

УДК 612.135

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАРНЫХ РАЗЛИЧИЙ ПАРАМЕТРОВ
МИКРОЦИРКУЛЯТОРНО-ТКАНЕВЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА
ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОМОЩИ ПОРТАТИВНЫХ
МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ**

А.А. Спиридонова, А.Д. Легостаев, А.Е. Новосёлов, Е.В. Русина,
Ю.И. Локтионова, Е.В. Жарких
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орёл

Проведен сравнительный анализ параметров микроциркуляторно-тканевых систем организма человека, измеренных в разных анатомо-топографических участках кожи при помощи методов лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии, реализованных в портативных мультимодальных анализаторах.

Ключевые слова: *оптическая неинвазивная диагностика, лазерная доплеровская флоуметрия, флуоресцентная спектроскопия, микроциркуляторно-тканевые системы*

**STUDY OF REGIONAL DIFFERENCES IN PARAMETERS
OF MICROCIRCULATORY-TISSUE SYSTEMS OF THE HUMAN BODY
USING PORTABLE MULTIMODAL ANALYSERS**

A.A. Spiridonova, A.D. Legostayev, A.E. Novosyolov, E.V. Rusina,
Yu.I. Loktionova, E.V. Zharkikh
Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

A comparative analysis of microcirculatory-tissue systems parameters of the human body, measured by laser Doppler flowmetry and fluorescence spectroscopy in different topographo-anatomical areas of skin with the use of portable multimodal analyzers is carried out.

Key words: *optical noninvasive diagnostics, laser Doppler flowmetry, fluorescence spectroscopy, microcirculatory-tissue systems*

Лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) представляет собой неинвазивный метод оценки кровотока, используемый для исследования микроциркуляции крови и выявления сосудистых нарушений. В настоящее время принято объединять несколько методов оптической диагностики для реализации мультимодального подхода [1]. Совместно с ЛДФ зачастую используется метод флуоресцентной спектроскопии (ФС), позволяющий получать информацию о состоянии окислительного метаболизма биологических тканей. Применяемые по всему миру, методы ЛДФ и ФС демонстрируют значительные различия в значениях параметров, измеряемых в разных анатомических участках кожи человека.

На неоднородность параметров микроциркуляторно-тканевых систем (МТС) организма человека влияют различные факторы, включающие

пространственную неоднородность сосудистой сети, различия температуры исследуемых областей кожи, различия толщины кожи в разных анатомических участках, положение тела испытуемого в пространстве, неоднородность оптических свойств кожи, и другие. Для однозначной интерпретации результатов измерений параметров МТС, зарегистрированных с использованием методов ЛДФ и ФС, необходимы знания о референсном диапазоне измеряемых значений и их вариабельности. В связи с чем, целью настоящего исследования стало проведение литературного обзора и сравнительный анализ параметров МТС, измеренных в разных анатомических участках кожи человека разными коллективами авторов, для формализации методологии проведения исследований по формированию базы референсных значений параметров ЛДФ и ФС.

Проведённый литературный обзор [2-9] с анализом литературных источников как из Российских, так и из международных баз данных продемонстрировал то, что для решения различных диагностических задач коллективы авторов исследуют параметры МТС в разных анатомических участках кожи. Наибольшей популярностью пользуются следующие зоны исследования: тыльная сторона запястья, ладонная поверхность пальца руки, тыльная сторона стопы, голень, предплечье, лоб. На рисунке 1 приведено сравнение значений показателя микроциркуляции крови (ПМ), полученных разными коллективами авторов в разных исследуемых зонах. Данные представлены в формате среднее \pm среднеквадратическое отклонение.

