



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.67

КОМПЬЮТЕРНЫЙ МОДУЛЬ АНАЛИЗА ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И БИОУПРАВЛЯЕМОГО ИГРОВОГО ТРЕНИНГА

COMPUTER MODULE FOR HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS IN MULTIPARAMETER DIAGNOSTIC SYSTEM AND BIOFEEDBACK GAME TRAINING

М.А. Сурушкин
M.A. Surushkin

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85*

*Belgorod State National Research University,
85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia*

E-mail: surushkin@bsu.edu.ru

Аннотация. В данной статье содержится описание компьютерного модуля анализа вариабельности сердечного ритма, результаты которого используются для определения эффективности биоуправляемого игрового тренинга, направленного на коррекцию функционального состояния и развитие адаптационных возможностей организма человека.

Resume. This article contains a description of the computer module for heart rate variability analysis. The results of this analysis are used to determine the efficiency of biofeedback game training for correcting the functional state and the development of adaptive capacities of the human body.

Ключевые слова: биотехническая система, вариабельность сердечного ритма, компьютерная диагностика, игровой тренинг, оценка эффективности, мультипараметрический сигнал биоуправления.

Keywords: biotechnical system, heart rate variability, computer diagnostics, game training, evaluation of efficiency, multiparameter signal of biofeedback.

Введение

Решение проблемы оценки и коррекции функционального состояния человека является актуальной задачей современного общества, отличающегося наличием больших физических и психических нагрузок на человека. Высокий темп активности индивидуумов, соответствующий возникающим социальным запросам, способствует нарушению режимов питания, отдыха, сна и других видов деятельности, которое является дополнительной стресс-нагрузкой на организм человека. Адаптационные возможности организма не всегда соответствуют тому объему нагрузки, с которым приходится справляться человеку в повседневной жизни. Следствием этой проблемы являются длительные нарушения функциональной деятельности организма, способные привести к развитию различных заболеваний. В связи с этим, своевременные процедуры по выявлению отклонений и коррекции функционального состояния могут рассматриваться как успешные средства профилактики множества заболеваний.

Проблема снятия избыточного напряжения у человека и обучения его методам противодействия стрессу может успешно решаться путем применения технологий компьютерного биоуправления. Биоуправление – метод биологической обратной связи (БОС) – современный не медикаментозный метод совершенствования нормальных, здоровых и коррекции нарушенных или не оптимально работающих функций организма, основанный на целенаправленной активизации резервных возможностей организма [Джафарова О.А., 2002].



Одним из последних появившихся направлений в области технологий биологической обратной связи является компьютерное игровое биоуправление. Применение биоуправляемых игровых систем позволяет значительно повысить успешность антистрессового тренинга, поскольку игровая деятельность способствует наилучшему восприятию паттернов адаптации [Вангревич О.А., 2004]. Компьютерная игра имеет несколько преимуществ в сравнении с другими средствами тренинга. Во-первых, она, как любой вид игровой деятельности, носит соревновательный характер. Во-вторых, современный уровень развития компьютерных технологий предоставляет возможность создания сложной по сюжету и привлекательной по внешнему виду игровой среды, моделирующей стрессовую ситуацию. Такая система лучше воспринимается участниками тренинга и позволяет увеличить их интерес к процессу обучения приемам адаптации.

При использовании метода БОС важным вопросом является определение успешности и эффективности проводимого тренинга. Итоговым показателем результативности сеансов является изменение функционального состояния согласно выбранному паттерну адаптации [Макконен К.Ф., 2007]. И если качественная оценка эффективности тренинга возможна, например, путем установления общего самочувствия человека после проведения сеансов, то количественная оценка успешности должна производиться путем анализа определенного измеряемого функционального показателя [Сурушкин М.А., 2010].

Одним из способов оценки функционального состояния различных отделов вегетативной нервной системы является анализ variability сердечного ритма (BCP), основанный на определении и изучении последовательности NN-интервалов (normal-to-normal) кардиограммы [Баевский Р.М., 2005].

Результаты анализа BCP представляются в виде количественной оценки функционального состояния человека и, следовательно, могут быть использованы для изучения динамики реакции организма на разнообразные нагрузки, в том числе в процессе тренинга.

