

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

Изучение возможностей программы искусственного интеллекта в диагностике заболеваний макулярной области

М.Р. Хабазова¹, Е.Н. Пономарева¹, И.А. Лоскутов², Е.А. Каталевская³,
А.Ю. Сизов^{3, 4}, Г.М. Габараев¹

¹ Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, Москва, Россия;

² Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского, Москва, Россия;

³ ООО «Диджитал Вижн Солюшнс», Москва, Россия;

⁴ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Заболевания макулярной области представляют собой большую группу патологических состояний, приводящих к потере зрения и слабовидению. Ранняя диагностика таких изменений играет большую роль в выборе тактики лечения и является одной из определяющих в прогнозировании результатов.

Цель — изучить возможности программы искусственного интеллекта в диагностике заболеваний макулярной области на основе анализа сканов структурной оптической когерентной томографии.

Материалы и методы. В исследование были включены пациенты, проходившие обследование и лечение в Федеральном научно-клиническом центре специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий и Московского областного научно-исследовательского клинического института им. М.Ф. Владимирского. Обследовано 200 глаз с заболеваниями макулярной области, а также глаза без макулярной патологии. Проведён сравнительный клинический анализ сканов структурной оптической когерентной томографии, выполненных на офтальмологическом томографе RTVue XR 110-2. Для анализа сканов оптической когерентной томографии использовалось программное обеспечение Retina.AI.

Результаты. В ходе анализа сканов оптической когерентной томографии с помощью программы были выявлены различные патологические структуры макулярной области, а затем сформулировано заключение о вероятной патологии. Полученные результаты сравнивались с заключениями врачей-офтальмологов. Чувствительность метода составила 95,16%; специфичность — 97,76%; точность — 97,38%.

Заключение. Платформа Retina.AI позволяет офтальмологам успешно проводить автоматизированный анализ сканов структурной оптической когерентной томографии и выявлять различные патологические состояния глазного дна.

Ключевые слова: оптическая когерентная томография; искусственный интеллект; витреомакулярный интерфейс; диагностика; диабетический макулярный отёк; возрастная макулярная дегенерация.

Как цитировать:

Хабазова М.Р., Пономарева Е.Н., Лоскутов И.А., Каталевская Е.А., Сизов А.Ю., Габараев Г.М. Изучение возможностей программы искусственного интеллекта в диагностике заболеваний макулярной области // Digital Diagnostics. 2024. Т. 5, № 1. С. 17–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

Exploring the possibilities of an artificial intelligence program in the diagnosis of macular diseases

Margarita R. Khabazova¹, Elena N. Ponomareva¹, Igor A. Loskutov², Evgenia A. Katalevskaya³, Aleksandr Yu. Sizov^{3, 4}, Georgy M. Gabaraev¹

¹ Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies, Moscow, Russia;

² Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia;

³ Digital Vision Solutions LLC, Moscow, Russia;

⁴ Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Macular diseases are a large group of pathological conditions that cause vision loss and visual impairment. Early diagnosis of such changes plays an important role in treatment selection and is one of the crucial factors in predicting outcomes.

AIM: To examine the potential of an artificial intelligence program in the diagnosis of macular diseases using structural optical coherence tomography scans.

MATERIALS AND METHODS: The study included patients examined and treated at the Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies and Moscow Regional Research and Clinical Institute. In total, 200 eyes with macular diseases were examined, as well as eyes without macular pathologies. A comparative clinical analysis of structural optical coherence tomography scans obtained using an RTVue XR 110-2 tomograph was conducted. The Retina.AI software was used to analyze optical coherence tomography scans.

RESULTS: In the analysis of optical coherence tomography scans using Retina.AI, various pathological structures of the macula were identified, and a probable pathology was then determined. The results were compared with the diagnoses made by ophthalmologists. The sensitivity, specificity, and accuracy of the method were 95.16%, 97.76%, and 97.38%, respectively.

