

Применение больших данных в телеофтальмологии

Э.Р. Добров

Новосибирский государственный университет экономики и управления

Аннотация: Представлены возможности использования наборов цифровых больших данных в области телемедицины. Основные характеристики больших данных: большой объем, большая скорость обновлений, многообразие, достоверность, изменчивость, ценность. Показаны типы аналитических задач, которые можно решать с применением передовых методов анализа «больших данных». Изложено применение телемедицинских технологий в сложившихся условиях эпидемиологической обстановки. Описание сути цифровой трансформации системы здравоохранения. Функциональные возможности электронных медицинских карт пациентов. Проект единой государственной цифровой платформы здравоохранения. Обработка личных персональных данных пациентов медицинских учреждений. Наборы целей в области машинного обучения в академических исследованиях, индустрии и соревновательном анализе данных. Перспективные направления использования технологии искусственного интеллекта в сфере медицины. На примере телеофтальмологии описаны современные направления развития отрасли. Машинное обучение для обработки больших данных на примере практики врача-окулиста. Deep Learning – решения для анализа биомедицинских изображений. Глубокое обучение в задачах распознавания изображений глазного дна. Сверточные нейронные сети в диагностировании заболеваний органов зрения. Подготовка качественных наборов данных для обучения алгоритмов. Достижения в распознавании патологии на снимках сетчатки глаза. Назначение и место телеофтальмологии в работе окулиста. Принципы интерпретируемости моделей машинного глубокого обучения. Концепция предиктивной, превентивной, персонализированной и партисипативной медицины. Анализ мобильных данных на уровне приложений. Существующие мобильные приложения в телеофтальмологии. Препятствия на пути реализации компьютерного программного обеспечения в медицине глазных болезней. Перспективные направления исследований в офтальмологии для технических специалистов.

Ключевые слова: большие данные, телеофтальмология, искусственный интеллект, машинное обучение, глубокое обучение.

В научных публикациях активно обсуждается вопрос технологий больших данных в самых различных отраслях народного хозяйства. Растущие объемы информации называют «новой нефтью». Издание Gartner в 2001г. предложило следующее определение: «большими данными являются многообразные данные, которые всегда увеличиваются в объеме с постоянно растущей скоростью». Поэтому тремя основными характеристиками больших данных являются разнообразие, увеличивающаяся скорость

прибавления и огромный объем. Компания Meta Group предлагает объяснение основных характеристик больших данных:

- большой объем (англ. «volume») поступления новых данных: от 150 ГБ в сутки;

- высокая скорость (англ. «velocity») накопления и обработки массивов данных. Наборы данных будут регулярно пополняться, поэтому нужны технологии обработки в режиме реального времени.

- разнообразие (англ. «variety») видов данных. Данные могут быть структурированными, неструктурированными или частично структурированными.

Сегодня к этим трем добавлены еще три характеристики.

- достоверность (англ. «veracity»), надежность как самого набора данных, так и результатов его анализа;

- изменчивость (англ. «variability»). Чем нестабильнее поток данных, тем сложнее его анализировать.

- ценность (англ. «value») или важность. Как любая информация, большие данные могут быть простыми или сложными для понимания и анализа.

Например, большие данные в области здравоохранения открывают перспективы развития телемедицины для оказания дистанционной медицинской помощи. Типы задач медицинского анализа, которые можно решить с помощью интеллектуального анализа больших данных, могут различаться в зависимости от степени значимости:

1. описательный анализ (ответ на вопрос «Что произошло?»);
2. диагностический анализ («Почему это случилось?»);
3. прогнозная аналитика («Что будет в будущем?»);
4. предписывающий анализ («Что делать, чтобы этого избежать?»).

Телемедицина – это один из самых быстрорастущих сегментов медицинской индустрии в мире. Потенциал Big Data в сфере телеофтальмологии приводит к персонализации основных услуг: диагностики, мониторинга и консультирования пациентов с заболеваниями офтальмологического профиля. Прием врача в сложившейся эпидемиологической обстановке проводится в режиме реального времени с использованием компьютера или мобильного устройства. Мобильные приложения, видеоконференцсвязь, технологии виртуальной и дополненной реальности, носимые гаджеты, которые могут отправлять врачу данные о температуре, давлении, и пульсе.

