



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Пензенский государственный технологический университет»
(ФГБОУ ВО «ПензГТУ»)

ул. Байдукова, д. 1А, г. Пенза, Россия, 440039
Тел/факс: (841-2) 49-54-41/ (841-2) 49-60-86, e-mail: rector@penzgtu.ru, <http://www.pnzgu.ru>

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Алавси Хайдера Али Хуссейна «Мультимодальный классификатор риска кардиореспираторных заболеваний с учетом сопутствующих заболеваний и эффекта синергии», 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 диссертации

Актуальность темы диссертации обусловлена следующим. Высокие показатели заболеваемости и смертности от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний обусловлены несовершенством первичной и вторичной профилактики, несвоевременной диагностикой и лечением, а также пересечением предикторов респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. На результаты диагностики этих заболеваний по известным протоколам оказывают большое влияние ошибки, связанные с многообразием этих заболеваний. При этом коморбидное состояние приводит к высоким показателям латентности, особенно у пожилых людей.

В условиях резкого распространения вирусных респираторных заболеваний и, как следствие, их осложнений, приводящих к заболеваниям системы дыхания, стала критичной неэффективность существующих методов оценки риска этих осложнений, главным образом на сердечно-сосудистую систему.

Соискателем выделена проблемная ситуация, которая заключается в противоречии между требуемым оперативным уровнем диагностики кардиореспираторных заболеваний и возможностями современных компьютерных моделей прогнозирования. Диссертация соискателя посвящена решению актуальной задачи – разработке мультимодальных классификаторов риска коморбидных заболеваний, построенных на дескрипторах, полученных на основе анализа синхронизма кардиореспираторной системы.

2. Краткое содержание работы

Диссертационная работа имеет традиционную структуру: введение, четыре раздела, заключение и список литературы. Список литературы состоит из 103 отечественных и 49 зарубежных работ. Работа изложена на 141 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков и 15 таблиц.

Во введении охарактеризованы актуальность темы диссертации, степень разработанности темы исследования, цель и задачи работы, решение которых необходимо для достижения сформулированной цели. Сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методы исследований, основные положения работы, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация полученных результатов исследования.

В разделе 1 приведен многоаспектный критический анализ проблемы коморбидности кардиореспираторной системы, представлены физиологические и структурно-функциональные модели взаимодействия этих систем, рассмотрена роль интеллектуальных систем поддержки принятия врачебных решений (СППВР) в дифференциальной диагностике кардиореспираторных заболеваний. Рассмотрены задачи диагностики этих заболеваний, связанные с коморбидностью и проведен анализ методов диагностики коморбидных заболеваний при патологии кардиореспираторной системы. Из анализа научно-технической литературы по этому направлению установлено, что задача коморбидности заболеваний дыхательной системы может быть решена посредством анализа показателей синхронизма в дыхательной и сердечно-сосудистой системах. С этой целью могут быть использованы частотно-временные преобразования, в частности, вейвлет-преобразование. Установлено, что на его основе могут быть построены системы дескрипторов для классификаторов риска кардиореспираторных

заболеваний.

На основе проведенных исследований сформулирована **цель диссертационной работы** - повышение качества диагностики кардиореспираторных заболеваний посредством мультимодальных классификаторов медицинского риска, учитывающих коморбидность заболевания и синхронизм сердечно-сосудистой системы и системы дыхания.

Сформулированы основные задачи, решение которых необходимо для достижения этой цели – анализ методов интеллектуальной поддержки заболеваний системы дыхания с учетом оценки показателей синхронизма кардиореспираторной системы; разработка метода формирования дескрипторов для классификатора заболеваний системы дыхания с учетом кардиореспираторного синхронизма; разработка метода классификации функционального состояния системы дыхания (ФС СД), в котором показатели синхронизма кардиореспираторной системы используются в качестве дескрипторов; разработка мультимодального классификатора с иерархической структурой для классификации риска коморбидных заболеваний, предназначенного для системы поддержки принятия клинических решений при диагностике заболеваний кардиореспираторной системы; разработка структурной схемы системы поддержки принятия клинических решений при диагностике заболеваний системы дыхания с учетом коморбидных заболеваний; экспериментальные и статистические исследования показателей качества классификатора риска заболеваний системы дыхания на примере диагностики степени тяжести пневмонии с фоновой артериальной гипертензией (АГ).

