

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

**ЛАЗЕРНАЯ ДОПЛЕРОВСКАЯ ФЛОУМЕТРИЯ И ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ
СПЕКТРОСКОПИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ
МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА ЧЕЛОВЕКА.**

АВТОРЕФЕРАТ

ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА

студентки 4 курса 4021 группы
направления 03.03.02 «Физика» (профиль Компьютерные технологии в
медицинской физике)
института физики
Рашидовой Залины Шубертовны

Научный руководитель

профессор, д.ф.-.м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

А.В.

подпись, дата

Ан.В. Скрипаль

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

профессор, д.ф.-.м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

А.В.

подпись, дата

Ан.В. Скрипаль

инициалы, фамилия

16.06.25

Саратов 2025

Введение

Микроциркуляторное русло играет фундаментальную роль в поддержании гомеостаза организма, обеспечивая доставку кислорода и жизненно необходимых питательных веществ к тканям, а также способствуя выведению продуктов метаболизма. Этот тонко организованный уровень кровообращения охватывает мельчайшие сосуды — артериолы, капилляры и венулы — и непосредственно участвует в регуляции обменных процессов, температурного баланса, иммунных реакций и других физиологических функций. Даже незначительные нарушения в системе микроциркуляции могут стать отправной точкой для развития целого ряда заболеваний, поскольку они нарушают адекватное питание тканей и дренаж метаболитов.

Особенно значимыми являются расстройства микроциркуляции при таких распространённых патологиях, как сахарный диабет, артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, системные васкулиты, а также при различных воспалительных и аутоиммунных заболеваниях. В этих случаях нарушение трофики тканей может способствовать хронизации патологических процессов, развитию осложнений и снижению качества жизни пациентов. Учитывая ключевую роль микроциркуляции в патогенезе многих заболеваний, её своевременная и точная оценка становится неотъемлемой частью современной медицины.

Существующие на сегодняшний день методы диагностики микроциркуляции — включая капилляроскопию, плетизмографию, термографию и другие — обладают рядом ограничений. Многие из них отличаются высокой степенью субъективности при интерпретации результатов, не всегда обеспечивают достаточную информативность или требуют инвазивного вмешательства, что ограничивает их применение в рутинной клинической практике. Поэтому возникает объективная необходимость в разработке и внедрении более точных, чувствительных и неинвазивных технологий, способных дать комплексную оценку состояния микроциркуляторного русла.

Одними из наиболее перспективных направлений являются лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) и флуоресцентная спектроскопия (ФС). Эти методы позволяют получать объективную информацию о состоянии микроциркуляции и метаболической активности тканей в реальном времени, без нарушения их целостности.

Метод ЛДФ предоставляет широкие возможности для изучения различных параметров микроциркуляции: от общей интенсивности кровотока до анализа его колебательных компонентов, отражающих работу сосудистого тонуса, дыхательной и сердечной активности. Благодаря высокой чувствительности и воспроизводимости, метод активно применяется для раннего выявления нарушений кровотока при различных заболеваниях, мониторинга состояния пациентов и объективной оценки эффективности проводимой терапии. Кроме того, использование лазерной доплеровской флоуметрии способствует углублённому пониманию патогенетических механизмов микроциркуляторных расстройств, что, в свою очередь, может способствовать разработке новых подходов к профилактике и лечению соответствующих патологий.

В свою очередь, флуоресцентная спектроскопия (ФС) основывается на регистрации спектров флуоресценции тканевых флуорофоров (например, НАДН - никотинамид-адениндинуклеотид), что позволяет оценить энергетическое состояние клеток, уровень тканевого кислородного метаболизма и наличие оксидативного стресса. Метод широко применяется в биомедицинских исследованиях благодаря своей чувствительности к метаболическим изменениям и способности выявлять патологические процессы на ранних стадиях.

Комбинированное использование ЛДФ и ФС обеспечивает многокомпонентный подход к оценке микроциркуляции: одновременно с анализом гемодинамики можно получать данные о метаболическом статусе тканей. Это особенно важно при исследовании пограничных и начальных стадий

заболеваний, когда анатомические изменения сосудов ещё не выражены, но функциональные нарушения уже имеют место.

Актуальность исследования обусловлена высокой распространённостью заболеваний, сопровождающихся нарушением микроциркуляции, таких как сахарный диабет, артериальная гипертензия, ишемическая болезнь сердца, системные воспалительные и аутоиммунные процессы. Именно на уровне микроциркуляторного русла происходят первые патофизиологические изменения, предшествующие структурным повреждениям тканей. Своевременное выявление этих нарушений позволяет уточнить характер и степень поражения, а также оценить эффективность проводимой терапии и прогнозировать течение заболевания.

Современные клинические методы диагностики микроциркуляции во многом ограничены. В этой связи растёт интерес к использованию информативных, неинвазивных технологий, способных дать количественную и качественную характеристику гемодинамических и метаболических процессов в тканях.

Применение лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС) представляет собой перспективное направление функциональной диагностики. ЛДФ позволяет регистрировать параметры кровотока в реальном времени, включая колебательные компоненты, отражающие регуляторные механизмы микроциркуляции. ФС, в свою очередь, даёт возможность оценивать метаболическую активность тканей за счёт анализа спектров флуоресценции эндогенных биомаркеров.

Целью дипломной работы является комплексная оценка функционального состояния микроциркуляторного русла с использованием методов лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии, выявив диагностическую значимость этих технологий для определения

состояния кровотока и метаболической активности тканей в норме и при патологических изменениях.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ научной литературы по строению и функциям микроциркуляторного русла.
2. Изучение методики и аппаратуры для оценки.
3. Проведение измерений циркуляции кровотока методом ЛДФ И ФС у испытуемых.
4. Обработка полученных данных и анализ графиков и параметров для оценки состояния микроциркуляторного русла.

Структура и объем работы: Бакалаврская работа состоит из введения, трех разделов, заключения и списка используемой литературы. Работа изложена на 51 листах машинописного текста, содержит 18 рисунков и 2 таблицы.

Основное содержание работы

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы и решаемых задач, формируется цель исследования и задачи.

В первой главе рассматривается физиология микроциркуляции и механизмы регуляции кровотока.

Микроциркуляция является ключевым звеном системы кровообращения, обеспечивающим транспорт кислорода, питательных веществ и метаболитов между кровью и тканями. Этот процесс происходит на уровне микроскопических сосудов — артериол, капилляров, венул и артериоло-венулярных анастомозов, которые вместе образуют микроциркуляторное русло.

