

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной и
исследовательской деятельности
ФГАОУ ВО «Южный Федеральный
университет» по техническим наукам
Зеленый С.В.
« 10 » _____ 2023 г.



О Т З Ы В

ведущей организации

ФГАОУ ВО «Южный Федеральный университет»

о диссертации Стадниченко Никиты Сергеевича

«Биоимпедансная спектроскопия в классификаторах риска
панкреатита, построенных на основе гибридных технологий
искусственного интеллекта», представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12.

Приборы, системы и изделия медицинского назначения

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа посвящена разработке и внедрению в практическое здравоохранение высокотехнологичных средств интеллектуальной поддержки дифференциальной диагностики заболеваний поджелудочной железы (ПЖ). Традиционная диагностика заболеваний ПЖ основывается на анализе клинических и лабораторно-инструментальных данных, что на начальных этапах развития заболевания представляет собой сложную задачу и сопровождается диагностическими ошибками. Традиционные лабораторно-инструментальные методы имеют чувствительность от 58% до 93%, однако у 40% больных диагноз острого панкреатита (ОП) устанавливается при его фактическом отсутствии. Значительная доля ложноположительных результатов объясняется тем, что на состояние пациента оказывают влияние факторы риска (ФР) не только по отдельности, но и в определенных сочетаниях. Обработать большое количество информации и выявить закономерности врачу-клиницисту зачастую не под силу. Поэтому с развитием и совершенствованием информационных технологий актуальной является проблема обеспечения компьютерной поддержки принятия решений в диагностике и лечении панкреатита. Для ее реализации успешно применяются интеллектуальные системы поддержки принятия решений, в основном на искусственных

нейронных сетях (ИНС). Однако, потенциал ИНС для этих целей изучен недостаточно, что требует проведения дальнейших исследований. Возникает необходимость в поиске новых предикторов заболеваний ГЖ, позволяющих активно их использовать в качестве дескрипторов в системах машинного обучения (МО).

Спектральная биоимпедансометрия (СБИ) – это мощный метод, который применяется в диагностических целях и в фундаментальных исследованиях. Он неинвазивен и не повреждает клетки. Кроме того, метод воспроизводим и гибок и может автоматически интегрироваться в системах поддержки принятия врачебных решений (СППВР). Однако спектры импеданса, как известно, трудно интерпретировать. Сложность возрастает с увеличением сложности электрохимической ячейки. Поэтому возникает задача подбора большого числа импедансных спектров в физическую модель, чтобы выделить некоторые тенденции. Возможно, самая основная часть этой проблемы состоит в том, чтобы выбрать модель эквивалентной схемы, которая соответствовала бы экспериментально полученным спектрам.

Таким образом, поиск новых технологий получения данных и новых компьютерных методов их обработки для интеллектуальной поддержки диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний ГЖ на основе СБИ является актуальной и важной для практики задачей.

Научно-технической задачей исследования является разработка классификаторов для СППВР по диагностике и дифференциальной диагностики для дифференциальной диагностики заболеваний ГЖ, использующих предикторы, полученные по результатам биоимпедансных исследований.

Структура и содержание диссертации

Диссертация Стадниченко Н. С. состоит из Введения, четырех разделов основного текста, Заключения и списка литературных источников.

Список литературы обширен (121 наименований на русском и английском языках). Это позволяет говорить о достаточной полноте проведенного в первом разделе диссертации анализа состояния проблемы, охватывающего вопросы изучения методов диагностики заболеваний ГЖ и СБИ, а также и основных подходов к моделированию систем интеллектуальной поддержки принятия решений в медицинской практике. Итогом такого анализа является обоснование целесообразности решения сформулированных в специальном подразделе первого раздела задач диссертационного исследования.

Во втором разделе диссертации предложена модификация модели Войта графика Коула. Модификация модели заключающаяся в том, что в звенья

Войта введен дополнительный резистор, включенный последовательно конденсатору. Параметры звеньев модели Войта определяется посредством решения системы нелинейных уравнений, аппроксимирующих графики Коула импеданса биоматериала. При этом число звеньев модели Войта определяется посредством рекуррентного алгоритма, минимизирующего ошибку аппроксимации экспериментального графика Коула параметрической моделью Войта на текущем шаге итерации. Использование модифицированной модели позволяет повысить точность аппроксимации модели экспериментальных графиков Коула. Также разработаны алгоритмы селекции частот для построения модифицированной модели Войта импеданса биоматериала, основанные на равномерном распределении значимых частот по частотному диапазону пула частот и на групповом методе отбора частот. В процессе оптимизации модели Войта биоматериала была разработана методика определения интегральных ошибок аппроксимации, на основе которой выполнен анализ ошибок аппроксимации экспериментальных данных моделями Войта. В результате была предложена методика формирования дескрипторов для гибридного классификатора риска заболеваний ПЖ. Гибридный классификатор включает два классификатора на нижнем иерархическом уровне и агрегатор на верхнем иерархическом уровне. Разработан алгоритм формирования этого агрегатора. Предложена модель биоимпедансного анализа на основе СБИ, которая позволяет создавать интеллектуальные системы поддержки принятия врачебных решений для диагностики панкреатита.

