

УДК 614.2
DOI: 10.47619/2713-2617.zm.2024.v.5i1;103-111

Телемедицинский скрининг на диабетическую ретинопатию с использованием цифровых технологий: зарубежный опыт

Д.А. Андреев, Н.Н. Камынина

Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы, 115088, Россия, г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, 9

Аннотация

Введение. Своевременное выявление и лечение диабетической ретинопатии (ДР) может предотвратить развитие слепоты. Тем не менее у большого числа пациентов заболевание диагностируется на поздних стадиях, когда эффективное лечение становится невозможным. В связи с этим активный скрининг на ДР играет важную роль. Разработаны различные программы скрининга, включая программы с применением цифровых технологий.

Цель. Анализ и обобщение литературных сведений по цифровизации скрининга пациентов на ДР.

Материалы и методы. Исследование выполнено по результатам поиска в библиографической базе PubMed/Medline и системе Google. В поисковой строке применялись следующие ключевые слова: «diabetes», «retinopathy», «telemedicine», «digital technologies», «artificial intelligence» и другие. Релевантные публикации отбирались по результатам изучения названия и резюме статей.

Результаты. В исследовании рассмотрены подходы к организации телемедицинских программ по скринингу на ДР. Представлены примеры инновационных цифровых технологий выполнения диагностических исследований, отражены характеристики различных электронных систем и девайсов. Отмечено, что возможна организация скрининга на ДР в локальном центре с передачей данных в региональный специализированный диагностический (аналитический) центр, где происходит телемедицинский анализ. Вся диагностическая информация в конечном итоге становится доступной диабетологу, который назначает и корректирует терапию. Такой принцип работы облегчает взаимодействие между различными специалистами, что повышает эффективность скрининга.

Обсуждение. Скрининг на ДР с использованием телемедицины находится на начальных этапах развития, хотя он уже внедрен в ряде стран. Многие современные технологии, такие как переносные мобильные девайсы, могут быть адаптированы и применяться при реализации программ телемедицины. Отличные результаты демонстрируют алгоритмы глубокого машинного обучения и другие подходы на основе искусственного интеллекта. Отдельные системы уже получили одобрение со стороны регуляторных органов.

Выводы. Интеграция инновационных технологий скрининга в единую цифровую платформу с постепенным внедрением ее в повседневную клиническую практику будет способствовать дальнейшему совершенствованию ранней диагностики диабетической ретинопатии.

Ключевые слова: сахарный диабет; ретинопатия; скрининг; телемедицина; искусственный интеллект

Для цитирования: Андреев, Д.А. Телемедицинский скрининг на диабетическую ретинопатию с использованием цифровых технологий: зарубежный опыт / Д.А. Андреев, Н.Н. Камынина // Здоровье мегаполиса. – 2024. – Т. 5, вып. 1. – С. 103–111. – DOI: 10.47619/2713-2617.zm.2024.v.5i1;103-111

UDC 614.2
DOI: 10.47619/2713-2617.zm.2024.v.5i1;103-111

Telemedicine Screening for Diabetic Retinopathy Using Digital Technology: Foreign Experience

D.A. Andreev, N.N. Kamynina

Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management of Moscow Healthcare Department,
9, Sharikopodshipnikovskaya ul., 115088, Moscow, Russian Federation

Abstract

Background. Timely detection and treatment of diabetic retinopathy (DR) could prevent the development of blindness. However, large number of patients are diagnosed at late stages when effective treatment becomes impossible. In this context, active screening for DR plays an important role. Various screening programs have been developed, including programs using digital technologies.

Objective. To analyze and summarize the literature data on digitalization of DR screening.

Materials and methods. The study was carried out based on the results of a search in the PubMed / Medline bibliographic database and the Google system. The used keywords were “diabetes”, “retinopathy”, “telemedicine”, “digital technologies”, “artificial intelligence” and others. Relevant publications were selected by examining the titles and abstracts of articles.

