

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКРИНИНГА ДИАБЕТИЧЕСКОЙ РЕТИНОПАТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Исмаилов А.У.¹, Юсупов А.Ф.², Каримова М.Х.³, Хусанбаев Х.Ш.⁴

1. Базовый докторант, Республиканский специализированный научно-практический центр микрохирургии глаза, Ташкент, Узбекистан, dr.anvar@outlook.com, +998(93)7443330, <https://orcid.org/0009-0003-8252-3146>
2. Доктор медицинских наук, профессор, директор Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, yafot@rambler.ru, +998(90)1859695, <https://orcid.org/0000-0002-4462-5091>
3. Доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной части Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, mkarimova2004@mail.ru, +998(90)1883861, <https://orcid.org/0000-0003-0268-7881>
4. PhD, витреоретинальный хирург Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра микрохирургии глаза, hasanjon77777@gmail.com, +998(90)7800091, <https://orcid.org/0000-0002-3171-8061>

Аннотация. Актуальность. Диабетическая ретинопатия (ДР) является специфическим микроангиопатическим поражением сетчатки и одной из ведущих причин необратимой слепоты среди лиц трудоспособного возраста. Ранняя диагностика ДР затруднена из-за дефицита профильных специалистов и ограниченной доступности офтальмологической помощи, что делает актуальным внедрение технологий искусственного интеллекта для автоматизации скрининга. **Цель исследования.** Оценить диагностическую эффективность системы искусственного интеллекта «Retina AI» при выявлении диабетической ретинопатии в условиях первичного звена здравоохранения Сырдарьинской области. **Материалы и методы.** В исследование включены 360 пациентов с сахарным диабетом 1-го и 2-го типа, длительностью заболевания не менее 5 лет. Всем участникам проведена двусторонняя цветная фундус-фотография с использованием ретинальной камеры OPTOMED Auroga IQ. Полученные изображения анализировались врачами первичного звена и системой «Retina AI». Референсным методом служило заключение экспертов-офтальмологов. Диагностическая эффективность оценивалась по чувствительности, специфичности, общей точности и коэффициенту каппа (κ). **Результаты.** Система «Retina AI» показала более высокие показатели чувствительности (92,3% против 74,5%; $p < 0,001$) и общей точности (91,6% против 79,3%; $p < 0,001$) по сравнению с врачами первичного звена. Коэффициент каппа составил 0,89, что соответствует «очень хорошему» уровню согласия с экспертами. Наибольшая диагностическая точность отмечена при выявлении микроаневризм, геморрагий и твердых экссудатов. **Заключение.** Использование системы «Retina AI» в условиях первичной медико-санитарной помощи обеспечивает высокую надежность диагностики ДР, снижает риск пропуска заболевания и позволяет оптимизировать скрининговые программы в регионах с дефицитом кадров.

Ключевые слова: искусственный интеллект, сахарный диабет, диабетическая ретинопатия, автоматизированная диагностика, скрининговые программы, сверточные нейронные сети, фундус-изображения.

Для цитирования:

Исмаилов А.У., Юсупов А.Ф., Каримова М.Х., Хусанбаев Х.Ш. Повышение эффективности скрининга диабетической ретинопатии с использованием технологий искусственного интеллекта. Передовая офтальмология. 2026;17(2):87-91.

SUN'IY INTELLEKT TEXNOLOGIYALARIDAN FOYDALANGAN HOLDA DIABETIK RETINOPATIYA SKRININGI SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Ismailov A.U.¹, Yusupov A.F.², Karimova M.X.³, Xusanbayev X.Sh.⁴

1. Tayanch doktorant, Respublika ixtisoslashtirilgan ko'z mikroxirurgiyasi ilmiy-amaliy tibbiyot markazi, dr.anvar@outlook.com, +998(93)7443330, <https://orcid.org/0009-0003-8252-3146>
2. Tibbiyot fanlari doktori, professor, Respublika ixtisoslashtirilgan ko'z mikroxirurgiyasi ilmiy-amaliy tibbiyot markazi direktori, yafot@rambler.ru, +998(90)1859695, <https://orcid.org/0000-0002-4462-5091>
3. Tibbiyot fanlari doktori, professor, Respublika ixtisoslashtirilgan ko'z mikroxirurgiyasi ilmiy-amaliy tibbiyot markazi direktorining ilmiy qism bo'yicha o'rinbosari, mkarimova2004@mail.ru, +998(90)1883861, <https://orcid.org/0000-0003-0268-7881>
4. PhD, vitreoretinal jarroh, Respublika ixtisoslashtirilgan ko'z mikroxirurgiyasi ilmiy-amaliy tibbiyot markazi, hasanjon77777@gmail.com, +998(90)7800091, <https://orcid.org/0000-0002-3171-8061>

