

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра оптики и биофотоники

**Влияние развития различных патологий на
микрорегемодицину в тканях лабораторных животных**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 2224 группы

направления 03.04.02 «Физика»
профиль «Биофотоника»
Института физики

Волков Максим Игоревич

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент
должность, ученая степень, уч. звание



подпись, дата

П.А. Тимошина
Инициалы Фамилия

Зав. кафедрой оптики и биофотоники

Проф., д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН
должность, ученая степень, уч. звание



подпись, дата

В.В. Тучин
Инициалы Фамилия

Саратов 2026 г.

Введение

Микроциркуляция является важнейшим компонентом системы кровообращения, обеспечивающим транспорт кислорода, питательных веществ и продуктов обмена между кровью и тканями. Нарушения микроциркуляции сопровождают развитие многих патологических процессов и нередко предшествуют появлению выраженных клинических проявлений заболевания. В связи с этим особый интерес представляют методы, позволяющие неинвазивно исследовать состояние микроциркуляторного русла и оценивать изменения кровотока в динамике.

Одним из перспективных методов исследования микроциркуляции является лазерная спекл-контрастная визуализация (ЛСКВ). Метод основан на регистрации изменений спекл-картины, возникающих при рассеянии когерентного лазерного излучения движущимися форменными элементами крови. К преимуществам ЛСКВ относятся высокая скорость получения данных, возможность мониторинга кровотока в режиме реального времени и относительная простота аппаратной реализации.

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования методов исследования микроциркуляции при различных патологических состояниях и расширения возможностей применения лазерной спекл-контрастной визуализации в биомедицинских исследованиях.

Целью работы являлось исследование влияния развития различных патологий на микрогемодинамику в тканях лабораторных животных методом лазерной спекл-контрастной визуализации.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- проведён анализ современных литературных данных по проблеме исследования микроциркуляции и применению метода ЛСКВ;
- разработано программное обеспечение для обработки и анализа изображений;

- выполнены исследования микроциркуляции при экспериментальном аллоксановом диабете;
- проведены исследования сосудистых изменений при развитии меланомы B16-F10;
- выполнен анализ влияния оптического просветления тканей на качество визуализации сосудистой сети;
- проведена количественная оценка параметров перфузии и диаметров сосудов.

Научная новизна работы заключается в комплексном исследовании изменений микроциркуляции при экспериментальном диабете и меланоме с использованием метода лазерной спекл-контрастной визуализации и методов оптического просветления тканей. Выполнен сравнительный анализ сосудистых изменений при различных патологических состояниях и разработано программное обеспечение для автоматизированной обработки экспериментальных данных.

Практическая значимость работы определяется возможностью использования полученных результатов и разработанного программного обеспечения в исследованиях микроциркуляции, а также при совершенствовании методов оптической диагностики патологических процессов.

Магистерская работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованных источников.

Основное содержание работы

В первой главе рассмотрены теоретические основы исследования микроциркуляции и физические принципы метода лазерной спекл-контрастной визуализации. Проведён анализ механизмов формирования спекл-картины и факторов, влияющих на точность определения параметров кровотока. Рассмотрены

особенности применения оптических просветляющих агентов для повышения глубины визуализации сосудистой сети.

Во второй главе выполнен обзор научной литературы по тематике исследования. Рассмотрены этапы развития метода лазерной спекл-контрастной визуализации, особенности патогенеза сахарного диабета и меланомы, а также механизмы развития сосудистых нарушений при данных патологиях. Проведён анализ современных исследований, посвящённых применению оптических методов для оценки микроциркуляции.

В третьей главе приведено описание экспериментальной установки, использованной для проведения исследований. Установка включала источник когерентного излучения на основе He-Ne лазера с длиной волны 633 нм, систему регистрации изображений и программный комплекс обработки данных.



Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: детектор (КМОП-камерой (Thorlabs CS235MU серии Kiralux, число пикселей в матрице 1920x1200 пикселей (2.3 Мп), размер пикселя 5.86x5.86 мкм; 12 бит/пиксель); тубус микроскопа с объективом ЛОМО 3.7x; He-Ne лазер ГН-5П, длина волны — 633 нм; расширитель

лазерного пучка объектив ЛОМО 40x; коллимирующее зеркало; экспериментальный столик; исследуемый объект; ПК.