Results. The study addressed the approaches to organizing the telemedicine programs of DR screening. The examples of innovative digital technologies for performing diagnostic studies as well as the characteristics of various electronic systems and devices are presented. It was noted that the DR screening could be performed in a local center with data transfer to a regional specialized diagnostic (analytical) center where telemedicine analysis is done. All diagnostic information is available to the diabetologist who prescribes and adjusts therapy. This operating principle facilitates the interaction between various specialists and thus increases the efficiency of screening.

Discussion. Although the telemedicine screening for diabetic retinopathy has already been introduced in a number of countries, it is still at its early stages of development. Many modern technologies such as portable mobile devices could be adapted and used in the implementation of telemedicine programs. Deep machine learning algorithms and other artificial intelligence-based approaches demonstrate excellent results. Some systems have already received regulatory approval.

Conclusions. The early diagnostics of diabetic retinopathy could be improved by integrating innovative screening technologies in a unified digital platform implemented in routine clinical practice.

Keywords: diabetes mellitus; retinopathy; screening; telemedicine; artificial intelligence

For citation: Andreev D.A., Kamynina N.N. Telemedicine Screening for Diabetic Retinopathy Using Digital Technology: Foreign Experience. *City Healthcare*, 2024, vol. 5, iss. 1, pp. 103-111. DOI: 10.47619/2713-2617.zm.2024.v.5i1;103-111

Введение

Сахарный диабет (СД) – распространенное хроническое заболевание, одним из самых грозных осложнений которого является диабетическая ретинопатия (ДР) [1-2]. ДР является основной причиной слепоты среди работающего взрослого населения. В мире ожидается рост числа взрослых пациентов с диабетической ретинопатией со 103 млн (2020 г.) до 160 млн (2045 г.) [3]. ДР вызывает необратимые изменения сетчатки. По подсчетам Всемирной организации здравоохранения, 15-17% случаев слепоты в США и Европе обусловлены ДР [4]. У более 60% пациентов с СД 2 типа и почти у всех пациентов с СД 1 типа развивается ДР в течение 20 лет с момента постановки диагноза [5]. С ростом числа случаев СД отмечается рост числа пациентов с ДР. В связи с высокой распространенностью диабетическая ретинопатия считается серьезным вызовом для систем здравоохранения во многих странах [6].

Своевременное выявление и лечение ДР может предотвратить развитие слепоты. Тем не менее у большого числа пациентов заболевание диагностируется на поздних стадиях, когда эффективное лечение становится невозможным. ДР на стадии, угрожающей зрению, часто протекает бессимптомно. В связи с этим активный скрининг на ДР играет важную роль. В бессимптомный период лечение может оказаться максимально эффективным [7]. Однако на практике по разным причинам не более 65% пациентов с СД (данные по США) проходят ежегодное скрининговое обследование на ДР [8]. Таким образом, необходимо внедрение новых подходов к информированию пациентов и реализации специализированных программ, включая телемедицинские технологии, охватывающих скринингом на ДР широкие группы населения.

На пути к реализации программ скрининга на ДР за рубежом отмечен ряд барьеров, обусловленных вопросами обеспечения широкой доступности получения инновационных диагностических услуг, затратностью медицинских технологий, неполной осведомленностью пациентов о ДР и др. [9-10]. Для успешного преодоления этих препятствий разработаны различные подходы к скринингу, включая программы с применением телемедицины и цифровых технологий [11]. Исследование выполнено с целью анализа и обобщения литературных сведений по цифровизации скрининга на ДР за рубежом.

Материалы и методы

Исследование выполнено по результатам поиска в библиографической базе PubMed/Medline

и системе Google. В поисковой строке применялись следующие ключевые слова: «diabetes», «retinopathy», «telemedicine», «digital technologies», «artificial intelligence» и другие. Релевантные публикации отбирались по результатам изучения названия и резюме статей.