Функциональное состояние микроциркуляции напрямую влияет на тканевой метаболизм, гемодинамику и адаптационные возможности организма. Нарушения микроциркуляторного кровотока лежат в основе патогенеза многих заболеваний, включая сердечно-сосудистые, эндокринные и воспалительные процессы. Поэтому оценка микроциркуляции имеет важное диагностическое и прогностическое значение в клинической практике.

В последние годы лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) и флуоресцентная спектроскопия (ФС) стали одним из наиболее информативных методов исследования микроциркуляции.

Кровеносные сосуды человека образуют замкнутую систему, обеспечивающую транспорт кислорода, питательных веществ и продуктов обмена. Сосуды делятся на артерии, капилляры и вены, различающиеся по строению, направлению кровотока и функциям.

Артерии переносят кровь от сердца к органам, обладают прочными, эластичными стенками и активной мышечной оболочкой, регулирующей кровоток. Капилляры — мельчайшие сосуды, где осуществляется обмен веществ между кровью и тканями. Вены возвращают кровь к сердцу, имеют тонкие стенки и снабжены клапанами, предотвращающими обратный ток крови.

Микроциркуляторное русло включает артериолы, капилляры, венулы и артериоловенулярные анастомозы. Оно играет ключевую роль в метаболизме и поддержании гомеостаза, а также включает лимфатические капилляры, собирающие тканевую жидкость.

Регуляция микроциркуляции осуществляется активными (эндотелиальная, миогенная, нейрогенная) и пассивными (пульсовая, дыхательная) механизмами. Эти процессы обеспечивают адаптацию кровотока к потребностям тканей и могут быть оценены методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). Колебательные компоненты ЛДФ отражают состояние сосудистого тонуса и позволяют диагностировать нарушения микроциркуляции на ранних этапах.

Во второй главе рассматриваются особенности лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии.

Лазерная доплеровская флоуметрия основывается на физическом явлении доплеровского сдвига частоты, возникающего при взаимодействии когерентного лазерного излучения с движущимися форменными элементами крови. Регистрируемый сигнал отражает суммарную интенсивность тканевого кровотока и позволяет анализировать спектр колебательных компонентов, связанных с различными механизмами регуляции сосудистого тонуса: нейрогенного, миогенного, эндотелиального, дыхательного и сердечного. Таким образом, метод предоставляет информацию не только о текущем уровне перфузии, но и о характере вазомоторной активности.

Флуоресцентная спектроскопия, в свою очередь, даёт возможность оценивать окислительно-восстановительное состояние тканей путём регистрации флуоресценции эндогенных метаболитов, в первую очередь никотинамидадениндинуклеотида в восстановленной форме (НАДН). Изменения интенсивности его флуоресценции служат показателем клеточного метаболизма, позволяя косвенно судить об уровне тканевого дыхания и энергетическом статусе клеток.

Особое внимание уделено анализу конструкции и принципов работы прибора «ЛАЗМА ПФ», совмещающего методы ЛДФ и ФС в едином диагностическом комплексе. Устройство обеспечивает одновременную регистрацию параметров кровотока и метаболической активности в реальном времени, что расширяет диагностические возможности и позволяет глубже оценить состояние микроциркуляторно-метаболической системы.

Отмечаются основные преимущества рассмотренных методов: неинвазивность, высокая чувствительность, возможность динамического наблюдения и количественного анализа. Вместе с тем подчёркиваются и существующие ограничения: ограниченная глубина зондирования, влияние внешних факторов (таких как температура кожи или двигательные артефакты), а также относительный характер измеряемых величин, что требует строгой стандартизации условий измерений.

В завершение главы приведён обзор клинических направлений, в которых данные методы уже доказали свою эффективность: кардиология, диабетология, сосудистая хирургия и др. Показано, что использование комплекса ЛДФ и ФС позволяет выявлять субклинические нарушения микроциркуляции, контролировать динамику патологических процессов и оценивать эффективность терапии, что делает его перспективным инструментом современной функциональной диагностики.

В третьей главе описывается экспериментальная часть исследования.

В ходе проведённого исследования были проанализированы параметры лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и показатели окислительного метаболизма, полученные с использованием флуоресцентной спектроскопии (ФС), у трёх добровольцев с разным функциональным состоянием микроциркуляторного русла с использованием диагностического прибора «ЛАЗМА ПФ». Измерения проводились в условиях покоя и при функциональной дыхательной пробе. Датчик прибора фиксировался на дистальной фаланге

пальца руки. Проводилась синхронная регистрация показателей лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии.

Были получены ЛДФ-граммы и соответствующие частотные спектры микроциркуляции у трёх обследуемых. У каждого из добровольцев измерения проводились дважды с интервалом времени в несколько минут, что позволило оценить воспроизводимость сигнала и возможные изменения показателей микроциркуляции в пределах короткого временного промежутка.

На рисунках 1, 3, 5, 7, 9, 11 представлены ЛДФ-граммы, отражающие изменения показателя перфузии во времени.

На рисунках 2, 4, 6, 8, 10, 12 представлены спектры ЛДФ-грамм, где отражены колебания кровотока отдельных механизмов воздействия: эндотелиальный, нейрогенный, миогенный, дыхательный, сердечный.

