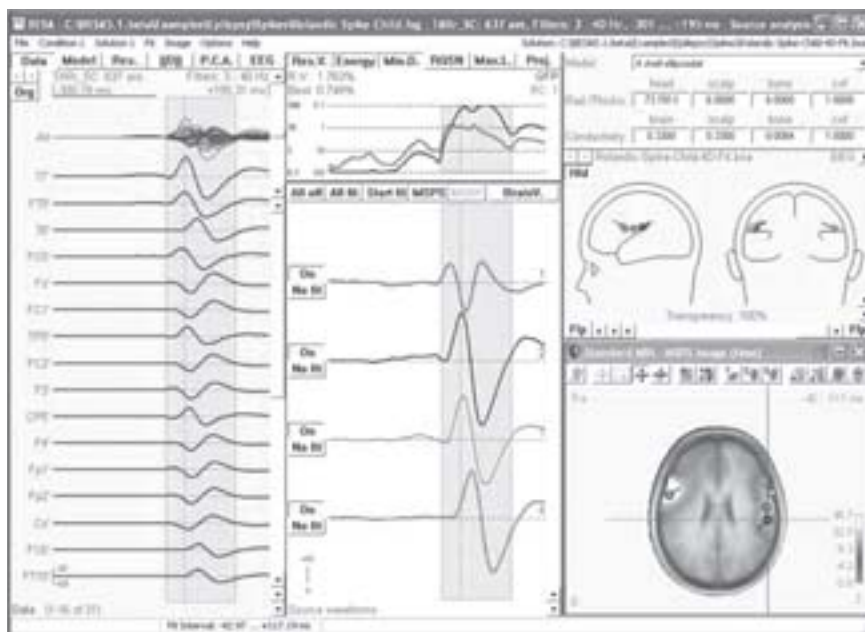


Рис. 5. Система BESA (Brain electric source analysis) для пространственно-временного анализа источников мозга (источников ВП) [20, 38–40].

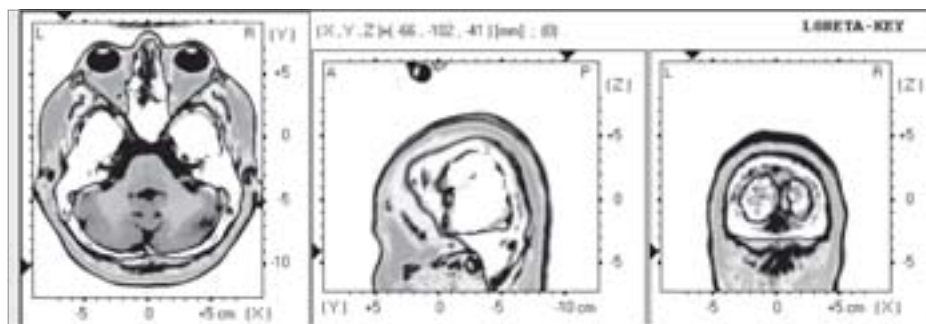


Рис. 6. Программа трехмерной локализации патологической активности мозга «LORETA» (электромагнитная томография низкого разрешения) [33].

(рис. 3–6). К сожалению, они относятся к классу некорректных с математической точки зрения задач, т.к. не имеют однозначного решения. Мы считаем, что предлагаемые коммерческие системы сегодня можно использовать только в научных исследованиях, но не полагаться на их результаты для диагностики, т.к. вероятность диагностической ошибки очень велика [6].

Следует отметить, что появились специальные устройства для точной фиксации местоположения электродов («быстрые» электродные шапочки, трехмерные дигитайзеры ISOTRAK, FASTTREK фирмы Polhelmus Inc. (США) и др.), что повышает точность метода.

### Исследование вызванных потенциалов (ВП)

Метод исследования вызванных потенциалов и связанных с событиями потенциалов (event related potential – ERP) входит в арсенал современной нейродиагностики. Это весьма информативный метод для получения достоверной информации о состоянии нервной системы здорового и больного организма.

Основной технологический прием при выделении ВП – метод когерентного (синхронного) накопления. При этом проводится синхронно с подавае-

мым стимулом многократное накопление ответов (ВП) с последующим их усреднением. Момент подачи стимула является опорным моментом для начала суммации. Увеличение числа суммаций позволяет лучше выделить сигнал из шума (из ЭЭГ). Методика когерентного усреднения впервые была предложена G. D. Dawson в 1954 году [14].