Результаты

Телемедицинские программы

Телемедицина – это предоставление услуг здравоохранения дистанционно, когда существует физическое расстояние между медицинскими специалистами (поставщиками услуг) и пациентами [11]. Офтальмологические телемедицинские программы обладают серьезным потенциалом в отношении улучшения скрининга на ДР [11].

Телемедицина позволяет использовать ресурсы здравоохранения дистанционно. Например, показано, что в одном из каждых четырех районов США в кадровом составе служб здравоохранения отсутствует офтальмолог или оптометрист [12]. В связи с этим интересной становится концепция организации центра анализа изображений сетчатки, получаемых из удаленных клиник. Определен ряд факторов, улучшающих реализацию телемедицинских подходов к скринингу на ДР. Эти факторы включают: получение достаточного количества изображений с оптимальным захватом площади полей сетчатки, выполнение исследования в условиях миопии и получение стереоскопических изображений; использование лицензированных медицинских технологий для обеспечения оценок в аналитических центрах. С точки зрения затратности технологии телескрининга хорошо подходят для стран с невысокими доходами и для удаленных регионов [3, 13].

При проведении скрининга на ДР может оказаться целесообразным выполнение одновременных исследований на наличие других микро- и макрососудистых осложнений. Комплексный скрининг на все виды осложнений может быть проведен в течение одного визита в специализированный центр. Сокращение числа визитов может улучшить комплаентность пациентов. Возможна организация скрининга на ДР в локальном центре с передачей данных в региональный специализированный диагностический (аналитический) центр, где происходит телемедицинский анализ. Вся диагностическая информация в конечном итоге становится доступной диабетологу, который назначает и корректирует терапию. Такой принцип работы облегчает взаимодействие между различными специалистами

(в рассмотренном случае – между диабетологом и офтальмологом) [3].

Телемедицинские технологии скрининга на ДР могут быть реализованы с помощью различных цифровых платформ. В целом ряд телемедицинских систем, представленных в литературе, обладает различными характеристиками, включая способность проводить автоматизированный анализ и диагностику изображений сетчатки. Некоторые системы выполняют диагностику сосудов, выявляют элементы глазного нерва, макулярную структуру и определяют отклонения от нормы [14]. Технологии рассчитаны на определение таких аномалий, как микроаневризмы, наличие экссудата и прочее [14, 15].

Примером веб-платформы для цифрового скрининга является система DrishtiCare [16]. Платформа получает изображение и клиническую информацию из внешнего сайта для сбора сведений и производит их обработку с анализом качества в реальном времени. Согласно модели прескрининга, система отбирает отклоняющиеся от нормы результаты и отправляет их для изучения специалистом. Таким образом, происходит дополнительный предварительный процессинг изображений с выявлением аномалий сетчатки. Данная система использует автоматизированные элементы контроля качества изображений, скрининга и выявления участков поражений сетчатки. Пока она не получила распространения в реальной клинической практике.

Еще одним примером телемедицинской разработки служит технология, описанная в работе Saeed et al. [17]. Система анализирует изображения и выявляет патологические изменения глазного дна, обусловленные диабетической ретинопатией. Конечным итогом работы системы является идентификация патологических изменений. В случае отсутствия патологии автоматизированная система делает вывод о здоровой сетчатке у пациента.

Кроме того, телемедицинские системы позволяют организовывать удаленный обмен медицинскими данными. Например, в литературе представлено описание платформы для цифровой коммуникации TOSCA. Она позволяет передавать цифровые сведения и создавать базы данных на территории Англии, Германии, Ирландии [15, 18].

Искусственный интеллект

Искусственный интеллект (ИИ) основан на применении машин и технологий с целью автоматизации интеллектуальной деятельности. Машинное обучение является разделом ИИ и подходит для высокоорганизованного процессинга данных, включающего интерпретацию ме-

дицинских изображений. Различные алгоритмы машинного обучения применяются для диагностической оценки глаукомы, возрастной макулярной дегенерации и ДР [11, 19–20].