CONCLUSION: Retina.AI allows ophthalmologists to automatically analyze optical coherence tomography scans and identify various pathological conditions of the fundus.

Keywords: optical coherence tomography; artificial intelligence; diagnosis; macular edema; age-related macular degeneration.

To cite this article:

Khabazova MR, Ponomareva EN, Loskutov IA, Katalevskaya EA, Sizov AYU, Gabaraev GM. Exploring the possibilities of an artificial intelligence program in the diagnosis of macular diseases. *Digital Diagnostics*. 2024;5(1):17–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

人工智能程序在黄斑疾病诊断中的可行性研究

Margarita R. Khabazova¹, Elena N. Ponomareva¹, Igor A. Loskutov²,
Evgenia A. Katalevskaya³, Aleksandr Yu. Sizov^{3,4}, Georgy M. Gabaraev¹

¹ Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies, Moscow, Russia;

² Moscow Regional Research and Clinical Institute, Moscow, Russia;

³ Digital Vision Solutions LLC, Moscow, Russia;

⁴ Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

摘要

论证。黄斑疾病是一大类病症。它们会导致视力丧失和视力低下。对这些病变的早期诊断对治疗策略的选择起着重要作用，它是疗效预测的决定性因素之一。

目的。本研究的目的是研究人工智能程序在基于对结构光学相干断层扫描图片的分析诊断黄斑疾病方面的可行性。

材料与方法。本研究对象包括在俄罗斯联邦医疗和生物局联邦专业医疗救护和医疗技术科学与临床中心以及以M. F. 弗拉基米尔斯基莫斯科州临床研究所接受检查和治疗的患者。对200只有黄斑病变的眼和无黄斑病变的眼进行了检查。对RTVue XR 110-2眼科断层扫描仪上的结构光学相干断层扫描进行了临床对比分析。利用Retina.AI软件对光学相干断层扫描进行分析。

结果。使用该程序分析光学相干断层扫描图片时，确定了黄斑区的各种病理结构。此外，还得出了关于可能病理的结论。对获得的结果与眼科医生的结论进行了比较。该方法的灵敏度为95.16%；特异性为97.76%；准确率为97.38%。

结论。Retina.AI平台使眼科医生能够成功地对结构光学相干断层扫描图片进行自动分析，并检测眼底的各种病理状态。

关键词：光学相干断层扫描；人工智能；玻璃体黄斑界面；诊断；糖尿病性黄斑水肿；老年性黄斑变性。

引用本文：

Khabazova MR, Ponomareva EN, Loskutov IA, Katalevskaya EA, Sizov AY, Gabaraev GM. 人工智能程序在黄斑疾病诊断中的可行性研究. *Digital Diagnostics*. 2024;5(1):17–28. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD624131>

收到: 30.11.2023

接受: 02.02.2024

发布日期: 11.03.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, около 2,2 млрд человек в мире страдают нарушением зрения, большую группу составляют пациенты старше 50 лет [1]. Заболевания макулярной области, в особенности возрастная макулярная дегенерация (ВМД) и диабетический макулярный отёк (ДМО), занимают немалую часть среди причин необратимой слепоты и слеповидения [2].

На 2020 год в мире насчитывалось 196 миллионов пациентов с ВМД, и ожидается, что к 2040 году данная цифра достигнет 288 миллионов человек [3]. Клинически ВМД может проявляться отложениями друзеноидного материала, изменениями пигментного эпителия сетчатки, макулярной неоваскуляризацией, экссудацией и кровоизлияниями. На поздних стадиях отмечается географическая атрофия пигментного эпителия сетчатки [4]. Указанные проявления заболевания приводят к выраженным нарушениям со стороны органа зрения.