Отдельное внимание уделено разработке программного обеспечения на языке Python, предназначенного для построения карт перфузии, измерения диаметров сосудов, анализа изменений микроциркуляции и визуализации полученных результатов. Разработанная программа позволила автоматизировать обработку экспериментальных данных и обеспечить воспроизводимость измерений.

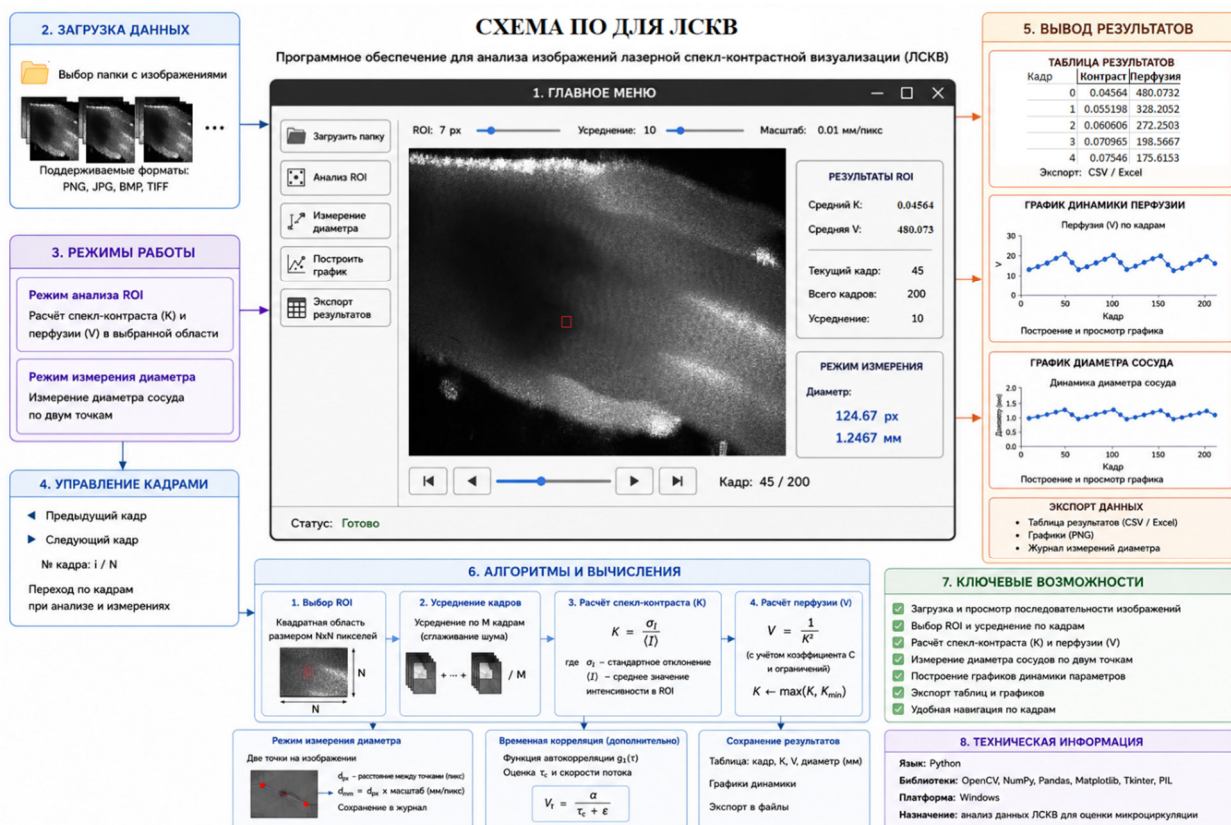


Рисунок 2. Схема работы программы

В четвёртой главе представлены результаты экспериментальных исследований.

Проведён анализ изменений микроциркуляции при развитии меланомы В16-F10. Установлено, что по мере роста опухоли происходит выраженная перестройка сосудистой сети. На третьи сутки после индукции меланомы наблюдаются начальные изменения распределения кровотока и локальное увеличение сосудистой активности.

На седьмые сутки данные изменения становятся более выраженными и характеризуются увеличением неоднородности микроциркуляции и признаками активного ангиогенеза.

