

Tapanainen JM et al. // The American Journal of Cardiology. – 2002, August 15. – №90(4). – P. 347–352.

3. Ruelle, D. On the nature of turbulence / D. Ruelle, F. Takens // Commun. Math. Phys. – 1971. – Vol. 20. – P. 167–192.

4. Stein P.K. Traditional and nonlinear heart rate variability are each independently associated with mortality after myocardial infarction / P.K. Stein, P.P. Domitrovich, H.V. Huikuri et al // Journal of Cardiovascular Electrophysiology. – 2005, January. – №16(1). – P. 13–20.

5. Takens, F. Detecting strange attractors in turbulence / F. Takens // Warwick Lecture Notes in Math. – W. Berlin: Springer, 1980. – Vol. 898. – P. 366–381.

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ МИКРОСТРУКТУРЫ РИТМА СЕРДЦА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОУПРАВЛЯЕМОГО ИГРОВОГО ТРЕНИНГА**

**Якунченко Т.И., Пятакович Ф.А.**

*Белгородский государственный  
университет, Белгород,  
e-mail: piatakovich@mail.ru*

**Актуальность темы.** В последние годы в реабилитационную медицину внедрены новые информационные технологии лечения, использующие биоправляемый игровой тренинг на основе фундаментальных принципов хронобиологии [1, 2].

Использование мультипараметрической обратной связи в этих системах приводит к необходимости постоянно оценивать объективное состояние ведущих физиологических систем организма пациента в режиме on line.

Биотехническая система биоправляемого игрового тренинга наряду с программным модулем реализации игровых сюжетов должна содержать и диагностический модуль. Последний предназначен для анализа динамики текущих мониторируемых показателей и последующей оценки параметров, отражающих степень успешности и эффективности после завершения тренинга [3, 4].

Работа выполнена при поддержке проекта РНПВШ.2.2.3.3/4307 и в соответствии с планами проблемной комиссии по хронобиологии и хрономедицине РАМН и научным направлением медицинского факультета БелГУ «Разработ-

ка универсальных методологических приемов хронодиагностики и биоправления на основе биоциклических моделей и алгоритмов с использованием параметров биологической обратной связи».

**Цель и задачи исследования:** целью является оптимизация диагностических исследований по оценке успешности и эффективности проводимого биоправляемого игрового тренинга.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать информационные модели микроструктуры паттерна вариативности межпульсовых интервалов.

2. Провести исследования на адекватность разработанных моделей реальным функциональным состояниям человека.

3. Разработать алгоритм классификации степени активности автономной нервной системы.

#### **Методы исследования**

Включают использование системного анализа с декомпозицией целей и функций разрабатываемой системы, моделированием рассматриваемых патологических процессов и биотехнической системы оценки успешности и эффективности биоправляемого игрового тренинга.

#### **Основное содержание работы**

Для решения поставленных задач был использован микроструктурный анализ ритма сердца. Данная модель рассматривается нами в виде последовательного развертывания цепи событий, имеющих условно-вероятностный характер.

В табл. 1 рассмотрены составляющие компоненты микроструктурной модели паттерна HRV.

Эти компоненты включают вектор повторяющихся значений предыдущего и последующего интервалов RR, временную составляющую из нулевых, укорачивающих и удлиняющих коррекций интервала RR.

Алфавит системы включает все классы дифференциальной гистограммы распределения межпульсовых интервалов, включающих диапазоны норморитмии, тахиритмии и брадиритмии, встречающихся как в норме, так и в патологии. При вычислении учитываются и нулевые классы.

Информационные показатели модели соответствуют параметрам энтропии ритма сердца. Функциональные показатели модели характеризуются формулами вычисления параметров энтропии ритма сердца, каждый из которых характеризует ту или иную меру процесса. В частности, нормированная энтропия  $H_N$  характеризует меру хаоса ритма сердца и отражает степень активности вегетативной или автоном-

ной нервной системы (АНС). Нормированная энтропия вычисляется в виде отношения фактической энтропии к двоичному логарифму числа 500 ( $H_N = (-\sum P_i \log_2 P_i) / \log_2 500$ ).

Таблица 1

Микроструктурная модель паттерна HRV

Алфавит системы паттерна HRV: 61 класс дифференциальной гистограммы	Положительные коррекции удлиняют интервал RR		Нулевые коррекции не изменяют длительности интервала RR		Отрицательные коррекции укорачивают интервал RR
Информационные показатели модели	$H_0$ Максимальная энтропия	$H$ Фактическая энтропия	$h$ Коэффициент сжатия	$R$ Коэффициент избыточности	$S$ Случайность
Функциональные показатели модели	$H_0 = \log_2 m$	$H = -\sum P_i \log_2 P_i$	$h = H/H_0$	$R = 1 - h$ ( $H_0 - h$ )/( $H_0$ )	$H/H_0 - H$
Мера процесса	Максимальная мера хаоса	Фактическая мера хаоса	Непредсказуемость	Репродуктивность	Стохастичность

В заключительной экспериментальной части работы были проведены исследования на адекватность разработанных моделей реальным электрофизиологическим процессам.