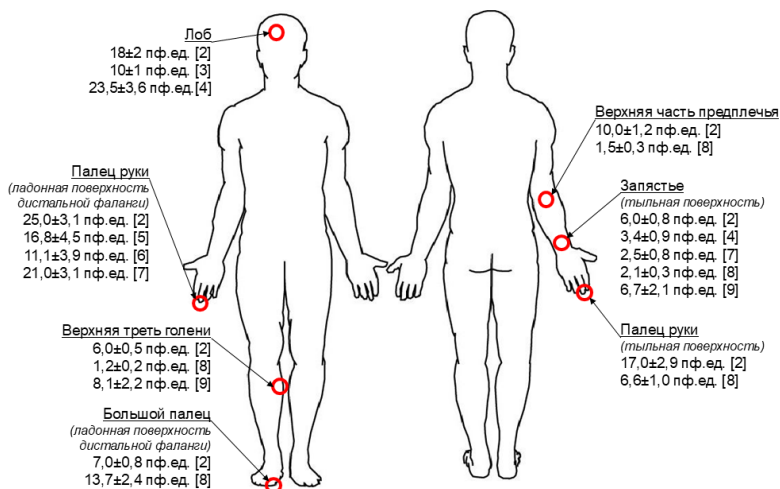


Рис. 1 – Средние значения параметра микроциркуляции крови для разных областей организма человека

Стоит отметить, что даже при измерениях в одних и тех же анатомических участках кожи, параметры ЛДФ и ФС могут отличаться в

публикациях разных коллективов авторов. При измерении параметров ЛДФ могут возникать различные проблемы, включая микромобильность участников и влияние температурных колебаний на гемодинамические показатели. Оптические помехи, вызванные волосатым покровом или другими препятствиями, могут снижать качество сигнала, а неоднородность биологических тканей затрудняет интерпретацию полученных данных. Неправильное положение испытуемого, влияние фармакологических препаратов и физические факторы, такие как стресс, могут дополнительно искажать результаты измерений. Цвет кожи в свою очередь может влиять на поглощение и рассеяние лазерного света, что также затрудняет анализ результатов. Таким образом, в настоящее время унификация и стандартизация измерений лазерной доплеровской флоуметрии остаётся актуальной задачей. В качестве первого шага к её решению может выступать установление диапазонов нормальных значений сигналов для различных областей исследования и условий эксперимента. Это позволит повысить сопоставимость результатов, снизить расхождения данных и создать единый подход к интерпретации результатов ЛДФ в научных и прикладных исследованиях.

На основании проведённого литературного обзора предложен и разработан протокол проведения экспериментального исследования для формирования базы референсных значений параметров ЛДФ и ФС. В ходе экспериментального исследования изучены параметры микроциркуляции крови в шести зонах на теле человека: кожа лба в области бассейна надглазничных артерий, кожа висков, кожа запястий в точке, расположенной на срединной линии на 2 см выше шиловидного отростка, кожа тыльной стороны середины предплечья, кожа вентральной стороны середины предплечья, кожа ладонной поверхности дистальных фаланг 3-их пальцев рук. Участниками исследования стали 10 условно здоровых добровольцев в возрасте от 18 до 23 лет. Измерения проводились в одно и то же время суток, чтобы избежать влияния циркадных ритмов на параметры МТС. Перед началом измерений каждый доброволец занимал стандартное положение: спина опиралась на спинку стула, руки располагались на столе на уровне сердца, а голова находилась в вертикальном положении с направленным вперед взглядом. Участники сохраняли расслабленное состояние мышц, исключая активную мозговую деятельность на период проведения исследования. Длительность измерения параметров в области кожи лба, запястий и пальцев рук составляла 8 мин, в областях висков и предплечий параметры МТС регистрировались в течение 1 мин. Исследование проводилось без оказания какой-либо функциональной нагрузки на организм испытуемого.

Для регистрации параметров ЛДФ и ФС в исследовании применялись анализаторы «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПП «ЛАЗМА», Россия), которые крепились попарно на правой и левой сторонах тела испытуемого в каждой из исследуемых областей. В ходе проведения исследования измерены и

проанализированы следующие параметры: среднее значение показателя микроциркуляции крови за время проведения исследований ($ПМ$, пф.ед.), значение стандартного отклонения ПМ за время исследования (σ , пф.ед.), интенсивность обратно-отражённого излучения канала ФС на длине волны 365 нм (A_{365} , отн.ед.), интенсивность флуоресценции тканей на длине волны 460 нм (A_{460} , отн.ед.), нормированная интенсивность флуоресценции кофермента НАДН ($A_{НАДН}$, отн.ед.). Результаты проведённых экспериментальных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

