

Для дифференцирования заболеваний ССС предложено дополнительно использовать энергетический коэффициент спектра (ЭК) равный отношению суммарной спектральной мощности в диапазоне частот от 0.6 до 10 Гц. к соответствующей величине в диапазоне от 10 до 48 Гц. Исследования показали, что значения параметра ЭК при гипертонии статистически достоверно отличается от аналогичных значений при ишемической болезни сердца, их средние значения равны 430 и 1060 соответственно (рис. 1б). Различие в абсолютных значениях параметра ЭК связано с перераспределением спектральной мощности пульсовой волны из высокочастотной части спектра (10-48 Гц) в низкочастотную (0,6-10 Гц) при ИБС и обратным явлением при гипертонии.

Выводы

Таким образом, была установлена корреляция между значениями энергетического коэффициента ЭК спектра и коэффициента вариации КВ вейвлет-коэффициентов с состоянием сердечно-сосудистой системы человека (здоровое состояние, заболевание гипертонией, заболевание ИБС). На основе данной корреляции можно создать систему поддержки принятия решений для автоматизации оценки состояния сердечно-сосудистой системы, пригодной для экспресс-диагностики.

Литература

1. Наточин Ю.В. Новое о природе регуляций в организме человека // Вестник РАН. – 2000. – Т.70, №1. – С. 21-35
2. Бороноев В.В., Гармаев Б.З., Цыдыпова Е.Д. Спектральные характеристики пульсового сигнала при нарушении гемодинамики // Ж. радиоэлектроники – 2010. – №10. – С. 178-201

Бороноев Виталий Васильевич, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией волновой диагностики живых систем, Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, т. (3012)434694, факс (3012) 433238, vboronojev2001@mail.ru.

Гармаев Баир Заятуевич, научный сотрудник, лаборатория волновой диагностики живых систем, Институт физического материаловедения СО РАН. 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, bair.garmaev@gmail.com

Омпов Вячеслав Дамдинович, научный сотрудник, лаборатория волновой диагностики живых систем, Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, т. (3012)434694, slvd@mail.ru.

Boronoev Vitaly Vasilevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy St., 8

Garmaev Bair Zayatuевич, researcher, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy St., 8

Ompokov Vyacheslav Damdinovich, researcher, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy St., 8

УДК 621.396.9:616-073

© В.В. Бороноев, В.Д. Омпов, А.Е. Павлов

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАбельности СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПО ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЕ ПРИ НАГРУЗОЧНЫХ ПРОБАХ

Представлены результаты экспериментальных исследований variability сердечного ритма по пульсовой волне при нагрузочных пробах с помощью спектральных методов с использованием автоматизированного пульсодиагностического комплекса.

Ключевые слова: *пульсовая волна, нагрузочная проба, спектральный анализ.*

V.V. Boronoyev, V.D. Ompokov, A.E. Pavlov

SPECTRAL ANALYSIS OF THE HEART RATE VARIABILITY AT LOADING TESTS

The results of the experimental investigations of the heart rate variability in case of loading tests with the help of the Authomated Pulse Diagnostic System are presented.

Keywords: *pulse wave, loading tests, spectral analysis.*

В некоторых областях человеческой деятельности чрезвычайно важен своевременный контроль адаптационных реакций организма и оценка текущих резервных возможностей. Снижение адаптаци-

онных реакций организма является одним из ведущих факторов риска развития заболеваний и связано с выраженным уменьшением или даже с исчерпанием функциональных резервов. Для решения задачи оценки текущих резервных возможностей широко используются функциональные пробы с физическими нагрузками.