Закон о телемедицине вступил в силу с 1 января 2018 года. ФЗ от 29 июля 2017 г. N 242-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья». Как следует из текста закона, в стране вводится возможность оказания медицинской помощи с применением телемедицинских технологий путем проведения консультаций и консилиумов, обеспечивающих дистанционное взаимодействие врачей между собой, врача и пациента или его законного представителя, а также дистанционный мониторинг состояния здоровья пациента. Важный момент: в документе зафиксировано, что телемедицинские услуги должны входить в программу ОМС, то есть быть бесплатными для пациентов (Федеральный закон Российской Федерации N 242-ФЗ от 29.07.2017 г. «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья»). Доступно по ссылке: consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221184/ Ссылка активна на 22.05.2021).



В литературе есть указания на цифровизацию медицинской отрасли. Цифровая трансформация здравоохранения представляет собой использование электронной медицинской карты, больших данных, искусственного интеллекта и телемедицины. Среди распространенных в области цифровой медицины проектов - внедрение технических, технологических и организационных решений для электронного документооборота и автоматизации бизнес-процессов в учреждениях здравоохранения, целью которой является создание условий для использования гражданами электронных услуг и сервисов для повышения эффективности функционирования отрасли на всех уровнях [1].

Большое число работ посвящено созданию, хранению, передаче и визуализации цифровых медицинских изображений и документов обследованных пациентов. Протоколы осмотров врачей в поликлинике, выписанные льготные рецепты, результаты анализов, выписанных эпикризов из стационаров. Данной цифровой информации стало достаточно для открытия и использования единых электронных историй болезни.

1 февраля 2021 года вступил в силу приказ Министерства здравоохранения России, согласно которому поликлиники и больницы получили возможность полностью отказаться от бумажных медицинских карт и перейти на электронный документооборот (Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 07.09.2020 г. N 947н «Об утверждении порядка организации системы документооборота в сфере охраны здоровья в части ведения медицинской документации в форме электронных документов» (Зарегистрировано в Минюсте России 12.01.2021 N 62054). Доступно по ссылке: consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373853/ Ссылка активна на 22.05.2021).



К 2024 году по всей России заработает система электронных рецептов и автоматизированное управление льготным лекарственным обеспечением. В личном кабинете пациента «Мое здоровье» на портале госуслуг будут доступны запись к врачу и на диспансеризацию, подача заявления на полис, медицинские документы независимо от региона, где находится пациент (Распоряжение Правительства Российской Федерации №983-р от 15.04.2021 г. Доступно по: government.ru/docs/41980/ Ссылка активна на 22.05.2021).

Благодаря электронным медицинским картам, выполняется отслеживание протекания заболевания на протяжении всей жизни человека, а также осуществление сбора данных о воздействии различных лекарственных препаратов при лечении определенных заболеваний, расширение испытываемой выборки для поиска и создания эффективных лекарственных препаратов фармацевтическими предприятиями.

Законодательство регламентирует вопрос информационной безопасности по риску утечки и обезличиванию личных персональных данных пациентов. В действующей редакции закона 152-ФЗ определено, что обезличивание персональных данных – это действия, в результате которых становится невозможным без использования дополнительной информации определить принадлежность персональных данных конкретному субъекту персональных данных (Федеральный закон Российской Федерации N 152-ФЗ от 27.07.2006 г. (последняя редакция) (ред. от 30.12.2020) «О персональных данных» Доступно по: consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ Ссылка активна на 22.05.2021).

В рамках нацпроекта «Здравоохранение» с 2019 года в России стартовала работа над федеральным проектом «Создание единого цифрового контура здравоохранения на основе единой государственной информационной системы здравоохранения (ЕГИСЗ)» («Паспорт национального проекта «Здравоохранение» (утв. президиумом Совета при

Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол N 16 от 24.12.2018 г.) Доступно по ссылке: consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319209/ Ссылка активна на 22.05.2021).

Единая цифровая платформа для здравоохранения позволяет накапливать обезличенный огромный объем информации о широком спектре заболеваний. В литературе, посвященной большим данным (Big data) в медицине, значительное место отводится обсуждению этапов работы с медицинской информацией: сбору, обработке, хранению, анализу, моделированию и визуализации [2].

В решении данного рода проблем используются методы и алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) - области информатики, которая занимается разработкой технологических и программных систем обработки большого объема данных и выявления закономерностей, присутствующих в данных, с применением математических моделей.

Таким образом, цели академических исследований в пределах искусственного интеллекта такие же, как и в других научных сферах: изобрести новые подходы и усовершенствовать современные для уже популярных задач, сформулировать и обозначить свежие проблемы.

