

ОТЗЫВ

официального оппонента БОДИНА Олега Николаевича на диссертационную работу Демина Никиты Сергеевича на тему «Интеллектуальная система анализа биомедицинских данных для поддержки врачебных решений при лазерокоагуляции сетчатки глаза», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.12. «Приборы, системы и изделия медицинского назначения».

1. Актуальность темы диссертации

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), диабетическая ретинопатия (ДР) – одна из ведущих причин слепоты среди людей трудоспособного возраста. Часто ДР протекает бессимптомно и обнаруживается случайно на приёме у офтальмолога. Для лечения ДР необходимо своевременное вмешательство, однако сложность обнаружения заболевания на ранних стадиях зачастую приводит к поздней обращаемости с уже сформированной клинической картиной. В этих условиях совершенно очевидно, что необходимо формирование персонализированного плана коагуляции, позволяющего минимизировать травмирующие действие лазера на сетчатку глаза. Поэтому актуальность темы диссертационного исследования Демина Никиты Сергеевича, которая посвящена разработке и исследованию методов и алгоритмов обработки и анализа биомедицинских данных и созданию на их основе интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений при операции лазерокоагуляции, на вызывает сомнений.

2. Краткое содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 104 наименования, и приложений. Работа изложена на 116 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков и 11 таблиц.

Во введении обоснована актуальность проводимых исследований, определены цель, решаемые задачи и основные положения, выносимые на защиту, представлены научная новизна и практическая значимость, обоснована достоверность полученных результатов.

В первой главе приведен анализ современных способов лечения диабетической ретинопатии, а также технологий применения методов искусственного интеллекта в анализе биомедицинских данных и в помощи



принятия решений врача. Рассмотрены основные виды лазерной коагуляции. Доказана актуальность приводимых в диссертации исследований.

Представлена разработанная система, исходными данными в которой являются два типа изображений: снимки глазного дна и снимки данных оптической когерентной томографии (ОКТ) сетчатки глаза. Результатом работы системы являются совместный интеллектуальный анализ снимков глазного дна и ОКТ сетчатки глаза, что позволяет сформировать персонализированный план коагуляции и выделить область лазерного воздействия на изображении глазного дна.

Во второй главе рассматривается задача сегментации изображений глазного дна. В отличие от имеющихся в открытом доступе размеченных наборов данных глазного дна, содержащих максимум 4 класса объектов (сосуды, экссудаты, зона диска зрительного нерва, зона макулы), что согласно исследованиям офтальмологов для решения задачи выделения зоны лазерного воздействия недостаточно, в работе предложено «произвести сегментацию на 8 классов: оптический диск (OD), макула (M), кровяные сосуды (BV), твердые экссудаты (HE), мягкие экссудаты (SE), новые коагуляты (NC), пигментированные коагуляты (PC), геморрагия (H)».

При этом автором уделяется большое внимание определению и отбору классификационных признаков на основе статистического подхода, структурного подхода, спектрального подхода, дискриминантного и нейросетевого анализа.

Автором отмечается, что применение текстурных признаков не подходит для сегментации снимков глазного дна в реальном времени, так как на графическом процессоре при 52 текстурных признаках сегментация снимка 1024x1024 занимает порядка полчаса.

Автором предложены нейронные сети для сегментации глазного дна на основе сети типа U-net, у которых большая обобщающая способность относительно текстурных признаков и скорость обработки одного снимка глазного дна занимает несколько секунд.

В третьей главе решается задача сегментации данных о внутреннем строении глаза, полученных с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ). Данные ОКТ представляют собой серию снимков, на которых показаны срезы сетчатки.

Автором предложены методы сегментации слоя сетчатки глаза на снимках оптической когерентной томографии на основе:

- метода разреза графов;

- модификации сети U-net – нейронной сети ReLayNet, причём сегментация с помощью нейронной сети ReLayNet показывает более высокую точность по метрике Дайса.

В четвертой главе предложен метод выделения области лазерного воздействия на основе совместной обработки данных ОКТ и снимка глазного дна. Основными этапами метода являются: сегментирование изображения глазного дна; выделение зоны отёка; выделение запретных для лазерного воздействия зон: зоны диска зрительного нерва, зоны фовеа (центральной ямки) в макуле, зоны кровеносных сосудов, зоны экссудаты (воспалительной жидкости) и зоны лазеркоагулятов (точек склейки в глазном яблоке).