Количество пациентов, страдающих сахарным диабетом, неуклонно растёт. Вместе с этим наблюдается рост проявлений данного заболевания со стороны органа зрения. Прогнозируется, что к 2045 году число случаев диабетической ретинопатии (ДР) возрастёт до 160,50 млн, при этом количество пациентов с угрожающей зрению ДР достигнет 44,82 млн [5]. ДМО, встречающийся на различных стадиях ДР, является наиболее распространённой причиной потери зрения у пациентов с диабетом и ежегодно поражает почти 75 000 новых пациентов в Соединённых Штатах Америки [6]. Наблюдается прямая зависимость между частотой встречаемости ДМО и тяжестью ДР, 70% приходится на её пролиферативную стадию. Среди пациентов с сахарным диабетом 1-го типа у 27% ДМО развивается в течение 9 лет от начала заболевания [7]. В России насчитывается более 630 000 пациентов с различными стадиями ДР, при этом их распространённость среди пациентов с сахарным диабетом 1-го типа вдвое выше [8].

Четвёртое место среди заболеваний макулярной области, угрожающих снижением остроты зрения, занимает центральная серозная хориоретинопатия, характеризующаяся серозной отслойкой нейроэпителия, возникающей над зоной просачивания из хориокапилляров. Согласно исследованиям, частота встречаемости центральной серозной хориоретинопатии составляет 9,9 случая на 100 000 населения. Процесс чаще односторонний, но в 40% случаев наблюдается билатеральное поражение [9]. Хронизация процесса происходит в 5% случаев, тогда как рецидивы центральной серозной хориоретинопатии отмечаются у 30–50% пациентов в течение 12 месяцев [10].

Аномалии витреомакулярного интерфейса включают в себя сквозные и ламеллярные макулярные разрывы, витреомакулярную тракцию и эпиретинальную мембрану.

В ряде случаев изменения витреомакулярного интерфейса могут не вызывать выраженных функциональных нарушений, но при значительном воздействии на макулярную область отмечаются симптомы, сопровождающиеся значительным ухудшением зрения и негативно влияющие на качество жизни пациента. Распространённость макулярных разрывов составляет 3,3 случая на 1000 пациентов старше 55 лет [11]. Данные ежегодной заболеваемости варьируют от 4,71 до 8,5 человека на 100 000, согласно данным различных авторов [12].

В ходе 20-летнего наблюдения BDES (the Beaver Dam Eye Study) с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) было установлено, что распространённость эпиретинальной мембраны составляет 34,1%. Несмотря на различный патогенез заболевания, клинические проявления могут быть идентичными. Эпиретинальная мембрана может возникать как идиопатическое заболевание и в качестве сопутствующей патологии на фоне предшествующих офтальмологических заболеваний, таких как ДР, окклюзия вен сетчатки, перенесённая ранее операция удаления катаракты [13]. Возникновение эпиретинальной мембраны, не сопровождающееся задней отслойкой стекловидного тела, предрасполагает к формированию макулярного отёка и ламеллярного макулярного разрыва, обусловленного тангенциальным тракционным синдромом [14].

В настоящее время, когда продолжительность жизни населения увеличивается, особенно актуально раннее выявление заболеваний, развивающихся с возрастом. Известно, что своевременное выявление заболевания играет важную роль в лечении и является одним из основных этапов снижения уровня заболеваемости. Поскольку ДМО и ВМД остаются ведущими причинами снижения остроты зрения, регулярный офтальмологический скрининг на данные патологии необходим для выявления пациентов, нуждающихся в специализированном офтальмологическом лечении. Такая тактика позволит предотвратить развитие слепоты на ранних этапах [15]. Своевременное начало лечения часто является залогом благоприятного исхода с положительными морфологическими и функциональными результатами (в первую очередь, остротой зрения).

Терапия ингибиторами фактора роста эндотелия сосудов (анти-VEGF) — золотой стандарт лечения неоваскулярной формы ВМД и ДМО [16]. На сегодняшний день существуют различные протоколы ведения пациентов с указанными заболеваниями. Во всех предложенных протоколах используется оценка проводившегося лечения, основанная на клинических исследованиях и данных ОКТ, которая требует регулярности проведения. В настоящее время ОКТ является наиболее информативным и широко применяемым методом диагностики патологии сетчатки и обеспечивает точный мониторинг в ходе терапии. На базе данных ОКТ не только производится оценка настоящего состояния макулярной области,

но и подбирается необходимая в данном конкретном случае тактика лечения.