Целью анализа данных в отраслях является разрешение определенной задачи: например, в здравоохранении диагностировать заболевания на основе снимка органов зрения.

При этом конкурсный анализ данных представлен по-другому. Фактически участвует пара заинтересованных сторон - те, кто спонсируют и координируют состязание, и те, кто в нем соревнуются, есть также два типа целей. Главная задача учредителей - найти лучшее решение конкретной проблемы, а участники желают посоперничать за денежное вознаграждение или почет триумфатора.

Машинное обучение результативно используется в медицине и отыскивает новые области применения. Сегодня в медицине используются практически все категории машинного обучения: обучение с учителем, без учителя, полуавтоматическое, с подкреплением.

По прогнозам аналитического агентства Gartner, области использования ИИ в медицине:

- на уровне проектирования: прогнозирование заболеваний, определение групп пациентов с повышенным риском заболевания, организация профилактических мероприятий.

- на производственном уровне: автоматизация и оптимизация процессов в больницах, автоматизация и повышение точности диагностики.

- в части продвижения: управление ценами, снижение рисков для пациентов.

- на уровне оказания услуг: адаптация терапии и состава препаратов для каждого отдельного пациента, использование виртуальных помощников для планирования маршрута пациента в поликлинике или больнице.

Интеллектуальные медицинские решения позволяют повысить точность диагностики, автоматизировать работу врачей, выбрать оптимальные варианты лечения и разрабатывать новые лекарства [3].

За последние несколько лет, по мнению ученых, рост эффективности демонстрирует применение глубокого обучения. Компьютерное зрение применяется для: распознавания объектов, видео - аналитики, описания содержания изображений и видео, распознавания жестов и рукописного ввода, интеллектуальной обработки изображений.

Технологии обработки естественного языка распознают и автоматически переводят тексты. Речевые технологии распознают и генерируют речь. Современная область внедрения и развития ИИ – обработка и анализ медицинских изображений (рентгенография, МРТ, УЗИ и др.) [4].

В литературе, посвященной решению задач распознавания изображений, значительное место отводится обсуждению множества вариантов успешного применения методов, основанных на искусственных нейронных сетях в разнообразных сферах человеческой жизнедеятельности. Методы компьютерного зрения находят, отслеживают, классифицируют, идентифицируют объекты; извлекают данные из изображений; анализируют полученную информацию.

На примере области здравоохранения анализ изображений клиентов используется в диагностике болезней. В пределах офтальмологии работа проводится со снимками сетчатки глаза. Существующие сегодня DL-решения для анализа биомедицинских изображений подразделяются на две основные группы:

1. DL-решения для изображений и связанных с ними условий (диагноз, стадия заболевания и т.д.), обычно называемые методами классификаций изображений.

2. Сети для изображений и связанных с ними масками контрольных данных (черно-белые изображения), в которых патологические состояния, связанные с заболеванием, определяются вручную, что обычно называют методом семантической сегментации [5].

В настоящее время показаны уникальные результаты по точности распознавания различных диагнозов, таких, как диабетическая ретинопатия, глаукома, катаракта и других глазных болезней с применением фундус-камеры (рис. 1). На диаграмме 1 показана разбивка докладов по этим заболеваниям по годам публикации [1, 6].

В научных работах отмечено, что следующим шагом в цифровом обследовании пациентов будет косоглазие и онкология в офтальмологии [7].

Многие авторы уделяют внимание производительной работе алгоритмов, требуются обработанные наборы очищенных данных

(обучающая, тестовая и проверочная выборки). В формировании датасетов (выборок), разметке снимков глаза для постановки заболевания требуется помощь соответствующего эксперта, что требует коллаборации ит-специалистов и офтальмологических отделений медицинских учреждений [8].