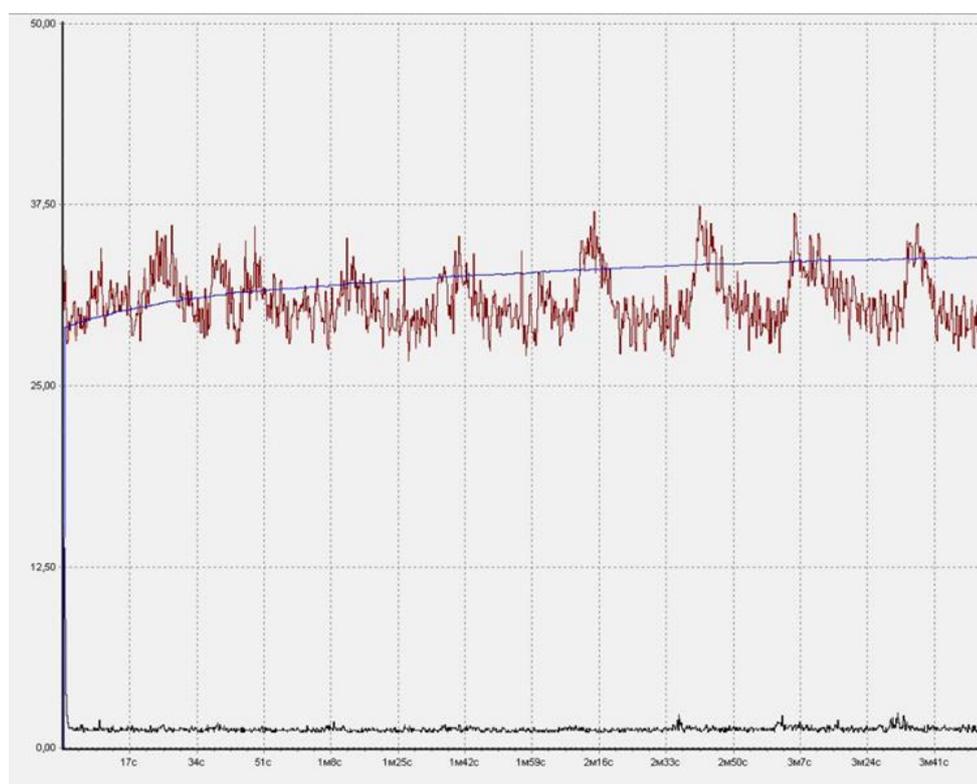


Рис.1. ЛДФ-грамма первого обследуемого при первичном измерении.

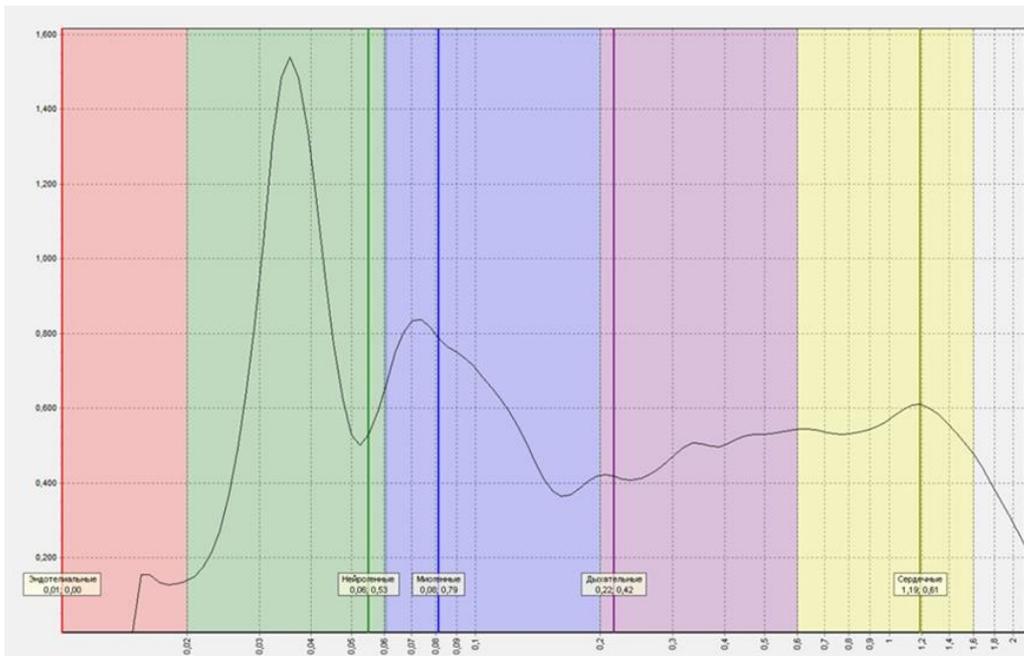


Рис.2. Спектр ЛДФ-сигнала первого обследуемого при первичном измерении.

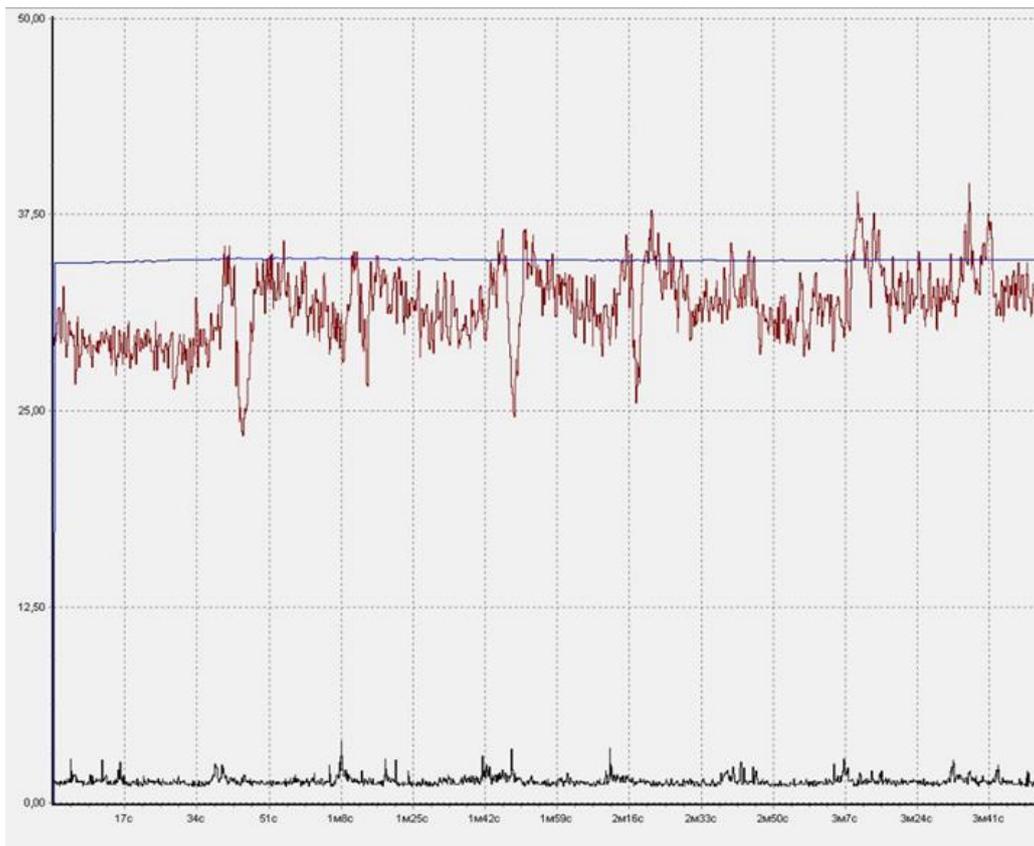


Рис.3. ЛДФ-грамма первого обследуемого при вторичном измерении.



