



¹ «Диджитал Вижн Солюинс», проект RETINA AI, Москва

² Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

³ Московский областной научно-исследовательский институт им. М.Ф. Владимирского

Программа скрининга диабетической ретинопатии на основе алгоритмов искусственного интеллекта

Ю.В. Владимирова¹, М.И. Тюриков^{1, 2}, И.А. Лоскутов, д.м.н.³,
Е.А. Каталевская, к.м.н.¹

Адрес для переписки: Игорь Анатольевич Лоскутов, loskoutigor@mail.ru

Для цитирования: Владимирова Ю.В., Тюриков М.И., Лоскутов И.А., Каталевская Е.А. Программа скрининга диабетической ретинопатии на основе алгоритмов искусственного интеллекта. Эффективная фармакотерапия. 2024; 20 (15): 60–63.

DOI 10.33978/2307-3586-2024-20-15-60-63

С помощью алгоритмов искусственного интеллекта разработана программа скрининга диабетической ретинопатии. Программа предназначена для проведения массовых скрининговых офтальмологических обследований пациентов с сахарным диабетом и эффективного построения их маршрутизации в зависимости от степени тяжести заболевания.

Ключевые слова: диабетическая ретинопатия, сахарный диабет, искусственный интеллект, офтальмологический скрининг

Актуальность

Разработка скрининговых методов выявления различных социально значимых заболеваний является важнейшим направлением в области медицины. На современном этапе, когда на фоне увеличения продолжительности жизни наблюдается тенденция к распространению факторов риска, таких как неправильное питание, вредные привычки, снижение физической активности, особое внимание уделяется патологии органа зрения. Одна из основных причин потери зрения – офтальмологическое осложнение сахарного диабета (СД) – диабетическая ретинопатия (ДР) [1].

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2016 г. в мире было зарегистрировано 422 млн человек с СД. По прогнозам, к 2040 г. их число достигнет 645 млн [2, 3]. В 2020 г. в мире пациентов с ДР насчитывалось 103,12 млн, а с угрожающей зрению ДР – 28,54 млн. Ожидается, что к 2045 г. эти показатели достигнут 60,5 и 44,82 млн соответственно [4]. Такая неутешительная статистика требует разработки эффективных средств для быстрой диагностики ДР и их внедрения в медицинские информационные системы.

В Глобальном докладе ВОЗ по диабету 2018 г. [5] и Всемирном докладе о проблемах зрения [6] подчеркивается важность скрининга ДР как средства профилактики слепоты и нарушения зрения. По мнению экспертов ВОЗ, скрининг ДР также одна из эффективных мер борьбы с неинфекционными

заболеваниями (WHO, 2017). В России, согласно данным Федерального регистра пациентов с сахарным диабетом за период с 2013 по 2016 г., максимальная распространенность пациентов с ДР на 10 тыс. населения отмечалась в Севастополе, Курской области и Чувашской Республике, минимальная – в республиках Кабардино-Балкария и Северная Осетия – Алания [7]. Очевидно, данное обстоятельство связано не только с разной плотностью населения в указанных регионах, но также с оснащением кабинетов врачей-офтальмологов (отсутствие возможности высокого охвата населения скринингом по ДР) и недостаточной приверженностью лечению обратившихся за офтальмологической помощью пациентов.

Во многих европейских странах скрининг на наличие ДР проводится нерегулярно, что в конечном итоге ложится тяжелым экономическим бременем на систему здравоохранения из-за высокого количества вовремя не обследованных пациентов с ДР, угрожающей зрению.

Согласно данным ВОЗ по скринингу ДР, наиболее доступным и эффективным методом диагностики считается фотографирование глазного дна с последующим анализом изображений в референсном центре [6]. В связи с этим актуальной является разработка программ анализа фотографий глазного дна и диагностики ДР с использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ). Применение таких программ позволит автоматизировать процесс