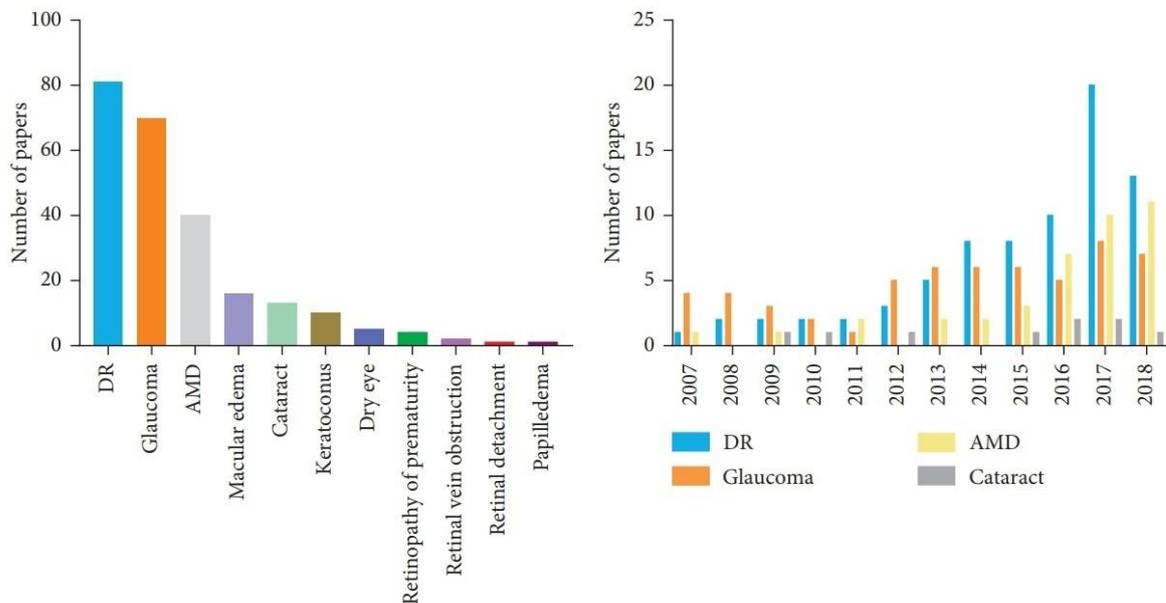


Рис. 1. Количество статей о применении ИИ в диагностике офтальмологических заболеваний.

Разбивка публикаций по годам

Согласно данным многочисленных исследований, программное обеспечение предназначено не заменять врачей, а предложить им комплексы, повышающие качество диагностики и лечения заболеваний за счет автоматизации рутинных процедур и умных рекомендаций. Врач будет максимально оперативно получать доступ к необходимой информации для принятия решения о лечении пациента, тратить меньше времени на заполнение амбулаторных карт и историй болезни, уделяя больше времени непосредственно работе с пациентом. В результате, будет сводиться к

минимуму вероятность врачебных ошибок. Как следствие, улучшится качество оказания медицинских услуг для населения.

Реализованные приложения, согласно обзорам литературы, устанавливают присутствие или отсутствие нарушений здоровья. Существующие приложения определяют наличие или отсутствие симптомов заболевания. На практике современный уровень подготовки узких квалифицированных специалистов в определенных областях не подразумевает необходимость в повсеместном внедрении и применении интеллектуальных помощников подобного типа [6].

Вместе с тем остается открытым вопрос об изучении перспективных направлениях лечения глазных заболеваний - это профилактика и ранняя диагностика больных людей [9, 10].

С февраля 2008 по июль 2017 г. дистантное скрининговое исследование зрения было проведено 28983 школьникам г. Новосибирска (таблица №1). Тест не является специфичным по виду патологии органа зрения, но позволяет сделать вывод, что проблемы со сниженным зрением имеют место более чем у половины школьников. Углубленный анализ динамики остроты зрения в каждой из групп по степени выявленной остроты зрения показал следующую тенденцию.

Таблица № 1

Результаты дистантного скринингового исследования остроты зрения

Класс	Всего человек, n	1,0-0,9		0,8-0,2		Ниже 0,1	
		n	%	n	%	n	%
1	3124	985	31,53	1697	54,32	442	14,15
2	3119	1288	41,30	1360	43,60	471	15,10
3	3226	1535	47,58	1225	37,97	466	14,45
4	3097	1519	49,05	1216	39,26	362	11,69
5	3060	1573	51,41	1116	36,47	371	12,12
6	2800	1482	52,93	1037	37,04	281	10,04
7	2939	1573	53,52	1005	34,20	361	12,28

8	2531	1462	57,76	823	32,52	246	9,72
9	2328	1322	56,79	766	32,90	240	10,31
10	1441	843	58,50	502	34,84	96	6,66
11	1318	763	57,89	440	33,38	115	8,73
Итого	28983	14345	49,49	11187	38,60	3451	11,91

Поэтому требуется проходить наблюдение в течение всей жизни с детского школьного возраста в рамках диспансеризаций населения для своевременного обследования при появлении первых симптомов ухудшения функционирования органов зрения [11].