Одним из методов математической оценки функциональных резервов является спектральный анализ variability сердечного ритма (ВСЕ). Применение спектрального анализа позволяет количественно оценить различные частотные составляющие колебаний ритма сердца и наглядно графически представить соотношения разных компонентов сердечного ритма, отражающих активность определенных звеньев регуляторного механизма. В спектре, полученном при анализе коротких записей (до 5 мин) пульсовых волн (рис. 1), различают три главных спектральных компонента [1]: очень низких частот (VLF), низких частот (LF) и высоких частот (HF). Эти компоненты соответствуют диапазонам дыхательных волн и медленных волн 1-го и 2-го порядка. При анализе длительных записей выделяют также еще и ультра низкочастотный компонент – Ultra Low Frequency (ULF) с частотами выше 0,015 Гц. Далее для каждого из компонентов вычисляют абсолютную суммарную мощность в диапазоне, среднюю мощность в диапазоне, значение максимальной гармоники и относительное значение в процентах от суммарной мощности во всех диапазонах. При этом суммарная мощность определяется как сумма мощностей в диапазонах HF, LF и VLF ($\leq 0,4$ Гц). По данным спектрального анализа сердечного ритма вычисляются следующие показатели: индекс централизации – $IC = (HF+LF)/VLF$ и индекс вагосимпатического взаимодействия LF/HF.

Спектр сигнала ВСР вычисляется, согласно рекомендациям Европейского сообщества кардиологов [1], на основе последовательности дискретных событий, представляющей собой зависимость RR интервала от времени. Неравномерная выборка RR-интервалов при помощи методов передискретизации и интерполяции преобразуется в эквивалентную численную последовательность с равномерной выборкой, к которой применяются математические методы спектрального анализа (преобразование Фурье). В результате осуществляется переход к анализу ВСР в частотной области.

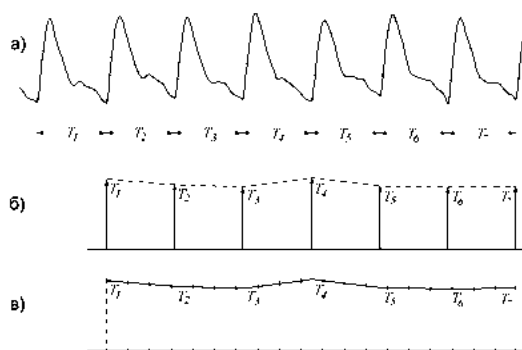


Рис. 1. Подготовка данных для спектрального анализа.

Целью работы является изучение спектральных характеристик сердечного ритма по пульсовой волне при нагрузочных пробах. Для получения исходных реализаций пульсовых сигналов в цифровой форме использовался автоматизированный пульсодиагностический комплекс (АПДК), который позволяет регистрировать пульсовую волну с запястья руки человека с частотой дискретизации 200 Гц и обрабатывать данные на компьютере с помощью различных математических методов.

Проведен трехэтапный эксперимент с нагрузочной пробой, в котором принимали участие борцы вольного стиля – студенты Бурятского государственного университета. Пульсовой сигнал с испытуемых регистрировался в трех функциональных состояниях: в состоянии покоя (фоновая запись), при физической нагрузке и в восстановительном периоде после нагрузки. Далее была проведена обработка и анализ полученных кривых различными методами [2], в том числе и спектральный анализ сердечного ритма. Рассчитывались следующие спектральные характеристики: мощность спектра ритмограммы в диапазоне VLF, мощность в диапазоне LF и мощность в диапазоне HF, а также общая спектральная мощность $TP=VLF+LF+HF$. По полученным спектральным характеристикам подсчитывались средние значения и среднеквадратическая ошибка (СКО) по всем испытуемым. Результаты расчетов приведены в табл. 1 и представлены на рис. 2 и 3.