Развитие информационных технологий кЭЭГ совершенно изменило методику и оборудование, необходимые для регистрации и анализа ВП и ERP. Если в докомпьютерную эру для накопления ВП использовались трудоемкие методы с применением осциллогра-

фов, фотопленки и т.п., то в настоящее время имеется целый арсенал методов не только для когерентного усреднения ВП, но и для всестороннего их анализа.

Если на начальных этапах, в основном, была возможность исследовать поздние компоненты ВП (более низкочастотные), то с появлением высокочастотных многоканальных, высокоразрядных (до 16 разрядов) аналого-цифровых преобразователей (с частотой дискретизации 1000–5000 Гц и более) стало возможным работать с коротколатентными компонентами ВП и ERP. Этот информативный, неинвазивный метод широко используется во многих лабораториях.

Методику исследования ВП и ERP реализуют многие системы компьютерной ЭЭГ. Однако имеется ряд коммерческих систем, которые предназначены только для исследования ВП и ERP, их называют нейроусреднителями.

Для анализа ВП и ERP используются различные математические методы анализа: корреляционный, спектральный, метод автоматического регулирования, фазочастотный метод (используется преобразование Гильберта), векторный анализ, метод дипольной локализации.

Подобное рассмотрение методов исследования ВП и ERP выходит за рамки этого обзора. Детально проблема представлена в работе [2].

Следует лишь отметить, что практически все упомянутые в предыдущем разделе системы для компьютерной ЭЭГ имеют режимы для исследования ВП и ERP.

## Телемедицина. Теле ЭЭГ

Телемедицина в области ЭЭГ имеет большое практическое значение, т.к. число врачей – специалистов по клинической нейрофизиологии ограничено. Как правило, они работают в специализированных лечебных учреждениях психоневрологического профиля. В тоже время ЭЭГ легко может быть преобразована в цифровую форму и передана в специализированную лабораторию. Кроме того, можно за сравнительно короткое время обучить технический персонал правильной регистрации ЭЭГ.

В 1947 году С. С. Breakell с соавт. (Англия) получили лицензию от Министерства связи на использование частоты 158,75 МГц для телеметрии ЭЭГ сигнала. Был опубликован отчет об успешной передаче и приеме ЭЭГ и применении этих приложений для портативного долговременного мониторинга [11].

Впервые в США телемедицинская технология ЭЭГ была продемонстрирована в апреле 1963 года. Ch. D. Ray и R. G. Bickford передали ЭЭГ по телефону из Мэйо Клиники (Миннеаполис, США) в лабораторию W. G. Walter (Бристоль, Великобритания) [28, 29].

Лаборатория Ross Adey была также пионером в развитии телеметрии ЭЭГ [8, 36].

В Канаде пионером теле ЭЭГ был Max House, который внедрил эту технологию в Мемориальном университетском госпитале Ньюфаундленда в конце 1970-х годов. Эта сеть сегодня обслуживает 6 периферических госпиталей и выполняет около 800 телеконсультаций в год. За последние 14 лет проведено 10000 телеконсультаций ЭЭГ [21, 22].

В Европе пионером применения телемедицинских технологий в клинической нейрофизиологии является Eric Stalberg [42, 43], который создал в Швеции систему дистанционного консультирования по ЭЭГ, нейромиеографии и электронейрографии (ЭНеГ) (исследование периферической нервной системы, определение скорости проведения импульсов по нервам конечностей). Здесь проводится до 80 телеконсультаций по электромиографии в неделю. Лаборатория имеет связь с другими лабораториями во многих странах мира – в Норвегии, Словении, Турции, Венгрии, Австралии, Финляндии, Германии и Японии, которые используют идентичное оборудование для регистрации. Файлы передаются, главным образом, через Интернет.

На основе многолетнего опыта Американское электроэнцефалографическое Общество приняло руководящие принципы для телефонной передачи ЭЭГ [9].

В последние годы в Европе реализован крупный инновационный проект в области телематики – европейская Неврологическая Сеть (ENN). Основная цель проекта – создание мультимедийной телемедицинской сети, звенья которой расположены в разных странах Европейского Союза, для оказания консультаций узким специалистам и терапевтам (врачам общей практики) по вопросам патологии сна, головной боли и эпилепсии [34]. В рамках ENN сформирован банк данных для образовательных и консультационных целей.

