

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

**«Визуализация периферической гемодинамики методом некогерентной
оптической флуктуационной флоуметрии»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 2281 группы

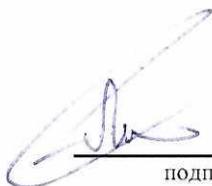
направления 12.04.04 «Биотехнические системы и технологии»

профиль подготовки «Аппаратные и программные средства биомедицины»

институт физики

Шаповал Роман Михайлович

Научный руководитель:
к.ф.-м.н., доцент кафедры
медицинской физики


20.06.2024
подпись, дата

А.А. Сагайдачный

Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор


20.06.2024
подпись, дата

А.С. Караваяев

Саратов 2024

Введение. В настоящее время одной из важнейших проблем в современной биомедицине остается диагностика развития заболеваний сердечно-сосудистой системы. Современные методы представляют собой комплекс аппаратно-программных средств визуализации данных, дающих оценку в прогнозировании развития патологического состояния пациента при условии полного стационарного обследования, или же проведенных мероприятий, направленных на мониторинг в период активных действий. Рассматривается развитие методик стационарного прогнозирования, что позволило бы медицинским специалистам контролировать состояние пациента, в случае появления воспалительных процессов предоставить экстренную медицинскую помощь

Среди данных методов особое место среди пациентов занимают неинвазивные исследования состояния человека, в частности широко применимые в области функциональной диагностики.

Одной из актуальных проблем в медицинской практике при диагностике различных заболеваний является исследование системы микроциркуляции крови, основная функция которой обеспечение транскапиллярного обмена и его реакции на воздействие факторов внешней и внутренней среды.

Для измерения транскапиллярного обмена используются методы исследования перфузии в тканях, измерения гемодинамики. В частности, широкое применение в настоящий момент приобрела технология лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ).

Стоит отметить, что данная технология имеет ряд преимуществ, позволяющих дать показания исследований с высокой оценкой для медицинских специалистов. В тоже время, технология ЛДФ с точки зрения финансовых средств весьма высокочувствительная и ее использование ограничено в лечебно-профилактических учреждениях.

Взамен существующей технологии ЛДФ и других методов исследования тканевого кровотока новые перспективы и возможности открывает метод некогерентной оптической флукуационной флоуметрии (НОФФ).

Актуальный подход данного метода предложен в качестве упрощенной и бюджетной альтернативы позволяющий на основе ФПГ-сигнала получить данные ЛДФ. Стоит также отметить, что также одними из перспективных направлений в качестве диагностики является визуализация периферической гемодинамики, позволяющая в динамической визуализации оценить изменения перфузии.

Поэтому, целью данной работы являлось визуализация периферической гемодинамики методом некогерентной оптической флоуметрии.

Для достижения цели, основными поставленными задачами стали:

1. Разработка программного обеспечения реализующее преобразование двумерных фотоплетизмографических данных.
2. Апробация разработанного программного обеспечения, исследование пространственного распределения амплитуд колебаний перфузии.
3. Динамическая визуализация перфузии кровотока в области кисти руки на основе методики НОФФ в частотных диапазонах колебаний объемного кровотока.

Стоит отметить научную новизну проводимой исследовательской работы, ранее исследования периферической гемодинамики методом некогерентной оптической флукуационной флоуметрии не проводилось.

Научная значимость данной работы заключается в том, что полученные результаты могут стать одной для бюджетной альтернативной замены исследования гемодинамики методом ЛДФ, в частности лазерной доплеровской визуализации.

Структура выпускной квалификационной работы: Введение, теоретическая часть (состоящей из 2 глав), практическая часть (состоящей из 3 глав), заключение, список использованных источников.

Работа изложена в 78 страницах, включает в себя 13 таблиц, 4 формулы и 55 рисунков. В списке использованных источников содержится 24 наименований.

Основное содержание работы. В «Теоретической части» первой главы «Основы исследования периферической гемодинамики» первом разделе «Понятия гемодинамики и периферической гемодинамики» описываются характеристики гемодинамики кровотока, представляются различия понятий гемодинамики и периферической гемодинамики. Приводятся основы взаимодействия процесса работы микрокровотока и сердечно-сосудистой системы.

Во втором разделе «Колебания кровотока. Диапазоны колебаний кровотока» рассказывается о механизме регуляции процессов микроциркуляции кровотока. Затрагиваются понятия диапазонов колебаний кровотока эндотелиальный, миогенный, нейрогенный, дыхательный и кардиальный.

