

УДК 612.1:615.849.19

Измерение показателя микроциркуляции крови в капиллярах методом лазерной доплеровской флоуметрии

А.В. Лесных, Е.А. Шимко

Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

Measuring of Microcirculation Blood Flow in Capillaries with a Laser-Doppler Flowmetry

A.W. Lesnyh, E.A. Shimko

Altai State University (Barnaul, Russia)

Представлено описание метода лазерной доплеровской флоуметрии в процессе диагностики здоровых пациентов и пациентов с кожными заболеваниями. Методом лазерной доплеровской флоуметрии оценивается изменение потока эритроцитов в капиллярах. Основным параметром исследования представляет собой динамическую характеристику микроциркуляции крови — изменение потока крови в единицу времени в зондируемом объеме. В ходе исследования с помощью лазерного неинвазивного диагностического комплекса «ЛАКК-М» было проведено сравнение и анализ показателя микроциркуляции крови, среднего квадратичного отклонения амплитуды колебаний кровотока от среднего значения и коэффициента вариации. Приведенный результат анализа измеряемых величин свидетельствует о том, что применяемый метод выявляет статистически значимую разницу в значениях показателя микроциркуляции кровотока для здоровых людей и людей, страдающих кожными болезнями. Увеличение значения показателя микроциркуляции при кожных заболеваниях может быть связано, во-первых, с ослаблением сосудистого тонуса, которое приводит к увеличению объема крови в капиллярах. Во-вторых, увеличение может быть вызвано явлениями застоя крови, что сопровождается повышением концентрации эритроцитов в исследуемом объеме, поскольку значение показателя микроциркуляции прямо пропорционально числу эритроцитов. Полученные данные необходимо учитывать при разработке новых алгоритмов обработки данных и развитии методов лазерной доплеровской флоуметрии для ранней диагностики заболеваний.

Ключевые слова: лазерная доплеровская флоуметрия, микроциркуляция крови, эритроциты в капиллярах.

The paper presents an approach for skin diseases diagnosis with a Laser-Doppler flowmetry evaluation of red blood cells flow changes in capillaries. The target parameter is the dynamic characteristic of blood microcirculation that is the blood flow change per unit time within a volume of interest. The noninvasive diagnostic system “LAKK-M” is utilized for study and comparative analysis of blood microcirculation index, standard deviation of blood flow range and coefficient of variation. Obtained results demonstrate statistical significance of blood microcirculation index measurements for healthy patients and patients suffering from psoriasis and dermatitis. Blood microcirculation index growth is related, firstly, to a vascular tone decrease that leads to increase of blood volume in capillaries. Secondly, index growth can be caused by blood congestion (bradyhemorrhage) that is accompanied by red blood cell concentration increase in the volume of interest due to microcirculation index is directly proportional to red blood cell number. The obtained data should be taken into consideration when developing new approaches for patient data processing and application of a Laser-Doppler flowmetry for early diagnosis of diseases.

Key words: Laser Doppler flowmetry, capillary blood microcirculation index.

DOI 10.14258/izvasu(2017)1-02

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) является новым методом исследования микроциркуляторного кровотока, основанным на измерении доплеровского сдвига лазерного излучения, рассеянного движущимися эритроцитами. Применение амплитудно-частотного анализа колебаний кровотока позволяет оценить влияние различных факторов на тонус микрососудов. Полученные данные дают возможность диагностировать ранние микроциркуляторные нарушения, назначить специфическое лечение и профилактику не только сердечно-сосудистых, но и других заболеваний, что является актуальным в решении выбранной проблемы. В данной работе произведена оценка возможности применения метода лазерной доплеровской флоуметрии для определения основных показателей микроциркуляции крови в кожных капиллярах.