Рост числа пациентов с заболеваниями макулярной области, которые нуждаются в регулярных офтальмологических обследованиях, создаёт ощутимую нагрузку на систему здравоохранения. Необходимость за ограниченный период времени провести диагностику большого количества пациентов, оценить полученные данные и определить тактику лечения требует значительных трудовых и временных ресурсов, что может создать их некоторый дефицит. Решение данной проблемы возможно в разработке и внедрении в клиническую практику новых инновационных методов анализа офтальмологических изображений и использование технологий искусственного интеллекта (ИИ) [17].

Благодаря развитию методов ИИ в настоящее время существует целое направление, занимающееся разработкой и внедрением интеллектуальных систем в деятельность врача. В России на период до 2030 года утверждена Национальная стратегия развития ИИ¹.

В России и во всём мире ведутся работы по созданию и валидации в клинической практике программ ИИ для диагностики патологии сетчатки. Авторы проекта компании Google DeepMind (Англия, США) провели исследование на широком спектре изображений, взятых из клинической практики 32 офтальмологических клиник, которые охватывали различные группы населения. Результат диагностики изображений может быть использован для количественной оценки морфологии сетчатки и получения результатов измерений конкретных патологий. Программа компании способна сортировать снимки с высокой эффективностью, соответствующей или превосходящей специалистов. Авторы работы проводили исследование на 53 патологиях, относящихся к национальным направлениям. Согласно их заключению, они представили новую систему, способную качественно и эффективно анализировать клинические ОКТ-снимки и давать рекомендации. В будущем они планируют сосредоточиться на большем количестве клинических патологий и расширить спектр своей работы.

Программа RetInSight, разработанная сотрудниками Венского университета (Австрия) под руководством профессора U. Schmidt-Erfurth, предназначена для мониторинга эффективности лечения неоваскулярной формы ВМД при помощи алгоритмов ИИ. Программа основана на принципе сегментации интравитреальной и субретинальной жидкости, а также отслойки ретинального пигментного эпителия, с динамической оценкой объёмов перечисленных структур [18].

Чикагская компания Altris Inc. (США) анонсировала запуск программы Altris AI, предназначенной для автоматического анализа ОКТ-сканов. Согласно данным,

представленным разработчиками, облачная платформа обеспечивает быстрый анализ и визуализацию 100 патологий и патологических признаков, включая редкие. Заложенные алгоритмы способны диагностировать глаукому, ВМД, ДР и другие заболевания сетчатки. Пользователям доступны модули, осуществляющие скрининг, сегментацию/классификацию и отчёты [19].

В работе Б.Э. Малюгина и соавт. [20] внимание уделяется созданию алгоритма автоматизированного обнаружения биомаркёров эффективности анти-VEGF-терапии у пациентов в ВМД. Было выделено 7 биомаркёров: отслойка пигментного эпителия, пигментный эпителий, субретинальная жидкость, интравитреальная жидкость, эллипсоидная зона, слой нервных волокон сетчатки, субретинальный гиперрефлективный материал. Для отслойки пигментного эпителия сетчатки индекс Дайса составил 0,8, для пигментного эпителия и субретинальной жидкости — 0,4, а для остальных биомаркёров — от 0,3 до 0,15. В дальнейшем планируется расширение набора данных для обучения и повышение точности работы [20].

ЦЕЛЬ

Изучение возможностей программы ИИ в диагностике макулярной патологии на основе анализа сканов структурной ОКТ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Сканы структурной ОКТ, представленные для исследования, были получены на офтальмологическом томографе RTVue XR 110-2 (Optovue, США). Для анализа сканов ОКТ использовалось программное обеспечение для работы с цифровыми медицинскими изображениями на основе алгоритмов ИИ Retina.AI (ООО «Диджитал Вижн Солюшнс», Россия). Исследование проводилось согласно дизайну не меньшей эффективности и представляло собой одноцентровое ретроспективное наблюдательное выборочное неконтролируемое исследование.

