

УДК 612.135:615.47

Жеребцова А.И.

к.т.н., старший научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Жеребцов Е.А.

к.т.н., старший научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Жарких Е.В.

студент кафедры приборостроения, метрологии и сертификации, стажер-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Козлов И.О.

аспирант кафедры приборостроения, метрологии и сертификации, стажер-исследователь научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Локтионова Ю.И.

студент кафедры приборостроения, метрологии и сертификации, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Сидоров В.В.

к.т.н., генеральный директор ООО НПП «ЛАЗМА»

Дунаев А.В.

к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник научно-технологического центра биомедицинской фотоники, Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

UDK 612.135:615.47

Zherebtsova A.I.

Ph.D., Senior Researcher, Scientific and Technological Center of Biomedical Photonics, Oryol State University named after I.S. Turgeneva

Zherebtsov E.A.

Ph.D., Senior Researcher, Scientific and Technological Center of Biomedical Photonics, Oryol State University named after I.S. Turgeneva

Zharkikh E.V.

student of the department of instrument-making, metrology and certification, intern-researcher of the scientific and technological center of biomedical photonics, Oryol State University named after I.S. Turgeneva

Kozlov I.O.

Postgraduate Student, Department of Instrument Engineering, Metrology and Certification, intern-researcher of the scientific and technological center of biomedical photonics, Orlovsky State University named after IS. Turgeneva

Loktionova Yu.I.

student of the department of instrument-making, metrology and certification, Oryol State University named after I.S. Turgeneva

Sidorov V.V.

Ph.D., General Director of NPP "LAZMA"

Dunaev A.V.

Ph.D., Associate Professor, Leading Researcher of the Scientific and Technological Center for Biomedical Photonics, Oryol State University Turgeneva

ПРИМЕНЕНИЕ НОСИМОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНЫХ ДОППЛЕРОВСКИХ АНАЛИЗАТОРОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ РЕГИОНАРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МИКРОКРОВотоКА В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИЯХ

THE USE OF DISTRIBUTED WEARABLE SYSTEM OF LASER DOPPLER ANALYZERS IN STUDIES OF REGIONAL CHANGES OF MICROCIRCULATION IN NORMAL AND PATHOLOGICAL CONDITIONS

Аннотация. Рассмотрены возможности применения носимой распределенной системы лазерных доплеровских анализаторов для выявления возрастных особенностей микроциркуляции и диагностики осложнений сахарного диабета.

Ключевые слова: лазерная доплеровская флоуметрия, микроциркуляция, носимые сенсоры, возрастные изменения, сахарный диабет.

Abstract. The possibilities of using a wearable distributed system of laser Doppler analyzers to identify age-related features of microcirculation and diagnosis of complications of diabetes mellitus are considered.

Keywords: laser Doppler flowmetry, microcirculation, wearable sensors, age-related changes, diabetes mellitus.

Основная часть

Система микроциркуляции крови является важной, сложно организованной частью сердечно-сосудистой системы и играет решающую роль в жизнеобеспечении всех типов тканей в каждой части организма. Изменения микроциркуляции кожи могут как предшествовать клиническим проявлениям патологических процессов, так и являться следствием различных заболеваний и сопутствующих им осложнений [1-2]. Одним из современных методов неинвазивной оптической диагностики системы микроциркуляции крови является лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ), основанная на зондировании ткани лазерным излучением и анализе рассеянного и отраженного от движущихся эритроцитов излучения [3]. Недавнее появление новых сверхкомпактных одномодовых энергоэффективных VCSEL-лазеров открыло принципиально новые возможности для проведения ЛДФ-измерений [4].

Целью настоящей работы было исследование возможностей применения распределенной системы лазерных доплеровских анализаторов для выявления возрастных особенностей микроциркуляции и диагностики осложнений сахарного диабета.

Экспериментальные исследования проводились с помощью лазерных анализаторов микроциркуляции крови «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва) с длиной волны лазерного излучения 850 нм. В исследованиях принимали участие здоровые добровольцы без выявленных проблем со здоровьем и пациенты с сахарным диабетом 2 типа. Исследования проводилось в положении сидя в состоянии психологического и физического покоя, руки испытуемого располагались на столе, на уровне сердца, запись перфузии длилась 10 мин.

