

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 612.15, 616.5, 57.087

Лащётко
Руслан Андреевич

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ БИОТКАНЕЙ ЧЕЛОВЕКА С
МИКРОЦИРКУЛЯТОРНЫМ РУСЛОМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-38 80 03 «Приборы, системы и изделия медицинского
назначения»

Научный руководитель
Меженная Марина Михайловна
кандидат технических наук, доцент

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В современной клинической практике изменение состояния микроциркуляции крови служит симптомом целого ряда заболеваний в кардиологии, диабетологии, дерматологии, стоматологии, хирургии и реаниматологии. Поэтому в клинике различных заболеваний и экстремальных состояний необходимы методы как оперативной оценки состояния кровотока на тканевом уровне, так и длительного его мониторинга. Возможность проведения диагностики состояния сосудистой системы и микроциркуляции крови обеспечивается рядом оптических методов: лазерная доплеровская флуометрия, доплеровская оптическая когерентная томография, интравитальная микроскопия, магнитнорезонансная томография и ангиография, транскраниальная доплерография и др.

Одним из перспективных направлений в изучении системы микроциркуляции является лазерная спекл-визуализация, основанная на использовании лазерного излучения для исследования биоспеклов кожи. В рамках данного подхода анализируются параметры динамического спекл-поля, которое образуется в результате интерференции отраженного или рассеянного биообъектом когерентного излучения. Несмотря на значительный успех, достигнутый к настоящему времени в части развития фундаментальных и прикладных аспектов применения метода спекл-визуализации, изучены в недостаточной степени что и определило цель настоящей диссертационной работы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными исследованиями университета.

Результаты диссертационного исследования были использованы при выполнении гранта БРФФИ «Исследование микроциркуляции поверхностных биотканей человека методом спекл-визуализации и разработки соответствующего методического и программного обеспечения»

Цель и задачи исследования.

Цель данной работы – разработать компьютерную модель поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом под воздействием оптического излучения.

Основная задача проводимой работы заключается в изучении и компьютерном воссоздании процесса формирования спекл-изображения, чтобы в перспективе исследовать влияние скорости кровотока на формирование спекл-изображения. И может быть разделена на ряд подзадач:

1. Провести анализ литературных источников с целью получения требуемых для создания модели данных;
2. На основе полученных данных разработать биофизическую модель исследуемых поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом, на основе которой будет построена целевая модель
3. На основе биофизической модели создать компьютерную модель, провести её испытание

Новизна полученных результатов.

Получено наглядное графическое представление процесса формирования спекл-картины. Это позволит в дальнейшем более детально изучить метод спекл-визуализации и установить взаимосвязь между скоростью кровотока и формируемой спекл-картиной.

Положения, выносимые на защиту.

1. Полученная биофизическая модель поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом адаптированная под задачу воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения.
2. Разработанная компьютерная модель поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом под воздействием оптического излучения, позволяющая воссоздать процесс формирования спекл-картины, что закладывает фундаментальную основу для математического описания взаимосвязи параметров кровотока и характеристик получаемой спекл-картины в будущем.

Апробация результатов диссертации.

По тематике данной работы в 2018-2020 гг. выполнена НИР «Исследование микроциркуляции поверхностных биотканей человека методом спекл-визуализации и разработка соответствующего методического и программного обеспечения» по заказу Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований Министерства образования Республики Беларусь.

Опубликованность результатов исследования.

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 8 печатных изданиях и представлены в виде 5 статей и 3 тезисов, среди которых 2 статьи опубликованы в сборниках, входящих в перечень ВАК.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 36 страниц.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения и библиографического списка

В первой главе рассматриваются существующие оптические методы исследования состояния микроциркуляции, анализируются их достоинства и недостатки, характеризуется потенциал современных методов, использующих в своей основе лазерное спекл-исследование.

Вторая глава посвящена подготовке необходимых данных для создания биофизической модели поверхностных биотканей человека, служащей базисом для проведения последующего мультифизического моделирования в среде COMSOL Multiphysics, и собственно её разработке. Для чего, в данной главе осуществлён анализ процесса формирования спекл-картин на примере проводившихся коллективом авторов Калилец, Кишкевич, Рункевич, Меженная, Лацетко; обоснованы основные требования к биофизической модели; проведён литературный анализ с целью выявления требуемых параметров в условии воздействия низкоинтенсивным лазерным излучением с длиной волны 633 нм.

В третьей главе средствами программного пакета COMSOL Multiphysics проводится разработка и последующее исследование компьютерной модели поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом под воздействием оптического излучения. Проведены испытания модели в двух её формах: статической и динамической. В первом случае, было получено наглядное представление процесса формирования спекл-изображения и дана оценка влияния формы исследуемого объекта на данный процесс; во втором (исследование динамической версии) – показали необходимость применения, специализированного ПО для оценки динамической составляющей и как следствие модель была адаптирована для получения результатов требуемого формата. В заключении главы был сделан вывод о ценности результатов исследований и дана оценка перспектив дальнейшего их применения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы показана актуальность проводимых исследований, сформулированы цель и задачи диссертации, научная значимость исследований.

Во введении обоснована актуальность и практическая ценность темы исследования, описана степень разработанности проблемы.

В первой главе раскрыты основные понятия и механизмы проведения диагностики систем микроциркуляции, показана актуальность развития именно оптических методов её диагностики, отражен исторический процесс их развития.

Во второй главе осуществлён теоретический анализ формирования спекл-изображения, обоснованы структура и основные требования к биофизической модели поверхностных биотканей человека, описан процесс её разработки.