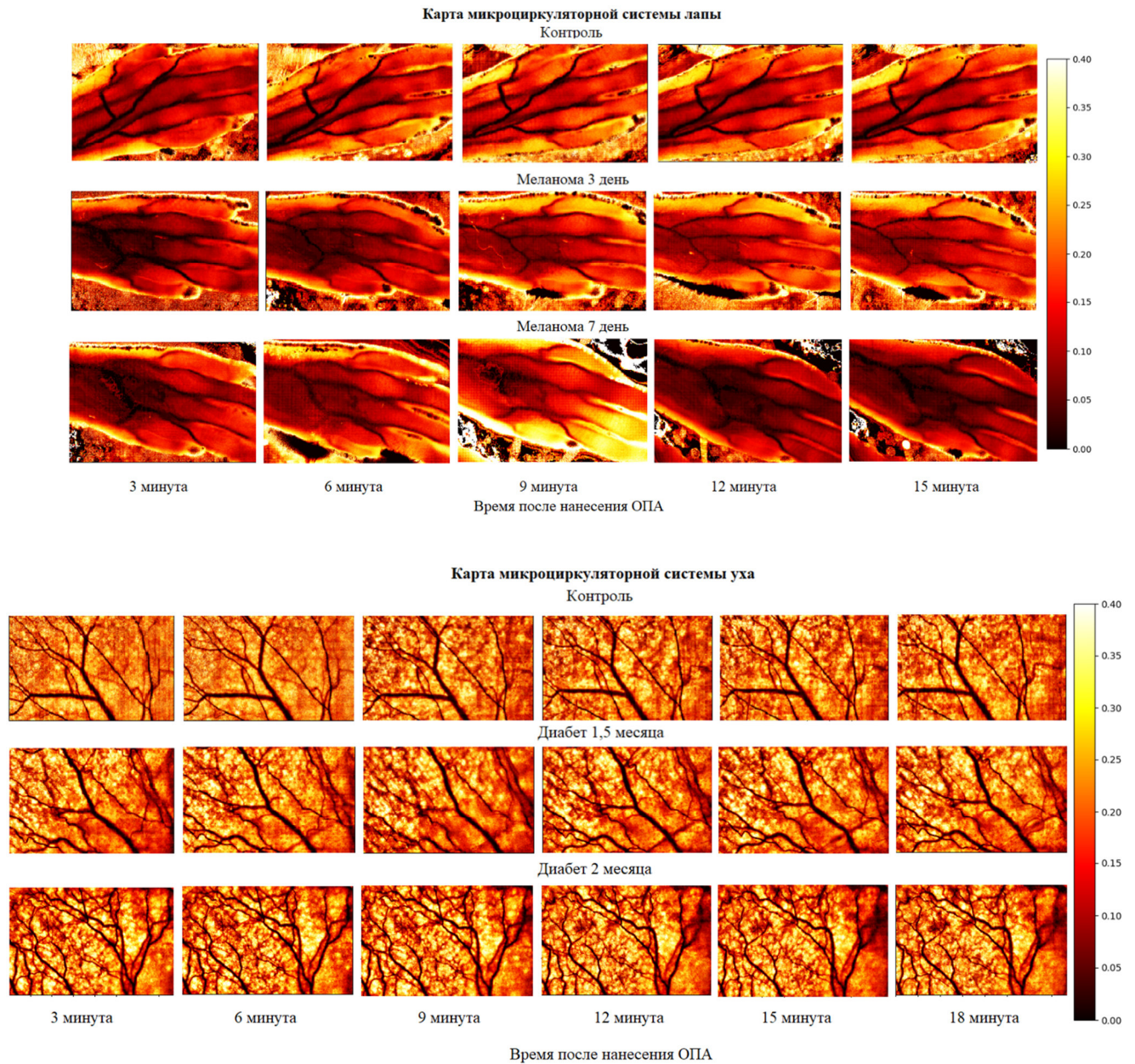