Annotatsiya. Dolzarbligi. Diabetik retinopatiya (DR) qandli diabet bilan og'rig'an bemorlarda ko'rishning qaytarilmas darajada yo'qolishining asosiy sabablaridan biri hisoblanadi. Erta tashxislash ko'pincha mutaxassislar yetishmasligi va tibbiy yordamning cheklanganligi sababli qiyinlashadi. Shu bois DR skriningini avtomatlashtirishda sun'iy intellekt (SI) texnologiyalaridan foydalanish dolzarbdir. **Tadqiqot maqsadi.** O'zbekiston Respublikasi Sirdaryo viloyati birlamchi sog'liqni saqlash tizimi sharoitida diabetik retinopatiyani aniqlashda Retina AI sun'iy intellekt tizimining diagnostik samaradorligini baholash. **Materiallar va usullar.** Tadqiqotga 360 nafar 1- va 2-tur qandli diabet bilan og'rig'an, kasallik davomiyligi kamida 5 yil bo'lgan bemor jalb qilindi. Barcha ishtirokchilarga OPTOMED Aurora IQ retinal kamerasi yordamida rangli fundus-fotosuratlar olindi. Tasvirlar birlamchi bo'g'in shifokorlari hamda Retina AI tizimi tomonidan tahlil qilindi. Oftalmolog-ekspertlarning xulosasi "oltin standart" sifatida qabul qilindi. Diagnostik samaradorlik sezgirlik, xoslik, umumiy aniqlik va kappa koeffitsienti (κ) bo'yicha baholandi. **Natijalar.** Retina AI tizimi sezgirlik (92,3% ga nisbatan 74,5%; $p < 0,001$) va umumiy aniqlik (91,6% ga nisbatan 79,3%; $p < 0,001$) ko'rsatkichlari bo'yicha birlamchi bo'g'in shifokorlaridan ustunlik qildi. Kappa koeffitsienti 0,89 bo'lib, ekspertlar bilan "juda yaxshi" darajadagi moslikni ko'rsatdi. Eng yuqori aniqlik mikroanevrizmlar, gemorragiyalar va qattiq eksudatlar aniqlanishida qayd etildi. **Xulosa.** Retina AI tizimini birlamchi sog'liqni saqlash amaliyotiga joriy etish DRni ishonchli tashxislashni ta'minlaydi, kasallikni o'tkazib yuborish xavfini kamaytiradi va kadrlar yetishmovchiligi sharoitida skrining dasturlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt, qandli diabet, diabetik retinopatiya, avtomatlashtirilgan diagnostika, skrining dasturlari, konvolyutsion neyron tarmoqlari, fundus-tasvirlar.

Iqtibos keltirish uchun:

Ismailov A.U., Yusupov A.F., Karimova M.X., Xusanbayev X.Sh. Sun'iy intellekt texnologiyalaridan foydalangan holda diabetik retinopatiya skriningi samaradorligini oshirish. Ilg'or oftalmologiya. 2026;17(2):87-91.

ENHANCING THE EFFICIENCY OF DIABETIC RETINOPATHY SCREENING WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY

Ismailov A.U.¹, Yusupov A.F.², Karimova M.X.³, Khusanbaev Kh.Sh.⁴

1. Basic Doctoral student, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Eye Microsurgery, dr.anvar@outlook.com, +998(93)7443330, <https://orcid.org/0009-0003-8252-3146>

2. Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Eye Microsurgery, yafoft@rambler.ru, +998(90)1859695, <https://orcid.org/0000-0002-4462-5091>

3. Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Affairs of the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Eye Microsurgery, mkarimova2004@mail.ru, +998(90)1883861, <https://orcid.org/0000-0003-0268-7881>

