

Список литературы

1. Урядов В.Н., Зеленин А.С. // Матер. МНТК приур. к 50-лет. МРТИ-БГУИР. Ч. 2. Минск. 2014. С. 201–202.
2. Прокис Дж. Цифровая связь. М., 2000.
3. Бунас В.Ю., Стункус Ю.Б., Тарченко Н.В. и др. Построение и расчет гибридных СКТ с глубоким проникновением оптики: учеб. пособие. М., 2012.
4. Урядов В.Н., Стункус Ю.Б. // Докл. БГУИР. 2006. № 3 (15). С. 48–53.
5. Урядов В.Н., Рошупкин Я.В., Бунас В.Ю. и др. // Докл. БГУИР. 2015. № 8 (94). С. 11–16.
6. Урядов В.Н., Рошупкин Я.В., Бунас В.Ю. и др. // Докл. БГУИР. 2016. № 4 (98). С. 10–14.

УДК615.47:616-072.7

ЛАЗЕРНЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ ФЛОУМЕТР С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ АНАЛИЗОМ РИТМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТ МИКРОСОСУДИСТОЙ ГЕМОДИНАМИКИ

В.И. ИВАНОВ, Н.И. ИВАНОВ, А.Н. ЛАЗАРЧИК

*НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета
Бобруйская, 11, Минск, 220030, Беларусь*

Поступила в редакцию 21 ноября 2016

Приведены результаты разработки и исследования лазерного доплеровского флоуметра для диагностики микрососудистой гемодинамики с дифференциальным анализом ритмических компонент.

Ключевые слова: лазерный доплеровский флоуметр, микрогемодинамика, тканевый кровоток.

Введение

Сосуды микроциркуляторного русла (МЦР) человека реализуют транспортную функцию сердечно-сосудистой системы и тем самым обеспечивают массоперенос и транскапиллярный обмен крови, необходимый для жизнедеятельности тканей и органов человека. При этом высокоточное исследование параметров микрогемодинамики МЦР имеет важное значение для раннего определения патогенеза многих заболеваний. Одним из современных и наиболее объективных методов оценки состояния микрогемодинамики человека является метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) [1]. Наряду с задачей определения степени кровоснабжения (кровенаполнения) тканей МЦР все более важное значение в медицинской диагностической практике приобретает исследование колебательных процессов (ритмов) микрогемодинамики, отражающих механизм многозвенной регуляции МЦР на основе исследования эндотелиально-зависимой, нейрогенной, миогенной компонент, а также дыхательной и сердечной частотных компонент ритмов и их взаимосвязи во времени [1, 2].

Разработка и результаты

Разработанный авторами оптиковолоконный лазерный доплеровский флоуметр микрогемодинамики человека с дифференциальной оценкой ритмов гемодинамики МЦР на основе модовой декомпозиции лазерных доплеровских флоуграм (ЛДФ – грамм) показан на рис. 1. Данный прибор является второй модифицированной версией разработки, сертифицированной Министерством здравоохранения Республики Беларусь и разрешенной к применению в медицинской практике [3]. Зондирование и прием отраженного лазерного сигнала в приборе осуществляется трехканальным оптиковолоконным датчиком.

Используемые длины волн лазерного излучения (0,53–0,87) мкм, мощность зондирующего излучения 1–3 мВт. Лазерный флоуметр обеспечивает исследование параметров капиллярного кровотока в диапазоне скоростей эритроцитов от 10 мкм/с до 1см/с (соответствует частотному диапазону детектируемых доплеровских сигналов от 35 Гц до 35 кГц). Разрешающая способность по групповой скорости 10 мкм/с. Дифференциальный спектральный анализ ритмических компонент гемодинамики в диапазоне частот от 0,005 до 2 Гц с частотным разрешением 0,001 Гц. Допплеровская составляющая выделяется методом оптического гетеродинамирования зондирующего и принимаемого излучений на приемной апертуре фотодетектора.