В первой серии измерений принимали участие 40 добровольцев без выявленных проблем со здоровьем. Испытуемые были разделены на две возрастные группы: группа 1 в возрасте до 20 лет (22 человека, средний возраст $19,4 \pm 0,6$ года) и группа 2 в возрасте старше 40 лет (18 человек, средний

возраст $52,6 \pm 10,2$ года). Перфузия регистрировалась на ладонной поверхности дистальных фаланг третьих пальцев обеих рук.

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что средний уровень перфузии значительно увеличивается с возрастом. Статистическая разница наблюдалась также в амплитудах миогенных и эндотелиальных колебаний микрокровотока. Поскольку в обе группы добровольцев входили лишь здоровые люди, имеющие сходные значения частоты сердечных сокращений и артериального давления, то можно предположить, что полученный результат отражает возрастную специфику микроциркуляторного русла [5].

Во второй серии измерений принимали участие 37 добровольцев без выявленных проблем со здоровьем и 18 пациентов с сахарным диабетом 2 типа. Здоровые испытуемые были разделены на две возрастные группы: группа 1 (16 человек, средний возраст $19,6 \pm 0,6$ года) и группа 2 (21 человек в возрасте $53,2 \pm 11,4$ года). Перфузия регистрировалась одновременно на тыльной стороне запястий и ладонной поверхности дистальных фаланг третьих пальцев обеих рук.

Самый высокий уровень перфузии крови в пальцах наблюдался в старшей группе здоровых добровольцев, а самые низкие значения регистрировались в младшей группе. Такой результат может быть обусловлен как изменениями микрогемодинамики, так и структурными изменениями микроциркуляторного русла во время старения, включая увеличение общей параллельной длины сосудов [5]. В измерениях на запястьях пациенты с диабетом имели самый высокий уровень перфузии, а первая группа добровольцев – самый низкий. Увеличение перфузии у больных сахарным диабетом в базальных условиях было описано ранее в работах других авторов и связано с влиянием диабетической нейропатии на кровоток [6].

Таким образом, примененная в данных исследованиях носимая распределенная система лазерных доплеровских анализаторов продемонстрировала возможность регистрации возрастных изменений перфузии крови, а также изменений, связанных с развитием осложнений сахарного диабета 2 типа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00237).

Библиографический список

[1] Levy, B.I., Ambrosio, G., Pries, A.R., Struijker-Boudier, H.A. Microcirculation in hypertension: a new target for treatment? // *Circulation*, 104(6), 735-740 (2001).

- [2] Wheatcroft, S.B., Williams, I.L., Shah, A.M., Kearney, M.T. Pathophysiological implications of insulin resistance on vascular endothelial function // *Diabetic Medicine*, 20(4), 255-268 (2003).
- [3] Fredriksson, I., Larsson, M., Strömberg, T. Model-based quantitative laser Doppler flowmetry in skin // *Journal of Biomedical Optics*, 15(5), 057002 (2010).
- [4] Zherebtsov, E.A., Zharkikh, E.V., Kozlov, I.O., Zherebtsova, A.I., Loktionova, Y.I. Chichkov, N.B., Rafailov, I.E., Sidorov, V.V., Sokolovski, S.G., Dunaev, A.V., Rafailov, E.U. Novel wearable VCSEL-based sensors for multipoint measurements of blood perfusion // *Proc. SPIE 10877*, 1087708 (2019).
- [5] Li, L., Mac-Mary, S., Sainthillier, J.M., Nouveau, S., de Lacharriere, O., Humbert, P. Age-related changes of the cutaneous microcirculation in vivo // *Gerontology*, 52(3), 142-153 (2006).
- [6] Schramm, J.C., Dinh, T., Veves, A. Microvascular changes in the diabetic foot // *International Journal of Lower Extremity Wounds*, 5(3), 149-159 (2006).

А.И. Жеребцова
Е.А. Жеребцов
Е.В. Жарких
И.О. Козлов
Ю.И. Локтионова
В.В. Сидоров
А.В. Дунаев
А.И. Zherebtsova
Е.А. Zherebtsov
Е.В. Zharkikh
I.O. Kozlov
Y.I. Loktionova
V.V. Sidorov
A.V. Dunaev