В третьем разделе исследован гибридный классификатор по дифференциальной диагностике заболеваний ПЖ, построенный на основе модели вероятностной нейронной сети с макрослоями и моделей нечеткого логического вывода, дифференцирующий риск панкреатит и рак ПЖ. Первый макрослой гибридного классификатора включает 24 вероятностных нейронных сети, число входных нейронов в которых равно числу частотных диапазонов, которые выделены на импедансной диаграмме биоматериала, число нейронов в скрытом слое - равно числу примеров в обучающей выборке, а число нейронов в выходном слое каждого модуля макрослоя равно двум. Второй макрослой выполнен на основе теории нечеткой логики принятия решений и состоит из 12 нечетких нейронных сетей. Каждый модуль макрослоя состоит из двух нейронных слоев и имеет четыре входных и два выходных нейрона. Третий макрослой осуществляет операции нечеткое «ИЛИ» и нечеткое «И» над выходами второго макрослоя и состоит из шести модулей. Четвертый макрослой определяет уверенности трех дифференцируемых классов, а пятый – класс-победитель. Для синтеза модулей

второго макрослоя гибридной нейронной сети разработан метод, заключающийся в формировании байесовской логико-вероятностной модели нечетких решающих правил, представлении их в виде ортогональной дизъюнктивной нормальной формы и последующим формальным переходом от функции алгебры логики, заданной в ортогональной дизъюнктивной нормальной форме, к соответствующей функции вероятностной логики. При этом условные вероятности соответствующих событий определяются согласно формуле Байеса по соответствующим выходам вероятностной нейронной сети первого макрослоя гибридной нейронной сети.

Четвертый раздел диссертации посвящен экспериментальным исследованиям. Разработаны программно-аппаратные средства для биоимпедансных исследований функционального состояния ПЖ, а также предложена структурная схема мультиагентной интеллектуальной системы для диагностики заболеваний ПЖ. Проведена настройка программного модуля биоимпедансной спектроскопии. Программный модуль позволяет осуществить настройку гибридной нейронной сети с пятью макрослоями. На контрольной выборке была проведена оценка качества диагностики с помощью мультимодального классификатора по двум классам: «острый деструктивный панкреатит», «нет острого деструктивного панкреатита». В работе был проведен анализ ошибок первого и второго рода для классификаторов, который показал, что максимальное значение показателей качества различных моделей классификаторов составило 78%, минимальное - 62%, демонстрируя сопоставимые значения к показателям качества методов ультразвуковой диагностики.

Заключение диссертации содержит формулировки основных результатов и выводов, которые отражают достижение основной цели работы на основе решения задач диссертационного исследования, а также рекомендации по использованию результатов и перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

Таким образом, содержание диссертации позволяет судить о завершенности и необходимой полноте проведенных исследований, а также содержит достаточно материала, свидетельствующего о достоверности и обоснованности полученных выводов.

Автореферат отражает основные аспекты диссертационного исследования.

Научная новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций

В работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

- гибридный классификатор медицинского риска, построенный на основе биоимпедансных исследований в экспериментах *in vivo*, отличающийся наличием двух автономных агентов на нижнем иерархическом уровне, в первом из которых дескрипторы сформированы на основе локальной аппроксимации импедансной диаграммы модифицированной моделью Войта, а во втором – на основе глобальной аппроксимации импедансной диаграммы;
- гибридная нейронная сеть с макрослоями, выполненными на основе вероятностной нейронной сети и моделей нечеткого логического вывода, отличающаяся тем, что число нейронных сетей в первом макрослое равно числу частотных диапазонов, которые выделены в глобальной модели импедансной диаграммы биоматериала, второй макрослой выполнен на основе нечеткой логики принятия решений, третий макрослой осуществляет операции нечеткое «ИЛИ» и нечеткое «И» над выходами второго макрослоя, четвертый макрослой определяет уверенности в дискриминируемых классах, а пятый – определяет класс-победитель, позволяющая дифференцировать риски заболеваний поджелудочной железы;
- метод синтеза модулей второго макрослоя гибридной нейронной сети, заключающийся в формировании байесовской логико-вероятностной модели нечетких решающих правил, отличающийся представлением их в виде ортогональной дизъюнктивной нормальной формы и последующим формальным переходом от функции алгебры логики, к соответствующей функции вероятностной логики.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Обоснованность авторского подхода к разработке и исследованию различных моделей и алгоритмов принятия решений в компьютерных системах диагностики заболеваний ПЖ базируется на всестороннем анализе существующих достижений в данной области, логичности проводимых теоретических рассуждений. Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается корректным использованием математического аппарата, полным соответствием теоретических положений и результатов экспериментальных исследований.

