

ОТЗЫВ

ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

АЛЕКСАНЯНА ГРАЙРА КАРЕНОВИЧА

на диссертацию **Серебровского Андрея Вадимовича**

«Развитие технологий биоимпедансного анализа для классификаторов риска рака молочной железы, построенных на основе гибридных технологий искусственного интеллекта», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки)

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Электроимпедансная спектроскопия (ЭИС), то есть измерение частотных зависимостей импеданса в широком диапазоне частот, находит все большее применение в медицине и других областях как средство исследования свойств биологических объектов. В настоящее время доступной аппаратуры для ЭИС на отечественном рынке почти нет. В то же время в диагностике многих заболеваний значительный интерес представляют параметры состава тканей отдельных регионов. Так как удельное сопротивление биологических тканей, определяемое для заданной частоты тока, может существенно изменяться под влиянием физиологических и патофизиологических факторов, это позволяет использовать биоимпедансометрию для оценки состояния органов и систем организма при различных заболеваниях и физиологических состояниях. Поэтому поиск новых технологий получения данных и разработка новых диагностических комплексов, использующих биоимпедансную многочастотную спектрометрию для интеллектуальной поддержки диагностики онкологических заболеваний, является актуальной и важной для практики задачей.

2. НАУЧНАЯ НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве основной цели исследования автор видит повышение эффективности диагностики рака молочной железы посредством гибридных технологий искусственного интеллекта с дескрипторами, полученными путем спектроскопии биоимпеданса.

Для достижения поставленной цели автором решены ряд задач и получены результаты, обладающие несомненной научной новизной:

1. модель импеданса биоматериала молочной железы, основанная на трехзвенном эквивалентном двухполюснике, позволяющая определять параметры эквивалентного двухполюсника, которые используются в качестве дескрипторов для классификатора риска рака молочной железы;

2. мультимодальный классификатор риска рака молочной железы, отличающийся использованием трехканального анализа данных, позволяющий интегрировать решения моделей машинного обучения и экспертной оценки, а также управлять процессом получения данных для биоимпедансного анализа;

3. классификатор риска рака молочной железы, предназначенный для первого канала мультимодального классификатора, использующий в качестве дескрипторов параметры эквивалентных трехзвенных двухполюсников, отличающийся двухуровневой иерархической структурой, позволяющий интегрирует медицинский риск по всем отведениям матрицы электродов;

4. способ оценки риска рака молочной железы, основанный на сканировании поверхности кожи молочной железы посредством формирования отведений матрицы электродов, с последующей классификацией биоимпедансных данных посредством иерархической нейросетевой структурой, позволяющий учитывать анизотропию биоматериала.

Последовательность рассуждений автора при решении поставленных задач отражена в содержании диссертационной работы.

В первом разделе очерчены проблемы диагностики онкологических заболеваний молочной железы (МЖ), проведен анализ компьютерных методов биоимпедансной визуализации. Рассмотрены новые методы искусственного интеллекта, которые в последнее время привели к качественному скачку в развитии диагностики онкологических заболеваний. Установлено, что, несмотря на успехи машинного обучения (МО) и глубокого обучения, у практикующего врача очень ограничен выбор средств интеллектуальной поддержки принятия решений в области диагностики онкологических заболеваний, а информация о имеющихся СППВР при диагностике онкологических заболеваний весьма противоречива. Это обусловлено в первую очередь разнородностью и недостаточным объемом данных о пациентах и протоколах их лечения, сложностью формализации этих данных, что не позволяет реализовать эффективные СППВР с высокой степенью доверия к результатам их функционирования.

Таким образом, научно-техническая задача исследования состоит в том, чтобы разработать инструменты, которые можно систематически использовать для обеспечения успешной классификации биоимпедансных изображений в условиях неопределенности модели.