Применение анализа variability сердечного ритма для оценки успешности коррекции функционального состояния

Исследования variability сердечного ритма были проведены еще в начале 60-х годов на основании математического анализа ритма сердца в кардиологии, хирургии, физиологии труда и спорта, экспериментальной физиологии, благодаря чему получили развитие представления о значении показателей вегетативного баланса для оценки неспецифических адаптационных реакций. В результате в 2000 году в соответствии с решением Комиссии по клинико-диагностическим приборам и аппаратам Комитета по новой медицинской технике МЗ РФ были разработаны методические рекомендации анализа variability сердечного ритма, которые используются сегодня при разработке различных компьютерных диагностических и терапевтических комплексов [Баевский Р.М., 2005].

Согласно этим рекомендациям оценка BCP производится с использованием трех групп методов:

- статистические методы анализа временной области, направленные на исследование общей variability;
- методы частотной области для исследования периодических составляющих BCP;
- интегральные показатели BCP.

Для осуществления анализа variability при проведении сеансов биоуправляемого игрового тренинга был разработан компьютерной модуль, представляющий собой программное приложение, обрабатывающее данные в виде последовательности RR-интервалов, полученные с устройств пульсометрии. Результаты применения трех групп методов анализа BCP представлены в модуле графическим и числовым способом.

Статистический анализ отражен в виде вариационной пульсограммы, ритмограммы (рис. 1), а также в виде ряда числовых показателей в итоговой таблице анализа (рис. 2).

По данным вариационной пульсометрии вычисляется индекс напряжения регуляторных систем, который отражает степень централизации управления ритмом сердца и характеризует, в основном, активность симпатического отдела вегетативной нервной системы. Для определения наиболее вероятного уровня функционирования сердечно-сосудистой системы вычисляется значение моды динамического ряда интервалов. Показатель «амплитуда моды» отражает стабилизирующий эффект централизации управления ритмом сердца, который обусловлен, в основном, степенью активации симпатического отдела вегетативной нервной системы. Активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы оценивается величиной вариационного размаха. Для выявления дыхательных колебаний длительности кардиоинтервалов производится устранение постоянной составляющей динамического ряда и всех медленных колебаний путем получения ряда

разностных значений «соседних» длительностей кардиоинтервалов. Затем вычисляются такие разностные показатели, как среднее квадратичное отклонение динамического ряда разностных значений, квадратный корень из суммы квадратов разностных значений, число и процент от общего числа интервалов разностей, значения которых выше чем 50 миллисекунд. Перечисленные разностные показатели позволяют определять степень активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, т.е. анализировать автономный контур управления.



Рис. 1. Графики вариационной пульсограммы и ритмограммы после проведения 5-минутного сеанса диагностики

Fig. 1. Plots of variation pulsogram and rhythmogram after 5-minutes diagnostic session

Название показателя	Норма	Измерен	Интерпретация
Частота сердечных сокращений (ЧСС)	60-90 уд/мин	70 уд/мин	Нормально
Средняя длительность интервала (частота пульса)	920-1000 мс	799,2 мс (96 уд/мин)	Нормально
Стандартное отклонение интервала (SDNN)	40-80 мс	45,0	Нарушена активность вегетативной регуляции
Мода интервалов (Mo)	800-900 мс	675	
Амплитуда моды интервалов (AMo)	25-50 %	42	
Взвешенная модальная интервала (VMo)	300-450 мс	303	
Квадратный корень из суммы квадратов отклонений интервалов (RMSSD)	20-50 мс	11,4	
Доля пар интервалов с разностью более 50 мс (pAB50)	10-50 %	2	
Критерий поваровки интервалов (CV)	5-15 %	8,3	
СД - критерий поваровки интервалов (SDNNi)	15-30 %	100	
Повышенное вариабельность интервалов (CVI)	0,36-0,7	0,9079	Повышена активность симпатической системы
Индекс вегетативной регуляции (ИВР)	26-58	207,92	
Параметр дисперсионной регуляции (ПДР)	15-50	62,22	
Вегетативный показатель ритма (ВПР)	25-50	7,10	
Средняя мощность всего диапазона	2000-3000 мВ ²	3897,9	
Мощность в частотном диапазоне HF (доля от всего диапазона)	15-25 %	323,7 мВ ² (8,30 %)	
Мощность в частотном диапазоне LF (доля от всего диапазона)	15-40 %	3042,4 мВ ² (7,81 %)	Нарушена активность ваготонического центра
Мощность в частотном диапазоне VLF (доля от всего диапазона)	15-20 %	1433,2 мВ ² (36,79 %)	Повышена активность парасимпатического центра