Автором показано, что:

- использование метода SIFT позволяет добиться хорошего совмещения;
- нейронная сеть для выделения зоны отёка без использования данных ОКТ позволяет выделить область отёка.

В пятой главе предложен и исследован алгоритм дифференциальной диагностики отёка сетчатки. Основным методом измерения толщины сетчатки человека *in vivo* в настоящий момент является оптическая когерентная томография (ОКТ). Когерентный томограф предоставляет данные о толщине сетчатки с указанием вероятности патологического снижения-увеличения толщины сетчатки относительно некоего нормативного уровня.

Автором показано, что в ходе развитие возрастной макулярной дегенерации (ВМД) происходят изменения в пигментном слое сетчатки, что влечет образование друз (отложения внеклеточного материала, расположенные на границе между пигментным эпителием сетчатки (ПЭС) и мембраной), а при диабетическом макулярном отёке (ДМО) друзы отсутствуют. Поэтому для разделения происхождения отёка достаточно выявить друзы.

Для решения задачи разделения ВМД и ДМО автором разработан алгоритм, основанный на построении аппроксимации верхнего контура слоя пигментного эпителия сетчатки и проведении статистической оценки различия кривых у пациентов с возрастной макулярной дегенерацией и диабетическим макулярным отёком. Разработанный алгоритм показал точность выбора стратегии лечения 0,85 по метрике $f1$.

В заключении представлены основные научные и практические результаты исследований, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

В приложении представлены Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и результаты внедрения.

3. Основные научные результаты, степень их новизны и значимость

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций диссертации подтверждается новыми научными результатами, представленными в диссертации Демина Н.С.

1. Разработан способ выделения зоны лазерного воздействия на изображениях глазного дна на основе совместной обработки данных оптической когерентной томографии и изображений глазного дна с применением методов искусственного интеллекта.

2. Предложен и исследован способ интерпретации областей на изображениях, учитывающий патологические и анатомические особенности, в основе которого лежит семантическая сегментация на 8 классов.

3. Разработан алгоритм дифференциальной диагностики отёка сетчатки, позволяющий разделять диабетический отёк и отёк, вызванный возрастной макулярной дегенерацией, на основе анализа друз и месторасположения отёка.

4. Создана новая интеллектуальная система поддержки принятия врачебных решений при операции лазерокоагуляции на основе анализа совместных данных оптической когерентной томографии и изображений глазного дна, обеспечивающая формирование персонализированного плана коагуляции.

4. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов рекомендаций и заключений

Все новые решения автор подробно аргументирует, обосновывает свои предложения, исходя из недостатков в существующих системах поддержки принятия решений. Его исследования ориентированы на формирование персонализированного плана коагуляции, позволяющего минимизировать травмирующее действие лазера на сетчатку глаза.

Достоверность подтверждается корректным использованием методов исследования, результатами, полученными в ходе экспериментальных исследований на тестовых и натуральных биомедицинских данных, а также соответствием полученных результатов с данными других исследований.

Результаты экспериментальных исследований согласуются с ранее опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации.

Проведенный анализ диссертации позволяет сделать вывод о достаточно полной обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

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

5. Значимость для науки и практики результатов диссертационной работы

Предложенные теоретические решения расширяют существующие модели, применяемые для дифференциальной диагностики отёка сетчатки. Все теоретические решения доведены до алгоритмической и/или программной реализации, что позволяет их использовать для создания систем интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений.

Практическая значимость работы заключается в применении полученных результатов в интеллектуальной системе при формировании персонализированного плана операции лазерной коагуляции, что позволяет достичь лучшего терапевтического эффекта с минимальным травмирующим фактором лазерного воздействия на сетчатку глаза.

Результаты работы внедрены в учебный процесс и использованы при выполнении в соответствии с планами государственных и отраслевых научных программ, и фундаментальных исследований, проводимыми в рамках гранта РФФИ [№ 19-29-01135] 2019-2022 г в ИСОИ РАН, при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSSS-2024-0014) в рамках государственного задания Самарского университета.

6. Замечания, мнение официального оппонента по диссертации в целом

1. На мой взгляд, автор некорректно обосновывает ВСЕ пункты научной новизны свидетельствами о регистрации программ, так как согласно статьи 1261 Гражданского кодекса Российской Федерации в программе для ЭВМ наличие оригинальности идеи или уникальной новизны не является обязательным требованием, а новизна и уникальность программы при экспертизе никак не проверяются.