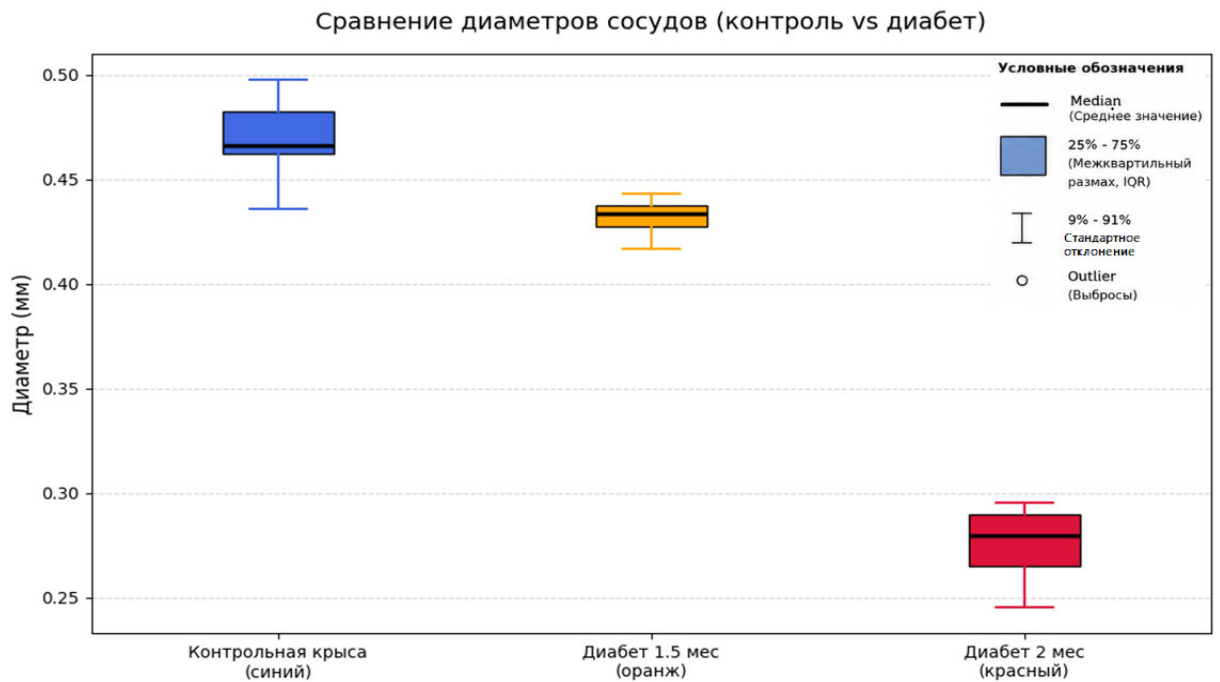