Связь доплеровского сдвига частоты со скоростью эритроцитов в капиллярах описывается формулой

$$\Delta f = \frac{2nv}{\lambda}, \quad (1)$$

где Δf — доплеровский сдвиг частоты, n — показатель преломления излучения в ткани, v — скорость эритроцитов, λ — длина волны зондирующего излучения. Максимальная интенсивность отраженного излучения определяется условием первичного однократного рассеяния фотона на эритроците. По причине того, что при следующем вторичном рассеянии интенсивность отраженного излучения в десять раз слабее по сравнению с первоначальным значением, амплитуда отраженного сигнала формируется в результате отражения излучения от ансамбля эритроцитов, движущихся с различными скоростями и по-разному количественно распределенных в неодинаковых по толщине сосудах. Поэтому в методе ЛДФ применяется алгоритм усреднения, который позволяет получить средний доплеровский сдвиг частоты по всей совокупности эритроцитов, попадающих в зондируемую область. В результате такого усреднения методом ЛДФ оценивается изменение потока эритроцитов. Для этого обрабатывают отраженный сигнал электронным путем, осуществляя усреднение по скоростям (доплеровским сдвигам частоты) [1, 2]. Очевидно, что мощность отраженного излучения складывается из отдельных актов отражения излучения на каждом эритроците и, следовательно, зависит от их концентрации. В работе непосредственно использовался лазерный неинвазивный диагностический комплекс «ЛАКК-М». На выходе этого прибора формируется результат флоуметрии в виде сигнала, амплитуда которого пропорциональна скорости движения и количеству эритроцитов. Результат флоуметрии может быть представлен выражением

$$P_M = KN_9 \langle v \rangle, \quad (2)$$

где P_M — показатель микроциркуляции (амплитуда сигнала в вольтах); K — коэффициент пропорциональности; N_9 — количество эритроцитов; $\langle v \rangle$ — средняя скорость эритроцитов в зондируемом объеме.

Глубина проникновения излучения в ткань определяется поглощением и рассеянием вперед от лазерного источника. Когда излучение распространяется в биологической ткани, только незначительная часть (3–7%) отражается назад. Максимальная величина мощности излучения частично поглощается или рассеивается вперед в соответствии с законом Дебая-Релея. Объем зондируемой ткани в методе ЛДФ определяется геометрией и оптическими параметрами световодного зонда и составляет порядка 1 мм³ для излучения в красной видимой области спектра. Указанный объем ткани кожи может содержать зону, включающую восходящую из глубины дермы артериолу, от которой отходят до пяти ответвлений и множество капилляров [3]. В этом объеме эритроциты движутся с разными линейными скоростями: от 0,68 до 3,87 мм/с — в артериолах; от 0,1 до 0,6 мм/с — в капиллярах и от 0,32 до 1,21 мм/с — в венах. Число эритроцитов в объеме 1 мм³ может достигать несколько десятков тысяч. Таким образом, в неинвазивном методе ЛДФ результирующий параметр определяет динамическую характеристику микроциркуляции крови — изменение потока крови (перфузии ткани кровью) в единицу времени в зондируемом объеме.

В процессе диагностики были проведены измерения для 40 человек, в том числе 20 мужчин и 20 женщин от 35 до 65 лет, из них у 50% независимыми обследованиями были выявлены поражения кожных покровов вследствие заболеваний (псориаз и дерматит). Для частотного анализа ритмов ЛДФ-грамм пациентов использовалась программа LDF3 (версия 3.0.2.384). В ходе исследования методом ЛДФ на лазерном неинвазивном диагностическом комплексе «ЛАКК-М» с помощью указанной программы было проведено сравнение и анализ и непосредственно измеряемых параметров: показатель микроциркуляции крови (P_M), среднее квадратичного отклонения амплитуды колебаний кровотока от среднего арифметического значения σ и коэффициента вариации K_v .

Результаты измерений приведены в таблице. Они показали, что среднее значение показателя микроциркуляции для здоровых мужчин (4,5 пф.ед.) оказалось гораздо ниже, чем у мужчин, страдающих от кожных заболеваний (15,3 пф.ед.). Аналогичные результаты были получены и для женщин (2,5 пф.ед. и 17,2 пф.ед. соответственно). Известно, что изменение значения величины характеризует повышение или снижение перфузии [4–6]. Следовательно, увеличение значения показателя микроциркуляции P_M при кожных заболеваниях может быть связано, во-первых, с ослаблением сосудистого тонуса, которое

приводит к увеличению объема крови в капиллярах. Кроме того, увеличение может быть вызвано явлениями застоя крови, что сопровождается повышением

концентрации эритроцитов в исследуемом объеме, поскольку значение P_M прямо пропорционально числу эритроцитов.