Раздел 2 посвящен разработке дескрипторов и классификаторов ФС СД на основе анализа синхронных записей кардиосигналов и электромиосигналов дыхательных мышц в многомерном пространстве. Дескрипторы для классификаторов определялись на основе сравнения мощностей спектров ритма дыхания, полученных из поверхностной электромиограммы дыхательных мышц и кардиосигнала. Дескрипторы для обучаемых классификаторов функционального состояния системы дыхания определялись путем оценки распределения векторов, полученных в пространстве вейвлет-коэффициентов поверхностной электромиограммы дыхательных мышц и кардиосигнала, дислоцируемых на вейвлет-плоскостях в области ритма дыхания.

На основе исследований параллельной и синхронной записи кардиосигналов и электромиосигнала дыхательных мышц разработан метод классификации функционального состояния системы дыхания. Метод заключается в анализе оконных преобразований этих сигналов путем определения их дискретных оконных преобразований Фурье в $N-m1$ окнах этих сигналов, где N -число дискретных отсчетов на апертуре наблюдения сигналов, $m1$ -число отсчетов в окне. Амплитудные спектры X_i и Y_i дискриминируется по частоте путем удаления из спектров отсчетов частот, которые лежат ниже или выше полосы частот, занимаемой ритмом дыхания. Над селектированными частотными отсчетами оконного преобразования Фурье осуществляют амплитудную дискриминацию, заключающуюся в том, что спектральные коэффициенты, величина которых ниже заданного порога, обнуляются, а затем для каждой пары отсчетов оконного преобразования Фурье с номером n определяется коэффициент синхронизма, после чего определяют функциональное состояние системы дыхания посредством классификатора, построенного на основе логистической модели, в котором коэффициенты синхронизма используются в качестве дескрипторов.

Разработана структура классификатора риска кардиореспираторных заболеваний с учетом коморбидности. В состав классификатора был введен дополнительный фактор риска, определяемый двухконтурной нелинейной моделью реальных факторов риска, с последующим синтезом слабых классификаторов на ее основе. На основе этой структуры построен мультимодальный классификатор риска внебольничной пневмонии, который учитывает взаимное влияние коморбидных заболеваний на суммарный медицинский риск.

В разделе 3 осуществлена разработка структурно-функциональных решений для классификаторов риска кардиореспираторных заболеваний с учетом эффекта синергии, вызванного наличием коморбидности.

Для классификации риска артериальной гипертензии у пациентов с заболеваниями СД предложен мультимодальный классификатор с иерархической структурой, на нижнем иерархическом уровне которого включены четыре «слабых» классификатора, построенных на основе нечеткого логического вывода. На верхнем иерархическом уровне мультимодального классификатора включена полносвязная нейронная сеть с дополнительным входом, полученным посредством модели виртуального потока. Апробация мультимодального классификатора риска артериальной

гипертензии позволила соискателю рекомендовать его для интеграции в мультимодальный классификатор степени тяжести заболеваний системы дыхания у коморбидных больных с артериальной гипертензией.

Для классификации функционального состояния системы дыхания разработан мультимодальный классификатор, который учитывает взаимное влияние коморбидных заболеваний на суммарный медицинский риск. Для построения слабых классификаторов, которые вошли в ее состав, предложено использовать полносвязную нейронную сеть Хопфилда с многосвязной структурой и двумя задержками на один такт, управляемыми парафазным генератором (с противофазными выходами), обеспечивающими запись в регистры задержек рисков с выходов нейронной сети Хопфилда со сдвигами на один такт. Для обучения слабых классификаторов с нейронной сетью Хопфилда разработан алгоритм, позволяющий обеспечить заданные показатели точности классификации и заданные показатели устойчивости нейронной сети.

В разделе 4 описаны аппаратно-программная реализация предложенных методов и алгоритмов для построения мультимодальных классификаторов и представлены результаты экспериментов по определению их диагностической эффективности.

Разработана система поддержки принятия врачебных решений (СППВР) при диагностике заболеваний системы дыхания с учетом эффекта коморбидности, и проведены экспериментальные и статистические исследования показателей качества моделей мультимодального классификатора при двухальтернативной классификации риска внебольничной пневмонии и ОРВИ с использованием дескрипторов, полученных на основе метода оценки синхронизма кардиореспираторной системы. Основные статистические показатели качества классификатора не были ниже 80% с доверительными интервалами, не превышающими 3% от среднего значения, что позволило соискателю рекомендовать его к применению в СППВР для диагностики заболеваний системы дыхания.

