

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, yboronojev2001@mail.ru.

Гармаев Баир Заятуевич, научный сотрудник, лаборатория волновой диагностики живых систем, Институт физического материаловедения СО РАН. 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, р.т. (3012) 434694, факс (3012) 433238, 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

Garmaev Bair Zayatuevich, 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, Б.З. Гармаев

ОЦЕНКА ФУНКЦИИ КОГЕРЕНТНОСТИ ПУЛЬСОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПУЛЬСОМЕТРИИ

Проведен корреляционный анализ пульсовых сигналов в частотной области. Определена пограничная частота для расчета различных параметров при оценке состояния внутренних органов человека и его функциональных систем.

Ключевые слова: пульсовая волна, функция когерентности.

V.V. Boronoyev, V.D. Ompokov, B.Z. Garmaev

ESTIMATION OF PULSE WAVES COHERENCE FUNCTION IN MULTICHANNEL SPHYGMOGRAPHY

Pulse waves correlation analysis in the frequency area has been carried out. The boundary frequency for the calculation of various parameters for evaluating the state of the internals and the functional systems of a patient has been defined.

Keywords: pulse wave, coherence function.

Полисфигмографическим методом в [1, 2] обнаружено наличие тесной связи между формой и отдельными элементами сфигмограмм сонной и лучевой артерий как в состоянии покоя, так и при функциональных пробах, изменяющих условия системной гемодинамики. Таким образом, в [1] получено качественное, а в работе [2] количественное доказательство принадлежности сфигмограммы лучевой артерии по форме к группе центральных сфигмограмм. Особую актуальность вопрос о соответствии СФГ лучевой артерии о форме группе центральных сфигмограмм принимает при реализации комплексной программы по объективизации и автоматизации пульсовой диагностики тибетской медицины.

Известно, что пульс в организме человека является интегральным процессом, отражающим состояние многих органов и функциональных систем. Форма артериального пульса зависит от силы и скорости сердечных сокращений, ударного объема крови и артериального давления, эластичности и тонуса стенок артерии и т.д. Исследование пульса с запястья обеих рук человека используется в восточной медицине для диагностики функционального состояния внутренних органов [3]. Для анализа пульсовых волн можно привлечь весь богатый аппарат обработки сигналов, созданный до настоящего времени.

Одним из основных методов математического анализа пульсовых сигналов является спектральный анализ. В статье [4] в качестве критерия, соответствующего границе между нормой и патологией, предложен энергетический коэффициент ЭК, определяемый как отношение усредненного энергетического спектра W пульсового сигнала в полосе частот от 1 до 10 Гц ($W1$) к соответствующей величине в полосе частот от 10 до 50 Гц ($W2$) [4]:

$$ЭК = W1/W2,$$

в котором частота $f = 10$ Гц принята как пограничная частота при определении различных параметров для оценки состояния внутренних органов человека и его функциональных систем. Важную роль в спектральном анализе случайных процессов играет так называемая функция когерентности сигналов,

которая может служить мерой линейности связи между сигналами [5]. Наличие аддитивного и/или мультипликативного шума при регистрации сигналов, а также нелинейность канала распространения сигнала, приводит к уменьшению значений функции когерентности, в то время как при отсутствии шума и идеальной линейности системы функция когерентности равна 1.

Факторами, снижающими величину функции когерентности, являются [6]:

- шум, который суммируется с полезными сигналами на разных участках распространения сигнала по исследуемому каналу и в измерительных трактах;
- погрешности расчета спектральных функций, определяемые неучтенной нелинейностью канала распространения и измерительных трактов.

Таким образом, необходимо произвести оценку некоррелированных частотных составляющих сигналов при многоканальной регистрации пульсовых сигналов. Наиболее существенным и простым методом определения некоррелированных частотных составляющих является оценка функции когерентности.

Функция когерентности сигналов, по аналогии с коэффициентом корреляции, несет информацию о степени корреляции, то есть о степени линейной взаимосвязи двух процессов, но только в частотной области. Если колебательные процессы статистически независимы, то при всех значениях частоты $\gamma_{xy}^2 \equiv 0$. Если $\gamma_{xy}^2(f) \equiv 1$ то процессы $x(t)$ и $y(t)$ полностью когерентны. Присущее каждому значению частоты значение функции когерентности можно рассматривать как возведенное в квадрат значение коэффициента корреляции, отображающего степень линейной зависимости между двумя процессами – с учетом того, что оценки собственных спектров соответствуют вариации переменных величин, а оценка взаимного спектра соответствует ковариации этих величин.

Для анализа степени линейной взаимосвязи двух пульсовых сигналов в частотной области использована нормированная функция когерентности [5]:

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)}$$

где $S_{xy}(f)$, $S_{xx}(f)$, $S_{yy}(f)$ – взаимные спектральные плотности.

Исследования проводились с помощью Автоматизированного пульсодиагностического комплекса [3]. Запись производилась синхронно с шести датчиков пульса, установленных на запястье обеих рук человека. Датчики пульса устанавливаются на традиционных точках пальпации согласно канонам тибетской медицины. Частота дискретизации пульсовой волны составляла 200 Гц, длина реализаций – 100 сек.

Результаты расчетов приведены на рис. 1. Здесь по оси абсцисс отложена частота f в Гц, а по оси ординат нормированная функция взаимной когерентности $\gamma_{xy}^2(f)$.

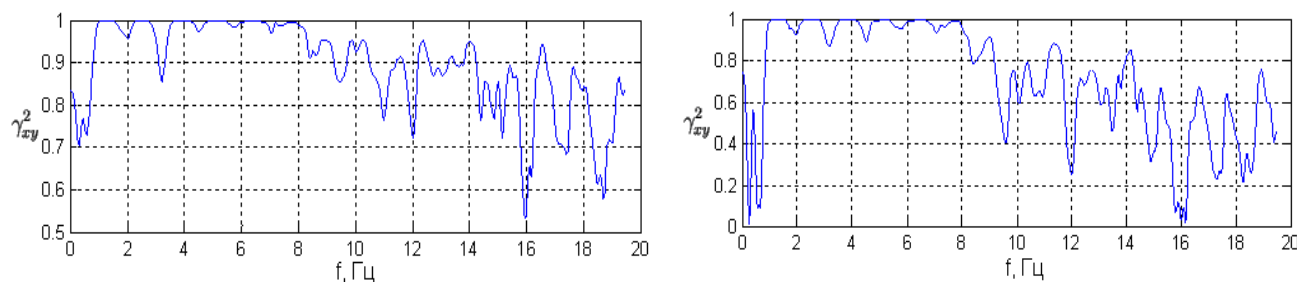


Рис. 1. Функция взаимной когерентности двух сигналов а) На одном запястье руки человека; б) На двух запястьях руки человека

Как видно из представленных рисунков, в частотном диапазоне от 0,6 Гц до 8 Гц функция когерентности $\gamma_{xy}^2(f)$ принимает значения, близкие к 1, что означает совпадение гармонических составляющих в указанном диапазоне частот спектров двух пульсовых сигналов, зарегистрированных в разных точках пальпации на лучевых артериях человека. Поэтому частоту $f=8$ Гц будем считать пограничной частотой при определении различных параметров, в том числе и при расчете модифицированного энергетического коэффициента МЭК.

Динамический диапазон функции когерентности постоянный и составляет $0 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1$. Частотный диапазон и разрешение по частоте сохраняются от исследуемых спектров. Учитывая, что анализ

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,