Рис.4. Спектр ЛДФ-сигнала первого обследуемого при вторичном измерении.

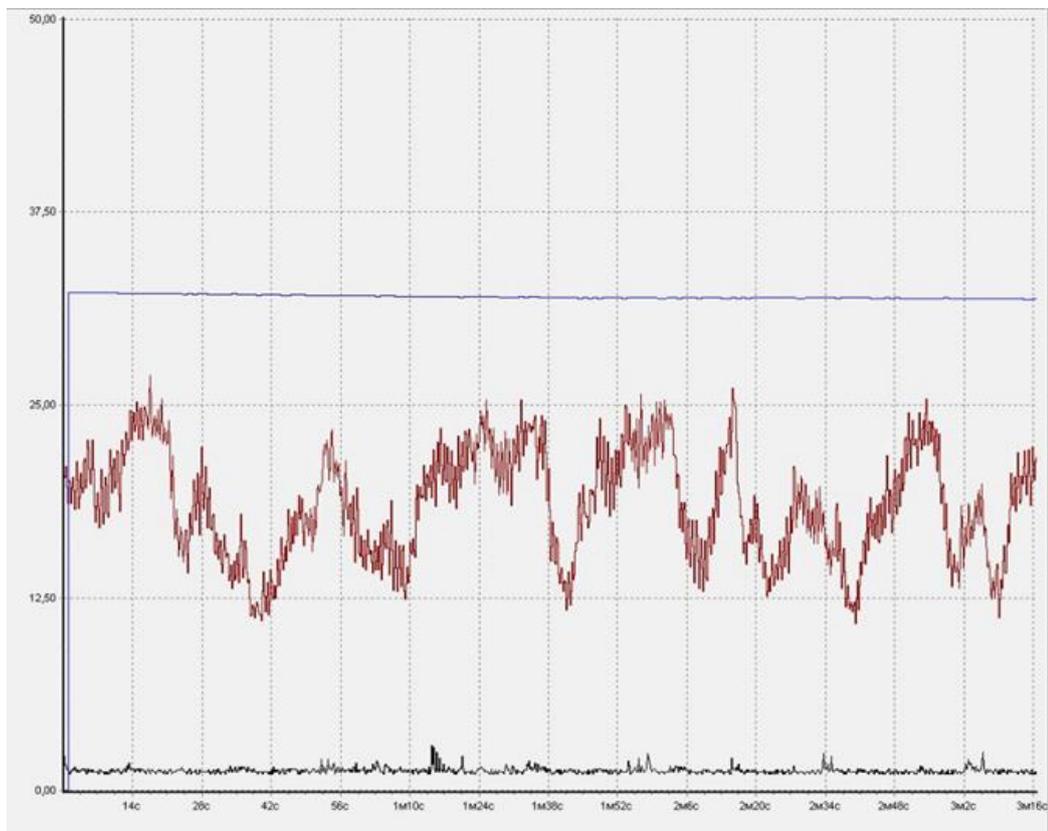


Рис.5. ЛДФ-грамма второго обследуемого при первичном измерении.

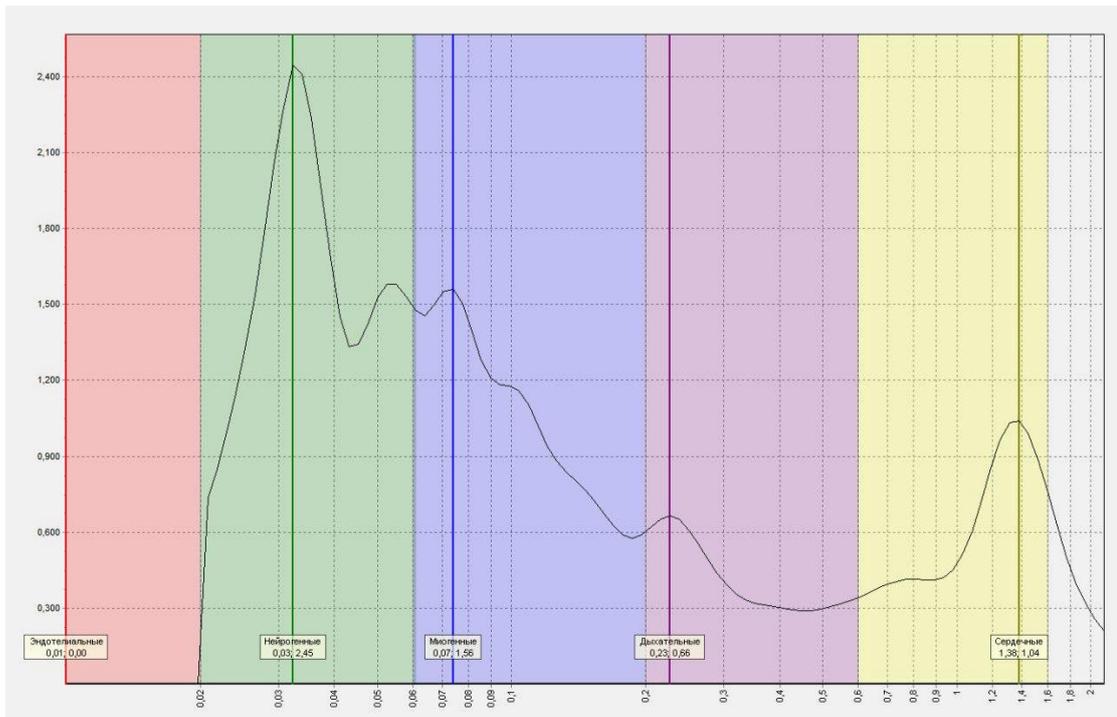


Рис.6. Спектр ЛДФ-сигнала второго обследуемого при первичном измерении.