Экспериментальные исследования модели мультимодального классификатора, использующего классификатор, полученный на основе метода оценки синхронизма кардиореспираторной системы, и классификатор риска коморбидного заболевания, показали, что учет риска коморбидного заболевания на примере артериальной гипертензии (АГ) при определении степени тяжести внебольничной пневмонии (ВВП) позволил

повысить показатели качества классификации степени тяжести ВВП более чем на 10% по всем показателям качества классификации степени тяжести пневмонии по сравнению с классификатором, не использующем данные о риске коморбидного заболевания.

В ходе экспериментальных исследований мультимодального классификатора (ММК) риска внебольничной пневмонии с тремя сегментами факторов риска в экспериментальной выборке группы больных с коморбидностью ВВП и АГ было установлено, что при классификации степени тяжести внебольничной пневмонии все используемые показатели качества классификации превышают величину 0,8 по всем группам наблюдения. Сравнительный анализ показателей качества оценки степени тяжести пневмонии с известной шкалой PSI – Pneumonia Severity Index – индекса тяжести внебольничной пневмонии для взрослых пациентов показал, что показатели качества оценки риска предложенной модели ММК превосходят аналогичные показатели шкалы PSI на тех же контрольных выборках, в среднем на 14%.

3. Основные научные результаты, степень их новизны и значимость

1. Метод оценки синхронизма кардиореспираторной системы, основанный на сравнении мощностей спектров ритма дыхания, полученных из поверхностной электромиограммы дыхательных мышц и кардиосигнала, путем оценки распределения векторов, полученных в пространстве вейвлет-коэффициентов поверхностной электромиограммы дыхательных мышц и кардиосигнала, дислоцируемых на вейвлет-плоскостях в области ритма дыхания.

2. Метод классификации функционального состояния системы дыхания, заключающийся в параллельной записи электромиосигнала дыхательных мышц $x(t)$ и кардиосигнала $y(t)$ на апертуре 60...120 секунд и определения их дискретных оконных преобразований Фурье, при этом дискретные оконные преобразования Фурье определяются в $N-m1$ окнах этих сигналов, где N -число дискретных отсчетов на апертуре наблюдения сигналов, $m1$ -число отсчетов в окне, амплитудные спектры X_i и Y_i дискриминируется по частоте путем удаления из спектров отсчетов частот, которые лежат ниже или выше полосы частот, занимаемой ритмом дыхания. Над селектированными частотными отсчетами оконного преобразования

Фурье осуществляется амплитудная дискриминация, заключающаяся в том, что спектральные коэффициенты, величина которых ниже заданного порога, обнуляются, а затем для каждой пары отсчетов оконного преобразования Фурье с номером n определяется коэффициент синхронизма, после чего определяют функциональное состояние системы дыхания посредством классификатора, построенного на основе логистической модели, в котором коэффициенты синхронизма используются в качестве дескрипторов.

3. Метод синтеза мультимодального классификатора риска коморбидных заболеваний с учетом синергетического эффекта коморбидности, основанном на использовании полносвязной нейронной сети Хопфилда с многосвязной структурой и двумя задержками на один такт, управляемыми парафазным генератором, обеспечивающими запись в регистры задержек рисков коморбидных заболеваний с выходов нейронной сети Хопфилда.

4. Обоснование и достоверность основных результатов диссертации

Проведенные исследования показали воспроизводимость полученных результатов в различных экспериментальных условиях. Используемые методы согласуются с основными положениями теории искусственных нейронных сетей. Полученные выводы согласуются с результатами анализа системных ритмов других исследователей.

Работа выполнена в рамках теории искусственных нейронных сетей. Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается корректным использованием методов теории биотехнических систем медицинского назначения, вейвлет-анализа, оконного преобразования Фурье, планирования и анализа эксперимента, математического моделирования. Результаты исследования показали их воспроизводимость в различных условиях, а также отсутствие противоречий с аналогичными результатами, полученными другими исследователями. Выводы, сделанные соискателем на основе экспериментальных исследований по использованию мультимодальных моделей для выявления кардиореспираторных коморбидных заболеваний, согласуются с известными результатами по теме диссертации.

Полученные диссертантом результаты прошли успешную апробацию на 11 международных и всероссийских конференциях, а также на семинарах кафедры биомедицинской инженерии ЮЗГУ.