4. PhD, vitreoretinal surgeon, Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery, hasanjon77777@gmail.com, +998(90)7800091, <https://orcid.org/0000-0002-3171-8061>

Abstract. Relevance. Diabetic retinopathy (DR) is a specific microangiopathic lesion of the retina and remains one of the leading causes of irreversible blindness among working-age individuals worldwide. Early diagnosis of DR is often hindered by a shortage of specialized ophthalmologists and limited access to eye care, which highlights the importance of artificial intelligence (AI) technologies for automated screening. **Purpose of the study.** To evaluate the diagnostic performance of the AI system Retina AI in detecting diabetic retinopathy in primary healthcare settings of the Syrdarya region, Uzbekistan. **Materials and methods.** The study included 360 patients with type 1 and type 2 diabetes mellitus, with disease duration of at least 5 years. All participants underwent bilateral color fundus photography using the OPTOMED Aurora IQ retinal camera. The images were analyzed by primary care physicians and by the automated Retina AI system. Expert ophthalmologists served as the reference standard. Diagnostic performance was assessed by sensitivity, specificity, overall accuracy, and Cohen's kappa (κ). **Results.** The Retina AI system demonstrated significantly higher sensitivity (92.3% vs. 74.5%; $p < 0.001$) and overall accuracy (91.6% vs. 79.3%; $p < 0.001$) compared to primary care physicians. The kappa coefficient was 0.89, indicating "very good" agreement with expert evaluations. The highest diagnostic accuracy was observed in detecting microaneurysms, hemorrhages, and hard exudates. **Conclusion.** Integration of Retina AI into primary healthcare practice ensures reliable detection of DR, reduces the risk of missed diagnoses, and optimizes screening programs in regions with limited ophthalmic resources.

Keywords: artificial intelligence, diabetes mellitus, diabetic retinopathy, automated diagnosis, screening programs, convolutional neural networks, fundus images.

For citation:

Ismailov A.U., Yusupov A.F., Karimova M.X., Khusanbaev Kh.Sh. Enhancing the efficiency of diabetic retinopathy screening with artificial intelligence technology. Advanced ophthalmology. 2026;17(2):87-91.

Актуальность. Диабетическая ретинопатия (ДР) — специфическое микроангиопатическое поражение сетчатки, которое выступает ведущей причиной необратимой слепоты среди лиц трудоспособного возраста во всём мире [1]. По международным оценкам, при стаже СД, превышающем 10 лет, вероятность развития ДР варьирует от 60 до 80% [4], что предвещает значительный прирост случаев ретинопатии с высоким риском потери зрения.

Ранние этапы прогрессирования ДР зачастую не сопровождаются клиническими симптомами, тогда как адекватная терапия на начальных стадиях позволяет в большинстве случаев предотвратить перманентное ухудшение зрительных функций [6]. Данный факт обуславливает первоочередную значимость хорошо организованных скрининговых программ, обеспечивающих своевременное обнаружение ретинальных изменений у больных СД.

Внедрение всеобщего скрининга ДР сопряжено с серьёзными препятствиями, особенно в условиях ограниченных ресурсов системы здравоохранения и нехватки профильных специалистов [2, 8]. Дефицит обученных офтальмологов, их преимущественное расположение в крупных региональных центрах, низкая доступность специализированной помощи для жителей сельской местности, а также высокая стоимость традиционной офтальмоскопии формируют значительные барьеры на пути своевременной диагностики [3].

В последние годы методы искусственного интеллекта (ИИ), прежде всего алгоритмы глубокого обучения, продемонстрировали высокий диагностический потенциал при обработке медицинских изображений, включая фотоснимки глазного дна [9]. Автоматизированные системы на основе ИИ способны выявлять признаки ДР с точностью, сравнимой с показателями врачей-офтальмологов в условиях контролируемых исследований [5, 7]. Это создаёт предпосылки для построения эффективных скрининговых моделей с передачей первичного анализа изображений автоматизированным системам, что приобретает особую ценность в регионах с выраженным дефицитом квалифицированных офтальмологов.