В недавних исследованиях продемонстрирована применимость платформ на основе ИИ для скрининга на ДР. Так, алгоритм DART анализировал поля изображений глазного дна, полученные с помощью настольной камеры. Изображения были независимо классифицированы системой DART и опытным офтальмологом как ДР-негативные или ДР-позитивные. DART продемонстрировала чувствительность в 94,6% и специфичность в 74,3% [21].

Специально разработанная система диагностики сетчатки на основе искусственного интеллекта (система RAIDS, Retinal Artificial Intelligence Diagnosis System) использует алгоритмы глубокого обучения. При использовании системы также учитываются оценки, полученные офтальмологом. Предполагалось, что по результатам грейдинга, выполненного системой искусственного интеллекта, можно выявить изображения сетчатки без патологий. Диагностированная патология на изображениях сетчатки подвергалась дополнительному грейдингу офтальмологом. Чувствительность подхода, основанного на применении искусственного интеллекта в сочетании с оценками, проведенными опытным офтальмологом, составляла 90,6%. Использование такого подхода требовало на 75% меньше времени по сравнению с временными затратами на диагностику, проводимую только офтальмологом без применения искусственного интеллекта [22].

В литературе также описаны другие автоматизированные алгоритмы скрининга на ДР [23–24]. Среди прочих представлена модель, позволяющая определить пациентов высокого риска развития ДР. Исследователи применяли сеть Байеса и нейрональную сеть Века. К сожалению, данная модель пока не была разработана в виде телеофтальмологической системы [25]. В одном из исследований изучалась эффективность «умной» системы регистрации изображений сетчатки (система IRIS, Intelligent Retinal Imaging System) в отношении выявления ДР, наиболее серьезно угрожающей нормальному зрению. Результативность технологии сравнивали с результатами интерпретации входных данных в специализированном центре. Система была разработана с участием около 15 тыс. пациентов [26]. Чувствительность составляет 66,4% с частотой негативных результатов в 2%, специфичность – 72,8% по сравнению с интерпретацией специализированного центра. Дополнительная информация по данной технологии недоступна [15, 26].

Таблица 1 – Пример характеристик систем на основе искусственного интеллекта для скрининга на ДР, одобренных Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) (адаптировано из Nakayama et al 2023 [15]; лицензия: Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>))

Table 1 – Characteristics of an artificial intelligence-based system for DR screening, approved by U. S. Food and Drug Administration (adapted from Nakayama et al 2023 [15]; license: Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>))

	IDx-DR v2.3	Eynuk Eyeart v.2.1.0	AEye
Исход	Более чем умеренная ДР у взрослых	Более чем умеренная ДР и ретинопатия, угрожающая зрению	Более чем умеренная ДР у взрослых
Входящие	Макула- и диск-центрированные изображения	Макула- и диск-центрированные изображения	Макула- и диск-центрированные изображения или макула-центрированные
Камера	Topcon NW400	Canon CR-2AF, Canon CR-2 Plus AF	Topcon NW400
Чувствительность в ключевом исследовании	82,24%	94,9–100% – более чем умеренная ретинопатия, 88,9–100% – угрожающая зрению	93% – с одним изображением, 94,7% – с двумя изображениями
Специфичность в ключевом исследовании	85,47%	86,7–92% – более чем умеренная ретинопатия, 93,8–97,5% – угрожающая зрению	91,4% – с одним изображением, 88,6% – с двумя изображениями
Алгоритмы / набор данных	Описание не представлено	Описание не представлено	Описание не представлено
Анализ «смещения» (bias)	Использование детектора, разработанного для определения этнических биомаркерных инвариантов с целью минимизации рисков этнического или расового «смещения» в выходных параметрах алгоритма, и оценка «смещения» спектра	Описание не представлено	Описание не представлено

К настоящему времени Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) одобрило ряд систем на основе искусственного интеллекта для выявления ДР (табл. 1).

Перечисленные в таблице 1 системы способны проводить дополнительную оценку и выявлять признаки ДР у пациента, требующие внимания со стороны специалиста. Эти системы могут быть интегрированы в телемедицинские инструменты. Продолжается совершенствование подобных технологий [15].