Рисунок 3. Карта микроциркуляторной системы лапы для контрольной крысы, крысы с меланомой на 3 день и на 7 день в течении 15 минут после нанесения ОПА. Карта микроциркуляторной системы уха для контрольной крысы, крысы с диабетом 1,5 месяца и 2 месяца в течении 15 минут

Количественный анализ сосудов показал увеличение их диаметра при развитии опухолевого процесса. В контрольной группе медианный диаметр сосудов составил около 0,41 мм, тогда как на третьи и седьмые сутки развития меланомы наблюдалось его увеличение до 0,46–0,48 мм. Полученные данные свидетельствуют о сосудистом ремоделировании и активации процессов опухолевого ангиогенеза.



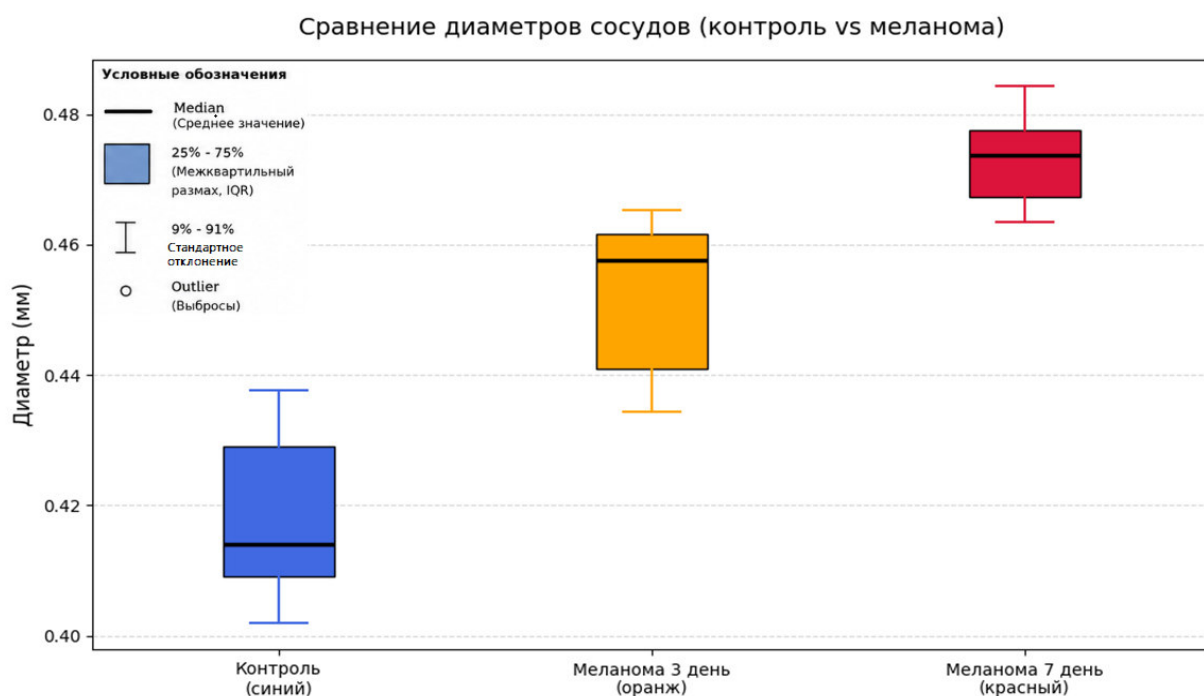


Рисунок 4. Сравнение диаметров сосудов для контрольной и диабетической крысы и для контрольной крысы и крысы с меланомой

Исследование животных с экспериментальным аллоксановым диабетом показало прогрессирующее нарушение микроциркуляции по мере увеличения длительности заболевания. Наиболее выраженные изменения наблюдались через два месяца после индукции диабета.

Анализ диаметров сосудов продемонстрировал тенденцию к их уменьшению. В контрольной группе медианный диаметр сосудов составлял около 0,47 мм. Через 1,5 месяца после моделирования диабета данный показатель снизился до 0,43 мм, а через два месяца — до 0,28 мм. Полученные результаты свидетельствуют о развитии диабетической микроангиопатии и структурной перестройке сосудистого русла.

Показано, что применение оптических просветляющих агентов способствует повышению качества визуализации сосудистой сети. После нанесения просветляющего агента наблюдалось увеличение контрастности изображений и

улучшение визуализации сосудов различного диаметра, что повышало информативность метода ЛСКВ.

Полученные результаты подтверждают высокую чувствительность лазерной спекл-контрастной визуализации к изменениям микроциркуляции и демонстрируют перспективность её использования для исследования патологических процессов в биологических тканях.