Таблица 1. Критерии классификации ДР для обучения программы ИИ

Уровень угрозы зрению	Стадия ДР согласно Международной классификации [14]	Наличие признаков ДР
Зеленый	Явной ДР нет	Признаки ДР и ДМО отсутствуют
Желтый (не угрожающая зрению ДР)	Легкая непролиферативная ДР. Умеренная непролиферативная ДР без признаков клинически значимого макулярного отека	Микроаневризмы, интратетинальные геморрагии (но менее 20 в каждом квадранте сетчатки), мягкие экссудаты, твердые экссудаты (но без признаков клинически значимого макулярного отека), венозные аномалии (но менее чем в двух квадрантах сетчатки)
Красный (угрожающая зрению ДР)	Тяжелая непролиферативная ДР. Пролиферативная ДР	Наличие всех признаков, указанных для желтого уровня, плюс количество интратетинальных геморрагий 20 и более в каждом квадранте сетчатки, венозные аномалии (в двух квадрантах), неоваскуляризация сетчатки и/или диска зрительного нерва, преретинальная геморрагия

скрининга ДР, снизить нагрузку на первичное звено системы здравоохранения и сделает скрининг доступным широким слоям населения.

В настоящее время множество исследований так или иначе посвящены разработке и тестированию в клинических условиях алгоритмов ИИ для диагностики ДР [8–11]. В мировой офтальмологической практике активно используются скрининговые программы ИИ для диагностики ДР. Первая из них – iDx-DR компании Digital Diagnostics была одобрена Управлением по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств США (FDA) в 2018 г. В 2019 г. Американская ассоциация диабетологов включила данную программу в обязательные стандарты обследования пациентов с СД. В 2020 г. iDx-DR уже стала частью программы медицинского страхования США Medicare [12]. Еще одна известная в общемировой офтальмологической практике программа – EyeArt компании Eyeup была одобрена FDA в 2020 г. и направлена на анализ изображений с различных типов фундус-камер. В настоящее время EyeArt применяется в системах здравоохранения более чем 13 стран [13]. Цель – разработка и валидация программы скрининга диабетической ретинопатии на основе алгоритмов искусственного интеллекта.

Материал и методы

В качестве обучающей и валидационной баз данных использовались фотографии глазного дна пациентов с ДР и диабетическим макулярным отеком, а также фотографии глаз без патологических изменений, выполненные с помощью фундус-камеры. Объем обучающей базы составил 20 000 фотографий, объем валидационной базы – 1000 фотографий. Разметка данных проводилась вручную врачами-офтальмологами с последующей двойной верификацией. Все фотографии классифицировались по наличию

и степени выраженности диабетических изменений на глазном дне. Критерии классификации разрабатывались на основании Международной классификации ДР [14], определения клинически значимого макулярного отека (КЗМО), с учетом критериев ETDRS [15], а также определения угрожающей зрению ДР, включающей стадии тяжелой непролиферативной ДР, пролиферативной ДР и КЗМО [16–18].

Наличие угрожающей зрению ДР соответствовало красному уровню угрозы зрению. Критерии классификации изображений представлены в табл. 1.

В качестве архитектуры нейронной сети была выбрана EfficientNetV2 [19] в модификации EfficientNetV2B0, которая является вариантом с наименьшим количеством параметров. Семейство архитектур EfficientNet [20] отличается относительно высокой точностью классификации при сохранении небольшого количества параметров. EfficientNetV2 представляет собой итеративное улучшение архитектуры с меньшим временем обработки изображения и более высокой точностью. Перед обработкой нейронными сетями снимки проходят предварительную обработку, которая заключается в увеличении контраста зеленого канала снимка как несущего наибольшее количество информации, нормализации значений каналов в диапазоне 0–255 для повышения однородности между различными снимками и увеличении резкости снимков.

В ходе валидации алгоритмов ИИ вычислялись следующие параметры:

- ✓ количество истинных положительных срабатываний – TP (true positives);
- ✓ количество истинных отрицательных срабатываний – TN (true negatives);
- ✓ количество ложных положительных срабатываний – FP (false positives);
- ✓ количество ложных отрицательных срабатываний – FN (false negatives).