При этом имеющийся у автора патент РФ №2829254 «Способ определения подтипов друз на ОКТ-изображениях при возрастной макулярной дегенерации», который на мой взгляд, «закрывает» пункт 3 научной новизны, автором не приводится.

2. Автор не приводит обоснование семантической сегментации изображений глазного дна на 8 классов для повышения точности формирования области лазерного воздействия по сравнению с сегментацией снимков глазного дна на 4 класса. Почему необходимо именно 8 классов?

3. Автор не приводит параметры режима реального времени разработанной интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений при операции лазерокоагуляции. На стр. 20 отмечено «скорость обработки одного снимка менее 0,5 секунд», а на стр. 44 – «скорость обработки одного снимка занимает несколько секунд». Непонятно, какое время необходимо для обеспечения режима реального времени разработанной интеллектуальной системы?

4. Автор не приводит характеристики:

- лазерного воздействия – мощность, длительность, частоту, но при этом использует термины в стиле «military»: «стрелять» (стр. 27 диссертации и 7 автореферата); «обстрел» и «выстрел» стр. 57 диссертации). На мой взгляд, более уместным было использование количественных характеристик лазерного воздействия вместо вышеуказанных терминов;

- обученной нейронной сети U-net.

5. На стр. 58 диссертации формула 4.1 и рисунок 4.1 описывают «Пример построения карты толщины и карты отклонения». При этом отмечается, что «Зоны, получившие оценку отклонения больше 30%, считаются зонами интереса». В литературе [Мухамадеев Р.А. Толщина сетчатки в макулярной области в норме в молодом возрасте / Вестник Оренбургского государственного университета 2015 № 12 (187), с.146-150] приводятся количественные характеристики толщины сетчатки и отклонение от зоны нормы определяется в 6,2%. Непонятно, почему автором принято отклонение от нормы в 30% зоной интереса?

По мнению оппонента, недостаточно полагаться на предустановленные нормальные границы. Важно знать нормальные величины для адекватного анализа толщины сетчатки каждого конкретного пациента.

6. Автором приводятся описание методов SIFT (стр. 59-64), SURF (стр. 65-66), KAZE (стр. 66-67) для выявления и описания локальных признаков в изображениях, но отсутствует алгоритм работы предложенной интеллектуальной системы при реализации примеров изображений, приведённых на рисунках 4.5 и 4.6.

7. В тексте автореферата и диссертации имеются расхождения.

7.1. На стр. 12 автореферата написано: «В четвертой главе развивается метод выделения области лазерного воздействия. ... Метод состоит из трёх этапов.»

На стр. 57 диссертации написано: «Метод выделения оптимальной зоны лазерного воздействия состоит из 4 этапов».

7.2. Символом N обозначены разные сущности:

на стр. 28 N – размерность гистограммы;

на стр. 61 N – набор октав.

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

7. Общая характеристика работы

Диссертация Демина Н.С. представляет собой законченную, хорошо структурированную, научно-квалификационную работу, посвященную решению важной научно-технической задачи – разработке и исследованию методов и алгоритмов обработки и анализа биомедицинских данных и созданию на их основе интеллектуальной системы поддержки принятия врачебных решений при операции лазерокоагуляции.

Полученные в работе теоретические и практические результаты будут способствовать созданию научно обоснованных программно-технических решений, имеющих существенное значение для повышения эффективности систем поддержки принятия решений, решающих задачи повышения качества операций лазерокоагуляции.

Автореферат написан ясным и четким языком, дает полное представление об общих направлениях исследований автора и полученных им результатов.

Демин Никита Сергеевич показал себя высоко эрудированным специалистом, способным разрабатывать приборы, системы и изделия медицинского назначения.

Выводы

Диссертационная работа Демина Никиты Сергеевича «Интеллектуальная система анализа биомедицинских данных для поддержки врачебных решений при лазерокоагуляции сетчатки глаза» является законченной научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, свидетельствующие о личном вкладе автора в

науку, 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 пп. 9-11, 13, 14 Положения о присуждения ученых степеней от 24 сентября 2013 г., а Демин Никита Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Заведующий кафедрой «Биомедицинская инженерия» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», доктор технических наук, профессор

О.Н. Бодин
25.11.2025

Бодин Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет»

Адрес: 440039, г. Пенза, пр-д Байдукова, 1А

Телефон: 8-(8412)-49-61-55

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