Критерии соответствия

Критерии включения:

- ранее установленный диагноз «диабетический макулярный отёк», возрастная макулярная дегенерация (сухой и экссудативной форм), центральная серозная хориопатия, витреомакулярный тракционный синдром (витреомакулярной тракции, эпиретинальной мембраны, сквозного и ламеллярного макулярных разрывов);
- сниженная острота центрального зрения и подозрение на наличие патологии макулярной области.

¹ Указ Президента Российской Федерации № 490 от 10 октября 2019 г. «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731>

Критерии исключения:

- невозможность проведения ОКТ вследствие выраженного нарушения прозрачности оптических сред (помутнение роговицы, зрелая катаракта, гифема, гемофтальм и др.);
- невозможность фиксации взгляда пациента (нистагм, паркинсонизм и др.).

Анализ в подгруппах

В исследовании участвовало 129 пациентов, средний возраст составил 65,9 года. Женщины составили 55,8% (72 человека) общего числа участников, мужчины — 44,2% (57 человек). Было обследовано 200 глаз со следующими нозологиями:

- диабетический макулярный отёк;
- кистозный макулярный отёк;
- ВМД (макулярная неоваскуляризация, ретинальные друзы);
- центральная серозная хориопатия;
- витреомакулярный тракционный синдром;
- сквозной макулярный разрыв;
- ламеллярный макулярный разрыв;
- эпиретинальная мембрана.

Были обследованы также глаза без макулярной патологии. Распределение по нозологиям представлено в табл. 1.

Условия проведения

В ходе представленного исследования проводился сравнительный клинический анализ сканов структурной ОКТ пациентов, проходивших обследование и лечение в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального Медико-биологического агентства»

Таблица 1. Распределение обследованных глаз по нозологиям

Диагноз	Количество глаз
Диабетический макулярный отёк/ кистозный макулярный отёк	52
Возрастная макулярная дегенерация: макулярная неоваскуляризация	41
Возрастная макулярная дегенерация: ретинальные друзы	40
Центральная серозная хориопатия	25
Витреомакулярный тракционный синдром	25
Сквозной макулярный разрыв	23
Ламеллярный макулярный разрыв	25
Эпиретинальная мембрана	72
Без патологии	34

России и Государственном бюджетном учреждении здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского». Продолжительность исследования — 12 месяцев.

Описание медицинского вмешательства и основной исход исследования

Анализ сканов структурной ОКТ программой ИИ производился в два этапа. На первом этапе программой сегментировались биомаркёры. На втором этапе программа вычисляла вероятную патологию при помощи алгоритма дифференциально-диагностического поиска. Заключение, полученное в ходе анализа сканов ОКТ программой ИИ, сравнивалось с данными клинического заключения двух врачей-офтальмологов.

Этическая экспертиза

Этический комитет при Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального Медико-биологического агентства» России, выписка 2 из протокола № 11_2022 от 29 ноября 2022 г. Заключение: «Одобрить возможность проведения ретроспективного анализа фотографий глазного дна и сканов ОКТ пациентов, отобранных из медицинских баз с применением программного обеспечения для работы с цифровыми изображениями при диагностике офтальмологических патологий путём анализа фотографий глазного дна и сканов структурной ОКТ Retina.AI по ТУ 58.29.32-001-60003594-2022 на базе ФГБУ Федерального научно-клинического Центра специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России».

Методы регистрации исходов, статистический анализ

С целью оценки точности работы программы вычислялись следующие параметры:

- количество правильных положительных срабатываний — TP (True positives);
- количество неправильных положительных срабатываний — FP (False positives);
- количество неправильных отрицательных срабатываний — FN (False negatives);
- количество правильных отрицательных срабатываний — TN (True negatives).