Современное оборудование и качество каналов связи позволяют пересылать записи 32 каналов ЭЭГ. Например, 32-канальная запись ЭЭГ при частоте дискретизации 200 Гц/с и 16 разрядном АЦП образует файл размером всего 23 Мб [30].

Теле ЭЭГ и другие нейрофизиологические телемедицинские приложения могут использоваться для нескольких целей. Они включают: постановку первичного диагноза; получение «второго мнения» от известных авторитетных специалистов; во время текущей работы специалистов – клинических нейрофизиологов в центральном госпитале; для специальной оценки ЭЭГ, доступной также в течение курортных сезонов; для проведения образовательных конференций; для создания референтных (нормативных) банков данных по клинической нейрофизиологии (ЭЭГ, ЭМГ, ЭНеГ); для стандартизации методов и проверки качества.

## Заключение

Компьютерная ЭЭГ – объективный метод исследования центральной и периферической нервной системы, который широко используется в клинике внутренних болезней, неврологии и психиатрии.

кЭЭГ существенно изменила классическое ЭЭГ обследование и дала качественно новые возможности для количественной оценки состояния нервной системы.

Эта технология очень быстро развивается благодаря достижениям микроэлектроники, компьютерной техники, технологиям связи, математическим методам анализа и клинической информатики.

В связи с этим сегодня на первый план выходят проблемы стандартизации методов, оборудования [13, 15, 32] и постоянного обучения специалистов – врачей и техников [23, 24].

## Литература

1. Биопотенциалы мозга человека. Под. ред. Русинова В. С. 1987. М. Медицина. 254 с.
2. Гнездицкий В. В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография. Изд-во Таганрогского радиотехнического университета. 2000. 634 с.
3. Майоров О. Ю. Метод автоматического статистического анализа ЭЭГ. Материалы Всесоюзной конференции по электрофизиологии ЦНС. Издательство АН АрССР. Ереван. 1980. с. 341–342.