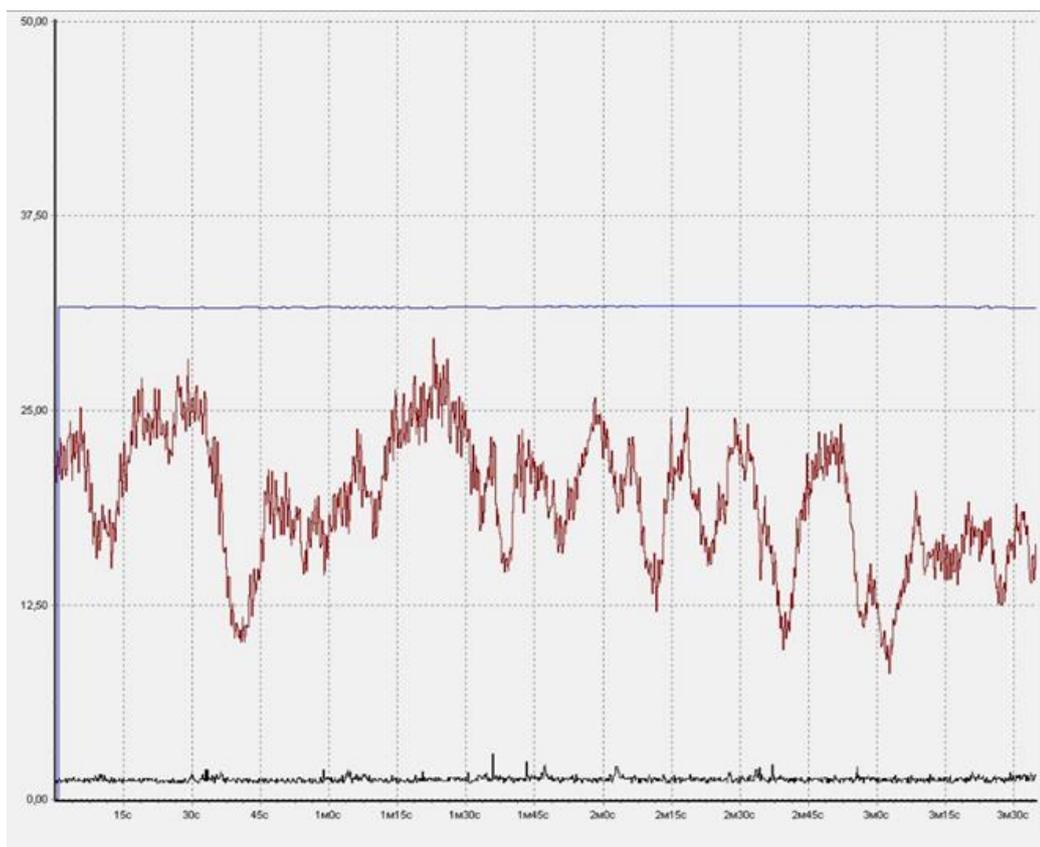


Рис.7. ЛДФ-грамма второго обследуемого при вторичном измерении



Рис.8. Спектр ЛДФ-сигнала второго обследуемого при вторичном измерении.

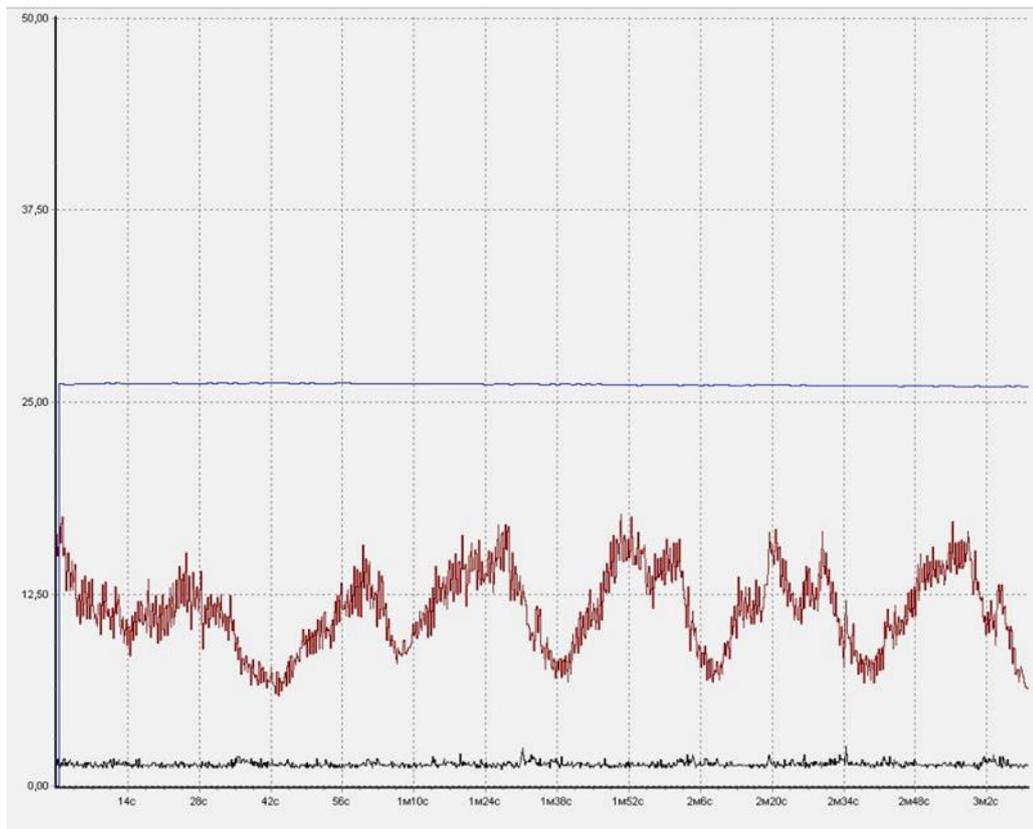


Рис.9. ЛДФ-грамма третьего обследуемого при первичном измерении.