Результаты измерений параметров кровотока в капиллярах методом ЛДФ

	P_M , пф.ед	σ , пф.ед.	K_v , %
Здоровые мужчины	4,7	1,4	29,8
Мужчины с болезнью кожных покровов	15,3	2,3	15,0
Здоровые женщины	2,6	0,6	23,1
Женщины с болезнью кожных покровов	17,2	2,4	14,0

Результаты измерений среднего квадратичного отклонения амплитуды колебаний кровотока от среднего значения P_M , измеряемое в перфузионных единицах, также показали разницу между больными и здоровыми пациентами. Эта величина характеризует временную изменчивость перфузии и отражает среднюю модуляцию кровотока во всех частотных диапазонах: чем больше величина σ , тем более глубокой становится модуляция кровотока. Повышение величины σ , как и значение величины P_M может зависеть от разных факторов. По мнению различных исследователей [7-10], рост значения σ может быть связан с более интенсивным функционированием механизмов активного контроля. Кроме этого, большое влияние оказывает изменение сердечных и дыхательных ритмов в случае патологии органов. Таким образом, можно констатировать, что повышение перфузии в результате указанных заболеваний ведет к ослаблению сосудистого тонуса, что в свою очередь приводит к увеличению значения P_M в результате увеличения объема кровотока. Вместе с этим повышение перфузии приводит к повышению амплитуды колебания P_M (значения σ), который зависит от увеличения количества эритроцитов, поступающих из артерии. При явлении

застоя крови в микрососудах увеличивается количество эритроцитов, что в случае снижения перфузионного давления приводит к увеличению амплитуды дыхательного ритма, следовательно, к росту значений P_M и σ . По этой причине в методе ЛДФ, кроме показателя микроциркуляции кровотока P_M и среднего квадратичного отклонения амплитуды колебаний кровотока от среднего значения σ , производилась оценка коэффициента вариации параметра

$$K_v = \frac{\sigma}{P_M} 100\% . \quad (3)$$

Уменьшение значения коэффициента корреляции (табл.) в результате заболеваний свидетельствует об изменении процесса микроциркуляции кровотока в случае патологии.

Заключение. Приведенные результаты позволяют сделать вывод о том, что метод лазерной доплеровской флоуметрии выявляет статистически значимую разницу в значениях показателя микроциркуляции кровотока для здоровых людей и людей с заболеванием. Следовательно, его можно рекомендовать для применения в целях ранней диагностики соответствующих заболеваний.

Библиографический список

1. Козлов В.И., Азизов Г.А., Гурова О.А. и др. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и устройств микроциркуляции крови. — М., 2012.
2. Галимзянов Х.М., Садретдинов Р.А. Роль метода лазерной флоуметрии в диагностике васкулитов инфекционной природы // Астраханский медицинский журнал. — 2011. — № 6.
3. Буркин И.И. Динамика состояния микроциркуляции у больных стенокардией напряжения II-IV функциональных классов при некоторых видах медикаментозной терапии : автореф. ... дисс. канд. мед. наук. — М., 1998.
4. Рогаткин Д.А., Лапитан Д.Г., Макаров Д.С. Индивидуальная вариабельность параметров микроциркуляции крови и проблемы функциональной диагностики системы микроциркуляции // Функциональная диагностика : материалы IV Всеросс. конф. — 2012. — № 4.
5. Бархатов И.В. Применение лазерной доплеровской флоуметрии для оценки нарушений системы микроциркуляции крови человека // Казанский медицинский журнал. — 2014. — Вып. 1, т. 95.
6. Вчерашний Д.Б., Ерофеев Н.П., Новосельцев С.В. Возможности и ограничения лазерной доплеровской флоуметрии // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. — 2015. — № 6, т. 28.
7. Мареев Г.О., Мареев О.В., Луцевич С.И., Тучин В.В., Федосов И.В. Возможности создания бесконтактного лазерного флоуметра и измерение его основных характеристик // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 6.

8. Hagblad J., Lindberg L.G., Kaisdotter A. et al. A technique based on laser Doppler flowmetry and photoplethysmography for simultaneously monitoring blood flow at different tissue depths // International Federation for Medical and Biological Engineering. — 2010.

9. Roustit M., Cracowski J.L. Assessment of endothelial and neurovascular function in human skin microcirculation // Trends Pharmacol. — Sci, 2013.

10. Akiyama T., Miyazaki T., Ito H., Nogami H. et al. Comparable accuracy of micro-electromechanical blood flowmetry based analysis vs. // Electrocardiographybased analysis in evaluating heart rate variability. — Jpn, 2015.