Сложность медицинской практики состоит в обследовании степени тяжести присутствующего заболевания у клиента. Согласно статистике медицинских ошибок, мнения врачей по этому вопросу расходятся. При обследовании одного и того же пациента несколькими специалистами возможны накладки по степени тяжести заболевания, что приводит к созыву консилиума для установки конечного диагноза. В таких случаях на помощь приходит компьютерное программное обеспечение и оптимизирует процесс принятия решений [12].

Изучение литературы в области телеофтальмологии показало, что реализация программных продуктов на основе метода глубокого обучения функционирует по примеру «черного ящика» - где на вход подается изображение сетчатки глаза, а на выходе пользователю предоставляется ответ в сухом виде.

Интерпретируемость - это не единое понятие, а сочетание разных принципов. Google резюмирует принципы интерпретируемости следующим образом:

- понимание того, что делают скрытые слои: большая часть знаний в модели глубокого обучения образуется в скрытых слоях. Понимание функциональности различных скрытых слоев на макроуровне необходимо для понимания модели глубокого обучения.

- понимание того, как активируются узлы: ключ к объяснению лежит не в понимании функциональности отдельных нейронов в сети, а в группах взаимосвязанных нейронов, которые срабатывают вместе в одном и том же пространственном месте. Сегментация сети на группы взаимосвязанных нейронов обеспечивает более простой уровень абстракции для понимания ее функциональности.

- понимание того, как формируются концепции: понимание того, как глубокая нейронная сеть формирует отдельные концепции, которые затем могут быть объединены для формирования конечного результата, является еще одной важной частью интерпретируемости.

На сегодняшний день использование существующих и предлагаемых компьютерных систем постановки диагноза подобного типа иногда вызывают скептическое отношение профессионального медицинского сообщества. Кроме того, следует подчеркнуть, что на практике повсеместно распространено такое понятие, как доказательная медицина [13].

Тренд сегмента здравоохранения - персонификация телемедицины. С одной стороны конкуренция между поставщиками услуг и сервисов, с другой - клиентская потребность в качественном обслуживании. Идея заключается в подборе врачей для пациентов в зависимости от наличия диагноза и степени осложнения заболевания. Вместе с тем следующий шаг - внедрение систем автоматизированной экспертизы качества медицинской помощи: сопоставление алгоритма ведения конкретного больного с вшитыми в систему эталонными протоколами и критериями качества.

В последние годы приобрела популярность новая модель медицинской помощи - 4П-медицина. 4П-медицина является теорией, которая базируется на четырех положениях, каждое из которых начинается с латинской буквы «P». Аббревиатура «4P» расшифровывается как «Prediction, Prevention, Personalization, Participation», что переводится как «профилактика,

предотвращение, персонализированный подход, участие и полное понимание процессов».

24 апреля 2018 г. вышел Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации N 186 «Об утверждении Концепции предиктивной, превентивной и персонализированной медицины». В нем говорится: «Механизмы реализации концепции должны предусматривать совершенствование подготовки и повышения квалификации кадров по актуальным направлениям медицинской науки и смежных областей, таких как молекулярная биология и генетика, клеточная биология, биоинформатика, математическая статистика, а также других естественных наук...» (Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации N 186 от 24.04.2018 г. «Об утверждении Концепции предиктивной, превентивной и персонализированной медицины». Доступно по ссылке: consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=612584#07276999663002452. Ссылка активна на 22.05.2021).

Исходя из вышесказанного, перспективным направлением для исследовательской работы является предоставление понятного, пошагового и развернутого метода решения поставленных задач для получения итогового результата в постановке диагноза в программе принятия решения диагностирования по снимкам изображения глазного дна.

Многие исследователи отмечают, что в связи с ростом различных заболеваний глаз у населения требуется принять меры по увеличению штата медучреждений с узкими специалистами. Подготовка квалифицированных кадров - продолжительное и затратное мероприятие [14].

В связи с естественным приростом населения стоит вопрос о нехватке экспертов в отдаленных труднодоступных районах, а также и в развивающихся странах. В недалеком прошлом были выездные диспансеризации для сельского населения. С развитием интернета

телемедицина шагнула вперед, появилась возможность предоставления эффекта полного присутствия при первичном осмотре врача-диагноста [3].