На основе представленных параметров рассчитывались показатели чувствительности, специфичности и точности для каждой из нозологий по указанным ниже формулам:

Precision (точность срабатывания) — доля правильных положительных случаев из предсказанных положительных случаев:
$$\text{Precision} = \frac{TP}{(TP + FP)}$$

Recall/Sensitivity (чувствительность) — доля правильно предсказанных положительных случаев из всех положительных случаев:
$$\text{Recall} = \frac{TP}{(TP + FN)}$$

Specificity (специфичность) — доля правильно предсказанных отрицательных случаев из всех отрицательных случаев:
$$\text{Specificity} = \frac{TN}{(TN + FP)} \text{ [17].}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования, основные результаты исследования

Объект исследования — программное обеспечение для работы с цифровыми медицинскими изображениями при диагностике офтальмологических патологий путём анализа сканов структурной ОКТ — Retina.AI. Исследование проводилось без участия пациентов, в форме оценки и анализа клинических данных.

В ходе анализа сканов ОКТ с помощью программы были выявлены следующие патологические структуры:

- интравитреальные кисты, субретинальная жидкость;
- отслойка ретинального пигментного эпителия;
- субретинальный гиперрефлективный материал;
- ретинальные друзы;
- эпиретинальная мембрана;
- витреомакулярная тракция;
- сквозной макулярный разрыв;
- ламеллярный макулярный разрыв.

На основании выявленных патологических признаков программой в автоматическом режиме формулировалось заключение. Общие показатели метода следующие: чувствительность 95,16%; специфичность 97,76%; точность 97,38%. Подробные результаты сравнительного анализа заключений программы ИИ и врачей-офтальмологов представлены в табл. 2.

На рис. 1 представлен скан структурной ОКТ макулярной зоны пациента Б., 54 года, с сахарным диабетом 2-го типа. По данным заключения врача-офтальмолога, выявлен диагноз «диабетический макулярный отёк». В процессе программного анализа скана структурной ОКТ алгоритмами ИИ Retina.AI сегментированы следующие патологические признаки: интравитреальные кисты, субретинальная жидкость. В заключении диагностирован диабетический макулярный отёк.

На рис. 2 представлен скан структурной ОКТ макулярной зоны пациента Б., 68 лет, с экссудативной формой ВМД. Диагноз установлен врачом-офтальмологом. В процессе программного анализа скана структурной ОКТ алгоритмами ИИ Retina.AI сегментированы следующие патологические признаки: интравитреальные кисты, субретинальная жидкость, отслойка ретинального пигментного эпителия, субретинальный гиперрефлективный материал. Согласно данным отчёта программы, зарегистрирована макулярная неоваскуляризация.

На рис. 3 представлен скан структурной ОКТ макулярной зоны пациентки К., 69 лет, с диагнозом, установленным врачом-офтальмологом: «сквозной макулярный разрыв». В процессе анализа скана структурной ОКТ алгоритмами ИИ Retina.AI выделены следующие патологические структуры: сквозной макулярный разрыв, интравитреальные кисты, эпиретинальная мембрана. Согласно данным отчёта программы, диагностирован сквозной макулярный разрыв, эпиретинальная мембрана.

Нежелательные явления

Нежелательные явления, возникшие в ходе проведения исследования, отсутствовали.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Программное обеспечение на основе алгоритмов ИИ Retina.AI в ходе клинического исследования продемонстрировало высокие показатели чувствительности, специфичности и точности в диагностике макулярной

Таблица 2. Чувствительность, специфичность и точность программы Retina.AI в диагностике заболеваний макулярной области