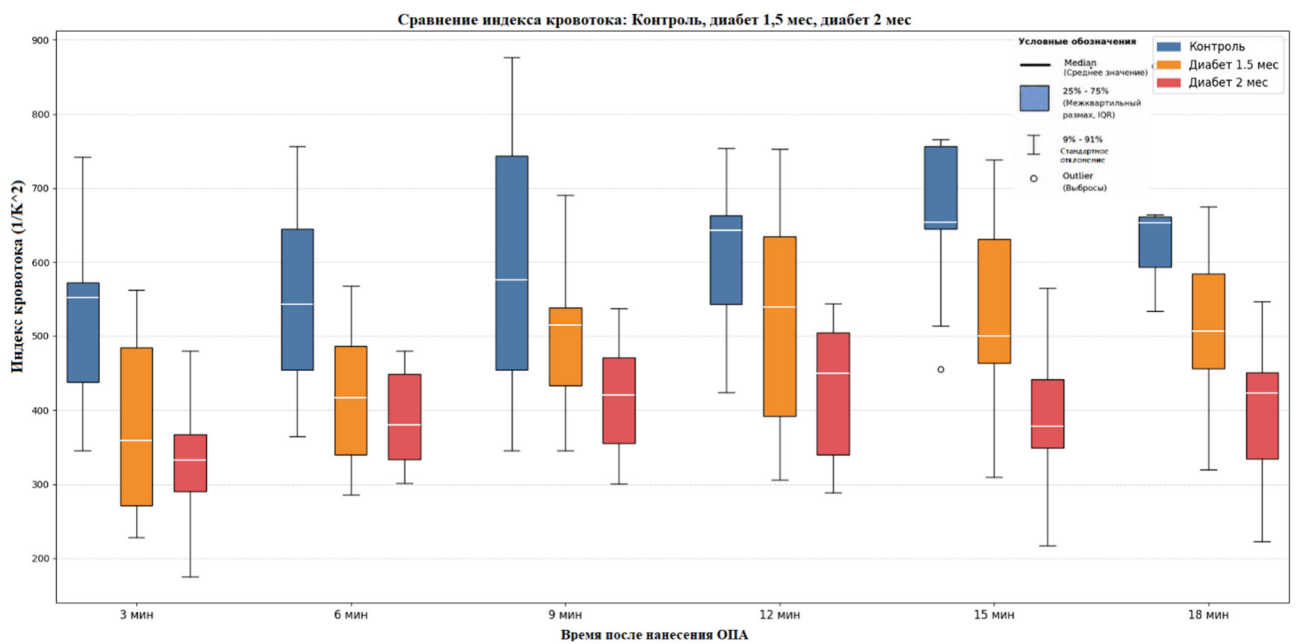


Рисунок 5. Сравнение индекса кровотока у контрольной и диабетических групп

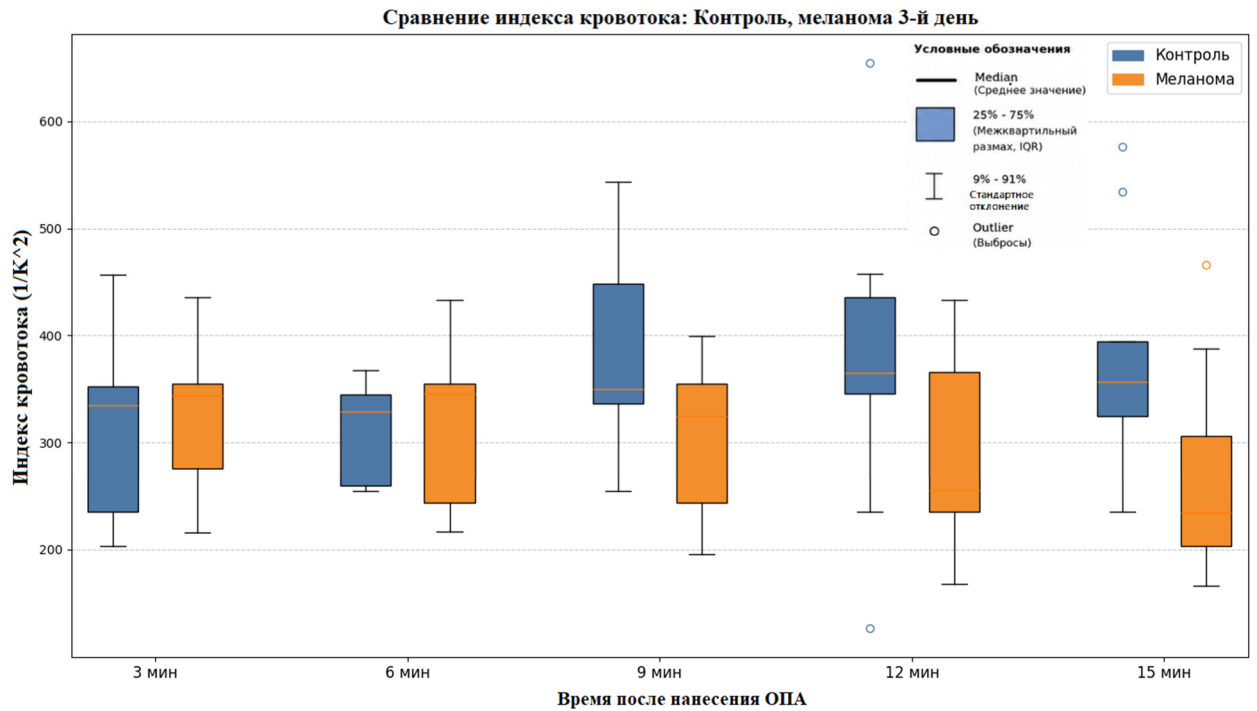


Рисунок 6. Сравнение индекса кровотока у контрольной группы и с меланомой на 3-й день