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке новых моделей формирования дескрипторов и методов синтеза мультимодальных классификаторов социально значимых заболеваний. Разработанные методы, модели, алгоритмы и соответствующее программное обеспечение составили основу построения системы поддержки принятия врачебных решений по классификации риска кардиореспираторных заболеваний с учетом синергетического эффекта, вызванного наличием коморбидности. Опытная эксплуатация разработанной системы поддержки принятия решений позволяет рекомендовать её для проведения профилактических и реабилитационных мероприятий при ведении больных с кардиореспираторными коморбидными заболеваниями.

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».

В результате выполнения диссертационной работы разработано программное обеспечение для интерактивного создания модели нейронной сети - NetModel (Свидетельство о государственной регистрации №2023685902 от 30.11.2023).

Результаты диссертационной работы внедрены в учебном процессе Юго-Западного государственного университета при подготовке магистров по направлению подготовки 12.04.04 – Биотехнические системы и технологии.

6. Замечания по работе

1. В первом разделе диссертации много место уделено раскрытию понятия кардиореспираторного синхронизма. Однако анализ проводится по зарубежным публикациям, поэтому остается некоторая неясность в этом вопросе. Например, автор использует термин кардиореспираторный

синхронизм. Из отечественных источников известны термины кардиореспираторная синхронизация и кардиореспираторный резонанс. В концепции соискателя это одни и те же понятия?

2. В разделе 2 соискатель предлагает два способа определения дескрипторов для построения иерархического классификатора (рисунок 2.5 и рисунок 2.11 диссертации или рисунки 2 и 3 автореферата). Какова была необходимость в разработке двух способов?

3. Возникают вопросы по методу оценки синхронизма (параграф 2.1 диссертации):

– так, по тексту диссертации и автореферата неоднократно отмечается, что «синхронизм кардиореспираторной системы основан на сравнении мощностей спектров ритма дыхания, полученных из поверхностной электромиограммы дыхательных мышц и кардиосигнала» и т.п. утверждения (например, стр. 5,6 автореферата и далее), однако, кардиосигнал *не исследуется*, вместо него исследуется сигнал фотоплетизмограммы, о чем сообщается на стр. 8 автореферата и стр. 51 диссертации. По мнению оппонента, корректнее было бы вместо «кардиосигнала» писать «фотоплетизмосигнал»;

– на стр. 8 автореферата и стр. 51 диссертации отмечается: «учитывая, что сигнал пЭМГ сложен для обработки ввиду его зашумленности и хаотичности, то вместо него будем использовать регуляризованный сигнал RMS» (см. выражение 2.3 на стр. 51), при этом нигде по тексту не приводится оценка того, насколько адекватны результаты такой замены;

– в материалах диссертации и автореферата *отсутствует* информация о типе вейвлета, участвующего в синхронной обработке и анализе двух сигналов: пЭМГ ($x(t)$) и фотоплетизмограммы ($y(t)$) в модуле вычисления вейвлет-преобразования (ВП);

– на стр. 54 диссертации и стр. 10 автореферата отмечено, что «сигнал пропускается через фильтр нижних частот (ФНЧ) с частотой среза 30 Гц». Выбор частоты среза при этом не обосновывается.

4. На стр. 11 автореферата и стр. 65 диссертации отмечено, что «селектированные по частоте дискретные спектральные отсчеты ритма дыхания X_i и Y_i поступают на пороговые устройства с порогами θ_1 и θ_2 », при этом сами пороговые значения не приводятся.

5. В таблице 3.1 (стр. 83-85 диссертации) представлен вариант набора фактов риска (ФР). На стр. 86 диссертации отмечено, что «пространство ФР

$x_1 \dots x_{11}$ и $x_{12} \dots x_{18}$ было разделено на сегменты, в каждом из которых определялся коэффициент уверенности риска по данному сегменту», однако далее из текста не ясно, как именно в классификаторы учитываются факторы и коэффициенты уверенности. Часть факторов количественная и непонятно, влияет ли степень отклонения от нормы на уровень риска, либо учитывается только сам факт отклонения от нормы?