Во время отсутствия в достаточном количестве персональных компьютеров в медицинских учреждениях на помощь приходят мобильные средства связи. Нельзя не отметить, что прирост показателей оснащённости мобильными устройствами граждан носит динамичный характер [15].

Основная идея телепомощи офтальмологическим больным заключается в следующем. Врач первичного звена в удалённом регионе должен иметь возможность предоставить данные пациента далеко работающему офтальмологу, специалисту по конкретному заболеванию. Этот специалист, в свою очередь, анализирует присланные данные и даёт рекомендации врачу без личного контакта с ним (см. рис. 2) [14].



Рис. 2. Схематичное устройство работы телемедицинского центра

Мобильное здравоохранение (англ. mobile health) – отрасль телемедицинских технологий, в рамках которых развиваются мобильные решения по всему миру.

Анализ данных на уровне мобильных приложений включает в себя облачные вычисления и периферийные вычисления. В первом случае, вычисления выполняются дистанционно с помощью вычислительных ресурсов облачных серверов, а не на устройстве, в то время как в граничных вычислениях предварительно обученные модели передаются из облака на отдельное мобильное устройство.

Глубокое изучение предъявляет высокие требования к ресурсам для высокопроизводительных вычислений и существенно зависит от параллельных вычислений (например, графических процессоров). В развертывании нейронной сети на мобильных устройствах существует ряд ограничений, связанных с энергопотреблением и мощностью обработки.

Описаны уже случаи, когда рынок мобильного здравоохранения представлен приложениями диагностики, справочниками-консультантами. Также есть успешные примеры реализации систем ранней диагностики заболеваний у населения. По наблюдениям специалистов в настоящее время данный сегмент не распространен по причине банальной неосведомленности населения. В данном случае показана важная роль врача как специалиста в области телемедицины. Офтальмолог будет рекомендовать пациентам и обучать их возможностям работы с данными сервисами. Следует отметить, что не каждое из представленных в маркете Google Play приложение сертифицировано и это еще раз говорит о недоверии медиков ко всему множеству мобильных программ [16, 17].

Таким образом, исходя из проведенного обзора литературы, большие данные широко распространены во всем мире. Вместе с тем телемедицина характеризуется накоплением больших объемов данных медицинской информации. Кроме того, в последние годы наблюдается рост достижений в применении машинного обучения в распознавании изображений глазного дна для диагностирования пациентов. Это обуславливает необходимость

подготовки качественных размеченных наборов данных для своевременной диагностики болезней глаза, что требует совместной работы офтальмологов и технических специалистов. Вышеуказанное свидетельствует о тенденции персонализации цифровых медицинских сервисов и услуг, а также контроля качества оказания медицинской помощи.

Методы профилактики и диагностики заболеваний глазных болезней, таких, как косоглазие и онкология на ранних стадиях, являются перспективным направлением.

Однако на сегодняшний день недоступность медицины широким слоям населения в удаленных районах страны делает актуальной проблему поиска новых методов диагностики с использованием технологий телеофтальмологии в здравоохранении.

В настоящее время разработаны новые методы диагностики, успешно применяемые при схожих офтальмологических заболеваниях - это мобильные приложения (mHealth). В литературе есть единичные случаи описания применения сертифицированных приложений диагностики при заболевании органов зрения.

Вместе с тем недостаточно исследованы мобильные приложения для постановки степени тяжести заболевания. Не до конца изучены объяснения основных принципов и алгоритмов действия методов глубокого машинного обучения, работающих по принципу «черного ящика», которые позволяют врачу принимать решения по диагностике глазного дна. Предложения по решению обозначенных задач будут предприняты в следующих работах автора в рамках диссертационного исследования.

Литература

1. Апрелева А.Е., Манкибаева Р.И., Манкибаев Б.С., Апрелева Е.В. Применение систем с искусственным интеллектом в диагностике офтальмологических заболеваний (обзор литературы) // Вестник

Башкирского государственного медицинского университета. - 2019. - №3. - С. 10-14.

2. Sourya Sengupta, Amitojdeep Singh, Henry A. Leopold, Vasudevan Lakshminarayanan Ophthalmic Diagnosis and Deep Learning - A Survey // arXiv.org. 2018. Дата обновления: 09.12.2018. URL: arXiv: 1812.07101v1 [cs.CV]. (Дата обращения: 10.03.2021).