Спектральные характеристики ВСР

Параметр	vlf %	lf %	hf %	vlf, мс2	lf, мс2	hf, мс2	tp, мс2
Мат ожид (фон)	21	49	30	937	2702	2769	6408
СКО (фон)	18	24	26	679	1351	4850	4568
Мат ожид (нагрузка)	30	46	24	57	128	63	247
СКО (нагрузка)	18	18	15	64	214	97	321
Мат ожид (восстановл)	21	59	20	288	1393	237	1918
СКО (восстановл)	17	26	20	256	1337	85	1320

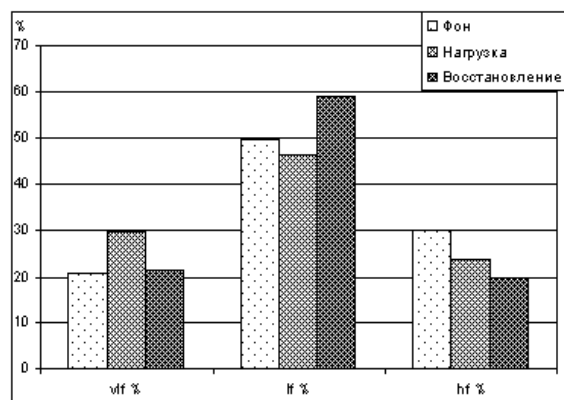


Рис. 2а. Процентное соотношение показателей спектрального анализа при различных функциональных состояниях

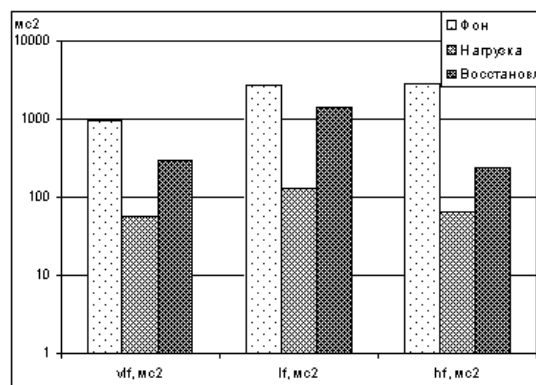


Рис. 2б. Абсолютные значения показателей спектрального анализа при различных функциональных состояниях (шкала логарифмическая)

Проведем сравнительную оценку спектральных характеристик сердечного ритма. При исходной (фоновой) записи характерно наличие хорошо выраженных волн сердечного ритма во всех трех диапазонах частот. При проведении нагрузочных проб резко снизились все спектральные компоненты и, как следствие, более чем в 25 раз уменьшилась общая мощность спектра.

Динамика показателей спектрального анализа, представленная на рис. 2 и 3 показывает, что при проведении нагрузочных проб на фоне снижения мощностей низкочастотных и высокочастотных колебаний (на 3% и 6%) возрастает на 9% относительный вклад VLF-компоненты (увеличение VLF-составляющей на 43% по сравнению с фоновым показателем), что согласуется с известными представлениями об изменениях ритма сердца в этом состоянии:

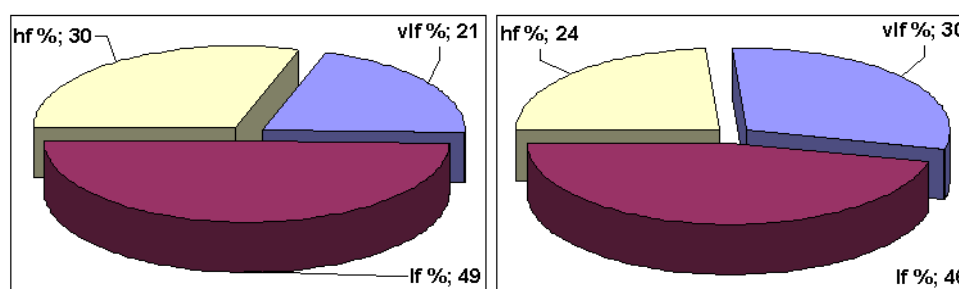


Рис. 3. Показатели спектральной мощности ритма сердца, в % а) во нагрузки; б) во время нагрузки

В восстановительном периоде после нагрузки наблюдается увеличение абсолютных значений мощностей во всех трех диапазонах частот. В процентном соотношении мощности VLF и HF составляющих спектра уменьшаются, а мощность LF компоненты спектра увеличивается. При этом мощность VLF-составляющей спектра снижается на 9% и составляет 21%, что совпадает с фоновым показателем, а мощность LF-составляющей выше фонового показателя на 10%. Мощность HF-компоненты спектра в процентном соотношении уменьшается на 4%, но в абсолютных значениях возрастает более чем в 3 раза. Общая мощность спектра ниже фонового показателя в 5 раз. Таким об-

разом, можно говорить о значительном снижении уровня текущего функционального состояния организма.