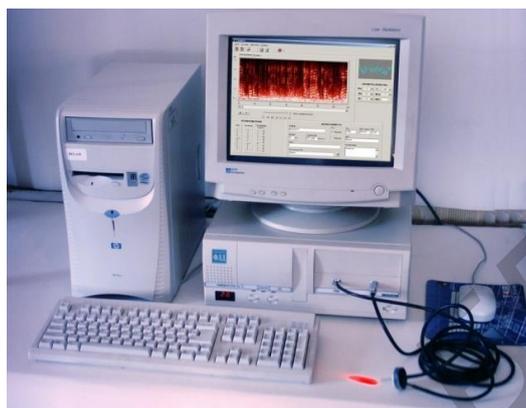


Рис. 1. Оптиковолоконный лазерный доплеровский флоуметр

ЛДФ-грамма формируется от всех эритроцитов, находящихся в объеме зондирования (1–1,5 мм³), движущихся с разными скоростями и по разному количественно распределенных в артериолах, капиллярах, венулах и артериовенулярных анастомозах, рис. 2. В результате обработки ЛДФ-граммы определяется параметр показателя микроциркуляции (ПМ), который характеризует кровенаполнение МЦР в исследуемом объеме:

$$ПМ = N_{эр} \cdot V_{ср}, \tag{1}$$

где $N_{эр}$ – количество эритроцитов в зондируемом объеме; $V_{ср}$ – средняя скорость эритроцитов.

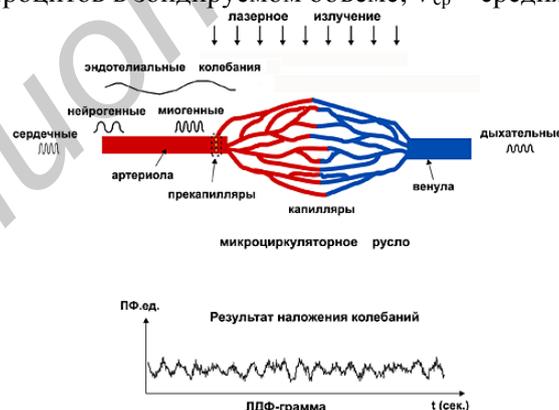


Рис. 2. Механизмы формирования ЛДФ-граммы

В приборе имеется программируемый в диапазоне температур (26–44) °С теплостимулятор с накладным датчиком тепловой нагрузки для исследования резерва ПМ и двухволновой спектрофотометрический канал для определения оксигенации крови. Ритмические колебания ПМ обусловлены рядом активных механизмов регуляции, изменяющие мышечный сосудистый тонус МЦР, пространственно локализованы в микроциркуляторном русле (МЦР) и имеют важное диагностическое значение (рис. 2). На рис. 3 приведены экспериментально полученные спектрограммы ЛДФ – спектрограммы, как результат влияния ряда ритмических компонент ПМ.

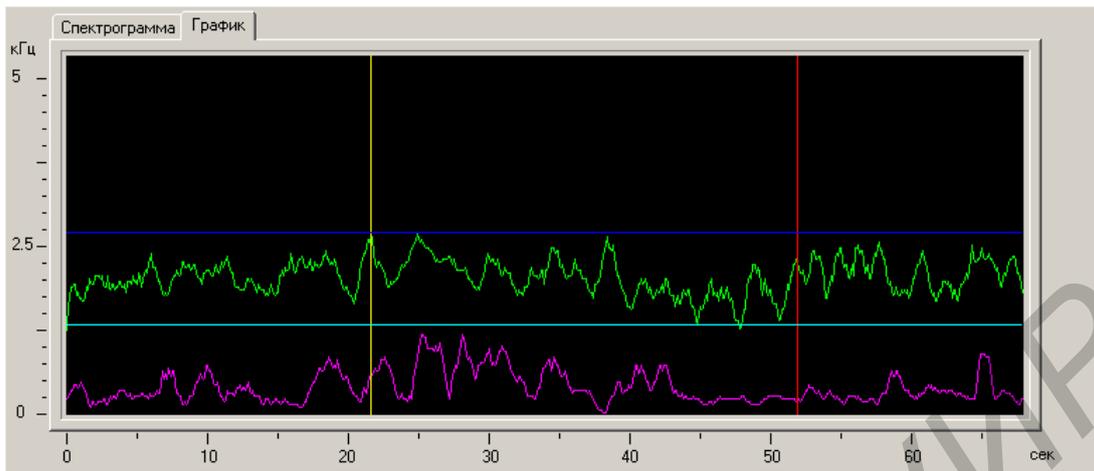


Рис. 3. Экспериментальные ЛДФ-граммы ритмических процессов колебаний ПМ

Дифференциальный анализ ритмических составляющих ПМ и выявления степени их взаимосвязи осуществляется процедурой модовой декомпозицией флоуграм на отдельные составляющие в инфранизкой области спектра 0,005 – 2Гц с одновременным обеспечением высокого разрешения, как в частотной так и временной областях.