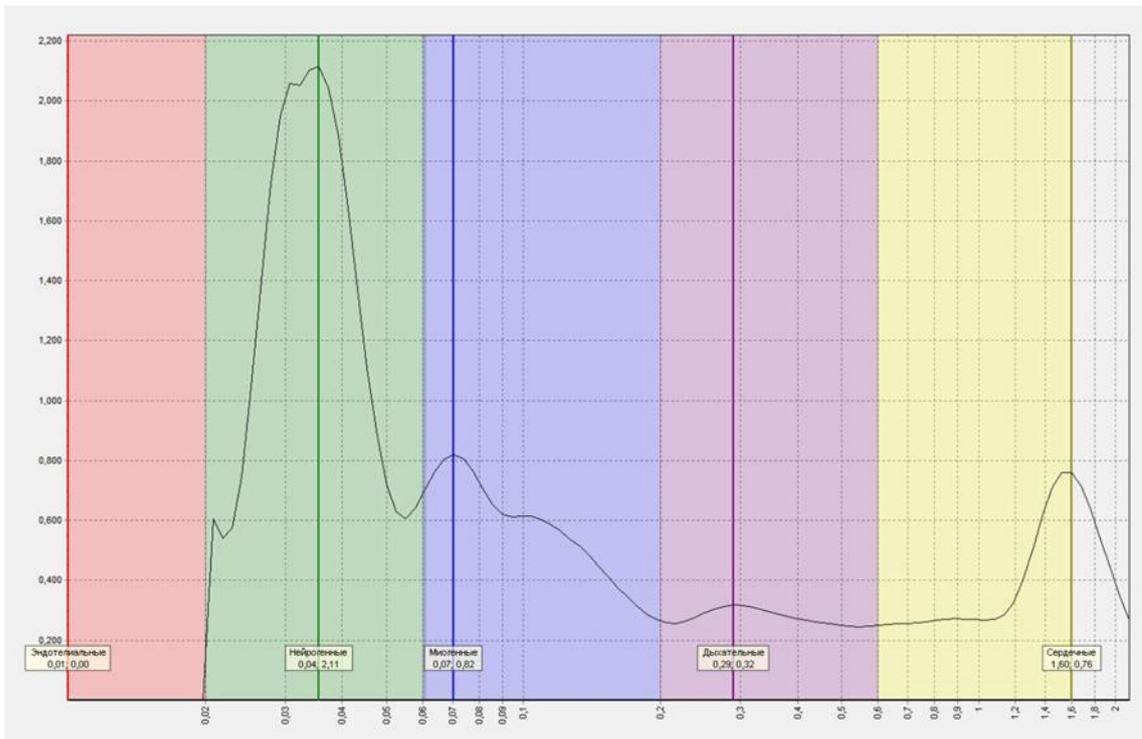


Рис.10. Спектр ЛДФ-сигнала третьего обследуемого при первичном измерении

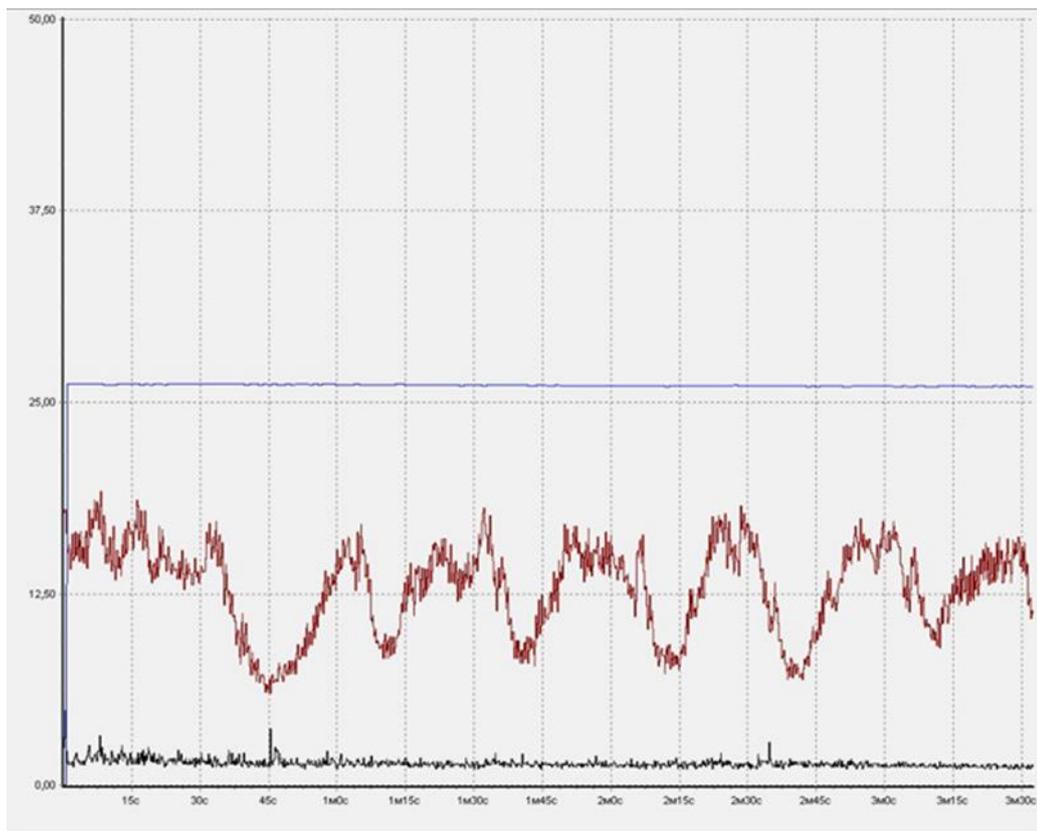


Рис.11. ЛДФ-грамма третьего обследуемого при вторичном измерении.



Рис.12. Спектр ЛДФ-сигнала третьего обследуемого при вторичном измерении.

Полученные значения параметров микроциркуляции, зарегистрированные методом ЛДФ, представлены в таблице 1.

Параметры микроциркуляции	Норма	№1		№2		№3	
M	15.4 – 23.1	30.88	32.13	18.35	18.66	11.47	12.40
M _{нутр}	5.1 – 6.2	12.15	22.83	8.20	13.26	2.48	3.68
M _{шунт}	12.2 – 15	18.73	9.30	10.15	5.40	8.99	8.72
σ	0.8 – 1.3	1.93	2.15	3.54	4.03	2.52	2.95
K _v	3.4 – 8.4	6.24	6.70	19.30	21.57	21.99	23.75
A _э	0.32 – 0.48	0.17	0.44	1.36	1.57	0.71	0.74
A _н	0.33 – 0.5	1.55	0.90	2.45	2.24	2.59	3.14
A _м	0.34 – 0.41	0.85	1.08	1.56	2.16	0.73	1.10
A _д	0.22 – 0.34	0.54	0.93	0.66	0.66	0.32	0.43
A _с	0.36 – 0.48	0.61	0.62	1.04	0.80	0.79	0.57
T	32 – 33	32.85	34.62	31.98	31.65	26.16	26.11

Таблица 1. Параметры микроциркуляции исследуемых.

Также с помощью портативного анализатора «ЛАЗМА ПФ» были получены значения амплитуды флуоресценции биомаркера–кофермента НАДН и показатели окислительного метаболизма (ПОМ). Полученные измерения приведены в таблице 2.

