

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Мангилевой Дарьи Владимировны

«Нейросетевые методы анализа динамических сцен и математические модели электрофизиологии сердца для изучения аритмий», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы исследования. Популярность применения современных компьютерных технологий в медико-биологической практике продолжает расти, в частности в кардиологии. Диссертационная работа Мангилевой Дарьи Владимировны посвящена развитию вычислительных методов для изучения процессов, протекающих в миокарде во время аритмий. Часто такие явления инициируются автоволновыми источниками, представленными спиральными волнами, которые распространяются через передачу возбуждения мембранного потенциала от клетки к клетке. Спиральные волны возникают преимущественно в условиях наличия непроводящих или частично проводящих участков ткани, например постинфарктных рубцов. Эти патологии являются популярными причинами смертности, что подчеркивает необходимость их углубленного изучения.

В своей работе Мангилева Д. В. рассматривает передовые подходы к визуализации спиральных волн на поверхности открытого неизолированного сердца, включая методы глубокого обучения. Несмотря на то, что современные нейронные сети часто демонстрируют превосходство над классическими подходами, в медико-биологических исследованиях нередко наблюдается нехватка данных, что затрудняет их обучение. В рамках текущего исследования предложена нейронная сеть на основе многослойного персептрона, способная обучаться без учителя и рассчитывать поля смещений по двум последовательным кадрам видеозаписи. Результаты, полученные с использованием данной модели, демонстрируют сопоставимость с передовыми аналогами на общей выборке медицинских изображений и превосходство по сравнению с другими методами на изображениях открытого неизолированного миокарда. Применение модели позволило впоследствии восстанавливать образы вихрей на видеоряде открытого неизолированного сердца, которые являются своего рода механическим следом от спиральных волн возбуждения на миокардиальной ткани. Кроме того, автор разработал специализированный алгоритм, позволяющий отделить механическое функционирование миокарда в норме от аритмии, зафиксированной на электрокардиограмме. Полученные результаты вносят вклад в развитие исследовательских подходов в области аритмологии, а также потенциально могут быть адаптированы в других областях науки и техники. В заключительной главе исследования на детализированных моделях миокарда демонстрируется взаимосвязь между размером постинфарктного рубца и периодом вращения спиральных волн, закручивающихся вокруг данной рубцовой области. Полученные данные служат фундаментальными знаниями для понимания того, как объемы нарушений электропроводимости ткани миокарда влияют на выраженность аритмий, и могут быть полезны в клинической практике.

На основании вышеизложенного актуальность темы диссертационной работы Мангилевой Д.В. не вызывает сомнений.

Краткое содержание диссертационной работы.

Введение диссертации раскрывает актуальность темы, представляет краткий обзор передовых разработок в соответствующей области и формулирует цель и задачи исследования.

В **первой главе** по теме диссертации изложены базовые теоретические основы, передовые исследования и разработки. В частности, рассматривается работа многослойного персептрона, освещаются вопросы частотного сдвига и способы его устранения, представлен обзор основ математического моделирования в медико-биологических исследованиях, включая область аритмологии.

Во **второй главе** приводятся этапы разработки новой модели нейронной сети на основе MLP для определения поля смещений между двумя последовательными кадрами. Обосновывается выбор основных составляющих параметров модели и техника её оценки по специально разработанному протоколу. Приведены результаты тестирования новой модели и сравнение её с другими нейронными сетями.

В **третьей главе** приведено описание разработанного алгоритма, который позволяет анализировать видеозаписи открытого бьющегося неизолированного сердца и выявлять различия в механическом функционировании при норме и аритмии. В конце главы представлены изображения вихреобразных образов, являющихся механическими следами спиральных волн.

В **четвертой главе** приведены результаты численных экспериментов по моделям электрической активности миокарда, включая зависимость периода вращения спиральных волн от размеров непроводящего препятствия и его пограничной зоны.

В **заключении** представлены выводы диссертационного исследования, обсуждены дальнейшие рекомендации по дальнейшему развитию.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем.

В области математического моделирования:

- 1) Представлена новая неконтролируемая нейронная сеть DisplacementMLP+, предназначенная для расчета полей смещений между двумя последовательными кадрами и превосходящая современные аналоги на изображениях неизолированного сердца.
- 2) С использованием современных подходов математического моделирования впервые обнаружены четыре режима вращения спиральной волны в миокарде вокруг электрически невозбудимого препятствия. Эти режимы сменяют друг друга при изменении размеров препятствия и прилегающей к нему полупроводящей зоны, и характеризуются различной формой зависимости периода вращения спиральных волн от размеров препятствия и окружающих его зон.