Проведены исследования трех наиболее распространенных методов модовой декомпозиции сигналов: оконное преобразование Фурье с алгоритмом быстрого преобразования Фурье (БПФ) – Short time FFT [4]; вейвлет – преобразование [5,6]; преобразование Хуанга- Гильберта- ННЕ (E(Huang–Hilbert transform – ННТ) [7]. Отличительной особенностью оконного преобразования Фурье является необходимость применения узких скользящих временных окон с оптимизацией выбора сглаживающих (взвешивающих) функций: Хемминга, Ханна, Блэкмана и др. При этом для повышения разрешающей способности анализа во временной области следует увеличивать число участков разбиений длительности реализации сигнала (уменьшать длительность временного окна), что, с одной стороны, улучшает разрешающую способность во временной области, а с другой стороны – сильно ухудшает частотное разрешение в низкочастотной области спектра. Это существенно усложняет процедуру обработки, требует большого объема вычислений и необходимого времени анализа. Декомпозиция флоуграм с использованием прямого вейвлет-преобразования сигналов преобразует исследуемую функцию $f(x)$ в набор вейвлет-коэффициентов $W\psi(a, \vartheta)f$ согласно правилу свертки исследуемого сигнала с некоторой базисной вейвлет – функцией (анализирующим вейвлетом)

$$W\psi(a, \vartheta)f = \frac{1}{\sqrt{C\psi}} \int \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx, \quad (2)$$

где a и b – параметры, определяющие соответственно масштаб и смещение функции ψ , называемой анализирующим вейвлетом, $C\psi$ – нормирующий множитель.

Интегрирование ведется по всей числовой оси. В отличие от оконного преобразования Фурье, вейвлет-преобразование, при аналогичных дискретных значениях сдвигов b , дает семейства спектров масштабных коэффициентов a сжатия-растяжения $W\psi(a, \vartheta)f$, определяемых выражением (2). Многомерное временное окно вейвлет-преобразования позволяет одинаково хорошо выявлять и низкочастотные, и высокочастотные спектральные составляющие ЛДФ-граммы с одновременным определением их локализации во времени. Вместе с тем применение метода требует оптимизации выбора базисных функций. Исследования проводились с использованием базисных вейвлетов (функций) Морле и Добеши. Существенной разницы в эффективности их применении не выявлено. Рассмотренные выше методы декомпозиции имеют один общий существенный недостаток – качество получаемых результатов напрямую зависит от правильного выбора соответствующих параметров метода (типа использованного базисного вейвлета, размера окна анализа, масштаба, выбора функции

окна для спектрограммы и т.д.), что требует привлечения дополнительной априорной информации об исследуемом процессе для каждого конкретного случая.

Эмпирическая модовая декомпозиция EMD не требует априорного функционального базиса и предположений о стационарности исследуемых процессов. Функции базиса декомпозиции получаются адаптивно непосредственно из характеристик флоуграм процедурами отсеивания EMD. Следует также отметить более простую программную реализацию метода, быстрдействие и визуализацию результатов. Разработанная методика и программное обеспечение (ПО) прибора обеспечивают дифференциальный анализ ритмических процессов микроциркуляционной гемодинамики, дифференцируемой по эндотелиальной (ЭНДО: 0,0095–0,02 Гц), нейрогенной (НЕЙРО: 0,02–0,052 Гц), сенсорной пептидергической (СЕНС: 0,052–0,069), миогенной (МИОГ: 0,07–0,12 Гц) и холинергической (ХОЛИ: 0,12–0,18 Гц) активностей, включая анализ дыхательных (ДЫХ: 0,2–0,4 Гц) и сердечных (СЕРД: 0,8–1,6 Гц) компонент ритмов ПМ (рис. 4) и существенно расширяют диагностические возможности микроциркуляционной гемодинамики методами лазерной доплеровской флоуметрии. На рис. 4 приведен пример экспериментальной дифференциальной обработки ЛДФ – граммы капиллярного кровотока.

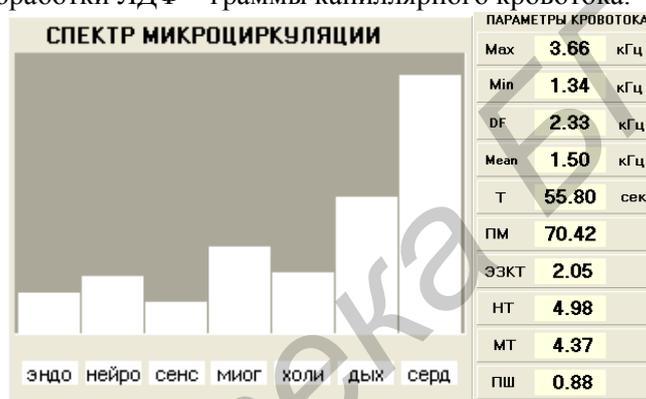


Рис. 4. Пример дифференциальной обработки (окно программного обеспечения)