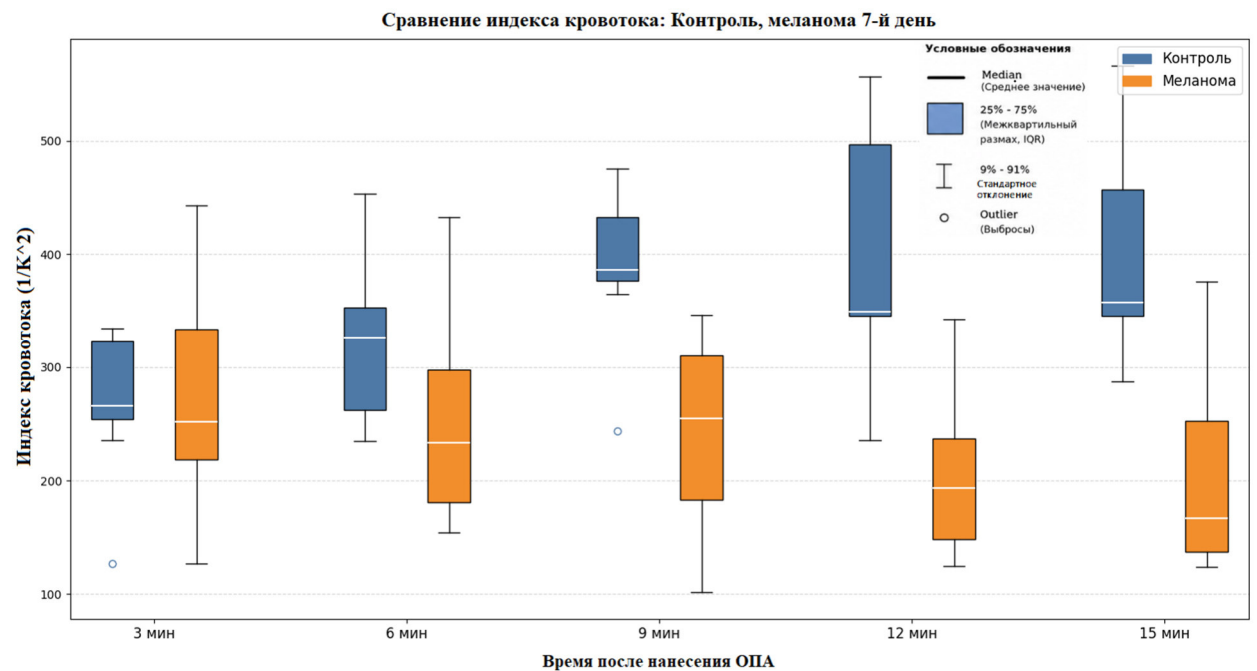


Рисунок 7. Сравнение индекса кровотока у контрольной группы и с меланомой на 7-й день

Заключение

В результате выполнения магистерской работы исследованы особенности изменения микроциркуляции при экспериментальном аллоксановом диабете и меланоме B16-F10 методом лазерной спекл-контрастной визуализации.

Разработано программное обеспечение для автоматизированной обработки экспериментальных данных, построения карт перфузии и анализа параметров сосудистой сети.

Установлено, что развитие экспериментального диабета сопровождается снижением показателей микроциркуляции и уменьшением диаметра сосудов, что свидетельствует о развитии диабетической микроангиопатии. Показано, что рост меланомы приводит к увеличению диаметра сосудов и выраженной перестройке микроциркуляторного русла, связанной с активацией процессов ангиогенеза.

Продемонстрирована эффективность использования оптических просветляющих агентов для повышения качества визуализации сосудистой сети и увеличения информативности метода лазерной спекл-контрастной визуализации.

Полученные результаты подтверждают перспективность применения метода ЛСКВ для мониторинга патологических изменений микроциркуляции и расширяют возможности его использования в экспериментальных биомедицинских исследованиях.