Использование смартфонов для скрининга на диабетическую ретинопатию

Смартфоны – современные устройства, которые могут применяться в комплексе с другими инструментами для получения изображений глазного дна при проведении скрининга на ДР [27–28]. Новые данные свидетельствуют, что чувствительность доступных недорогих устройств на базе смартфонов для скрининга ДР является приемлемой, а их специфичность, особенно при обнаружении ДР и макулярной диабетиче-

ского отека, оказывалась значительной. Эти данные подтверждают потенциальные возможности использования смартфонов для скрининга на ДР в условиях ограниченных ресурсов [29].

Приборы на базе смартфонов удобны, поскольку обладают универсальным функционалом, легко подключаются к компьютеру и другим девайсам для переноса цифровых изображений. На первых этапах было отмечено, что при использовании смартфона с соответствующим программным обеспечением и после непродолжительной тренировки возможно применение устройства в комбинации с линзой (20 диоптрий) для получения изображений глазного дна [30]. Был разработан специальный адаптер для соединения линзы со смартфоном. Однако дополнительные исследования показали, что эта техника демонстрировала низкую чувствительность при обнаружении ДР по сравнению со стандартной методикой. Более высокую чувствительность демонстрировала техническая конструкция на базе смартфона для визуализации глазного дна, предложенная Russo [31].

На базе смартфона были также разработаны такие системы, как Ocular CellScope и iExaminer

(Welch Allyn) [32]. Авторы-разработчики провели тесты программного обеспечения для скрининга на ДР с использованием Ocular CellScore и продемонстрировали его 100% чувствительность и 80% специфичность [33]. Со смартфоном применяются различные приложения, позволяющие пациенту отмечать даже незначительные изменения в зрении на протяжении определенного периода времени. Намечена тенденция на дальнейшую разработку портативных девайсов с интегрированным программным обеспечением.

Для анализа изображений, получаемых на базе смартфонов, также может применяться искусственный интеллект [27]. Например, фотографии, полученные с применением одного из приложений к смартфону (Remidio Non-Mydriatic Fundus), были проанализированы с помощью алгоритма искусственного интеллекта для смартфона на возможность обнаружения ДР. Результаты сравнивали с итогами, полученными двумя врачами-специалистами по оценке состояния (грейдинга) сетчатки. При обнаружении ДР приложение к смартфону демонстрировало 100% чувствительность и 89,55% специфичность. Дополнительные аргументы свидетельствуют в пользу применимости приложений к смартфону для удаленного цифрового мониторинга патологии сетчатки. Например, мобильное приложение с названием «система проверки и оценки зрения» (Checkup Vision Assessment System) для iPhone демонстрирует приемлемый уровень точности при оценке остроты зрения и анализа сетки Амслера (тест Амслера). Важно, что пациенты часто пользуются мобильным приложением и заинтересованы в его дальнейшем применении [34]. Схожее приложение для системы Android (например, приложение Alleye) также оценивалось путем сравнения с клиническими исходами. Сравнения демонстрировали хорошие результаты пригодности системы [11, 35].

Обсуждение

Скрининг на ДР является важным элементом диагностики осложнений, угрожающих зрению (пролиферативная диабетическая ретинопатия и диабетическая макулярная эдема), до наступления необратимой потери зрения. Скрининг на ДР с использованием телемедицины находится на начальных этапах развития, хотя он уже внедрен в ряде стран. Многие современные технологии, такие как переносные мобильные девайсы, могут быть адаптированы и применяться при реализации программ телемедицины. Отличные результаты демонстрируют алгоритмы глубокого машинного обучения и другие подходы на основе искусственного интеллекта. От-

дельные системы уже получили одобрение со стороны регуляторных органов. Однако остаются нерешенными вопросы дальнейшей стандартизации инновационных технологий и оценки их затратной эффективности в реальной практике [36]. Существуют проблемы разработки программных продуктов, позволяющих интегрировать в одну систему различные технические решения. Кроме того, препятствием к более широкому внедрению телеофтальмологии являются различия в национальных программах скрининга. Решение перечисленных вопросов приведет к более широкому внедрению телемедицинских технологий в практику выполнения скрининга на диабетическую ретинопатию и повышению эффективности лечения этого грозного осложнения сахарного диабета.