Цель исследования. Целью данного исследования явилась определение диагностической точности ИИ-системы «Retina AI» при обнаружении диабетической ретинопатии и связанных с ней признаков на основе цифровых изображений глазного дна, а также сопоставление её показателей с результатами оценки, выполненной медицинскими работниками первичного звена.

Материал и методы. Исследование проводилось на базе центральных районных поликлиник Боёвутского, Ок-олтинского, Сардо-

бинского районов и г. Гулистан Сырдарьинской области в первом квартале 2025 г. В исследование методом последовательного отбора вошли 360 пациентов с верифицированным диагнозом сахарного диабета (1-го или 2-го типа) и длительностью заболевания не менее 5 лет. Из числа участников исключались лица с непрозрачными оптическими средами, а также пациенты, у которых не удалось получить качественные фундус-изображения. Всем участникам проводилась двусторонняя цветная фундус-фотография центральной зоны сетчатки (полем обзора 30–50°) в условиях медикаментозного мидриаза с использованием ретинальной камеры OPTOMED Aurora IQ. Полученные снимки сохранялись в цифровом формате.

Для анализа изображения были переданы врачам первичного звена. Специалисты классифицировали каждый снимок по следующим категориям: «без признаков ДР», «непролиферативная ДР» (лёгкая, умеренная, тяжёлая), «пролиферативная ДР» либо «макулопатия» (клинически значимый диабетический макулярный отёк). Дополнительно фиксировалось наличие или отсутствие типичных ретинальных признаков: микроаневризмы, геморрагий, твёрдых и мягких экссудатов, интравитреальных микрососудистых аномалий (ИРМА), неоваскуляризации, фиброзных изменений и признаков макулярного отёка. Итоговое заключение формировалось по глазу с более тяжёлыми изменениями.

Аналогичный набор изображений был загружен в облачную платформу системы искусственного интеллекта «Retina AI». Данная система базируется на основе свёрточных нейронных сетей и прошла предварительное обучение на обширных массивах данных, размеченных экспертами. Автоматически сгенерированный отчёт включал: предполагаемую стадию ДР (аналогично рубрикам для врачей первичного звена), а также детекцию и локализацию конкретных патологических признаков ДР. В качестве референсного метода («золотого стандарта») выступила независимая оценка всех изображений двумя специалистами офтальмологами, обладающими значительным опытом диагностики ДР.

Оценка диагностической эффективности включала расчёт чувствительности и специфичности для каждого ключевого признака, общей точности, а также коэффициента каппа (κ) для измерения степени согласия с экспертным заключением. Для всех параметров вычисляли 95% доверительные интервалы, уровень статистической значимости принимали при $p < 0,05$.

Результаты. В исследование включено 360 пациентов (720 глаз), из которых 155 мужчин и 205 женщин. Средний возраст участников составил 59 лет. Сахарный диабет 2 типа диагностирован у

93% пациентов. Медианная длительность заболевания — 11 лет.

Согласно результатам исследования, система искусственного интеллекта «Retina AI» продемонстрировала статистически значимо более высокие показатели чувствительности (92,3% против 74,5%; $p < 0,001$) и общей точности (91,6% против 79,3%; $p < 0,001$) по сравнению с врачами первичного звена. Различия в специфичности не достигли статистической значимости (90,9% против 86,2%; $p = 0,12$). Коэффициент каппа (κ) для согласия системы «Retina AI» с экспертами составил 0,89, что соответствует «очень хорошему» уровню согласия. Для врачей первичного звена значение κ равнялось 0,68 («хорошее» согласие). Разница между коэффициентами ИИ и врачей была статистически значимой ($p < 0,001$).

Анализ выявления отдельных признаков ДР показал, что система «Retina AI» обеспечивает высокую точность по сравнению с референсным методом. Наиболее высокие значения чувствительности ($>90\%$) зафиксированы при детекции микроаневризм, геморрагий и твёрдых экссудатов. Чувствительность при выявлении клинически значимого макулярного отёка и признаков пролиферации также оставалась высокой ($>85\%$), превышая аналогичные показатели врачей первичного звена на 15–25%.