Рис. 2. Числовые показатели анализа ВСР после проведения 5-минутного сеанса диагностики

Fig. 2. Numerical analysis indicators of HRV after 5-minutes diagnostic session

Исследование частотной области сердечного ритма выполнено путем спектрального анализа (рис. 3), который направлен на получение количественной оценки периодических процессов в сердечном ритме. С помощью спектрального анализа оценивается активность отдельных уровней управления ритмом сердца. По данным спектрального анализа сердечного ритма вычисляются следующие показатели: индекс централизации, который отражает степень преобладания недыхательных составляющих синусовой аритмии над дыхательными, и индекс активации подкорковых нервных центров, который характеризует активность сердечно-сосудистого подкоркового нервного центра по отношению к более высоким уровням управления.

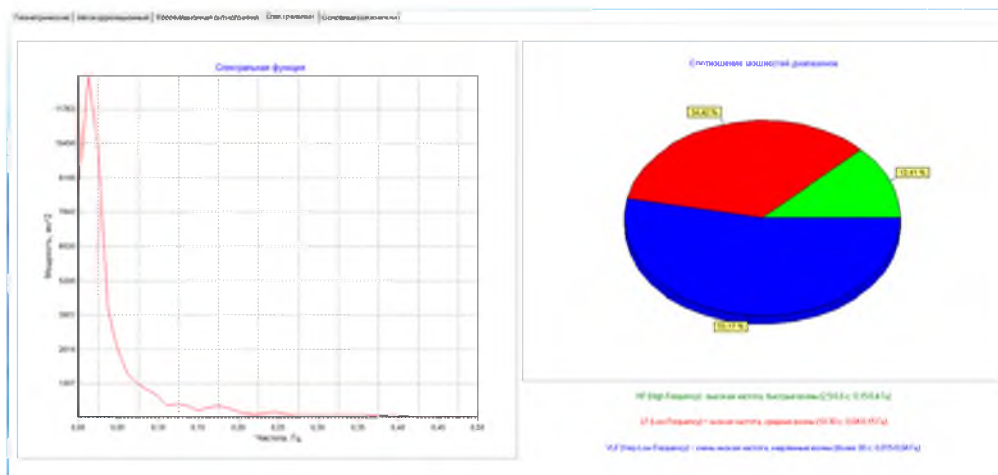


Рис. 3. Результаты спектрального анализа ВСР после проведения 5-минутного сеанса диагностики
 Fig. 3. The results of spectral analysis of HRV after 5-minutes diagnostic session

К интегральным показателям относятся графики автокоррелограммы и скаттерграммы (рис. 4, 5).

Физиологический смысл использования автокорреляционного анализа заключается в оценке степени влияния центрального контура управления на автономный. Автокоррелограмма позволяет судить о скрытой периодичности сердечного ритма.

Расположение точек скаттерграммы характеризует степень централизации управления ритмом сердца, активность симпатического отдела вегетативной нервной системы. В частности построенный график позволяет эффективно распознавать и анализировать сердечные аритмии.