Таблица 2. Показатели точности, чувствительности и специфичности алгоритма ИИ в выявлении ДР, %

Признак	Точность	Чувствительность	Специфичность
Отсутствие ДР	96,8	93,9	98,9
Не угрожающая зрению ДР	83,9	81,8	94,0
Угрожающая зрению ДР	95,4	95,8	93,3



Рис. 1. Программа автоматизированного скрининга: глазное дно без признаков ДР

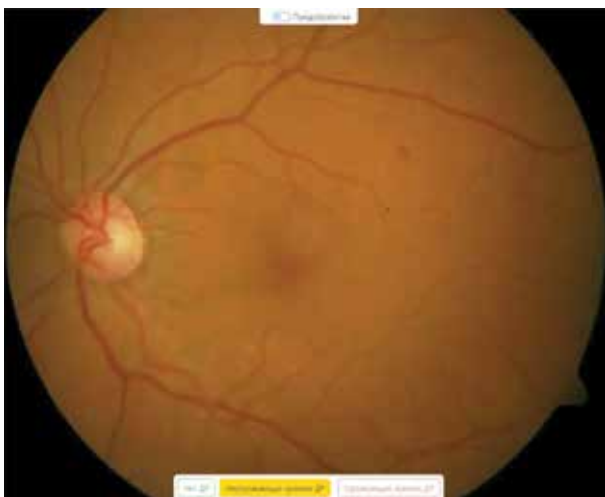


Рис. 2. Программа автоматизированного скрининга: глазное дно с признаками умеренной непролиферативной ДР



Рис. 3. Программа автоматизированного скрининга: глазное дно с признаками пролиферативной ДР

Исходя из перечисленных параметров, рассчитывались следующие метрики работы алгоритмов ИИ:

- ✓ точность срабатывания (accuracy) – процент правильно идентифицированных положительных и отрицательных случаев;
- ✓ чувствительность (recall) – процент правильно предсказанных положительных случаев из всех положительных случаев;
- ✓ специфичность (specificity) – процент правильно предсказанных отрицательных случаев из всех отрицательных случаев.

Показатели точности, чувствительности и специфичности рассчитывались отдельно для каждого уровня классификатора.

Результаты и обсуждение

Программа автоматизированного скрининга ДР продемонстрировала высокие показатели чувствительности, специфичности и точности. Следует отметить, что наиболее высокие метрики получены при диагностике крайних состояний – угрожающей зрению ДР и отсутствии ДР. Количество позитивных и негативных ложных срабатываний было минимальным. Более сложной задачей для нейросети оказалось выявление промежуточных стадий, соответствующих не угрожающей зрению ДР. Показатели работы программы ИИ представлены в табл. 2. Для повышения точности выявления промежуточных стадий ДР необходимо наряду с нейросетью-классификатором использовать нейросеть, предназначенную для сегментации отдельных признаков ДР.

На рисунках 1–3 представлены примеры работы программы скрининга ДР: анализ фотографии глазного дна без проявлений ДР – в пользовательском интерфейсе отразилась информация об отсутствии ДР (рис. 1); анализ фотографии глазного дна с признаками умеренной непролиферативной ДР: микроаневризмы, единичные интравитреальные геморрагии, единичные твердые экссудаты, признаки КЗМО отсутствуют – в пользовательском интерфейсе отражена информация о наличии не угрожающей зрению ДР (рис. 2); анализ фотографии глазного дна с признаками пролиферативной ДР: множественные микроаневризмы, интравитреальные геморрагии, твердые и мягкие экссудаты, неоваскуляризация диска зрительного нерва, признаки КЗМО – программа ИИ классифицировала данное изображение как угрожающую зрению ДР (рис. 3).

Необходимо отметить, что программы с использованием ИИ не могут заменить мнение врача-специалиста, поскольку в любой программе ИИ будет присутствовать эффект «черного ящика». Поэтому при расхождении заключений программы и мнения врача-офтальмолога последнее слово остается за врачом. Выявление признаков КЗМО на фотографиях глазного дна считается ориентировочным методом. Референсным методом диагностики данной патологии, безусловно, является оптическая когерентная томография.

Автоматизированный скрининг ДР выполняет функцию поддержки принятия врачебных решений, позволяет делегировать часть работы врача-



офтальмолога среднему медицинскому персоналу и эффективно распределять потоки пациентов в зависимости от тяжести выявленной ДР.