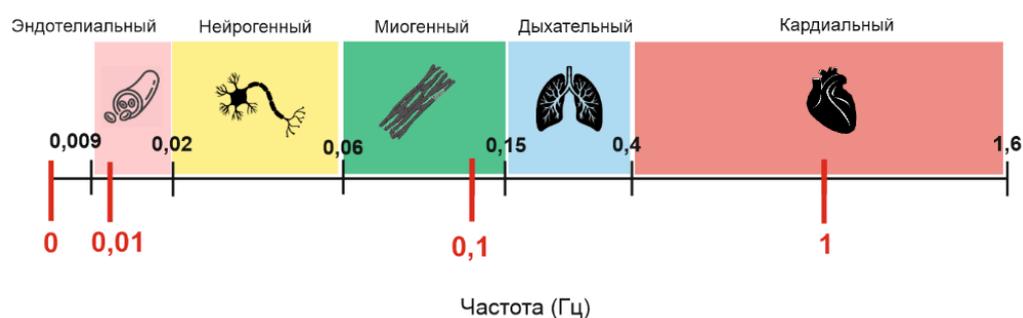


Рисунок 1 - Схема представления диапазонов колебаний кровотока

Предоставляется описание и характеристика каждого диапазона исследования, рассматриваются сопутствующие физиологические процессы.

В третьем разделе «Оптические методы исследования периферической гемодинамики» рассмотрены основы нагрузочных исследований, функциональных проб периферической гемодинамики. Предоставляются качественные характеристики каждой методики в частности, дыхательной, гравитационной, тепловой и окклюзионной пробы.

В «Теоретической части» второй главы «Методы визуализации периферической гемодинамики» первом разделе «Лазерная спекл-контрастная

визуализация» говорится о преимуществах использования ЛСКВ, а также дается качественная сравнительная оценка по сравнению с ЛДФ.

Во втором разделе «Лазерная доплеровская визуализация» приводится пример использования методики ЛДФ в динамическом и исследовании кровотока, а также представлен обзор концептуальной установки.

В третьем разделе «Фотоплетизмографическая визуализация» рассказывается о методе регистрации фотоплетизмографических (ФПГ) данных на основе видеозаписи изображения, а также их последующей обработки. Дается качественная оценка преимуществам и недостаткам данной методики.

В четвертом разделе «Тепловизионная визуализация» приводится пример из литературных источников связанных с получением данных перфузии кровотока на основе данных инфракрасной термографии.

В «Практической части» первой главы «Регистрация экспериментальных данных» первом разделе «Обзор объекта исследования» приводятся обоснования выбора объекта исследования в качестве оценки периферической гемодинамики. Объект исследования разбивается на области исследования, регионы мониторинга и функциональные зоны.

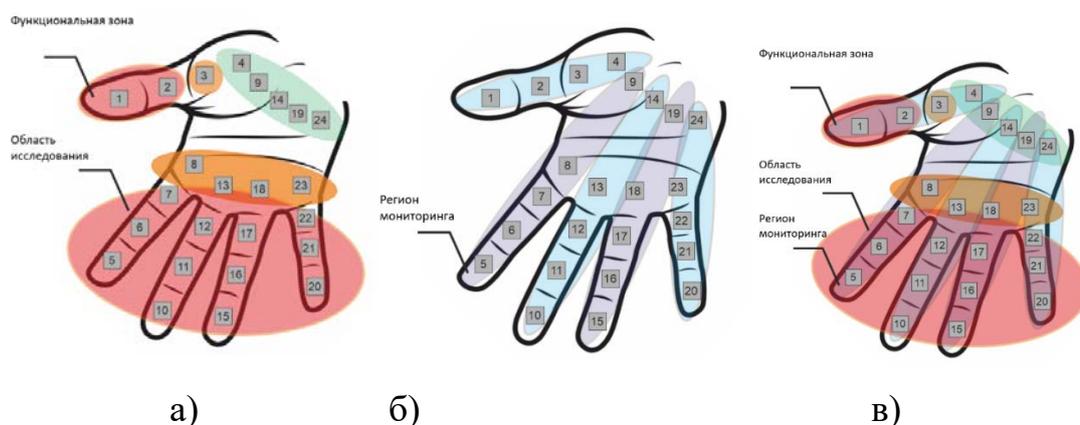


Рисунок 2 - Принципиальные схемы областей функциональных зон и областей исследования (а), регионов мониторинга (б) и их объединение (в)

Дается качественная оценка к данной реализации задачи по

исследования гемодинамики кровотока

Во втором разделе «Обзор объекта исследования» описывается экспериментальная установка фотоплетизмографической визуализации. Рассматриваются основные характеристики установки, а также параметры проводимых исследовательских записей.