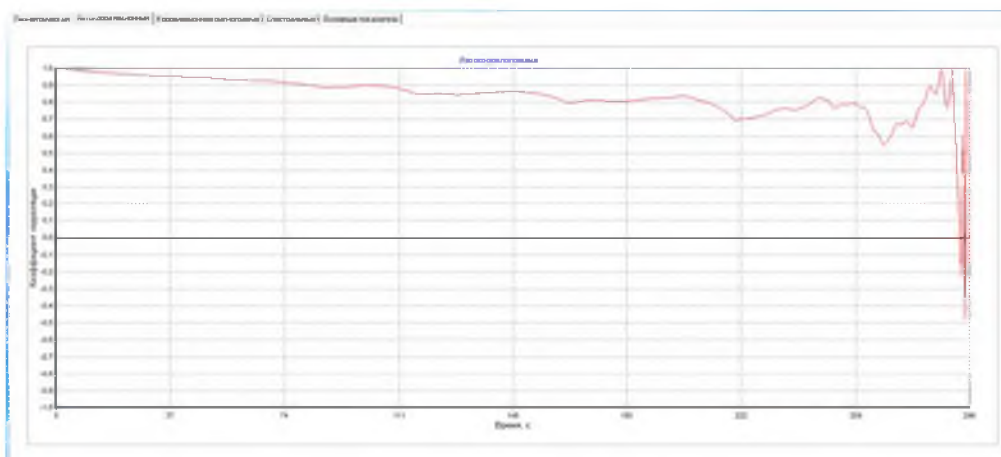


Рис. 4. График автокоррелограммы после проведения 5-минутного сеанса диагностики
 Fig. 4. The plot of autocorrelogram after 5-minutes diagnostic session

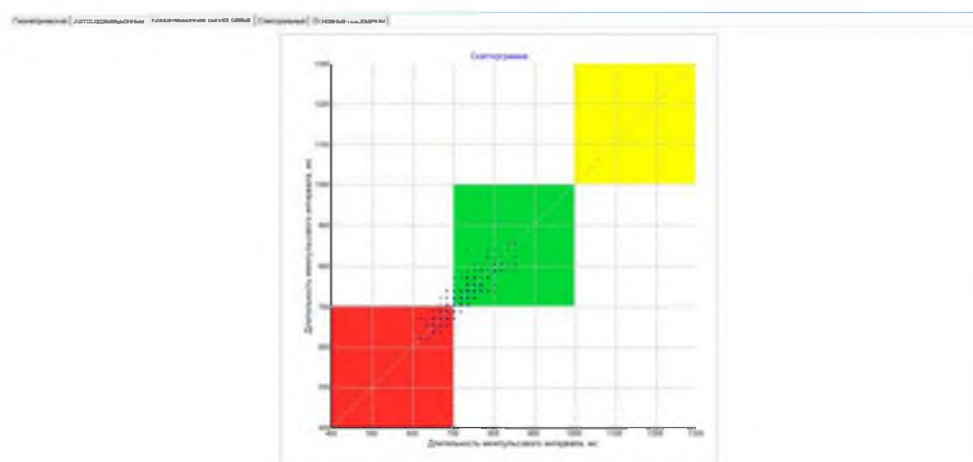


Рис. 5. График скаттерграммы после проведения 5-минутного сеанса диагностики
 Fig. 5. The plot of scattergram after 5-minutes diagnostic session

Результаты применения различных методик анализа ВСР находят отражение в комплексном интегральном показателе активности регуляторных систем. Он вычисляется в баллах по специальному алгоритму, учитывающему статистические показатели, показатели гистограммы и данные спектрального анализа кардиоинтервалов, и позволяет дифференцировать различные степени напряжения регуляторных систем (уровень функционального состояния, рис.1).

Оцифрованная для анализа информация о длительности междупульсовых интервалов поступает в модуль одним из двух способов:

- с пульсометра или кардиографа, имеющего интерфейс для соединения с ПК (COM, USB и т.д.), в режиме реального времени;
- из текстового файла, хранящего записанные значения RR-интервалов, для проведения отсроченного анализа.

Отсроченный анализ ВСР в компьютерном модуле применяется для выполнения сравнительной оценки нескольких сеансов диагностики (рис. 6), что позволяет следить за изменениями функционального состояния организма, являющимися ответной реакцией на тренинг-нагрузку.