В третьей главе на основе биофизической разработана компьютерная модель, отвечающая требованиям конкретных исследований, по их результатам получены графические представления процессов распространения волнового фронта внутри модели, а также воспроизведён процесс получения и анализа данных для динамических структур, что в перспективе позволит установить взаимосвязь между динамикой кровотока и результирующей спекл-картиной.

В заключении приведены полученные результаты, сделан вывод по всей проделанной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации разработана компьютерная модель поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом под воздействием оптического излучения. Данная модель необходима для воссоздания процесса формирования спекл-изображения, чтобы в перспективе исследовать влияние скорости кровотока на формирование спекл-изображения.

Для достижения вышеописанного результата в работе обоснованы актуальность и методы моделирования поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом, разработана биофизическая модель поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом, выполнено компьютерное моделирование поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом под воздействием оптического излучения.

Для проведения моделирования выбран программный пакет COMSOL Multiphysics.

Произведен теоретический анализ процесса формирования спекл-изображения, базирующийся на основе исследований, проводившихся коллективом авторов Калилец Т.В., Кишкевич И.В., Рункевич Е.Н., Меженная М.М., Лащетко Р.А. Обоснованы требования к структуре исходя из проведённого анализа, главной среди которых является разбиение модели на слои по границам областей, между которыми существуют значимые для распространения оптического излучения вариации показателя преломления для используемой длины волны в 633 нм, а именно слои эпидермиса, дермы, микроциркуляции дермы и гиподермы, с последующим определением их необходимых параметров.

На основе полученной биофизической модели средствами COMSOL Multiphysics построена компьютерная модель в двух её формах. В процессе исследования первой (статической) модели наглядно отображен процесс формирования спекл-изображения, а последующие вариации геометрической формы исследуемой микроциркуляции позволили подтвердить ранее сформулированный принцип её влияния на итоговую спекл-картину: в области с высокой концентрацией светоотражающих элементов, по результатам лазерной-спекл диагностики будут образовываться участки с относительно высоким показателем интенсивности поглощённого излучения в своих центрах и небольших областях пониженной интенсивности вдоль областей их нахождения. В процессе исследования динамической отражена перспектива дальнейшего исследования данной темы, а также показана возможность использования

специализированных средств обработки спекл-изображений для получения диагностической информации. В результате удалось обосновать высокую эффективность методов спекл-контрастной визуализации при диагностике высоконагруженных светоотражающими частицами участков микроциркуляции.

Проведённое моделирование закладывает фундамент углубленного изучения различных факторов, влияющих на формирование спекл-изображения, наиболее перспективное на данный момент – оценка влияния скорости кровотока на получаемые спекл-картины, установка зависимости между скоростью и получаемым спекл-контрастом.

Библиотека БГУИР

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Меженная, М.М. Расчет контраста спекл-изображений: методическое обеспечение и программная реализация / М.М. Меженная, Е.Н. Рункевич, И.В. Кишкевич, Т.В. Калилец, С.К. Дик, Д.В. Лихачевский, Р.А. Лащётко // Научный журнал «Доклады БГУИР» / редкол.: В.А. Богуш [и др.]. Мн.: БГУИР, №7 (117), 2018. Стр. 139-143.
2. Меженная, М.М. Расчет контраста спекл-изображений в оценке микроциркуляции крови: обоснование выбора параметров обработки / М.М. Меженная, С.К. Дик, Т.В. Калилец, Е.Н. Рункевич, И.В. Кишкевич, Р.А. Лащётко // Материалы Пятой Международной научно-практической конференции «BIG DATA Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня» в 2-х частях. Мн.: БГУИР, 2019. Часть 2. Стр. 337-346.
3. Лащётко, Р. А. Биофизическая модель поверхностных тканей человека с микроциркуляторным руслом / Р. А. Лащётко // Материалы 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Мн.: БГУИР, 2019.
4. Mezhennaya M.M. Laser Speckle Image Processing for Visualizing Tissue Perfusion / M.M. Mezhennaya, S.K. Dzik, T.V. Kalilec, K.N. Runkevich, I.V. Kishkevich, R.A. Laschetko // 14th International Conference on Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2019) / Proceedings of the 14th International Conference. – Minsk: BSUIR, 2019. P. 249-253.
5. Лащётко, Р. А. Построение спекл-изображений в компьютерной модели поверхностных биотканей человека/ Р. А. Лащётко // Материалы 56 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Мн.: БГУИР, 2020.
6. Лащётко, Р. А. Анализ спекл-изображений на основе биофизической модели поверхностных биотканей человека/ Р. А. Лащётко // Материалы 56 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». Мн.: БГУИР, 2020.
7. Лащётко, Р.А. Компьютерное моделирование поверхностных биотканей человека с микроциркуляторным руслом под воздействием лазерного излучения/ Р.А. Лащётко, М.М. Меженная, Т.В. Калилец, С.К. Дик, И.В. Кишкевич, Е.Н. Рункевич // Материалы Шестой Международной научно-практической конференции «BIG DATA Advanced Analytics. BIG DATA и

анализ высокого уровня» в 2-х частях. Мн.: БГУИР, 2020. Часть 1. Стр. 332-339.

8. Кишкевич, И.В. экспериментальная апробация методических и аппаратно-программных средств спекл-визуализации в диагностике микроциркуляции поверхностных биотканей человека/ И.В. Кишкевич, Е.Н. Рункевич, М.М. Меженная, Т.В. Калилец, Р.А. Лащётко, С.К.Дик // Научный журнал «Доклады БГУИР» / редкол.: В.А. Богуш [и др.]. Мн.: БГУИР, №18 (3), 2020. Стр. 36-41.

Библиотека БГУИР