

УДК 612.135+681.784.8

## **ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОСИМЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДОПЛЕРОВСКИХ ФЛОУМЕТРОВ**

Ю.И. Локтионова, Е.В. Жарких, И.О. Козлов, А.И. Жеребцова  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет  
имени И.С. Тургенева», г. Орел

*В работе представлено исследование параметров микроциркуляторного кровотока в нижних конечностях здоровых добровольцев разных возрастных групп и в группе пациентов с сахарным диабетом 2 типа. Выявлена статистически значимая разница показателей микроциркуляции, колебаний кровотока, а также параметров шунтового и нутритивного кровотока в группе пациентов по сравнению с контрольной группой.*

**Ключевые слова:** лазерная доплеровская флоуметрия, микроциркуляция крови, сахарный диабет.

## **EVALUATION OF BLOOD MICROCIRCULATION SYSTEM PARAMETERS USING WEARABLE LASER DOPPLER FLOWMETERS**

Y.I. Loktionova, E.V. Zharkikh, I.O. Kozlov, A.I. Zherebtsova  
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

*In the present research, a study of the parameters of microcirculation in the lower limbs of healthy volunteers of different age groups and in the group of patients with type 2 diabetes mellitus are observed. A significant difference in the parameters of patients compared with the control group was revealed. A statistically significant difference was found in the parameter of average perfusion, blood flow fluctuations, as well as in the parameter of shunt and nutritive blood flow.*

**Keywords:** laser Doppler flowmetry, blood microcirculation, diabetes mellitus.

Оценка микроциркуляции крови позволяет получить ценную диагностическую информацию о состоянии сердечно-сосудистой системы, а также выявить нарушения кровотока на ранних стадиях различных социально значимых заболеваний, например, при сахарном диабете. В настоящее время одним из наиболее популярных неинвазивных методов диагностики микроциркуляторного русла является метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) [1, 2]. Данный метод основан на зондировании кожи лазерным излучением и последующем анализе рассеянного и отраженного от движущихся эритроцитов света.

Целью данной работы явилось изучение параметров, характеризующих регуляцию микроциркуляторного кровотока в нормальных условиях, и их изменений при патологии (на примере сахарного диабета).

Экспериментальные исследования проводились с использованием новой носимой распределенной многоточечной системы, состоящей из 4-х приборов ЛАЗМА-ПФ (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва) (решение Росздравнадзора №660/2018). Приборы имеют идентичные каналы, реализующие метод ЛДФ, а также встроенные каналы термометрии и акселерометр. Данная система позволяет одновременно регистрировать микроциркуляцию крови в нескольких точках локализации датчиков.

В исследовании приняли участие здоровые добровольцы, а также пациенты с сахарным диабетом 2 типа.

Для исследования параметров микроциркуляции датчики закреплялись на больших пальцах ног со стороны подошвы, а также на внутренней стороне верхней трети голени. При регистрации перфузии крови испытуемые располагались на кушетке в положении лежа, в состоянии физического и психологического покоя. Исследования проводились не ранее, чем через 2 часа после приема пищи, лекарств, проведения процедур и физических нагрузок. Длительность одной записи составляла 10 минут.

В исследовании параметров микроциркуляторного русла в голених приняли участие 16 пациентов в возрасте  $57,2 \pm 9,1$  года, а также 9 волонтеров схожего возраста ( $52,3 \pm 10,7$  года). Изучение микроциркуляторного кровотока в больших пальцах ног проводилось с участием группы из 43 пациентов и двух групп условно здоровых добровольцев, разделенных по возрасту: первая группа включала 17 волонтеров в возрасте  $21,7 \pm 1,4$  года, вторая – 10 волонтеров в возрасте  $51,8 \pm 14,4$  года.

Для оценки состояния микроциркуляторного кровотока были рассчитаны и проанализированы следующие параметры: средний уровень перфузии, амплитуды колебаний кровотока в эндотелиальном (0,0095-0,021 Гц), нейрогенном (0,021-0,052 Гц), миогенном (0,052-0,145 Гц), дыхательном (0,145-0,6 Гц) и сердечном (0,6-2 Гц) диапазонах частот [3], показатель шунтирования, нутритивный и шунтовой кровотоки [2].

Статистически значимая разница была обнаружена в голених между пациентами и здоровыми волонтерами в показателе микроциркуляции, эндотелиальных, нейрогенных и сердечных осцилляциях, коэффициенте вариации, показателе шунтирования, нутритивном и шунтовом кровотоке. Стоит отметить, что с возрастом средний уровень перфузии увеличивается, однако данный параметр у пациентов с сахарным диабетом 2 типа находится между средними значениями двух возрастных групп здоровых добровольцев. Схожие данные были получены при сравнении индекса микроциркуляции пациентов и здоровых волонтеров двух возрастных групп [4]. Также значимые различия в параметрах кровотока были найдены в больших пальцах ног между 1 и 2 возрастными группами в показателе шунтирования

и в сердечных колебаниях, а также между 1 группой и пациентами в эндотелиальных и сердечных осцилляциях, коэффициенте вариации, показателе шунтирования и нутритивном кровотоке.

Для выявления статистически значимой разницы был использован критерий Манна-Уитни с доверительной вероятностью 95%.

Расчет вышеперечисленных параметров позволяет оценить состояние систем, регулирующих микроциркуляторный кровоток, а также перфузию в питательных и шунтирующих путях, что поможет выявить особенности питания клеток при сахарном диабете 2 типа. Реализованный метод обработки данных сигнала ЛДФ продемонстрировал лучшую чувствительность к нарушениям микроциркуляции при сахарном диабете, по сравнению с использованием анализа только амплитуд колебаний кровотока и среднего уровня перфузии крови.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-3400.2018.8.*

#### *Библиографический список*

1. Daly, S. “Go with the flow”: A review of methods and advancements in blood flow imaging / S. Daly, M. Leahy // Journal of Biophotonics. – 2013. – Vol. 6. – P. 217-255.
2. Крупаткин, А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей / А.И. Крупаткин, В.В. Сидоров. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 496 с.
3. Lancaster, G., Dynamic markers based on blood perfusion fluctuations for selecting skin melanocytic lesions for biopsy / G. Lancaster, A. Stefanovska, M. Pesce, G. Marco Vezzoni, B. Loggini, R. Pingitore, F. Ghiara, P. Barachini, G. Cervadoro, M. Romanelli, M. Rossi // Scientific Reports. – 2015. – P. 2.
4. Zharebtsov, E. Wearable sensor system for multipoint measurements of blood perfusion: pilot studies in patients with diabetes mellitus / E. Zharebtsov, E. Zharkikh, I. Kozlov, Y. Loktionova, A. Zharebtsova, I. Rafailov, S. Sokolovski, V. Sidorov, A. Dunaev, E. Rafailov // Medical Laser Applications and Laser Tissue Interactions IX. – 2019. – Proc. SPIE 11079, 110791O.