

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Тельшева Дмитрия Викторовича на диссертационную работу Жданова Алексея Евгеньевича на тему «Разработка и исследование алгоритмов анализа сигналов электроретинограмм для поддержки принятия решения врачом», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

1. Актуальность темы исследования

Согласно Всемирной организации здравоохранения, более 1,3 миллиарда людей страдают от различных нарушений рефракции, а статистика последних десятилетий свидетельствует о растущем риске развития заболеваний с возрастом. В данном контексте электроретинография выделяется как один из наиболее информативных методов диагностики заболеваний, связанных с изменениями сосудистых структур сетчатки. Этот метод, основанный на электрофизиологическом тестировании, предоставляет ценную информацию о состоянии зрительного аппарата и является основой для диагностики и мониторинга глазных заболеваний. При этом существует необходимость в дальнейшем совершенствовании методов анализа сигналов, получаемых этим способом. Обработка и интерпретация электроретинограммы требует разработки более точных и чувствительных алгоритмов, способных автоматически выявлять и анализировать изменения в сигнале, связанные с нарушениями сосудистых структур сетчатки. С учетом вышеизложенного, разработка и исследование новых алгоритмов анализа электроретинограммы представляет собой актуальную и перспективную область исследований в офтальмологии, способную принести значительный вклад в превентивную медицину и улучшение здоровья глазных пациентов.

Таким образом, исследование, проведенное А.Е. Ждановым и посвященное разработке алгоритмов анализа сигналов электроретинограмм для поддержки принятия решений врачом, решает актуальную тему, обладает новизной и имеет важное теоретическое, методологическое и практическое значение.

2. Научная новизна полученных результатов

В диссертационной работе достигнуты следующие научные результаты:

1. Впервые получен набор данных сигналов электроретинограмм, который является наиболее обширным с точки зрения количества представленной информации и определены нормы сигналов электроретинограмм, позволяющие дифференцировать педиатрических и взрослых.

2. Разработан новый алгоритм извлечения параметров из вейвлетскалограмм сигналов электроретинограмм, который в дополнение к известным 4 параметрам позволяет получить 52 дополнительных параметра, позволяющих сформировать комплексы информативных параметров.

3. Разработаны и исследованы новые алгоритмы поддержки принятия решения врачом на основе ранее сформированных комплексов информативных параметров, которые позволяют классифицировать сигналы электроретинограмм взрослых (педиатрических) пациентов на 19% (20%) эффективнее чем алгоритм, принятый в амбулаторной практике.

Анализ содержания диссертационной работы и публикаций автора подтверждает научную новизну представленных положений.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, сформулированных в диссертации

Диссертационная работа представляет собой значительный научный вклад в область офтальмологии, обоснованный и достоверный благодаря применению современных методов и систематическому анализу научной литературы. А.Е. Жданов разработал уникальный набор данных сигналов электроретинограмм, который сопровождается формулированием норм для оценки, что представляет собой значимый шаг в современной офтальмологической практике. Опубликованные работы, связанные с этой темой, насчитывают 15 публикаций, из которых 9 научных статей вышли в рецензируемых научных изданиях, включая 7 статей, опубликованных в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и WoS. В рамках диссертационной работы был разработан новый алгоритм извлечения параметров из сигналов электроретинограмм, дополняющий четыре традиционных метода, что отмечается как значимое достижение в области анализа глазных заболеваний. Кроме того, соискателем было проведено исследование алгоритмов принятия решений для эффективной классификации сигналов у взрослых и детских пациентов. Результаты работы были представлены на научных конференциях, таких как 8th International Conference on e-Health and Bioengineering (EHB 2020), IEEE Ural Symposium on Biomedical Engineering (USBREIT), и других. Это свидетельствует о широком признании и интересе к исследованию в международном научном сообществе. Подтверждение корректности разработанных алгоритмов осуществляется через применение современных методов тестирования и получение свидетельств о государственной регистрации программы/базы данных для ЭВМ. Эти мероприятия обеспечивают надежность и достоверность результатов, подтверждая их потенциал для практического применения в офтальмологической клинической практике.