4. Майоров О. Ю., Глухов А. Б. Обоснование параметров и оценка погрешностей при цифровом спектральном анализе ЭЭГ. Физиология человека, Том 14, № 1 — 1988, с. 81–86. Москва.
5. Майоров О. Ю., Глухов А. Б. Ошибки спектральных оценок при исследовании биоэлектрической активности мозга (ЭЭГ). Труды института кибернетики. 2001. с. 80–93.
6. Майоров О. Ю., Мирошник Ю. В. Недостатки дипольной модели, применяемой для моделирования генераторов электрической активности мозга при их трехмерной локализации в объеме головного мозга. Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. 2004. Серія «Медицина». Випуск 8. № 617. с. 116–117.
7. Швинд Й. Новые пути в традиционной ЭЭГ диагностике. Ж. Клин. Информ. и Телемед. 2004. Т.1. N2. с. 145–150.
8. Adey W. R., Hanley J., Kado R. T., Zweizig J. R. A multichannel telemetry system for EEG recording. Proc. Symp. Biomed. Eng. Marquette Unit. 1966. N1. p.p. 36–39.
9. American Electroencephalographic Society. Guideline six: recommendations for telephone transmission of EEGs. J. Clinical Neurophysiology vol.11 N1. p.p. 28–29. 1994.
10. Brazier M. A. A study of the electrical fields at the surface of the head. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 1949. Suppl.2. p.p. 38–52.
11. Breakel C. C., Mane L. D. S., Parker C. S., Christopherson F. Radio transmission of the human electroencephalogram and other electrophysiological data. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1949. 1: p.p. 243–244.
12. Collura Thomas F. History and Evolution of Electroencephalographic Instruments and Techniques. J. Clinical Neurophysiology. 1993. vol.1. N4. p.p. 476–504.
13. Current Practice of Clinical Electroencephalography. Second Edition. Eds. David D. Daly and Timothy A. Pedley. Lippincott Williams & Wilkins. 1997. 824 p.
14. Dawson G. D. A summation technique for the detection of small evoked potentials. EEG and Clin. Neurophysiol. 1954. vol.6. p.p. 65–84.
15. Duffy F., Hughes J., Miranda F., Bernad P., Cook P. Status of quantified EEG (qEEG) in clinical practice. J. Clinical Electroencephalography 1994. vol.25. N4. p.p. 6–22.
16. Gastaut H., Bert J. EEG changes during cinematographic presentation. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1954. vol.6. p.p. 433–444.
17. Goldensohn E. S. Simultaneous recording of EEG and clinical seizures using kinescope. J. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1966. vol.21. p. 623.
18. Gotman J., Automatic recognition of epileptic seizures in the EEG, Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., vol. 54. 1982. p.p. 530–540.
19. Gotman J. and Gloor P., Automatic recognition and quantification of interictal epileptic activity in the human scalp. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 41 (1976) 513–529.
20. Hoehstetter K., Bornfleth H., Weckesser D., Ille N., Berg P., Scherg M. BESA source coherence: A new method to study cortical oscillatory coupling. Brain Topography. 2004. vol.16. p.p. 233–238.
21. House A. M. Telemedicine in Canada. Canadian Medical Association journal. Vol.117. p.p. 386–388. 1977.
22. House A. M. Telecommunications for Health Care. From BD Kerlin (ed) Mitre Conference on the Expanding Role of Telecommunication in Health Care Telehealth. 2000. p.p. 83–90. 1990.
23. Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Frequency and Correlation Analysis. (Editor: M. Matousek). V.5, Part A., 1973. Elsevier).
24. Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Part B., Digital processing of Bioelectrical Phenomena. (Editor: D. O. Walter). V.4, Part B., 1972. Elsevier.
25. Hanley J., Zweizig J. R., Kado R. T., Adey W. R., Rovner L. D. Combined telephone and radiotelemetry of the EEG. Electroencephalogr. Clinical. Neurophysiology. 1969. 26. N3. p.p. 323–324.
26. House A. M. Telemedicine in Canada. Canadian Medical Association journal vol.117. p.p. 386–388. 1977.
27. Ives J. R., Thompson C. J., Gloor P. Seizure monitoring: a new tool in electroencephalography. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1976. 41. p.p. 422–427.
28. Klass D. W., Bickford R. G. Reflections on the birth and early development of EEG at the Mayo Clinic. J. Clin. Neurophysiol. 1992. N9. p.p. 2–20.
29. Kellaway P. W. Grey Walter: a memoir of an extraordinary man. J. Clin. Neurophysiol. 1990. N7. p.p. 157–161.
30. Loula O. P., Rauhala E., Erkinjuntti M., Raty E., Hirvonen K., Hakkinen V. Distributed clinical neurophysiology. Journal of Telemedicine & Telecare. Vol. 3 N2. p.p. 89–95. 1997.
31. Nunez P. L. Electrical Fields of the braine. Oxford University Press. N. Y. 1984.
32. Nuwer M. R., Comi G., Emerson R., Fuglsang-Frederiksen A., Guerit J. M., Hinrichs H., Ikeda A., Luccas F. J. C., Rappelsburger P. IFCN standards for digital recording of clinical EEG. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. 1998. V. 106. p.p. 259–261.
33. Pascual-Marqui R. D., Michel C. M. LORETA (Low Resolution brain Electromagnetic Tomography): new authentic 3D functional images of the brain: ISBET Newsletter No. 5, November 1994, ISSN 0947-5133, p.p. 4–8.
34. T. Penzel, R. Conradt, C. Guilleminault, K. Kesper, T. Paiva, JH Peter: A European Neurological Network Using Telematics' From T Penzel, S Salmons, M Neuman (eds) Biotelemetry XIV, Proc. 14. Symposium on Biotelemetry, Tcctum Verlag, Marburg, p.p. 51–56, 1998.
35. Picton T. W., van Roon P., Armiljo M. L., Berg P., Ille N., Scherg M. The correction of ocular artifacts: a topographic perspective. J. Clinical Neurophysiology. 2000. vol. 111 p.p. 53–65.
36. Porter R. S, Wolf A., Penry J. K. Human electroencephalographic telemetry. Am. J. EEG Technol. 1971. N1. p.p. 145–159.
37. Sau Martini P., Venturini R., Zapponi G. The driving reaction as a method of studying individual differences of higher nervous activity. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 1977, vol. 43, N 4. p. 558.
38. Scherg M., Von Cramon D. Two bilateral sources of the late AEP as identified by a spatio-temporal dipole model. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. 1985. 62. p.p.: 32–44.
39. Scherg M., Bast T., Berg P. Multiple source analysis of interictal spikes: goals, requirements, clinical value. J. Clinical Neurophysiology. 1999. 16. p.p. 214–224
40. Scherg M., Ille N., Bornfleth H., Berg P. Advanced tools for digital EEG review: virtual source montages, whole-head mapping, correlation, phase analysis. Journal of Clinical Neurophysiology. 2002. vol.19. N 1. p.p. 91–112.
41. Schneider M., Gerin P. Une methode de localization des dipoles cerebraux. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., 1970, vol. 28, N 1. p.p. 69–78.
42. Stalberg E. Telemetric long-term EEG recording. Electroencephalogr. Clinical Neurophysiology. vol. 26. N3. p. 341. 1969.
43. Stalberg E., Stalberg S., Ytterberg P., Flink R., Ahlmark G. Tele-EMG. Improved neurophysiological service which may be used during examination. Lakartidningcn vol.92. N14. p.p. 489–490. 1995.
44. Stevens J. R., Milstein V. M., Dodds S. Prolonged recording of EEG by radiotelemetry: an aid to localization and treatment of epilepsy. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol. 1969; 27:544.
45. Wiener N. I am a Mathematician. Doubleday&Company, Inc. 1956, Garden City, New York.
46. Wiener N. Cybernetics or Control and Communication in the animal and the machine. Second Edition. New York – London. 1961.