Для этих целей были проанализированы 139 записей межпульсового интервала у 69 пациентов, имевших нормальный синусовый ритм. Каждый обследуемый записан в положе-

нии сидя и в положении стоя. Обследованные пациенты находились в различных функциональных состояниях. В результате были получены шесть классов нормированной энтропии, которые соответствовали этим функциональным состояниям и дифференцированной степени активности автономной нервной системы (АНС) человека.

Таблица 2

Показатели нормированной энтропии микроструктуры ритма сердца и степень активности автономной нервной системы (АНС)

№ п/п	Аббревиатура степени активности АНС	Степень активности АНС	Диапазоны нормированной энтропии
1	РВП СНС	Резко выраженное преобладание симпатической нервной системы	0,000–0,034
2	ВП СНС	Выраженное преобладание симпатической нервной системы	0,035–0,129
3	УП СНС	Умеренное преобладание симпатической нервной систем	0,130–0,149
4	НОРМА	Равновесное состояние между симпатиком и парасимпатиком	0,150–0,189
5	УП ПСНС	Умеренное преобладание парасимпатической нервной системы	0,190–0,250
6	ВП ПСНС	Выраженное преобладание парасимпатической нервной системы	> 0,250

Выраженные психоэмоциональные нагрузки или тяжелые физические нагрузки приводят к мобилизации адренергических механизмов с резко выраженным преобладанием симпатической нервной системы.

Если испытуемый реализует активную деятельность, подвергается обычным, повседневным психоэмоциональным нагрузкам, то у него реализуется выраженная степень активности симпатической нервной системы.

Процесс дневного отдыха, как, например, чтение книги, игры на музыкальных инструментах сопровождается мобилизацией адренергических механизмов с умеренным преобладанием активности симпатической нервной системы.

Если формирование микроструктурного паттерна HRV реализуется под влиянием дремоты, сна, то у человека мобилизованы холинергические механизмы регуляции с умеренным или выраженным преобладанием парасимпатической нервной системы.

Гармоническое взаимодействие адренергических и холинергических механизмов регуляции ритмом сердца свидетельствует о норме.

#### **Выводы**

1. Разработаны условно-вероятностные модели паттерна вариативности межпульсовых интервалов, характеризующие микроструктуру ритма сердца и отличающиеся аппроксимацией посредством дифференциального закона распределения.

2. Разработаны составляющие компоненты микроструктурного паттерна вариативности межпульсовых интервалов, включающие информационные и функциональные параметры модели, отличающиеся вычислением показателей непредсказуемости, репродуктивности и стохастичности паттерна.

3. Выявлена строго определенная архитектура взаимосвязей параметров информационной

модели, которая соответствует гармоническому, детерминированному, квазидетерминированному, квазистохастическому и стохастическому режимам управления ритмом сердца.

4. Разработаны информационные модели микроструктуры паттерна вариативности межпульсовых интервалов.

5. Проведены исследования на адекватность разработанных моделей реальным функциональным состояниям человека.

6. Разработан алгоритм классификации степени активности автономной нервной системы.

7. Вычисление показателей нормированной энтропии микроструктуры ритма сердца позволяет оценивать эффективность биоуправляемого игрового тренинга.

#### **Список литературы**

1. Макконен К.Ф. Игровой модуль с реализацией стратегии, направленной на избегание неудачи / К.Ф. Макконен, Ф.А. Пятакович, А.С. Новоченко // Фундаментальные исследования. – 2007. – №1. – С. 70–72.

2. Макконен К.Ф. Модели и алгоритмы биоуправления в информационной системе игрового автомобильного тренинга / К.Ф. Макконен, Ф.А. Пятакович // Системный анализ и управление в биомедицинских системах: журнал практической и теоретической биологии и медицины. – М., 2008. – Т.7, № 1. – С. 177–181.

3. Пятакович Ф.А., Якунченко Т.И. Иерархия режимов управления ритмом сердца на основе анализа энтропийной функции // Проблемы ритмов в естествознании. Материалы второго международного симпозиума (1-3 марта). – М., 2004. – С. 341–344.

4. Pyatakovich F.A., Yakunchenko T.I. Biotechnical system of car game training based on use of a multiparametrical feedback and subsensitivity light signals of control // European journal of natural history. – № 6. – 2009. – С. 38–40.