В области численных методов:

- 3) Разработан новый протокол для тестирования и разработки новой нейронной сети и ее сравнения с другими методами.
- 4) Предложен алгоритм обработки видеозаписей открытого неизолированного сердца для расчёта полей смещения между кадрами. С помощью данного подхода удалось выявить новые различия в механической функции миокарда между нормой и аритмией.
- 5) Впервые применён критерий вихревого растяжения для обнаружения вихревой механической активности сердца при аритмии, зарегистрированной на ЭКГ

В области создания комплексов программ:

- 6) Разработан комплекс программ для нового протокола, ориентированного на создание и тестирование DisplacementMLP
- 7) Разработан программный комплекс для реализации данной модели.
- 8) Разработан программный комплекс для алгоритма обработки видеозаписей открытого неизолированного сердца.

Обоснованность научных результатов подтверждается 7 публикациями автора по тематике диссертационного исследования в рецензируемых научных журналах, индексируемые базами данных Web of Science и Scopus.

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования представлены на международных и всероссийских конференциях. Вынесенные на защиту результаты опубликованы в виде 7 статей (1 статья в Q1 и 2 статьи в Q2).

Теоретическая значимость работы состоит в создании нейронной сети на основе многослойного персептрона для определения полей смещений между двумя последовательными кадрами видео. Показано, что модели на основе MLP демонстрирует преимущество перед современными аналогами на изображениях с градиентной пространственной вариацией значений пикселей, а новая модель DisplacementMLP+ выдает более высокую точность на изображениях открытого неизолированного сердца.

Также с помощью математического моделирования обнаружены различные формы зависимости периода вращения спиральной волны от размера непроводящего рубца и окружающей его полупроводящей зоны. Понимание данных закономерностей способствуют более глубокому пониманию влияния объемов тканевых нарушений миокарда на тяжесть протекания аритмии. **Практическая значимость** данного исследования состоит в том, что впервые предлагается алгоритм и программный комплекс для анализа видеозаписей сокращения неизолированного миокарда в живом организме. Метод позволяет оценивать динамику деформаций миокарда во время сокращения и вычислять ключевые механические параметры как для нормально-функционирующего сердца, так и при аритмиях. Также представлена модель неконтролируемой нейронной сети DisplacementMLP+, с помощью которой удалось распознать механический след от волны изменения электрического потенциала клеток сердечной ткани. Полученные методики обработки видеозаписей могут стимулировать развитие новых диагностических и лечебных подходов в области кардиологии.

Достоверность диссертационной работы достигается через проверку предлагаемых методов на синтетических наборах с известным верным результатом, статистическим анализом, а также уже полученными знаниями в области кардиологии.

Замечания по диссертационной работе

- 1) В пункте 2.2 отсутствует описание пояснения, почему для многослойного персептрона, выполняющего функцию генератора сеток (Рис 2.3, $\tilde{G}$), не применяются современные методы, направленные на устранение проблемы частотного сдвига.

2) В пункте 2.4, посвящённом разработке DisplacementMLP+, отсутствует объяснение количества вспомогательных многослойных персептронов (Рис 2.10, Υ) для обучения единого генератора изображений (Рис 2.10, Ι).

3) На рисунке 2.10 представлена схема метода фрагментирования изображения в модели DisplacementMLP+. Каждая из моделей в наборе (Υ) генерирует свою область изображений. Салатовыми линиями указаны границы между данными областями, содержатся ли там пиксели?

4) Почему в пункте 3.2.2 для определения векторных полей смещения между кадрами видеоряда используется классический кросс-корреляционный метод, а не один из методов глубокого обучения описанный в главе 2?

5) В главе 4 отсутствуют уточнения про погрешность формы постинфарктного рубца из-за кривизны стенки реалистичной формы 3D геометрии

Общая оценка диссертационной работы.

Диссертационная работа Мангилевой Д. В. «Нейросетевые методы анализа динамических сцен и математические модели электрофизиологии сердца для изучения аритмий» является самостоятельной и завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержатся важные результаты в сфере применения глубокого обучения и математического моделирования в области кардиологии.

Отмеченные выше замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа Мангилевой Дарьи Владимировны «Нейросетевые методы анализа динамических сцен и математические модели электрофизиологии сердца для изучения аритмий» выполнена на высоком научном уровне и удовлетворяет п. 9 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор,

Заведующий кафедрой теории управления и динамики систем,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" (ННГУ)

Контактные данные: Тел.: +7 (831) 462-33-57, e-mail: grigori.osipov@itmm.unn.ru

Адрес места работы: 603022, г.Нижний Новгород, пр.Гагарина, 23

ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" (ННГУ)

(подпись)

(дата)

Осипов Григорий Владимирович

ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮЩАЯ

Зам. начальника управления
ННГУ им. Н.И. Лобачевского

17.09.2025г.