Таким образом, частотные характеристики variability ритма сердца достоверно различаются при записях в нормальном состоянии, с нагрузочной пробой и в восстановительном периоде после нагрузки. Однако статистическая значимость данных различий невелика, что видно из таблицы. Поэтому ввиду большой внутригрупповой variability рекомендуется проведение исследования с использованием критерия индивидуальной нормы. Данную методику можно рассматривать как весьма перспективную для создания средств самоконтроля психофизиологического состояния спортсменов.

Литература

1. Рабочая группа Европейского кардиологического общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии. Variability сердечного ритма: стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования // Вестник аритмологии. – 1999. – №11. – С. 3-17
2. Баевский Р.М. Математический анализ ритма сердца. – М.: Наука, 1984. – 221 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1971. – 408 с.
4. Валтнерис А.Д., Яуя Я.А. Сфигмография как метод оценки изменений гемодинамики под влиянием физической нагрузки. – Рига: Зинатне, 1988. – 132 с.

Бороноев Виталий Васильевич, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией волновой диагностики живых систем, Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, т. (3012)434694, факс (3012) 433238, vboronoev2001@mail.ru.

Омпоков Вячеслав Дамдинович, научный сотрудник, лаборатория волновой диагностики живых систем, Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, slvd@mail.ru.

Павлов Александр Емельянович, кандидат педагогических наук, доцент, кафедра спортивных дисциплин, Бурятский государственный университет, 670000, Улан-Удэ, ул. Смолина, д. 24 «а», т. (3012) 216989

Boronoev Vitaly Vasilevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy St., 8

Ompokov Vyacheslav Damdinovich, researcher, Laboratory of Wave Diagnostics of Living Systems, Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, Sakhyanovoy St., 8

Pavlov Aleksandr Emelyanovich, candidate of pedagogical sciences, Associate Professor, Chair of Athletic Disciplines, Buryat State University, 670000, Ulan-Ude, Smolina St., 24a

УДК 62-63

© С.Л. Буянтуев, А.С. Кондратенко

ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМОЙ, С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ ПОЛИМОЛЕКУЛЯРНОЙ АДсорбЦИИ БРУНАУЭРА, ЭММЕТА, ТЕЛЛЕРА

Рассмотрены изменения удельной поверхности и пористости Окиноключевского угля до и после обработки электродуговой плазмой. Исследование проводится с помощью модели полимолекулярной адсорбции с применением аппарата низкотемпературной сорбции азота «Сорби-М», приводится расчет, показывающий увеличение внутренней удельной поверхности угля после плазменной обработки.

Ключевые слова: адсорбент, адсорбат, удельная поверхность, пористость, электродуговая плазменная обработка, модель полимолекулярной адсорбции

S.L. Buyantuev, A.S. Kondratenko

INVESTIGATION OF COALS SPECIFIC SURFACE, PROCESSED BY ELECTROARC PLASMA WITH THE HELP OF BRUNAUER, EMMET, TELLER POLYMOLECULAR ADSORPTION MODEL

Change of specific surface and porosity of «Okinocluchevsky» coal before and after processing by electro arc plasma are considered. Research is made by means of a model of polymolecular adsorption BET with the low temperature nitrogen sorption of "Sorbi-M" apparatus, calculation showing increase in internal specific surface of coal after plasma processing is resulted.