№ исследуемого		A _{НАДН}	ПОМ
1	1-ое измерение	1,22	5,01
	2-ое измерение	1,15	5.25
2	1-ое измерение	1,40	2,93
	2-ое измерение	1,15	4.43
3	1-ое измерение	1,36	0,91
	2-ое измерение	1,22	1,50

Таблица 2. Показатели амплитуды флуоресценции (A_{НАДН}) и окислительного метаболизма (ПОМ).

В ходе проведённого исследования были проанализированы параметры лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и показатели окислительного метаболизма, полученные с использованием флуоресцентной спектроскопии (ФС), у трёх испытуемых с разным функциональным состоянием микроциркуляторного русла.

ЛДФ-грамма первого здорового испытуемого показывает умеренные по амплитуде колебания перфузионного сигнала с отсутствием выраженной ритмичности. Средний уровень перфузии составляет $M = 32.13$ пф. ед., что указывает на достаточно высокий уровень тканевого кровоснабжения. Значения окислительного метаболизма также выше нормы, что, вероятно, отражает повышенную метаболическую активность тканей.

Показатель перфузии второго добровольца находится в пределах возрастной нормы. Полученные значения спектра ЛДФ-сигнала отражают гиперактивацию всех механизмов регуляции микроциркуляции. Такая реакция может трактоваться как гиперадаптивный тип, характерный для состояния, при котором организм пытается компенсировать системную гипоксию путём повышения активации механизмов регуляции. Показатель окислительного метаболизма находится в пределах норм. Выявленные физиологические особенности, несмотря на сохранение показателей в пределах нормы, указывают на возможные скрытые дисфункции микроциркуляторного русла. Перспективно проводить аналогичные измерения в данном случае на расширенной выборке в покое и при функциональных пробах, сравнивая результаты с клинически подтверждёнными случаями (анемия, дистония, метаболические синдромы и др.). Это поможет выявить диагностически значимые паттерны и повысить эффективность ЛДФ и флуоресцентной спектроскопии в скрининге и ранней диагностике.

По данным ЛДФ-граммы и спектрального анализа третьего добровольца, у которого имеется подтверждённый повышенный уровень глюкозы в крови, выявлены следующие особенности. Перфузия снижена ($M - 12.40$ пф.ед.), также

наблюдается пониженная температура кожи (26.1°C), что указывает на гипотермию ткани и снижение тканевого кровоснабжения. В спектральном анализе наблюдается выраженное преобладание нейрогенного компонента — признак сосудистого гипертонуса. Уровень окислительного метаболизма (0.91 – 1.5) значительно снижен. Эти значения могут указывать на выраженное снижение микроциркуляции и тканевого дыхания, что может быть связано с гипоксическим состоянием или нарушением регуляции сосудистого тонуса.

Результаты исследования демонстрируют, что совместное использование ЛДФ и ФС позволяет:

- объективно оценивать состояние микроциркуляции и метаболической активности тканей;
- выявлять ранние признаки нарушений кровотока и тканевой гипоксии;
- использовать данные для диагностики и мониторинга различных патологий.

Таким образом, предложенный подход обладает высоким потенциалом для клинического и научного применения, особенно в задачах ранней диагностики и оценки эффективности терапии.

Заключение

В дипломной работе была проведена комплексная оценка состояния микроциркуляторного русла с применением двух современных неинвазивных методов — лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС). Актуальность исследования обусловлена ключевой ролью микроциркуляции в обеспечении жизненно важных функций организма, а также высокой частотой патологических состояний, связанных с нарушением кровотока и метаболизма на уровне капиллярного звена.

В начале работы был проведён анализ научной литературы, посвящённой строению, функциям и регуляции микроциркуляции, а также методам её оценки. Это позволило обоснованно выбрать ЛДФ и ФС как наиболее информативные технологии для изучения гемодинамики и метаболизма тканей.

Экспериментальная часть исследования включала анализ параметров микроциркуляции и окислительного метаболизма у трёх испытуемых с использованием лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) и флуоресцентной спектроскопии (ФС). Полученные данные позволили зафиксировать индивидуальные особенности кровотока и энергетического состояния тканей в условиях физиологической нормы. Анализ ЛДФ-сигналов позволил детально охарактеризовать уровень перфузии и спектральные компоненты, отражающие активность различных регуляторных механизмов микроциркуляции, включая нейрогенную, миогенную и эндотелиальную составляющие, а также ритмические колебания, связанные с дыханием и сердечной деятельностью. Параллельно проведённый флуоресцентный анализ спектров позволил определить относительный уровень восстановленного НАДН — одного из ключевых маркеров тканевого кислородного метаболизма, что дало возможность судить о метаболической активности тканей и потенциальном наличии признаков оксидативного стресса.

У первого добровольца, находящегося в физиологической норме, отмечен высокий уровень перфузии и повышенная метаболическая активность, что может

свидетельствовать о высокой функциональной активности тканей. У второго испытуемого показатели кровотока соответствовали возрастной норме, однако спектральный анализ выявил гиперактивацию механизмов регуляции, что может указывать на компенсаторные механизмы при скрытых функциональных нарушениях. У третьего участника с нарушением углеводного обмена зафиксировано снижение перфузии, преобладание нейрогенного компонента и снижение метаболических показателей, что свидетельствует о тканевой гипоксии и нарушении сосудистой регуляции. Полученные данные подтверждают, что сочетание ЛДФ и ФС позволяет выявлять ранние признаки микроциркуляторных и метаболических нарушений, что делает этот подход перспективным для клинического применения и ранней диагностики.

Проведённое исследование также обозначило перспективные направления для дальнейших научных изысканий. В частности, выявлена необходимость использования дополнительных функциональных проб, а также расширения выборки испытуемых, включая лиц с различными клиническими патологиями, сопровождающимися микроциркуляторными нарушениями. Это позволит установить корреляции между объективными параметрами, регистрируемыми методами ЛДФ и ФС, и конкретными патологическими процессами. Кроме того, применение данной методики в динамике, до и после терапевтического воздействия, может стать важным инструментом оценки эффективности лечения и прогноза заболевания.

Таким образом, результаты дипломной работы подтверждают высокую диагностическую ценность методов лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии для неинвазивной, комплексной оценки состояния микроциркуляторного. Их дальнейшее развитие и клиническая адаптация открывают широкие возможности для совершенствования функциональной диагностики и повышения качества медицинской помощи.