6. На странице 90 диссертации читаем: «Для их обучения необходимо из таблицы 3.4 сформировать две таблицы экспериментальных данных (ТЭД). Первая таблица предназначена для обучения классификатора риска R_1 , а вторая – для классификатора риска R_2 . В первую таблицу входят пациенты с кодами риска 00 и 10, а во вторую – 00 и 01. При этом из первой таблицы исключаются столбцы X_2 и R_2 , а из второй – столбцы X_1 и R_1 ». Однако, судя по тексту диссертации, таблицы, которые соискатель называет «первая» и «вторая» не приведены в материалах диссертации. Также об этих таблицах не упоминается в алгоритме рисунок 3.11 в диссертации. Все это затрудняет понимание процесса синтеза синергетическо классификатора.

7. На рисунке 4.1 – Структурная схема интеллектуальной системы для дифференциальной диагностики коморбидных заболеваний целесообразно было бы указать связи выходов модуля классификаторов со структурными элементами схемы, в частности, с блоком БД и блоком ГБД.

8. При описании экспериментальных исследований в разделе 4.4 целесообразно было бы привести структурную схемы мультимодального классификатора, который использовался в этом эксперименте.

9. Формулы (2.5) и (2.10) диссертации и соответствующие им формулы (4) и (8) в автореферате практически идентичны, поэтому соискатель мог бы удовлетвориться ссылкой на ранее приведенную формулу, а не ее дублированием.

10. На странице 117 диссертации отмечается, что «при классификации степени тяжести внебольничной пневмонии все используемые показатели качества классификации превышают величину 0,8 по всем группам наблюдения». Анализ показателей качества оценки степени тяжести пневмонии проводится по сравнению с известной шкалой PSI. Сравнение с другими системами поддержки решений, решающими аналогичные задачи, не выполнялось.

11. Замечания по оформлению:

– в тексте диссертации и автореферата есть орфографические ошибки, чаще всего используются неправильные падежи в существительных

и неправильные спряжения глаголов и отглагольных причастий и прилагательных;

– на странице 58 диссертации приведён текст до отличительной части описания патента. По мнению оппонента, этому материалу место в первой главе;

– в диссертации на рисунках 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 текст поясняющих надписей читается с трудом.

Данные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку работы.

7. Общая характеристика работы

В целом диссертационная работа Алавси Хайдера Али Хуссейна хорошо структурирована и производит благоприятное впечатление. Соискателем решена научная задача построения биотехнической системы выявления коморбидного состояния кардиореспираторных заболеваний с использованием мультимодального классификатора и многослойных нейронных сетей с дескрипторами, вычисляемыми по результатам анализа кардиореспираторного синхронизма.

Работа имеет четкую структуру в представлении материала. Результаты диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на 11 международных и всероссийских научно-технических конференциях и опубликованы в 16 печатных работах, из них 5 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, 1 статья проиндексирована в международной наукометрической базе Scopus, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Алавси Хайдер Али Хуссейн показал себя квалифицированным специалистом, способным разрабатывать программно-алгоритмические комплексы для эффективной диагностики пациентов с коморбидными кардиореспираторными заболеваниями.

Выводы

Диссертация Алавси Хайдера Али Хуссейна «Мультимодальный классификатор риска кардиореспираторных заболеваний с учетом сопутствующих заболеваний и эффекта синергии», представленная на

соискание ученой степени кандидата технических наук, представляет собой актуальный законченный научный труд, который характеризуется научной новизной, практической значимостью, достоверностью и соответствует всем требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12 – «Приборы, системы и изделия медицинского назначения (технические науки)» и п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 г., а Алавси Хайдер Али Хуссейн заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,
Профессор кафедры «Техническое
управление качеством» Пензенского
государственного технологического
университета
доктор технических наук, профессор

Бодин Олег Николаевич

05.09.2024.

Бодин Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Техническое управление качеством» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный технологический университет»
Адрес: 440011, г. Пенза, ул. Карпинского, д. 25, кв. 3
Телефон: +7(963)098-04-53
E-mail: bodin_o@inbox.ru

Шифр и наименование научной специальности в соответствии с номенклатурой, по которой была защищена диссертация лица, представившего отзыв:

05.11.17 - Приборы, системы и изделия медицинского назначения

05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)

Подпись доктора технических наук, профессора Бодина О.Н. заверяю:

Ученый секретарь ученого совета ФГБОУ ВО
«Пензенский государственный технологический университет»
к.п.н., доцент

Петрунина О.А.

Адрес организации ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»:
440039, Российская Федерация, Приволжский федеральный округ, г. Пенза, проезд Байдукова/ул.
Гагарина, д. 1а/11, корпус № 1, ауд. 1-403, тел.: +7(8412) 20-86-03