Основные результаты диссертационного исследования изложены в шести статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и в одной статье в изданиях, индексируемых в международной наукометрической базе Scopus. Сделаны доклады на 14 Международных и Всероссийских научных конференциях. Получен один патент на изобретение.

Значимость результатов исследования для науки и практики

Значимость полученных в диссертации результатов для науки заключается в следующих положениях.

В диссертации изложена идея создания гибридных интеллектуальных систем диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний ПЖ с использованием методов СБИ. Решающие модули, предназначенные для диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний ПЖ, построены на основе иерархической структуры, что позволило интегрировать в гибридных интеллектуальных системах различные методы СБИ.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебном процессе Юго-Западного государственного университета при подготовке магистров по направлению подготовки 12.04.04 – Биотехнические системы и технологии, и прошли испытание в отделении медицинской реабилитации клинического научно-медицинского центра «Авиценна», г. Курск.

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию в образовательных, научно-исследовательских и лечебно-профилактических учреждениях, занимающихся вопросами систем поддержки принятия решений для диагностики и прогнозирования заболеваний ПЖ.

Замечания

1. В первом разделе диссертации основное содержание занимает анализ факторов риска панкреатита и методов его диагностики, в то же время обзору биоимпедансных исследований, в частности, спектроскопии, посвящены лишь три страницы.

2. На рисунке 2.3 диссертации в комментариях к блоку 3 вместо строчной эль должно быть прописное ЭЛЬ.

3. По нашему мнению формулы (2.6) и (2.7) не совсем корректны, так не учитывают вес ошибок в зависимости от частоты зондирующего тока.

4. Требуется пояснение логика решения обратной задачи способом декомпозиции ее на ряд локальных задач путем формирования смежных триад на графике Коула.

5. В правилах нечеткой продукции, представленных на страницах 91-96 диссертации, используются различные символы инверсии. Какова целесообразность использования двух символов для обозначения одной и той же операции?

Перечисленные замечания в целом не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Стадниченко Никиты Сергеевича «Биоимпедансная спектроскопия в классификаторах риска панкреатита, построенных на основе гибридных технологий искусственного интеллекта» является научно-

квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи разработки и внедрения в практическое здравоохранение высокоэффективных средств интеллектуальной поддержки принятия решений при диагностики и дифференциальной диагностики заболеваний поджелудочной железы. Предложенные методы, модели и алгоритмы актуальны для построения систем управления, прогнозирования, принятия решений в условиях неопределенности и использования нечеткой исходной информации.

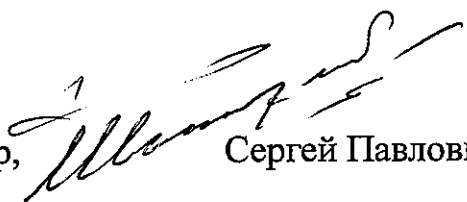
Сформулированные выводы достаточно обоснованы, основные полученные результаты в полной мере отражены в имеющихся авторских публикациях, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК РФ и изданиях Scopus. Работа отвечает требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. и требованиям паспорта специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки), а автор диссертации, Стадниченко Никита Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки).

Отзыв подготовлен д.т.н. (01.04.06), профессором, профессором кафедры электрогидроакустической и медицинской техники Института нанотехнологий, электроники и приборостроения ЮФУ Николаем Николаевичем Черновым (347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, тел. +7(8634)371795, e-mail: nnchernov@sfedu.ru).

Адрес 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, ЮФУ.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры электрогидроакустической и медицинской техники ИНЭП ЮФУ 01 ноября 2023 года, протокол № 10.

Заведующий кафедрой
электрогидроакустической и
медицинской техники ИНЭП ЮФУ,
доктор технических наук, профессор,


Сергей Павлович Тарасов

Адрес: Россия, 347992, г Таганрог, Ростовской обл.

Ул. Шевченко 2, ЮФУ ИНЭП

Телефон: +7(8634)371-795, e-mail: tsp-47@mail.ru

Подпись С.П. Тарасов
Директор ИНЭП




А.А. Федотов