

УДК 612.213

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

Г. Б. Широкий<sup>1</sup>, А. В. Иляхинский<sup>1</sup>, В. М. Леванов<sup>2</sup>, И. С. Мухина<sup>2</sup><sup>1</sup>ЗАО «СКБ» «Инфотранс», Нижний Новгород, Россия<sup>2</sup>ГБОУ 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  $\beta$ -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 кардиорегистраторы, 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).

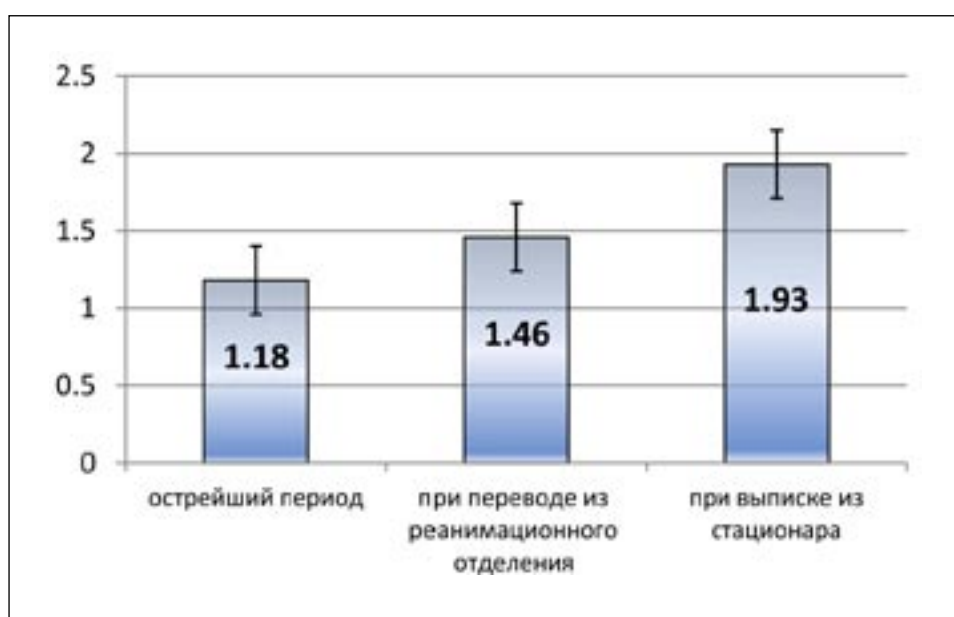


Рис. 2. Динамика значений коэффициента адаптации в зависимости от стадии лечения мозгового инсульта.

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. Shiroky<sup>1</sup>, A. V. Ilyahinsky<sup>1</sup>  
V. M. Levanov<sup>2</sup>, I. S. Mukhina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Joint-Stock Company Special Design Bureau «Infotrans», Nizhny Novgorod, Russia  
<sup>2</sup>Nizhny 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  $\beta$ -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 адаптаційних регуляторних систем організму людини при аналізі вариабельності серцевого ритму

Г. Б. Широкий<sup>1</sup>, А. В. Іляхінський<sup>1</sup>  
В. М. Леванов<sup>2</sup>, І. С. Мухіна<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАТ «СКБ» «ІНФОТРАНС»  
Нижній Новгород, Росія  
<sup>2</sup>ГБОУ 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  $\beta$ -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](mailto:levanov53@yandex.ru)