

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ
МИКРОЦИРКУЛЯТОРНО-ТКАНЕВЫХ СИСТЕМ НОСИМЫМИ
МУЛЬТИМОДАЛЬНЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ АНАЛИЗАТОРАМИ**

Паршакова В.Е. (ОГУ им. И.С. Тургенева), **Локтионова Ю.И.** (ОГУ им. И.С. Тургенева),
Жарких Е.В. (ОГУ им. И.С. Тургенева)

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Дунаев А.В.
(ОГУ им. И.С. Тургенева)

Введение. Микроциркуляторно-тканевая система (МТС) – структурно-функциональная единица органов, отвечающая за обмен кислородом и питательными веществами между кровью и тканями [1]. Она играет ключевую роль при патологических состояниях и сосудистых нарушениях, что делает ее диагностику крайне важной. Функциональное состояние МТС изменяется под влиянием таких факторов, как анатомическая неоднородность, возраст, физическая активность, условия окружающей среды и др. Возрастные изменения включают уменьшение плотности капиллярной сети, увеличение длины сосудов и ухудшение микрососудистой реактивности, что сказывается на трофике тканей [2]. Цель данной работы – оценить физиологическую вариабельность параметров микроциркуляторно-тканевых систем человеческого тела в различных участках кожи, используя носимые мультимодальные анализаторы, реализующих методы лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС).

Основная часть. В исследовании использовались мультимодальные носимые анализаторы «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», Москва), включающие каналы ЛДФ и ФС. Все измерения проводились при стандартной комнатной температуре 23 ± 1 °С для минимизации вариабельности окружающей среды. Сбор данных проводился в одно и то же время суток для учета влияния циркадных ритмов на организм человека. В исследование были включены 5 мужчин и 6 женщин в возрасте 23 ± 3 лет. Систолическое артериальное давление у участников составляло 118 ± 7 мм рт. ст., диастолическое 78 ± 6 мм рт. ст., а частота пульса 80 ± 9 ударов в минуту. Индекс массы тела составлял 21 ± 3 кг/м² для женщин и 23 ± 3 кг/м² для мужчин. Из исследования были исключены участники с хроническими сердечно-сосудистыми или эндокринными заболеваниями, курильщики, а также лица, регулярно принимающие лекарственные препараты. В исследовании оценивались параметры микроциркуляции крови и окислительного метаболизма биотканей в различных анатомических областях (на лбу в области бассейнов надглазничных артерий, на тыльных сторонах запястий, ладонной поверхности дистальных фаланг третьих пальцев рук и подошвенной поверхности дистальных фаланг первых пальцев ног) для определения вариабельности и воспроизводимости регистрируемых параметров [3]. Носимые анализаторы прикреплялись симметрично с правой и левой сторон тела. Места измерения перед прикреплением очищались дезинфицирующим раствором.

Протокол исследования состоял из двух частей:

- базовая запись (БЗ) – 10-минутная одновременная запись сигналов ЛДФ и ФС, когда испытуемые находились в положении лежа.

- окклюзионный тест (ОТ) – манжета тонометра накладывалась на плечевую артерию, сжимая ее под давлением 200 мм рт. ст. в течение 3 минут. После снятия манжеты, в течение 7 минут регистрировалось восстановление перфузии. Данный тест проводился в положении сидя за столом, руки располагались на столе на уровне сердца.

При общей оценке, наибольшей вариабельностью показателя микроциркуляции характеризуется область пальцев ног ($50 \pm 10\%$). Этот результат может быть связан с спецификой зоны измерения - несмотря на то, что перед началом измерений добровольцам было дано время на адаптацию к условиям окружающей среды, ношение обуви и ходьба до начала измерений могли повлиять на большую вариабельность параметров в этой области. Наименьшая вариабельность показателя микроциркуляции ($18 \pm 7\%$) наблюдается в

области запястий, что может быть связано с наименьшим уровнем перфузии по сравнению с другими областями интереса из-за атомических особенностей этой зоны. Анализ окислительного метаболизма с помощью ФС показал значительные межиндивидуальные различия, отражающие вариации метаболической активности и оксигенации тканей. Так, нормированная амплитуда флуоресценции NADH характеризуется приемлемыми значениями коэффициента вариации (до 30%) у большинства добровольцев на участках кожи пальцев рук и ног и пальцев ног, а также предплечий. Параметры, полученные с помощью ОТ, демонстрируют высокую воспроизводимость (коэффициент вариации в большинстве случаев составляет ниже 20%), что подтверждает преимущество использования функциональных тестов для повышения воспроизводимости результатов исследований и диагностических процедур.

Полученные результаты подтверждают потенциал мультимодальных носимых анализаторов для неинвазивной диагностики, особенно в клинических и реабилитационных условиях [5]. Будущие исследования должны быть направлены на расширение исследования с включением различных возрастных групп и патологических состояний для дальнейшего уточнения диагностических критериев и оптимизации клинического применения.

Выводы. Полученные результаты позволяют установить исходную физиологическую вариабельность параметров МТС условно-здоровых добровольцев молодого возраста, что важно для разработки критериев диагностики нарушений микрогемодинамики и оптимизации протоколов исследования. Будущие исследования должны включать более крупные выборки с различными возрастными группами и медицинскими состояниями для дальнейшего уточнения диагностических подходов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 23-25-00522).

Список использованных источников:

1. J.-L.Cracowski and M. Roustit, «Human Skin Microcirculation», *Comprehensive Physiology* 10 (2020): 1105.
2. P. C. Johnson, *Overview of the Microcirculation*, (San Diego: Academic Press, 2008), xi–xxiv.
3. Zharkikh E., Loktionova Yu., Dunaev A., *Microcirculatory Dysfunction in Patients With Diabetes Mellitus Detected by a Distributed System of Wearable Laser Doppler Flowmetry Analysers*, *Journal of Biophotonics* (2024)
4. A. Frolov, Y. Loktionova, E. Zharkikh, V. Sidorov, A. Tankanag, A. Dunaev, *Effects of Voluntary Changes in Minute Ventilation on Microvascular Skin Blood Flow*, *Journal of Science in Sport and Exercise* (2024).
5. Loktionova Yu.I., Zharkikh E.V., Parshakova V.E., Sidorov V.V., Dunaev A.V. *Multimodal Optical Analyzers: Physiological Variability and Reproducibility of Measurements*. *Journal of Biophotonics*. e202400527, 1-19 (2025).