## Computer EEG — past, present, future

### Part 1. A history of qEEG development, the review of special methods of research

**O. Yu. Mayorov**

*Institute of Medical Informatics and  
Telemedicine, Kharkiv, Ukraine  
The Kharkiv Medical Academy  
of Postgraduate Education under the  
Ministry of Health of Ukraine  
Institute of Children and Adolescents  
of Health Protection under the Academy  
of Medical Science of Ukraine, Kharkiv*

#### Abstract

The paper is devoted to a history of qEEG development, to an estimation of a condition and prospects of the further development of this method.

In Part 1 some historical data on origin of qEEG and the brief review of modern methods of EEG research which enter into an arsenal of clinical neurophysiologists are resulted. Among them: advantages of qEEG at the classical visual analysis, technology of sleep research pathology, long-term monitoring at epilepsy, sources localization of normal and pathological EEG/EP activity (an inverse problem), digital technologies at EP/ERP registration.

The Part 2 is devoted to classical and newest mathematical methods of the EEG / EP analysis.

**Key words:** quantitative EEG (qEEG), sleep researches (polysomnography), long-term EEG monitoring at epilepsy, sources localization (inverse problem), computer EP / ERP.

## Комп'ютерна ЕЕГ – минуле, сучасне, майбутнє

### Частина 1. Історія розвитку кЕЕГ, огляд спеціальних методів дослідження

**О. Ю. Майоров**

*Інститут Медичної інформатики  
і Телемедицини, Харків, Україна  
Харківська медична академія  
післядипломної освіти МОЗ України  
Інститут охорони здоров'я дітей  
та підлітків АМН України, Харків*

#### Резюме

Робота присвячена історії розвитку кЕЕГ, оцінці стану та перспективам подальшого розвитку цього методу.

В частині 1 наведені деякі історичні відомості про зародження кЕЕГ та короткий огляд сучасних методів дослідження ЕЕГ, які входять до арсеналу клінічних нейрофізіологів. Серед них: переваги кЕЕГ при класичному візуальному аналізі, технології дослідження патології сну, тривалий моніторинг при епілепсії, локалізація джерел нормальної і патологічної ЕЕГ активності (інверсна проблема), цифрові технології при реєстрації ВП / ERP.

**Ключові слова:** кількісна ЕЕГ (кЕЕГ), дослідження сну (полісомнографія), зворотня задача, тривалий моніторинг ЕЕГ при епілепсії, локалізація джерел (інверсна проблема), комп'ютерні технології реєстрації ВП / ERP.

## Переписка

д.м.н., професор **О. Ю. Майоров**  
Інститут Медичної інформатики  
и Телемедицины  
а.я. 7313, Харьков, 61002  
Украина  
эл. почта: institute-MIT@ukr.net  
тел.: +380 (57) 700 68 81