Заключение

В мире активно разрабатываются новые цифровые подходы к реализации скрининга диабетической ретинопатии с включением телемедицинских технологий и систем искусственного интеллекта. Рассмотренные цифровые инструменты обладают рядом многообещающих свойств, включая способность выполнения автоматизированного анализа изображений сетчатки. Доработка, адаптация, а также интеграция инновационных технологий скрининга в единую цифровую платформу с последующим внедрением ее в повседневную клиническую практику будут способствовать дальнейшему совершенствованию скрининга и ранней диагностики ДР.

Список литературы / References

1. Vujosevic S, Chew E, Labriola L, Sivaprasad S, Lamoureux E. Measuring Quality of Life in Diabetic Retinal Disease: A Narrative Review of Available Patient-Reported Outcome Measures. *Ophthalmol Sci* 2024;4:100378. <https://doi.org/10.1016/j.xops.2023.100378>.
2. Wei H, Xiao X, Zeng S, Liu Y, Liu X, Zeng T, et al. Alterations in factors associated with diabetic retinopathy combined with thrombosis: A review. *Medicine (Baltimore)* 2023;102:e34373. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000034373>.
3. Grauslund J. Diabetic retinopathy screening in the emerging era of artificial intelligence. *Diabetologia* 2022;65:1415–23. <https://doi.org/10.1007/s00125-022-05727-0>.
4. Porta M, Bandello F. Diabetic retinopathy. *Diabetologia* 2002;45:1617–34. <https://doi.org/10.1007/s00125-002-0990-7>.
5. Saaddine JB. Projection of Diabetic Retinopathy and Other Major Eye Diseases Among People With Diabetes Mellitus. *Arch Ophthalmol* 2008;126:1740. <https://doi.org/10.1001/archophth.126.12.1740>.
6. Sadikin IS, Lestari YD, Victor AA. The role of cadre in the community on diabetic retinopathy management and its challenges in low-middle income countries: a scoping review. *BMC Public Health* 2024;24:177. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-17652-5>.
7. Chin EK, Ventura B V, See K-Y, Seibles J, Park SS. Nonmydriatic fundus photography for teleophthalmology diabetic retinopathy screening in rural and urban clinics. *Telemed J e-Health Off J Am Telemed Assoc* 2014;20:102–8. <https://doi.org/10.1089/tmj.2013.0042>.
8. Gibson DM. Estimates of the Percentage of US Adults With Diabetes Who Could Be Screened for Diabetic Retinopathy in Primary Care Settings. *JAMA Ophthalmol* 2019;137:440. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2018.6909>.
9. Prothero L, Lawrenson JG, Cartwright M, Crosby-Nwaobi R, Burr JM, Gardner P, et al. Barriers and enablers to diabetic eye screening attendance: An interview study with young adults with type 1 diabetes. *Diabet Med* 2022;39:e14751. <https://doi.org/10.1111/dme.14751>.