3. Mohita Sharma, Neha Jain, Sridhar Ranganathan, Naman Sharma, Santosh G Honavar, Namrata Sharma, Mahipal S Sachdev Tele-ophthalmology: Need of the hour // Indian Journal of Ophthalmology. – 2020. – Vol. 68, no. 7. – pp. 1328–1338. doi: 10.4103/ijo.IJO_1784_20

4. Гусев А. В. Перспективы нейронных сетей и глубокого машинного обучения в создании решений для здравоохранения // Врачи и информационные технологии. – 2017. - №3. – С. 92 – 105.

5. Grewal P.S., Oloumi F., Rubin U. Deep learning в офтальмологии: обзор // Новое в офтальмологии. – 2018. - № 4. – С. 36-40.

6. Wei Lu, Yan Tong, Yue Yu, Yiqiao Xing, Changzheng Chen and Yin Shen Applications of Artificial Intelligence in Ophthalmology: General Overview // Hindawi. Journal of Ophthalmology – 2018. – № 6. – pp. 1-15. doi.org/10.1155/2018/5278196 Article ID 5278196

7. Гарри Д.Д., Саакян С.В., Хорошилова-Маслова И.П., Цыганков А.Ю., Никитин О.И., Тарасов Г.Ю. Методы машинного обучения в офтальмологии. Обзор литературы. // Офтальмология. – 2020. - Т. 17 - № 1. – С. 20–31. doi.org/10.18008/1816-5095-2020-1-20-31

8. Колесниченко О.Ю., Мартынов А.В., Пулит В.В., Колесниченко Ю.Ю., Шакиров В.В., Варламов О.О., Минушкина Л.О., Сотник А.Ю., Жилина Т.Н., Дорофеев В.П., Смородин Г.Н., Жапаров М.К., Мазелис Л.С. Современный передовой уровень искусственного интеллекта для умной медицины //

Ремедиум. Журнал о рынке лекарств и медицинской технике. – 2019. - № 4. – С. 36 – 43. doi.org/10.21518/1561–5936–2019–04-36-43

9. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Юдина Ю.А. Телемедицина в скрининге, диагностике и лечении активной ретинопатии недоношенных // Офтальмохирургия. – 2017. – №2. – С. 73-77. doi.org/10.25276/0235-4160-2017-2-73-77

10. Julia E. Reid, Eric Eaton Artificial Intelligence for Pediatric Ophthalmology // arXiv.org. 2018. Дата обновления: 06.04.2019. URL: arXiv:1904.08796v1 [physics.med-ph]. (Дата обращения: 10.03.2021).

11. Черных В.В., Плисов И.Л., Анциферова Н.Г., Пущина В.Б. Дистантный скрининг зрения школьников как практический метод применения телемедицины в офтальмологии: итоги и перспективы // Сибирский научный медицинский журнал. – 2018. – Т. 38. - №3. – С. 80-85. doi.org/10.15372/SSMJ201803012

12. Muhammad Imran Razzak, Saeeda Naz and Ahmad Zaib Deep Learning for Medical Image Processing: Overview, Challenges and Future // arXiv.org. 2017. Дата обновления: 22.04.2017. URL: arXiv:1704.06825v1 [cs.CV]. (дата обращения: 10.03.2021).

13. Lokman Balyen, Tunde Peto Promising Artificial Intelligence–Machine Learning–Deep Learning Algorithms in Ophthalmology // Asia-Pacific Academy of Ophthalmology. – 2019. – Vol. 8, no. 3. – pp. 264 – 272. DOI: 10.22608/APO.2018479

14. Астахов Ю.С., Тургель В.А. Телемедицина в офтальмологии. Часть 1. «Общая телеофтальмология» // Офтальмологические ведомости. – 2020. – Т. 13. – № 1. – С. 43–52. doi.org/10.17816/OV19112

15. Siddharth Karuppasamy Karthikeyan, Rajesh Thangarajan, Nagarajan Theruvedhi, Krithica Srinivasan Android mobile applications in eye care // Oman

Journal of Ophthalmology. – 2019. – Vol. 12. - no 2. – pp. 73-77. DOI: 10.4103/ojo.OJO_226_2018

16. Фокин С. Ю., Киричек Р. В. Обзор медицинских приложений, устройств и технологий связи интернета вещей // Информационные технологии и телекоммуникации. - 2016. - Т. 4. - № 4. – С. 67-80.