4. Практическая значимость результатов диссертации

Практическая значимость полученных результатов подтверждается их успешным внедрением в деятельность Екатеринбургского центра МНТК «Микрохирургия глаза» и Акционерного общества «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э. С. Яламова. Разработанный алгоритм анализа сигналов электроретинограмм, созданный А.Е. Ждановым, включает процедуру извлечения информативных параметров из сигналов электроретинограмм. Эта процедура дополняется формированием 52 дополнительных параметров путем обработки вейвлет-скалограммы.

5. Оценка содержания диссертации и её оформления

Диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение и четыре приложения, общим объемом 193 страницы, содержащей 42 рисунка и 20 таблиц. В список литературы включено 154 источника.

В **первой** главе диссертации был проведен обзор современного состояния исследований в области анализа сигналов электроретинограмм. Выявлено превосходство частотных и частотно-временных методов перед классическим анализом во временной области. Отмечено, что несмотря на короткую длительность сигналов, методы параметрической спектральной оценки не получили широкого распространения. Учитывая сложные характеристики сигналов, нелинейные методы подходят для тщательного анализа и дифференциации характеристик слоев сетчатки. В главе сформулированы цель и задачи исследования, включая анализ предметной области, сбор и статистический анализ данных, извлечение информативных параметров и разработку эффективных алгоритмов поддержки принятия решений врачом на основе проведенного анализа.

Во **второй** главе диссертации представлена система извлечения данных при диагностических исследованиях с использованием компьютеризированных систем. Было выполнено подробное описание работы аппарата EP-1000 в области диагностики зрения, включая функционал программного обеспечения и способность к записи данных о пациентах и результатов исследований в единую базу данных. В данной главе рассмотрены принципы визуализации сигналов электроретинограмм, структура базы данных и интерфейсы для редактирования и просмотра результатов. Кроме того, было выполнено описание извлеченного набора данных, включающего 6 видов сигналов электроретинограмм для педиатрических и взрослых пациентов. Представлены примеры различных типов сигналов с детальным анализом их характеристик, что способствует лучшему пониманию методологии и результатов электрофизиологических исследований. Наконец, была проведена статистическая обработка трех типов сигналов, включая

определение медианы, среднего квадратичного отклонения и построение диаграмм размаха. Выявлены значимые возрастные особенности и определены нормативные значения, что позволило разделить набор данных на педиатрические и взрослые сигналы с патологией и без нее.

В **третьей главе** диссертации представлена процедура формирования вейвлет-скалограмм с использованием библиотеки PyWT и функции `cwt` с выбором вейвлета Гаусса 8-го порядка. Амплитудно-временное и частотно-временное представления сигнала электроретинограммы были подвергнуты анализу. Для посегментного анализа использовались 52 дополнительных параметра, сформированных на основе вейвлет-скалограммы, что позволило более детально исследовать характеристики сигналов. В ходе исследования был проведен сравнительный анализ параметров, выявленных на вейвлет-скалограмме, с целью определения наиболее значимых для классификации сигналов электроретинограмм. Отмечается, что определение этих параметров имеет критическое значение для эффективной классификации сигналов и, следовательно, для точной диагностики глазных заболеваний. Для оценки моделей и алгоритмов классификации использовались метрики Accuracy, Precision, Recall и F-мера. В результате представлены результаты сравнительного анализа четырех методов машинного обучения для классификации заболеваний сетчатки на основе сигналов ЭРГ. Подчеркивается превосходство метода дерева решений, что указывает на его потенциал для использования в клинической практике. Предложенный метод извлечения параметров из сигналов ЭРГ дополняет существующие комплексы информативных параметров и является важным шагом к разработке алгоритма поддержки принятия решения врача.

В **четвертой главе** диссертации представлена разработка алгоритмов анализа сигналов электроретинограмм, основанная на систематической проверке информативных параметров на соответствие нормам. После этапа проверки производится анализ всего комплекса параметров на соответствие референтным значениям, что способствует точному диагностическому выводу. Для оценки эффективности созданных алгоритмов анализа ЭРГ использовались метод k-fold кросс-валидации и функция StratifiedKFold, обеспечивающие сбалансированные пропорции классов. Полученные метрики классификации использовались для сравнительного анализа различных алгоритмов, включая алгоритм классического анализа и алгоритмы расширенного анализа по сегментам №1-2, №1-4 и №1-4 с учетом дополнительных параметров. Полученные выводы позволяют утверждать, что алгоритм поддержки принятия решения на основе метода машинного обучения "дерево решений" обладает большей эффективностью по сравнению с алгоритмом, применяемым в клинической практике. В частности, предложенный алгоритм позволяет классифицировать

взрослые и педиатрические сигналы сигналов с более высокой точностью по сравнению с традиционными.