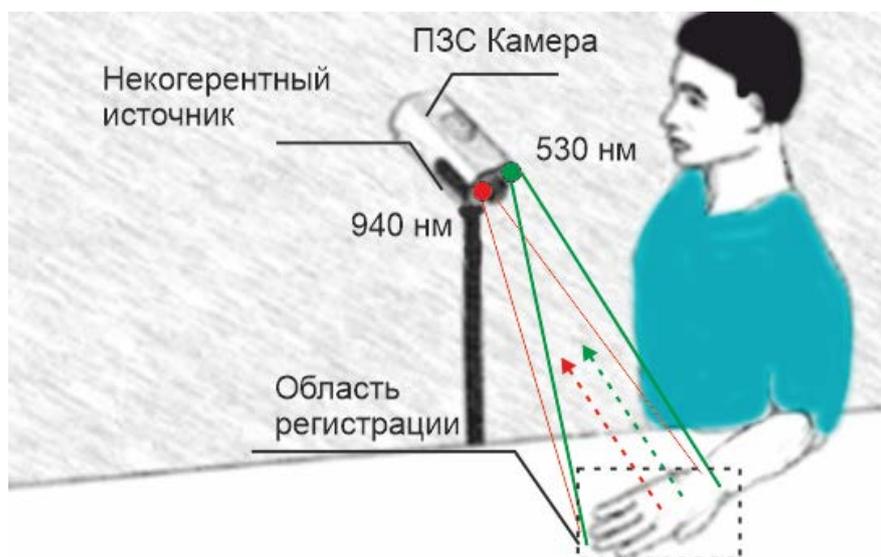


Рисунок 3 - Пример принципиальной схемы экспериментальной установки исследования фотоплетизмографической визуализации при мощи ПЗС-камеры.

В третьем подразделе «Результаты экспериментальных исследований» рассматриваются полученные экспериментальные данные, дается оценочная характеристика, описывается предобработка видеоизображений

В «Практической части» второй главы «Применение реализованных программных модулей для обработки экспериментальных данных» первом разделе «Модуль 1. Модуль обработки изображений» представлены результаты разработки программного обеспечения позволяющего приводиться обработку исходных данных фотоплетизмографической визуализации, а также формировать временные ряды по усредненным значениям выбираемых областей исследования. В данной работе были выбраны 24 области расположившихся на пальцах руки, ладони и запястье.

Пример разметки по областям исследования, данных ФПГ-визуализации с помощью модуля обработки изображения показан на рисунке 4

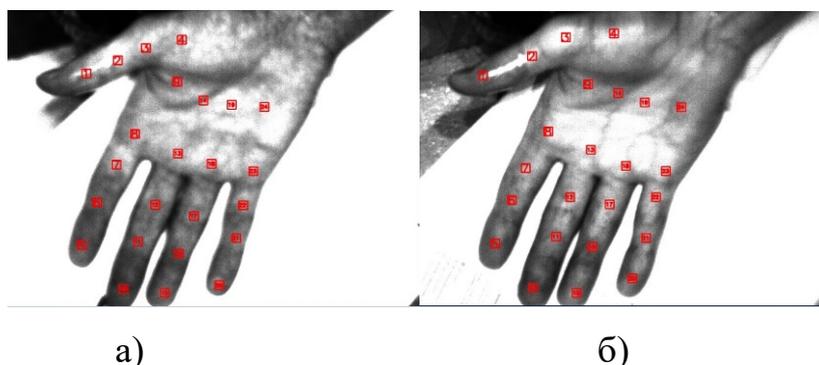
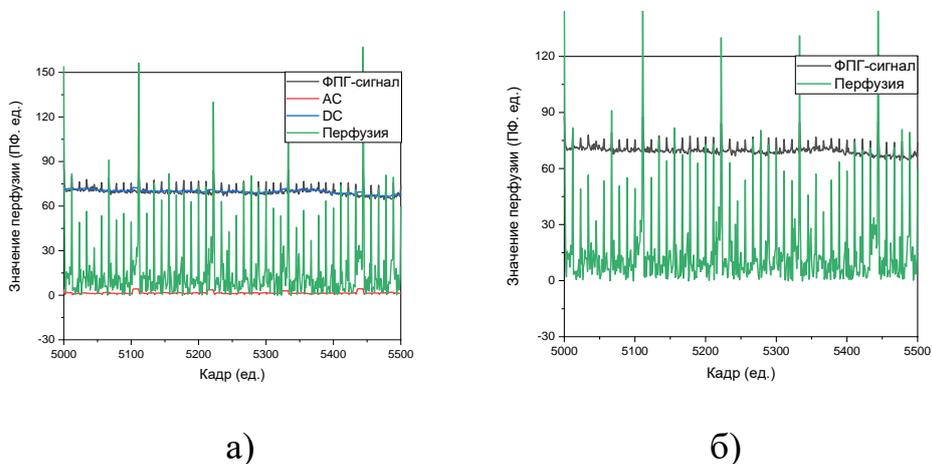
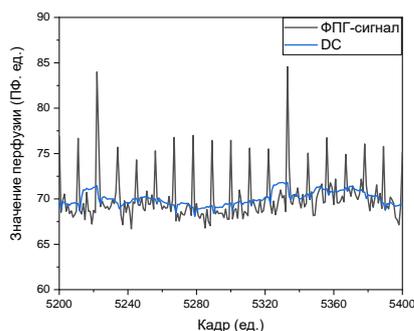