10. Kumar S, Kumar G, Velu S, Pardhan S, Sivaprasad S, Ruamviboonsuk P, et al. Patient and provider perspectives on barriers to screening for diabetic retinopathy: an exploratory study from southern India. *BMJ Open* 2020;10. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-037277>.
11. Land MR, Patel PA, Bui T, Jiao C, Ali A, Ibmamasud S, et al. Examining the Role of Telemedicine in Diabetic Retinopathy. *J Clin Med* 2023;12. <https://doi.org/10.3390/jcm12103537>.
12. Gibson DM. The geographic distribution of eye care providers in the United States: Implications for a national strategy to improve vision health. *Prev Med (Baltim)* 2015;73:30–6. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.01.008>.
13. Avidor D, Loewenstein A, Waisbourd M, Nutman A. Cost-effectiveness of diabetic retinopathy screening programs using telemedicine: a systematic review. *Cost Eff Resour Alloc* 2020;18:16. <https://doi.org/10.1186/s12962-020-00211-1>.
14. Karnowski TP, Giancardo L, Yaqin Li, Tobin KW, Chaum E. Retina image analysis and ocular telehealth: The oak ridge national laboratory-hamilton eye institute case study. 2013 35th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., IEEE; 2013, p. 7140–3. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2013.6611204>.
15. Nakayama LF, Zago Ribeiro L, Novaes F, Miyawaki IA, Miyawaki AE, de Oliveira JAE, et al. Artificial intelligence for telemedicine diabetic retinopathy screening: a review. *Ann Med* 2023;55. <https://doi.org/10.1080/07853890.2023.2258149>.
16. Joshi GD, Sivaswamy J. DrishtiCare: A Telescreening Platform for Diabetic Retinopathy Powered with Fundus Image Analysis. *J Diabetes Sci Technol* 2011;5:23–31. <https://doi.org/10.1177/193229681100500104>.
17. Saeed E, Szymkowski M, Saeed K, Mariak Z. An Approach to Automatic Hard Exudate Detection in Retina Color Images by a Telemedicine System Based on the d-Eye Sensor and Image Processing Algorithms. *Sensors* 2019;19:695. <https://doi.org/10.3390/s19030695>.
18. Schneider S, Aldington SJ, Kohner EM, Luzio S, Owens DR, Schmidt V, et al. Quality assurance for diabetic retinopathy telescreening. *Diabet Med* 2005;22:794–802. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2005.01512.x>.
19. Balyen L, Peto T. Promising Artificial Intelligence-Machine Learning-Deep Learning Algorithms in Ophthalmology. *Asia-Pacific J Ophthalmol (Philadelphia, Pa)* 2019;8:264–72. <https://doi.org/10.22608/APO.2018479>.
20. Choi RY, Coyner AS, Kalpathy-Cramer J, Chiang MF, Campbell JP. Introduction to Machine Learning, Neural Networks, and Deep Learning. *Transl Vis Sci Technol* 2020;9:14. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.14>.
21. Arenas-Cavalli JT, Abarca I, Rojas-Contreras M, Bernuy F, Donoso R. Clinical validation of an artificial intelligence-based diabetic retinopathy screening tool for a national health system. *Eye (Lond)* 2022;36:78–85. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-01366-0>.