В индикаторных окошках «Max» и «Min» выводятся значения максимальной и минимальной частоты ЛДФ-граммы, соответствующих максимальной и минимальной групповой скорости эритроцитов. Окошко «DF» отображает размах частот флоуграммы (Max-Min). В индикаторном окошке «T» выводится величина длительности интервала времени измерения ЛДФ-граммы, а окошко «Mean» содержит среднее значение доплеровской частоты (скорости) эритроцитов на этом интервале. Последние пять индикаторов отображают следующие параметры микрососудистого тонуса: ПМ – показатель микроциркуляции (поток); ЭЗКТ – эндотелиально-зависимый компонент тонуса; НТ – нейрогенный тонус; МТ – миогенный тонус; ПШ – показатель шунтирования. В связи с нестационарным процессом микрогемодинамики для определения параметров микрососудистого тонуса длительность измерения ЛДФ-граммы должна составлять около трех минут. Данные параметры вычисляются автоматически в соответствии с расчетными формулами, приведенными в [1].

Заключение

Разработанный лазерный доплеровский флоуметр микрогемодинамики с дифференциальной оценкой ритмических компонент существенно расширяет диагностические возможности и интерпретацию широкого спектра сосудистых патологий в тканях и слизистых оболочках, включая и внутренние органы человека, для раннего обнаружения синдрома «диабетическая стопа», некротических изменений, контроля приживаемости тканей при пересадках, проявлений атеросклероза, артериальной гипертензии, тромбобразования и стеноза сосудов, контроля воздействия медицинских препаратов и физиопроцедур.

LASER DOPPLER FLOWMETER WITH DIFFERENTIAL ANALYSIS OF THE RHYTHMIC COMPONENT OF MICROVASCULAR HEMODINAMIC

V.I. IVANOV, N.I. IVANOV, A.N. LAZARCHIK

Abstract

The results of the development and research of laser Doppler flowmetry for the diagnosis of microvascular hemodynamics with a differential analysis of the rhythmic component are presented.

Keywords: laser Doppler flowmeter, microhemodynamics, tissue blood flow.

Список литературы

1. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Руководство для врачей / Под ред. А.И. Крупаткина, В.В. Сидорова. М., 2005.
2. Rossi M., Carpi A., Di Maria C. et al. // *Microvasc. Res.* 2006. Vol. 72. P. 34.
3. Флоуметр лазерный доплеровский ФЛД-01. Регистрационное удостоверение Минздрава РБ ИМТ № ИМ – 7.2848.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа. М., 1983.
5. Mallat S.G. // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence.* 1989. Vol. 11, № 7. P. 674–693.
6. Daubechies I. // *IEEE Trans. Inform. Theory.* 1990. Vol. 36, № 5. P. 961–1004.
7. Norden Huang. // *Proc. of the Royal Society of London.* London, 1998. P. 903–995.

УДК 616.853:616.831-005-007.64-001.5]-008.6

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ И КЛИНИКО-РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С СИМПТОМАТИЧЕСКОЙ ЭПИЛЕПСИЕЙ ПРИ РАЗОРВАВШИХСЯ АНЕВРИЗМАХ СОСУДОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Н.И. НЕЧИПУРЕНКО, Р.Р. СИДОРОВИЧ, И.Д. ПАШКОВСКАЯ,
О.Л. ЗМАЧИНСКАЯ, Л.А. ВАСИЛЕВСКАЯ

*Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии
Ф.Скорины, 24, Минск, 220114, Беларусь*

Поступила в редакцию 22 ноября 2016

Приведены результаты исследования метаболических и клинико-радиологических изменений у пациентов двух групп с симптоматической эпилепсией или без эпилептических приступов при кровоизлияниях из разорвавшихся артериальных аневризм. Полученные данные свидетельствуют о развитии нарушений гипоксического характера с активацией прооксидантных реакций в обеих группах, однако у пациентов с симптоматической эпилепсией установлено значительное снижение антиоксидантной активности ферментативных и неферментативных систем защиты клеток при повышении продукции провоспалительного цитокина ФНО-альфа в отличие от группы пациентов без эписиндрома.

Ключевые слова: артериальная аневризма, кровоизлияние в головной мозг, симптоматическая эпилепсия, КТ-ангиография, метаболические показатели.