		Параметры				
		ПМ, пф.ед.	σ , пф.ед.	A_{365} , отн.ед.	A_{460} , отн.ед.	$A_{НАДН}$, отн.ед.
Области проведения исследований	Правая сторона					
	Лоб	10,7±4,4	2,0±1,2	7,3±2,9	35,4±23,1	3,6±1,5
	Виски	10,8±5,4	1,3±0,8	8,6±4,8	35,0±16,7	3,0±1,1
	Тыльная сторона предплечья	5,0±1,9	0,5±0,3	2,7±1,5	12,5±3,9	5,9±3,1
	Внутренняя сторона предплечья	5,2±2,1	0,5±0,4	6,9±5,4	18,7±9,4	5,4±3,2
	Запястье	4,2±0,7	0,7±0,3	8,4±6,9	28,1±17,8	4,2±1,6
	Палец руки	25,1±8,1	3,6±2,3	107,9±24,0	80,9±9,0	0,7±0,1
	Левая сторона					
	Лоб	12,4±5,9	1,9±1,3	4,8±3,5	13,5±5,6	2,8±1,8
	Виски	10,5±3,0	1,0±0,3	6,7±3,2	21,4±10,4	1,5±0,7
	Тыльная сторона предплечья	4,7±1,1	0,5±0,2	10,0±8,7	23,5±10,2	2,1±1,4
	Внутренняя сторона предплечья	4,9±1,3	0,3±0,1	5,5±2,1	33,9±17,1	3,9±2,1
	Запястье	5,2±1,0	0,6±0,3	7,0±4,7	18,5±10,2	4,3±2,4
	Палец руки	24,6±3,9	3,1±1,2	120,8±10,3	74,8±12,7	0,6±0,1

Результаты проведенных исследований продемонстрировали, что измеренные значения параметров ЛДФ в целом соответствуют приведённым литературным данным. Показана значительная пространственная вариабельность параметров ЛДФ и ФС в зависимости от зоны исследования. Например, области пальцев рук характеризуются самыми высокими значениями ПМ (25 пф.ед.) и самыми низкими значениями $A_{НАДН}$ (0,6-0,7 отн.ед.), что может объясняться отличиями в архитектуре системы микроциркуляции крови в этой области (большее количество артериоло-веноулярных анастомозов и большее кровоснабжение), обуславливающими отличия и в оптических характеристиках кожи (большее поглощение оптического излучения).

Отмечено, что некоторые из изученных областей измерения (например, пальцы рук, запястья) характеризуются лучшей воспроизводимостью данных, чем другие области, и лучшей повторяемостью в правой и левой сторонах тела, что, возможно, связано с возможностью более точной фиксации анализаторов в одной и той же области измерения у разных волонтеров в этих областях.

Для более точного анализа полученных данных требуется проведение дополнительных исследований и расширение исследуемой выборки.

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

Библиографический список

1. Дунаев А.В. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека / А. В. Дунаев. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 440 с.: ил.
2. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови / В.И. Козлов, Г.А. Азизов, О.А. Гурова, Ф.Б. Литвин // Методическое пособие для врачей. М, 2012. 32 с.
3. Оценка состояния микроциркуляторного русла кожи лица методом лазерной доплеровской флоуметрии / А.В. Давыдова, А.В. Моррисон, С.Р. Утц, И. В. Меглинский, В. В. Лычагов // Саратовский научно-медицинский журнал, 2012, 8(2).
4. Acute effects and long-term variations in skin blood flow measured with laser Doppler flowmetry / S. Sundberg // Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation, 1984. 44(4).
5. Возможности холодовой пробы для функциональной оценки микроциркуляторно-тканевых систем / И.Н. Новикова, А.В. Дунаев, В.В. Сидоров, А.И. Крупаткин // Регионарное кровообращение и микроциркуляция, 2015, 14(2).
6. Возможности исследования изменений амплитуд колебаний кожного кровотока с помощью адаптивного вейвлет-анализа при проведении окклюзионных проб / Е.В. Жарких, А.И. Жеребцова, И.Н. Маковик и др. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2015, 314(6).
7. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms, / A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin et al. // Physiological Measurement, 2014, 35(4).
8. Microvascular blood flow, volume, and velocity measured by laser Doppler techniques in IDDM / M. Rendell, T. Bergman, G. O'Donnell et al. // Diabetes, 1989, 38(7).
9. Assessment of Blood Microcirculation Changes after COVID-19 Using Wearable Laser Doppler Flowmetry / E.V. Zharkikh, Yu.I. Loktionova, A.A. Fedorovich et al. // Diagnostics, 2023, 13(5).