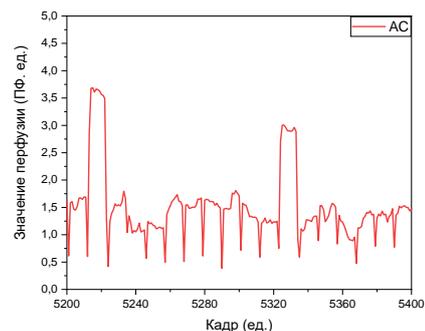
Рисунок 4 – Пример разметки выбранных 24 областей изображений записи №2 530 нм (а) и 940 нм (б)

В подразделе «Модуль 2. Модуль расчета перфузии» приводится пример реализации программного обеспечения, для преобразования ФПГ-сигнала в данные перфузии на основе методики некогерентной оптической флукуационной флоуметрии.





в)



г)

Рисунок 5 - Графики отображения ФПГ-сигнала, перфузии, AC и DC компонент (а), ФПГ-сигнала и перфузии (б) в масштабе 0,5 тыс. кадров, ФПГ-сигнала и DC компоненты (в) и AC-компоненты (г) в масштабе 0,3 тыс. кадров

В подразделе «Модуль 3. Модуль визуализации» представлены результаты разработки программного обеспечения, позволяющего визуализировать динамическое изменение перфузии, а также возможность разбиение данной визуализации на диапазоны колебаний кровотока.

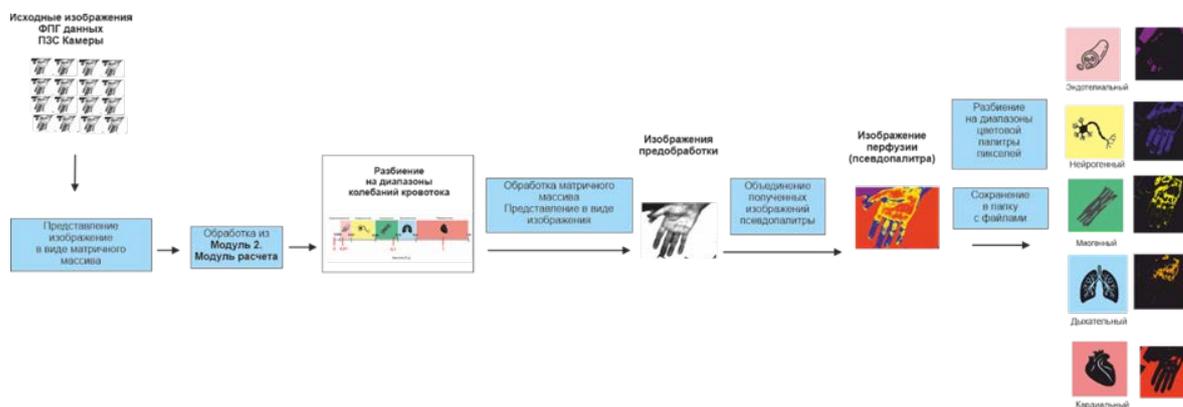


Рисунок 6 - Принципиальная схема обработки данных при помощи модуля визуализации

В «Практической части» третьей главы «Сравнительный анализ» представлены результаты статистической обработки полученных экспериментальных данных. Проведено исследование пространственного

распределения амплитуд колебаний ФПГ-сигнала и перфузии.