Полученные в условиях реальной клинической практики первичного звена Сырдарьинской области результаты свидетельствуют о высокой диагностической эффективности системы «Retina AI» при скрининге диабетической ретинопатии. Ключевым выводом является существенное превосходство ИИ в чувствительности и точности, это означает, что автоматизированная система пропускает значительно меньше случаев заболевания, что представляет собой критически важный параметр для любой скрининговой программы. Система ИИ позволяет с высокой степенью достоверности исключать ДР у пациентов с отрицательным результатом, потенциально снижая избыточную нагрузку на офтальмологов.

Высокий коэффициент каппа ($\kappa = 0,89$) между стадированием ДР, выполненным системой «Retina AI», и заключениями экспертов-офталь-

мологов подтверждает способность алгоритма не только обнаруживать патологию, но и достаточно точно определять степень её тяжести. Это имеет значение для стратификации пациентов по срочности направления к узкому специалисту.

Способность системы достоверно детектировать широкий спектр патологических изменений сетчатки — от ранних проявлений до угрожающих зрению осложнений — подчёркивает её комплексный характер и клиническую значимость. Преимущество искусственного интеллекта особенно выражено при выявлении трудноразличимых или легко упускаемых при несистематическом анализе изменений.

Заключение. Система искусственного интеллекта «Retina AI» показала высокую диагностическую эффективность в скрининге диабетической ретинопатии у пациентов Сырдарьинской области, достоверно превосходя врачей первичного звена по основным показателям точности.

Алгоритм обеспечивает высокую надёжность при определении стадий ДР, а также при выявлении конкретных патологических изменений сетчатки.

Интеграция технологии «Retina AI» в практику первичной медико-санитарной помощи Сырдарьинской области представляет собой научно обоснованное и высокоперспективное решение для оптимизации скрининга ДР. Ожидаемыми эффектами внедрения являются: увеличение охвата и своевременности диагностики ДР, рациональное распределение пациентов, направляемых к офтальмологу, за счёт точной стратификации по степени тяжести, снижение нагрузки на узких специалистов областного центра, а также повышение доступности офтальмологической помощи для жителей удалённых районов области.

Полученные данные подтверждают потенциал технологий искусственного интеллекта в качестве действенного инструмента преодоления ресурсных ограничений при организации специализированной медицинской помощи в регионах с дефицитом кадров, аналогичных Сырдарьинской области.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Зелинский С. С., Назарян Д. С., Удуд Е. А. Современные системы и сервисы: технологии искусственного интеллекта в медицине. Ответственный редактор. 2019: 43.
2. Barth, T., & Helbig, H. (2021). Diabetische Retinopathie [Diabetic retinopathy]. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 238(10), 1143–1159. <https://doi.org/10.1055/a-1545-9927>
3. Coney, J. M., & Scott, A. W. (2022). Racial disparities in the screening and treatment of diabetic retinopathy. *Journal of the National Medical Association*, 114(2), 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.jnma.2021.12.011>
4. Das, A., Stroud, S., Mehta, A., & Rangasamy, S. (2015). New treatments for diabetic retinopathy. *Diabetes, obesity & metabolism*, 17(3), 219–230. <https://doi.org/10.1111/dom.12384>
5. Ebner, A., & Zinkernagel, M. S. (2016). Novelty in Diabetic Retinopathy. *Endocrine development*, 31, 84–96. <https://doi.org/10.1159/000439391>
6. Fanguero, J. F., Silva, A. M., Garcia, M. L., & Souto, E. B. (2015). Current nanotechnology approaches for the treatment and

management of diabetic retinopathy. European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics : official journal of Arbeitsgemeinschaft fur Pharmazeutische Verfahrenstechnik e.V, 95(Pt B), 307–322. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2014.12.023>

7. Thommen, F., & Tran, B. K. (2022). Ophtalmologie [Major advancement in Ophthalmology in 2021]. *Revue medicale suisse*, 18(767), 187–189. <https://doi.org/10.53738/REVMED.2022.18.767.187>

Заявление:

А. — Конфликта интересов нет.

Б. — Это исследование не получило какого-либо конкретного гранта от финансирующих агентств в государственном, коммерческом или некоммерческом секторах.

Авторский вклад:

Юсупов А.Ф. - разработка концепции и окончательное одобрение версии работы для публикации.

Каримова М.Х. - редактирование с целью повышения ее научной значимости.

Исмаилов А.У. - сбор, анализ, интерпретация полученных данных.