

подлежат частотные составляющие, имеющие очень сильную взаимосвязь ($\gamma^2 \geq 0,95$), возможно в последующем производить цифровую фильтрацию.

Цифровая фильтрация предусматривает только два значения частотных составляющих функции когерентности $\left\{ \begin{array}{l} (\gamma_{1,2}^2(f) \geq 0,95) = 1 \\ (\gamma_{1,2}^2(f) < 0,95) = 0 \end{array} \right\}$. Иными словами, создается маска для преобразования спектра когерентной выходной мощности, в которой остаются частотные составляющие только с высоким уровнем функции когерентности, а остальные частотные составляющие отфильтровываются.

Таким образом, корреляционный анализ пульсовых сигналов в частотной области показал, что в диапазоне от 0,6 Гц до 8 Гц функция взаимной когерентности двух сигналов принимает значения, близкие к 1. Это позволяет частоту $f = 8$ Гц считать пограничной частотой при определении различных параметров для оценки состояния внутренних органов человека и его функциональных систем в отличие от рекомендуемой в работе [4].

Литература

1. Валтнерис А.Д., Яя Я.А. Сфигмография как метод оценки изменений гемодинамики под влиянием физической нагрузки. – Рига: Зинатне, 1988. – 132 с.
2. Азаргаев Л.Н., Бороноев В.В., Шабанова Е.В. Сравнительный анализ сфигмограмм сонной и лучевой артерий. Физиология человека. – 1997. – Т.23, №5. – С. 63-76.
3. Бороноев В.В. Пульсовая диагностика заболеваний в тибетской медицине: физические и технические аспекты. – Улан-Удэ: изд-во БНЦ СО РАН, 2005. – 320 с.
4. Lee Chun T., Ling G. Wey. IEEE // Transmission on Biomedical Engineering. – 1983. – V.30, №6. – P. 348-352.
5. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1971. – 408 с.
6. Оболонкин В.В. Применение методов идентификации систем в анализе пульсовых сигналов: дис... канд. техн. наук. – Л.: ЛЭТИ, 1992. – 96 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.

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

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

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

УДК 621.396.9:616-073

© В.В. Бороноев, Б.З. Гармаев, В.Д. Омпоков

КОРРЕЛЯЦИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ И СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСОВОГО СИГНАЛА ПРИ ЗАБОЛЕВАНИЯХ СЕРДЦА

В рамках исследований корреляций между заболеваниями сердца (гипертония, ишемическая болезнь) и значениями спектральных и статистических характеристик пульсовой волны лучевой артерии установлено, что предложенный критерий – коэффициент вариации вейвлет-коэффициентов – позволяет выявить наличие этих заболеваний сердечно-сосудистой системы. А для их дифференциации необходимо использовать другую спектральную характеристику – энергетический коэффициент спектра.

Ключевые слова: пульсовой сигнал, спектр, гипертония,

THE CORRELATION OF SPECTRAL AND STATISTICAL FEATURES OF SPHYGMIC SIGNAL DURING CARDIAC DISEASES

There is a correlation of spectral and statistic features of sphygmic signal and cardiac diseases (hypertension, coronary disease). Variation coefficient of wavelet coefficients makes it possible to diagnose cardiac diseases, but only energy spectrum coefficient allows these diseases to be differentiated from one another.

Keywords: pressure signal, spectrum, hypertension, coronary disease

Существенная диагностическая значимость спектральных характеристик пульсового сигнала лучевой артерии обусловлена тем, что сигнал периферического пульса, в частности лучевой артерии, содержит информацию о многих физиологических процессах, протекающих в организме. В пульсовом сигнале лучевой артерии находят свое отражение, как процессы высших уровней регуляции, так и многие гемодинамические показатели сердечно-сосудистой системы [1], что создает предпосылки для выявления корреляций между заболеваниями сердца (артериальная гипертензия, гипертония, ишемическая болезнь (ИБС)) и значениями спектральных и статистических характеристик пульсовой волны лучевой артерии.