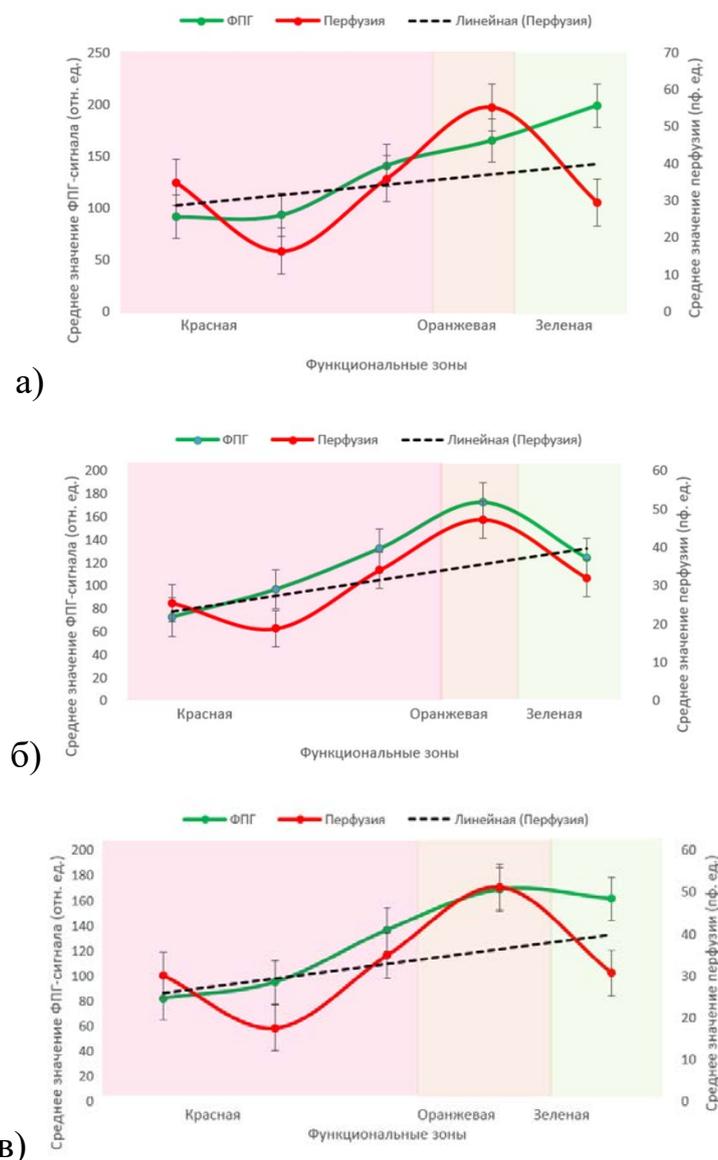


Рисунок 7 – Примеры графиков усредненных значений по показаниям ФПГ-сигнала и перфузии диапазона 530 нм, 940 нм и двух длины волны падающего излучения

В основу представленного сравнительного анализа стали количественные данные, полученные ранее в виде средних значений по 24 областям как для ФПГ-сигнала, так и для перфузии. Данные по 24 областям исследований были разбиты по функциональным зонам, стоит отметить что красная функциональная зона представлена в виде распределения по трем

фалангам пальцев. На основе полученных данных можно наблюдать взаимосвязь локализованных областей, а также экспериментальных данных ФПГ-сигнал фотоплетизмографической визуализации и данных перфузии на основе методики некогерентной оптической флуктуационной флоуметрии.

Заключение. В период проведения работы было разработано программное обеспечение, реализующее преобразование двумерных фотоплетизмографических данных в сигнал перфузии на основе методики некогерентной оптической флуктуационной флоуметрии (НОФФ)

Проведена апробация разработанного программного обеспечения. Обработано около 48 тыс. изображений исходных данных, проведен анализ 96 образцов временных рядов локальных областей исследования, определены динамические переменные, дана статистическая оценка полученных результатов ФПГ-данных и перфузии.

Проведено исследование пространственного распределения амплитуд колебаний перфузии методом НОФФ. Установлено наличие положительного градиента перфузии в направлении от дистальных фаланг пальцев руки к запястью.

Реализована динамическая визуализация перфузии кровотока в области кисти руки на основе методики НОФФ в эндотелиальном, нейрогенном, миогенном, дыхательном и кардиальном частотных диапазонах колебаний объемного кровотока.

Полученные результаты проведенных исследовательских работ могут помочь в развитии методов НОФФ в качестве перспективного метода, замещающего технологию лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ).

Использование методов НОФФ вместо когерентного излучения может позволить создавать более доступные и простые в использовании диагностические устройства по сравнению с традиционной технологией ЛДФ

Таким образом, метод НОФФ представляет собой перспективную альтернативу ЛДФ для неинвазивной исследований периферической гемодинамики кровотока.

20.06.2024

 Шандван Р.М.