Наименование показателя	Норма	Выходные данные (Сеанс 1)	Интерпретация (Сеанс 1)	Выходные данные (Сеанс 2)	Интерпретация (Сеанс 2)
Темп ритма в пульсах	60-90 уд./мин	67 уд./мин		77 уд./мин	
Среднеарифметическая длительность интервала (средняя пульсы)	800-900 мс	795,2 мс (95,4 балла)	Нормальный	919,4 мс (73,4 балла)	Нормальный
Стандартное отклонение длительности интервала – SDNN	40-80 мс	45,9	Нормальная активность вегетативной регуляции	49,1	Нормальная активность вегетативной регуляции
Мода длительности интервала Мd	800-900 мс	675		625	
Амплитуда моды длительности интервала АМd	30-50 %	40		50	
Вариационный размах длительности интервала МdM	300-400 мс	202		188	
Квадратный корень из суммы квадратов разностей интервала РМСD	30-50 мс	31,4		30,5	
Доля мод интервала с разностью более 50 мс рМ50	10-30 %	2		11	
Кодированная площадь гистограммы длительности интервала	5-6 %	6,3		5	
СДР – индекс доминантной вегетативной активности симпатической системы	19-20	280		280	
Парный коэффициент вегетативности СС	0,35-0,7	0,395		0,398	
Индекс напряжения И	40-100	154	Повышенная активность вегетативной регуляции	193	Повышенная активность вегетативной регуляции
Индекс вегетативного равновесия ВР	35-45	207,50		206,50	
Показатель вегетативности вегетативной регуляции ПВР	15-30	42,22		43,50	
Функциональный вегетативный индекс ВВИ	2-6	7,20		4,00	
Средняя мощность всего спектра	200-300 мВт	140,00		100,00	
Мощность в частотном диапазоне HF (доля от всего спектра)	15-25 %	210,2 мВт (20,8 %)		333,3 мВт (20,1 %)	
Мощность в частотном диапазоне LF (доля от всего спектра)	15-40 %	432,4 мВт (20,1 %)	Нормальная активность вегетативного центра	164,2 мВт (15,5 %)	Нормальная активность вегетативного центра
Мощность в частотном диапазоне VLF (доля от всего спектра)	15-30 %	1000,2 мВт (20,8 %)	Повышенная активность вегетативного центра	276,2 мВт (20,4 %)	Повышенная активность вегетативного центра

Рис. 6. Сравнительная оценка результатов двух сеансов диагностики
Fig. 6. Comparative assessment of the results of two diagnostic sessions

Заключение

Таким образом, комплексная оценка вариабельности ритма сердца, учитывающая результаты различных методов диагностики (статистический, геометрический и спектральный анализ) и выполняемая в разные периоды тренинга, позволяет не только оценивать текущее состояние организма, но и прогнозировать, а также корректировать будущую динамику показателей путем выбора оптимальных для конкретного случая методов тренинга.

Список литературы References

- Джафарова О.А., Штарк М.Б. 2002. Компьютерные системы биоуправления: тенденции развития. Медицинская техника. М., Медицина: 34-35.
- Djafarova O.A., Shtark M.B. 2002. Biofeedback computer systems: development trends. Medical equipment. M., Medicine: 34-35.
- Вангревич О.А., Донская О.Г., Зубков А.А., Штарк М.Б. 2004. Игровое биоуправление и стресс-зависимые состояния. Бюллетень СО РАМН. 3(113): 53-60.
- Vangrevich O.A., Donskaya O.G., Zubkov A.A., Shtark M.B. 2004. Biofeedback games and stress-related conditions. Bulletin SO RAMN. 3(113): 53-60.
- Макконен К.Ф., Пятакович Ф.А., Новоченко А.С. 2007. Биотехническая система игрового тренинга, реализующая две стратегии. Современные проблемы науки и образования. 1-2007: 67-73.
- Makkonen K.F., Pyatakovich F.A., Novochenko A.S. 2007. Biotechnical system of game training which implements two strategies. Modern problems of science and education. 1-2007: 67-73.



Привалов А.Н. 2009. Оценка эффективности функционирования тренажерных систем с распределенной обработкой данных. Научные ведомости Белгородского государственного университета. История. Политология. Экономика. Информатика. 9(56): 78-83.

Privalov A.N. 2009. Performance evaluation of virtual training system with distributed data processing. Belgorod State University Scientific bulletin. History. Political science. Economy. Information technology. 9(56): 78-83.

Сурушкин М.А., Пятакович Ф.А. 2010. Разработка оптимизационных моделей для мультипараметрического биоуправляемого игрового тренинга. Успехи современного естествознания. 12: 81-85.

Surushkin M.A., Pyatakovich F.A. 2010. Development of optimization models for multiparameter biofeedback game training. The success of modern science. 12: 81-85.

Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилутский Д.А., Семенов А.В., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М. 2002. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. Вестник аритмологии. VA-N24: 65.

Baevsky R.M., Ivanov G.G., Chireikin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevsky P.Y., Kukushkin U.A., Mironova T.F., Prilutsky D.A., Semenov A.V., Fedorov V.F., Fleishman A.N., Medvedev M.M. 2002. Heart-rate variability analysis using different electrocardiographic systems. Arrhythmology bulletin. VA-N24: 65.