Исследовались сигналы условно-здорового человека, больных гипертонией и ИБС, типичные пульсовые сигналы которых представлены на рис. а. Проведенный анализ спектров показал более гладкие кривые у больных (рис. б), что объясняется большей вариабельностью R-R интервала у здоровых людей (рис. в). Вейвлет-анализ пульсовых сигналов показал, что вейвлет-образ пульсовой волны здорового человека по виду отличается от вейвлет-образа при заболевании (рис. г). Тем не менее, установить различия обычными способами, кроме визуального сравнения, сложно. Предложенный критерий – коэффициент вариации вейвлет-коэффициентов – позволяет выявить наличие заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС), но не дифференцирует их. При этом его величина на масштабе 30 миллисекунд в диастолической части пульсового сигнала варьирует в пределах 0.2÷0.4 (рис. д) [2].

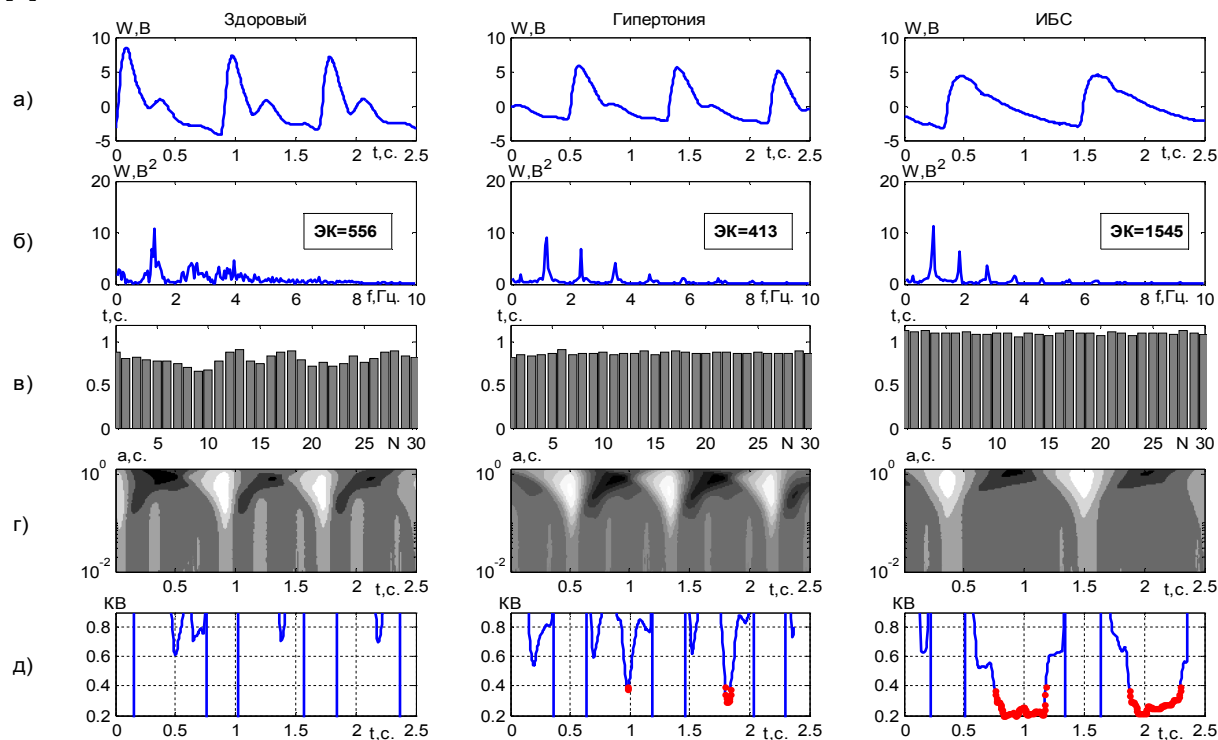


Рис. Пульсовые волны условно-здорового человека и больных гипертонией и ИБС (а); спектральные плотности мощности (б); RR-интервалы (в); вейвлет-образы (г); коэффициенты вариации вейвлет-коэффициентов на масштабе 30 миллисекунд (д).

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 соответственной 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

Омпоков 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. Омпоков, 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-