Список использованной литературы и источников

1. Козлов В. И. Анатомия сердечно-сосудистой системы: учебное пособие для медицинских вузов — М.: Практическая медицина, 2011. — С. 17-24.
2. Крупаткин А. И., Сидорова В. В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. — М.: Наука, 2005. — С. 122.
3. Руководство по эксплуатации ЛАЗМА ПФ, ООО НПП «ЛАЗМА».
4. Сидоров В. В., Рыбаков Ю. Л., Гукасов В. М., Евтушенко Г. С. Система локальных анализаторов для неинвазивной диагностики общего состояния компартментов микроциркуляторно-тканевой системы кожи человека. Медицинская техника. 2021. Ло 6 (С. 330).
5. Тихомирова И. А., Коршунова А. А., Лемехова В. А. Возможности портативных лазерных анализаторов в оценке состояния микроциркуляции и ее регуляторных механизмов. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2024; 23(4): С. 105–113. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-105-113.
6. Лапитан Д. Г., Рогаткин Д. А. Функциональные исследования системы микроциркуляции крови методом лазерной доплеровской флоуметрии в клинической медицине: проблемы и перспективы// Альманах клинической медицины. – 2016. – Т. 44, № 2. – С. 249-259.
7. Куликов Д. А., Глазков А. А., Ковалева Ю. А., Балашова Н. В., Куликов А.В. Перспективы использования лазерной доплеровской флоуметрии в оценке кожной микроциркуляции крови при сахарном диабете. Сахарный диабет. — 2017. — Т.20. — №4. — С. 279-285. Doi: 10.14341/DM8014.
8. Бархатов И. В. Оценка системы микроциркуляции крови методом лазерной доплеровской флоуметрии. Клиническая медицина. 2013; №11: С. 21-25.
9. Мкртумян А. М., Звенигородская Л. А., Шинкин М. В. Исследование микроциркуляции и тканевого метаболизма в качестве ранних диагностических критериев риска развития диабетической стопы.

- Терапевтический архив. 2022; 94(8): С. 957–962. Doi: 10.26442/00403660.2022.08.201789.
10. Васильев П. В., Ерофеев Н. П., Шишкин А. Н. Диагностические возможности различных методик оценки спектральных показателей лазерной доплеровской флоуметрии у пациентов с диабетической микроангиопатией. *Biomedical Photonics*. – 2021. – Т. 10, № 2. – С. 18–25. Doi: 10.24931/2413–9432–2021–10–2–18–24.
 11. Куликов Д. А., Красулина К. А., Глазкова П. А. и др. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в оценке нарушений кожной микроциркуляции крови у пациентов с диабетической полинейропатией. Часть 2. Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2021; т. 16; №3.
 12. Стрельцова Н. Н., Васильев А. П. Особенности нелинейных динамических процессов и их взаимосвязь с показателями микроциркуляции у больных облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей по данным лазерной доплеровской флоуметрии. *Лазерная медицина*. 2022; 26(2): С. 15-20.
 13. Захаренко А. А., Беляев М. А., Трушин А. А., Зайцев Д. А., Курсенко Р. В., Сидоров В. В., Юкина Г. Ю., Сухорукова Е. Г., Свечкова А. А. Комбинированная оценка жизнеспособности кишки методами лазерной доплеровской флоуметрии и лазерной флуоресцентной спектроскопии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2021; 20(2); С. 70-76.
 14. Михайлова М. А., Федорович А. А., Горшков А. Ю., Королев А. И., Дадаева В. А., Жарких Е.В., Локтионова Ю.И., Дунаев А.В., Сидоров В. В., Драпкина О.М. Сравнительная оценка параметров лазерной доплеровской флоуметрии кожи здоровых лиц при использовании аппаратов различной модификации. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2023; 22(3): С. 41-50.
 15. Федорович А. А., Марков Д. С., Малишевский М. В., Юдаков О. О., Горшков А. Ю., Балдин А. В., Жук Д. М., Спасенов А. Ю., Королев А. И.,

- Коптелов А.В., Драпкина О.М. Нарушения микроциркуляторного кровотока в коже предплечья в острую фазу COVID-19 по данным лазерной доплеровской флоуметрии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2022; 21(3): С. 56-63.
- 16.Крупаткин, А. И., Сидоров В. В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем. Колебания, информация, нелинейность. Руководство для врачей. М.: Ленанд, 2016, С. 496.
- 17.Крупаткин А. И. Колебания кровотока - новый диагностический язык в исследовании микроциркуляции. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2014; 13(1): С. 83-99.
- 18.Билич Г. Л., Крыжановский В. А. Анатомия человека. Атлас - 1-е изд. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013, С. 792.
- 19.Филина М. А., Потапова Е. В, Маковик И. Н. [и др.]. Функциональные изменения микроциркуляции крови в коже стопы при тепловых пробах у пациентов с сахарным - Физиология человека. - 2017. - № 6. - С. 95-102.
- 20.Зубарева Н. А., Подтаев С. Ю., Паршаков А. А. Диагностика нарушений вазодилатации микрососудов кожи у больных с синдромом диабетической стопы при проведении локальной тепловой пробы. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2015; 14(3): С. 27.
- 21.Мордвинова Е. В., Ощепкова Е. В., Федорович А. А., Рогоза А. Н. Функциональное состояние сосудов микроциркуляторного русла у больных артериальной гипертонией 1-2-й степени различной степени сердечно-сосудистого риска. Системные гипертензии. - 2014. - Т. 11. - №2. - С. 29-35.
- 22.Шинкин М.В., Звенигородская Л.А., Мкртумян А.М. Использование лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии как методы оценки доклинических проявлений синдрома диабетической стопы. Эффективная фармакотерапия. – 2019. – №. 18. – С. 6-12.

23. Усанов А. Д., Пригородов М. В., Капралов С. В., Скрипаль А. В. Использование лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной спектроскопии для оценки состояния микроциркуляторного русла и показателя окислительного метаболизма больных во время травматических операций. Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине: Сборник статей Всероссийской школы-семинара, Саратов, 16 ноября 2023 года. – Саратов: Издательство "Саратовский источник", 2023. – С. 52-54.
24. Тучин В. В. Оптическая биомедицинская диагностика: в 2 т.: учебное издание. – М.: Физматлит, 2007, С. 45-47.
25. Поленов, С. А. Основы микроциркуляции. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2008. – Т. 7, № 1(25). – С. 5-19.