Во втором разделе излагаются вопросы построения классификатора риска рака молочной железы (РМЖ). Новыми техническими решениями при этом являются:

- модель биоимпеданса при сканировании МЖ, основанная на трехзвенном эквивалентном двухполюснике, отличающаяся двухэтапным способом определения его параметров, заключающемся в том, что на первом этапе определяются параметры первого звена посредством образования отведения между двумя смежными электродами матрицы, параметром второго звена являются параметры эквивалентного двухполюсника на постоянном токе, а параметры третьего звена определяются посредством нейросетевой модели на втором этапе с учетом того, что параметры первых двух звеньев определены на первом этапе;

- классификатор для оценки риска РМЖ на основе данных биоимпедансных исследований, использующий в качестве дескрипторов параметры эквивалентных трехзвенных двухполюсников, отличающийся двухуровневой иерархической структурой, на первом иерархическом уровне которой находится нейронная сеть, на ее вход последовательно и синхронно с формированием отведений подаются параметры эквивалентных двухполюсников отведений, а выходы нейронной сети последовательно записываются в запоминающее устройство, в котором после опроса всех отведений формируется вектор дескрипторов для нейронной сети второго иерархического уровня, в которой интегрируется медицинский риск по всем отведениям матрицы электродов;

- алгоритм обучения двухуровневой иерархической искусственной нейронной сети для оценки риска РМЖ на основе данных биоимпедансных исследований;

- мультимодальный классификатор риска РМЖ, включающий три канала анализа данных, на первом уровне первого канала анализируется дифференциальный риск РМЖ по каждому отведению матрицы электродов биоимпедансного преобразователя, а на втором уровне анализируется интегральный риск РМЖ по всем отведениям матрицы электродов биоимпедансного преобразователя, в третьем канале посредством сверточной нейронной сети осуществляется бинарная классификация изображений, формируемых на первом уровне первого канала мультимодального преобразователя, а во втором канале формируются моночастотные и поличастотные изображения, предназначенные для экспертной оценки риска РМЖ лицом, принимающим решения.

- архитектура сверточной нейронной сети, предназначенная для анализа данных в третьем канале мультимодального классификатора риска РМЖ, отличающаяся способом формирования из полутонного изображения трех цветных, который основан на методе амплитудного квантования мод.

Исследования, проведенные в третьем разделе направлены на разработку биоимпедансного преобразователя, учитывающего анизотропию биоматериала. Предложенный способ классификации риска РМЖ на основе спектроскопии биоимпеданса и с учетом анизотропии биоматериала осуществляется посредством того, что в известном способе оценки риска РМЖ, заключающимся в сканировании поверхности кожи МЖ посредством формирования отведений путем включения в цепь генератора зондирующего тока биоматериала МЖ, получения графика Коула импеданса биоматериала, включенного в цепь генератора, для формирования отведений используют четыре матрицы электродов, размером $4 \times 4 = 16$ электродов каждая.

Новыми техническими решениями являются:

- устройство для получения сырых данных для обучаемого классификатора риска РМЖ, содержащее последовательно соединенные четырехсекционную матрицу электродов, блок коммутации, измерительный усилитель, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер и ЭВМ, генератор тока, входом подключенный к микроконтроллеру, а выходом – к пятому входу блока коммутации, и токовый резистор, первым выводом подключенный к выходу блока коммутации, а вторым – к общей шине;

- комплект алгоритмов для сканирования электропроводности биоматериала молочной железы и формирования дескрипторов для классификаторов риска рака молочной железы;

- конструкция биоимпедансного преобразователя, содержащая полиимидную подложку с нанесенной на нее методом фотолитографии матрицы электродов, позволяющая оценить анизотропию электропроводности биоматериала и использовать полученную информацию для формирования дескрипторов для классификаторов риска рака молочной железы.

В четвертом разделе описаны аппаратно-программная реализация предложенных методов и алгоритмов для построения мультимодальных классификаторов и представлены результаты экспериментов по определению их диагностической эффективности.

3. СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ, РЕКОМЕНДАЦИЙ И ЗАКЛЮЧЕНИЙ

Все новые решения автор подробно аргументирует, обосновывает свои предложения исходя из недостатков существующих методов и моделей прогнозирования, возникновения и развития РМЖ.

Достоверность представленных автором результатов исследований обосновывается их воспроизводимостью в различных условиях, непротиворечивостью концепциям биоимпедансного анализа, теории распознавания образов и нейросетевого моделирования, теории синтеза биотехнических систем, а также аналогичным результатам, полученными другими исследователями по разрабатываемой теме. Проведенный анализ диссертации позволяет сделать вывод о достаточно полной обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Содержание автореферата полностью отражает основные идеи, методы и результаты, полученные в диссертации.