22. Dong L, He W, Zhang R, Ge Z, Wang YX, Zhou J, et al. Artificial Intelligence for Screening of Multiple Retinal and Optic Nerve Diseases. *JAMA Netw Open* 2022;5:e229960. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.9960>.
23. Cleland CR, Rwiza J, Evans JR, Gordon I, MacLeod D, Burton MJ, et al. Artificial intelligence for diabetic retinopathy in low-income and middle-income countries: a scoping review. *BMJ Open Diabetes Res Care* 2023;11. <https://doi.org/10.1136/bmjdr-2023-003424>.
24. Rajesh AE, Davidson OQ, Lee CS, Lee AY. Artificial Intelligence and Diabetic Retinopathy: AI Framework, Prospective Studies, Head-to-head Validation, and Cost-effectiveness. *Diabetes Care* 2023;46:1728–39. <https://doi.org/10.2337/dci23-0032>.
25. Ogunyemi O, Teklehaimanot S, Patty L, Moran E, George S. Evaluating predictive modeling's potential to improve teleretinal screening participation in urban safety net clinics. *Stud Health Technol Inform* 2013;192:162–5.
26. Walton OB, Garoon RB, Weng CY, Gross J, Young AK, Camero KA, et al. Evaluation of Automated Teleretinal Screening Program for Diabetic Retinopathy. *JAMA Ophthalmol* 2016;134:204. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.5083>.
27. Hasan SU, Siddiqui MAR. Diagnostic accuracy of smartphone-based artificial intelligence systems for detecting diabetic retinopathy: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes Res Clin Pract* 2023;205:110943. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2023.110943>.
28. Vilela MAP, Arrigo A, Parodi MB, Mengue C da S. Smartphone Eye Examination: Artificial Intelligence and Telemedicine. *Telemed J e-Health Off J Am Telemed Assoc* 2023. <https://doi.org/10.1089/tmj.2023.0041>.
29. Prayogo ME, Zaharo AF, Damayanti NNR, Widyaputri F, Thobari JA, Susanti VY, et al. Accuracy of Low-Cost, Smartphone-Based Retinal Photography for Diabetic Retinopathy Screening: A Systematic Review. *Clin Ophthalmol* 2023;17:2459–70. <https://doi.org/10.2147/OPTH.S416422>.
30. Lord RK, Shah VA, San Filippo AN, Krishna R. Novel uses of smartphones in ophthalmology. *Ophthalmology* 2010;117:1274-1274.e3. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.01.001>.
31. Russo A, Morescalchi F, Costagliola C, Delcassi L, Semeraro F. Comparison of smartphone ophthalmoscopy with slit-lamp biomicroscopy for grading diabetic retinopathy. *Am J Ophthalmol* 2015;159:360-4.e1. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2014.11.008>.
32. Ichhpujani P, Thakur S. Smartphones and Telemedicine in Ophthalmology, 2018, p. 247–55. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0140-7_11.
33. Bhat S, Bhaskaranand M, Ramachandra C, Margolis TP, Fletcher DA, Solanki K. Fully-automated Diabetic Retinopathy Screening Using Cellphone-based Cameras. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2015;56:1428.
34. Khurana RN, Hoang C, Khanani AM, Steklov N, Singerman LJ. A Smart Mobile Application to Monitor Visual Function in Diabetic Retinopathy and Age-Related Macular Degeneration: The CLEAR Study. *Am J Ophthalmol* 2021;227:222–30. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2021.03.033>.
35. Gross N, Bachmann LM, Islam M, Faes L, Schmid MK, Thiel MA, et al. Visual outcomes and treatment adherence of patients with macular pathology using a mobile hyperacuity home-monitoring app: a matched-pair analysis. *BMJ Open* 2021;11:e056940. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-056940>.
36. Rizvi A, Rizvi F, Lalakia P, Hyman L, Frasso R, Sztandera L, et al. Is Artificial Intelligence the Cost-Saving Lens to Diabetic Retinopathy Screening in Low- and Middle-Income Countries? *Cureus* 2023;15:e45539. <https://doi.org/10.7759/cureus.45539>.

Информация о статье

Конфликт интересов: авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов.

Финансирование: работа не имела финансовой поддержки со стороны третьих лиц.

Сведения об авторах

Андреев Дмитрий Анатольевич – канд. наук, ведущий научный сотрудник Государственного бюджетного учреждения города Москвы «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы», <https://orcid.org/0000-0003-0745-9474>

Камынина Наталья Николаевна – профессор, д-р мед. наук, заместитель директора по научной работе Государственного бюджетного учреждения города Москвы «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы», <https://orcid.org/0000-0002-0925-5822>

Для корреспонденции

Андреев Дмитрий Анатольевич
AndreevDA@zdrav.mos.ru

Article info

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Funding: the authors received no financial support for the research.

About the authors

Dmitry A. Andreev – PhD, Leading Researcher, State Budgetary Institution “Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management of Moscow Healthcare Department”, <https://orcid.org/0000-0003-0745-9474>

Natalya N. Kamynina – D.Sc. (Medicine), Professor, Deputy Director for Research of the State Budgetary Institution “Research Institute for Healthcare Organization and Medical Management of Moscow Healthcare Department” <https://orcid.org/0000-0002-0925-5822>

Corresponding author

Dmitry A. Andreev
AndreevDA@zdrav.mos.ru