Заключение

Программа скрининга ДР, разработанная на основе алгоритмов ИИ, продемонстрировала вы-

сокие показатели точности работы. Программа предназначена для проведения массовых скрининговых офтальмологических обследований пациентов с сахарным диабетом и может помочь эффективно построить их маршрутизацию в зависимости от степени тяжести заболевания. ●

Литература

1. Amoaku W.M., Ghanchi F., Bailey C., et al. Diabetic retinopathy and diabetic macular oedema pathways and management: UK Consensus Working Group. *Eye* (Lond). 2020; 34 (Suppl 1): 1–51.
2. Global report on diabetes (WHO). 2016; 83 // www.who.int/diabetes/global-report/ru/
3. Ogurtsova K., da Rocha Fernandes J.D., Huang Y., et al. IDF diabetes atlas: global estimates for the prevalence of diabetes for 2015 and 2040. *Diabetes Res. Clin. Pract.* 2017; 128: 40–50.
4. Teo Z.L., Tham Y.C., Yu M., et al. Global prevalence of diabetic retinopathy and projection of burden through 2045: systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2021; 128 (11): 1580–1591.
5. Глобальный доклад по диабету (Global report on diabetes). Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2018. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
6. Diabetic retinopathy screening: a short guide. Increase effectiveness, maximize benefits and minimize harm. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2020; 85.
7. Липатов Д.В., Викулова О.К., Железнякова А.В. и др. Эпидемиология диабетической ретинопатии в Российской Федерации по данным Федерального регистра пациентов с сахарным диабетом (2013–2016 гг.). *Сахарный диабет*. 2018; 21 (4): 230–240.
8. Haddock L.J., Kim D.Y., Mukai S. Simple, inexpensive technique for high-quality smartphone fundus photography in human and animal eyes. *J. Ophthalmol.* 2013; 2013: 518479.
9. Heydon P., Egan C., Bolter L., et al. Prospective evaluation of an artificial intelligence-enabled algorithm for automated diabetic retinopathy screening of 30 000 patients. *Br. J. Ophthalmol.* 2021; 105 (5): 723–728.
10. Ming S., Xie K., Lei X., et al. Evaluation of a novel artificial intelligence-based screening system for diabetic retinopathy in community of China: a real-world study. *Int. Ophthalmol.* 2021; 41 (4): 1291–1299.
11. Нероев В.В., Брагин А.А., Зайцева О.В. Разработка прототипа сервиса для диагностики диабетической ретинопатии по снимкам глазного дна с использованием методов искусственного интеллекта. *Национальное здравоохранение*. 2021; 2 (2): 64–72.
12. Digital diagnostics. IDx-DR // www.digitaldiagnostics.com/products/eye-disease/idx-dr/
13. EYENUK. Immediate, fully-automated, on-site diabetic retinopathy screening // www.eyenuk.com/en/products/eyear/
14. ICO guidelines for diabetic eye care, 2017; 34 // www.urmc.rochester.edu/MediaLibraries/URMCMedia/eye-institute/images/ICOPH.pdf
15. Photocoagulation for diabetic macular edema. Early treatment diabetic retinopathy study report number 1. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study research group. *Arch. Ophthalmol.* 1985; 103 (12): 1796–1806.
16. Ikram M., Xie J., Cotch M.F., Klein B. Vision-threatening diabetic retinopathy and incident cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2013; 54 (15): 2174–2174.
17. Kaushik M., Nawaz S., Qureshi T.S. Profile of sight-threatening diabetic retinopathy and its awareness among patients with diabetes mellitus attending a tertiary care center in Kashmir, India. *Indian J. Ophthalmol.* 2021; 69 (11): 3123–3130.
18. Alemu Mersha G., Tsegaw Woredikal A., Tilahun Tesfaw M. Sight-threatening diabetic retinopathy and associated risk factors among adult diabetes patients at Debre Tabor General Hospital, Northwest Ethiopia. *Clin. Ophthalmol.* 2020; 14: 4561–4569.
19. arxiv.org/abs/2104.00298.
20. arxiv.org/abs/1905.11946.

Diabetic Retinopathy Screening Program Based on Artificial Intelligence Algorithms

Yu.V. Vladimirova¹, M.I. Tyurikov^{1,2}, I.A. Loskutov, PhD³, Ye.A. Katalevskaya, PhD¹

¹ Digital Vision Solutions, RETINA AI Project, Moscow

² R.Ye. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University

³ M.F. Vladimirsky Moscow Regional Scientific Research Institute

Contact person: Igor A. Loskutov, loskoutigor@mail.ru

A screening program for diabetic retinopathy has been developed using artificial intelligence algorithms. The program is designed to conduct mass screening ophthalmological examinations of patients with diabetes mellitus and effectively build their routing depending on the severity of the disease.

Keywords: diabetic retinopathy, diabetes mellitus, artificial intelligence, ophthalmological screening