Работа прошла апробацию в печати и на различных конференциях. Автору принадлежит 16 печатных работ по теме исследования. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 4 статьях в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных Минобрнауки России. Результаты диссертационной работы докладывались и получили поддержку на 13 Международных и Всероссийских научно-технических конференциях высокого уровня. Приведенные факты указывают на хорошую апробацию материалов диссертации.

Таким образом, можно сделать вывод, что теоретические положения, вынесенные на защиту, полученные выводы и заключения достоверны.

4. ЗНАЧИМОСТЬ ДЛЯ НАУКИ И ПРАКТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Автор предложил методы синтеза автономных интеллектуальных агентов для систем поддержки принятия решений при диагностике онкологических заболеваний. Изложенные методы и алгоритмы формирования дескрипторов на биоимпедансной спектроскопии позволили обеспечить функционирование интеллектуальной системы поддержки принятия решений при диагностике РМЖ.

Работа выполнена в рамках реализации программы развития ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» и в соответствии с научным направлением Юго-Западного государственного университета «Разработка медико-экологических информационных технологий».

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Юго-Западного государственного университета при подготовке магистров по направлению подготовки 12.04.04 – Биотехнические системы и технологии и прошли клинические испытания в ООО «Бионика», которые показали целесообразность их использования для интеллектуальной поддержки выявления заболеваний МЖ.

5. ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

В качестве замечаний считаю необходимым и целесообразным отметить следующее.

1. Для поиска дескрипторов при использовании методов биоимпедансного анализа соискатель использует метод, основанный на модели, и метод биоимпедансной спектроскопии. В материалах диссертации не обоснована необходимость использования двух методов.

2. При построении классификаторов риска РМЖ соискатель использовал методы биоимпедансного картирования. Известно, что в настоящее время в компьютерных методах диагностики онкологических заболеваний интенсивно используются методы биоимпедансной томографии. В первом разделе, да и в последующих разделах, автор не обосновывает выбор кластера биоимпедансной визуализации.

3. При выборе числа элементов матрицы электродов (16×16) соискатель не приводит обоснование своего выбора.

4. Хотя из материалов диссертации можно оценить размеры матрицы электродов и построенного на ее основе биоимпедансного преобразователя, соискателю следовало бы указать характерные размеры на эскизах элементов конструкции преобразователя (рисунки 3.9...3.13 диссертации).

Отмеченные замечания носят частный и рекомендательный характер и не снижают высокой положительной оценки и общей ценности диссертационной работы.

6. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Серебровского Андрея Вадимовича «Развитие технологий биоимпедансного анализа для классификаторов риска рака молочной железы, построенных на основе гибридных технологий искусственного интеллекта» обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, свидетельствующие о личном вкладе автора в науку, является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки по повышению эффективности диагностики рака молочной железы, имеющие существенного значения для развития медицинского приборостроения страны.

По теме, содержанию и полученным результатам и выводам, диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.12 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Полученные в работе теоретические и практические результаты будут способствовать созданию научно обоснованных систем поддержки принятия решений при диагностике рака молочной железы, имеющих существенное значение для повышения качества медицинского обслуживания больных онкологическими заболеваниями.

Оценивая результаты соискателя в целом, считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям пункта 9, 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Серебровский Андрей Вадимович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.



20.01.2025 г.

Александра Грайр Каренович,
официальный оппонент, доцент кафедры
«Информационные и измерительные
системы и технологии» ЮРГПУ (НПИ),
кандидат технических наук (научная
специальность 05.11.17. Приборы,
системы и изделия медицинского
назначения)

Сведения об организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (ЮРГПУ (НПИ)).

346428, Ростовская область., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

E-mail: iimt-srstu@mail.ru.

Телефон: 8(863)525-52-40.

Подпись Александяна Г.К. заверяю

Ученый секретарь ученого совета ЮРГПУ (НПИ)



 Н.Н. Холодкова