17. Lokeshwari Aruljyothi, Anuja Janakiraman, B Malligarjun, Balasundaram Manohar Babu Smartphone applications in ophthalmology: A quantitative analysis // Indian Journal of Ophthalmology. – 2021. – Vol. 69, № 3. – pp. 548 – 553. DOI: 10.4103/ijo.IJO_1480_20

References

1. Apreleva A.E., Mankibaeva R.I., Mankibaev B.S., Apreleva E.V. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta, 2019, № 3, pp. 10-14.

2. Sourya Sengupta, Amitojdeep Singh, Henry A. Leopold, Vasudevan Lakshminarayanan. arXiv.org. 2018. Available at: arXiv: 1812.07101v1 [cs.CV] (accessed 10 March 2021).

3. Mohita Sharma, Neha Jain, Sridhar Ranganathan, Naman Sharma, Santosh G Honavar, Namrata Sharma, Mahipal S Sachdev. Indian Journal of Ophthalmology, 2020, vol. 68, no. 7, pp. 1328-1338. doi: 10.4103/ijo.IJO_1784_20

4. Gusev A.V. Vrach i informacionnye tekhnologii, 2017, № 3, pp. 92 - 105.

5. Grewal P.S., Oloumi F., Rubin U. Novoe v oftal'mologii, 2018, no. 4, pp. 36-40.

6. Wei Lu, Yan Tong, Yue Yu, Yiqiao Xing, Changzheng Chen and Yin Shen. Hindawi. Journal of Ophthalmology, 2018, № 6, pp. 1-15. doi.org/10.1155/2018/5278196 Article ID 5278196

7. Harry D.D., Sahakyan S.V., Khoroshilova-Maslova I.P., Tsygankov A.Yu., Nikitin O.I., Tarasov G.Yu. Oftal'mologiya, 2020, vol. 17, no. 1, pp. 20–31. (In Russ.). doi.org/10.18008/1816-5095-2020-1-20-31

8. Kolesnichenko O.Yu., Martynov A.V., Pulit V.V., Kolesnichenko Yu.Yu., Shakirov V.V., Varlamov O.O., Minushkina L.O., Sotnik A.Yu., Zhilina T.N., Dorofeev V.P., Smorodin G.N., Zhaparov M.K., Mazelis L.S. *Remedium. Zhurnal o rynke lekarstv i medicinskoj tekhnike*, 2019, no. 4, pp. 36 – 43. doi.org/10.21518/1561–5936–2019–04-36-43
 9. Tereshchenko A.V., Trifanenkova I.G., Yudina Yu.A. *Oftal'mohirurgiya*, 2017, no. 2, pp. 73-77. doi.org/10.25276/0235-4160-2017-2-73-77
 10. Julia E. Reid, Eric Eaton. arXiv.org. 2018. Available at: arXiv: 1904.08796v1 [physics.med-ph] (accessed 10 March 2021).
 11. Chernykh V.V., Plisov I.L., Antsiferova N.G., Pushchina V.B. *Sibirskij nauchnyj medicinskij zhurnal*, 2018, vol. 38, no. 3, pp. 80-85. doi.org/10.15372/SSMJ201803012
 12. Muhammad Imran Razzak, Saeeda Naz and Ahmad Zaib. arXiv.org. 2017. Available at: arXiv: 1704.06825v1 [cs.CV]. (accessed 10 March 2021).
 13. Lokman Balyen, Tunde Peto. *Asia-Pacific Academy of Ophthalmology*, 2019, vol. 8, no. 3, pp. 264 - 272. DOI: 10.22608/APO.2018479
 14. Astakhov Yu.S., Turgel V.A. *Oftal'mologicheskie vedomosti*, 2020, vol. 13, no. 1, pp. 43–52. doi.org/10.17816/OV19112
 15. Siddharth Karuppasamy Karthikeyan, Rajesh Thangarajan, Nagarajan Theruvedhi, Krithica Srinivasan. *Oman Journal of Ophthalmology*, 2019, vol. 12, no 2, pp. 73-77. DOI: 10.4103/ojo.OJO_226_2018
 16. Fokin S.Yu., Kirichek R.V. *Informacionnye tekhnologii i telekommunikacii*, 2016, vol. 4, no. 4, pp. 67-80.
 17. Lokeshwari Aruljyothi, Anuja Janakiraman, B Malligarjun, Balasundaram Manohar Babu. *Indian Journal of Ophthalmology*, 2021, vol. 69, no. 3, pp. 548 - 553. DOI: 10.4103/ijo.IJO_1480_20
-