6. Замечания и вопросы по диссертации

Несмотря на очевидные достоинства работы, считаю своим долгом высказать некоторые замечания.

1. Во 2-й главе на странице 68 отмечается, что для извлечения данных использовалось программное обеспечение, разработанное сотрудниками НИУ «Московский энергетический институт». В представленных источниках 116 и 117 отмечается, что вышеназванное программное обеспечение предоставляет методику построения амплитудно-частотных характеристик сетчатки и процедуру полиномиальной аппроксимации частотной характеристики сетчатки, позволяющую использовать коэффициенты аппроксимирующих полиномов в диагностике электрофизиологических сигналов. Таким образом, хотелось бы прояснить роль и значение программного обеспечения, разработанного сотрудниками НИУ «Московский энергетический институт», в контексте проведения диссертационного исследования.

2. В главе 3 на странице 87 показано, что вейвлет-скалограммы, полученные с использованием функции непрерывного вейвлет-преобразования из библиотеки PyWT с применением вейвлета Гаусса восьмого порядка, успешно описывают как временные, так и частотные характеристики сегментов вейвлет-скалограммы, применяемых для анализа сигналов ЭРГ. В своих публикациях А.Е. Жданов приводит сравнительный анализ различных базисных функций вейвлет-преобразования, включая вейвлеты Рикера, Морле и Гаусса восьмого порядка, однако из результатов не следует вывод, указывающий на преимущества использования вейвлета Гаусса восьмого порядка.

3. В главе 4 диссертационного исследования упор сделан на использование метрик Accuracy, Precision, Recall и F-мера для оценки моделей и алгоритмов. Однако, не было рассмотрено использование метрик чувствительности и специфичности, которые имеют большую понятность для медицинского сообщества. Важно отметить, что метрики чувствительности и F1 схожи, но включение специфичности может дать более полное представление об эффективности алгоритма, особенно для врачей. Для более понятной интерпретации результатов в клинической практике представляется целесообразным рассмотреть ограничение анализа на три диапазона (красный, жёлтый, зелёный), что упростит восприятие и оценку результатов для клиницистов. Упрощение анализа станет особенно важным при использовании алгоритмов в реальной клинической среде, где точность и скорость принятия решений играют ключевую роль. Такие корректировки

позволят сделать результаты более доступными и применимыми в практике медицинского обслуживания.

Указанные замечания направлены на совершенствование работы и не снижают общего положительного впечатления от диссертации.

7. Общая характеристика работы

Исследования, проведенные А.Е. Ждановым, охватывают значительный объем информации, логически структурированы и включают как теоретические аспекты, так и экспериментальную проверку. Общая структура диссертационной работы соответствует требованиям научного анализа и выстроена логично. Иллюстративный материал представлен на высоком научном и оформительском уровне, что способствует наглядному представлению результатов исследования.

8. Заключение по работе

Исследовательская работа изложена грамотным научно-техническим языком, в полной мере отвечает требованиям по актуальности, научной новизне, практической значимости, личному вкладу автора, отражению результатов в публикациях, а также полностью соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ и специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика. Автор диссертации Жданов Алексей Евгеньевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

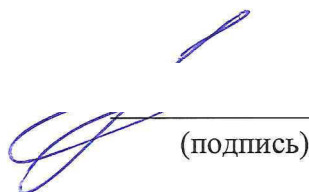
Официальный оппонент:

Доктор технических наук, доцент, директор института бионических технологий и инжиниринга, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

Тел.: +7 (495) 609-10-00

e-mail: telyshev_d_v@staff.sechenov.ru

Адрес: 119991, г. Москва, ул.Трубецкая, д.8, стр.2


(подпись)

24 мая 2024

(дата)

М.П.

Тельшев Дмитрий Викторович