Диагноз	Чувствительность, %	Специфичность, %	Точность, %
Диабетический макулярный отёк/кистозный макулярный отёк	96,08	97,48	97,14
Макулярная неоваскуляризация	97,50	97,65	97,62
Возрастная макулярная дегенерация: ретинальные друзы	97,37	96,51	96,67
Центральная серозная хориопатия	92,59	98,36	97,62
Витреомакулярная тракция	86,96	97,33	96,19
Сквозной макулярный разрыв	95,65	98,40	98,10
Эпиретинальная мембрана	100,00	97,12	98,10
Ламеллярный макулярный разрыв	95,83	97,85	97,62
Без патологии	94,72	97,69	97,25

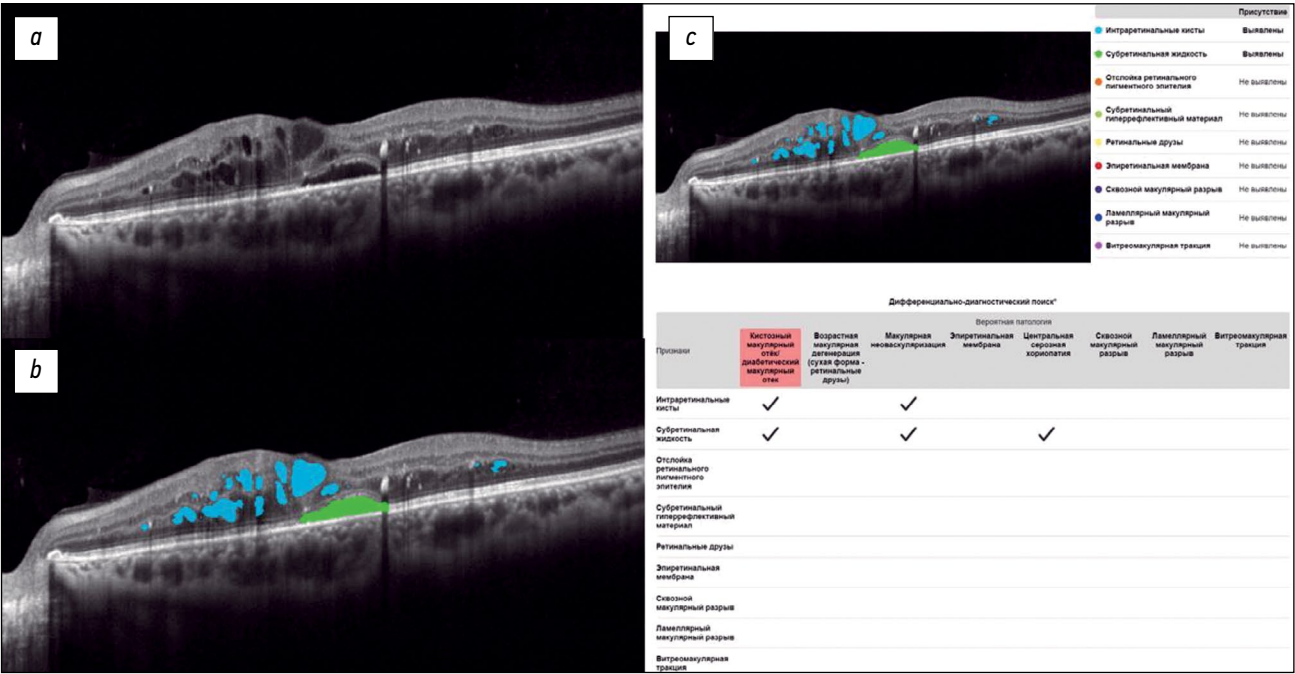


Рис. 1. Пример анализа скана структурной оптической когерентной томографии макулярной зоны пациента с диабетическим макулярным отёком программой искусственного интеллекта: *a* — скан структурной оптической когерентной томографии; *b* — скан структурной оптической когерентной томографии после сегментации патологических структур (субретинальная жидкость — зелёная маска, интраретинальные кисты — голубые маски); *c* — отчёт по результатам анализа скана (в таблице дифференциально-диагностического поиска в качестве вероятной патологии красным цветом выделен диабетический макулярный отёк).

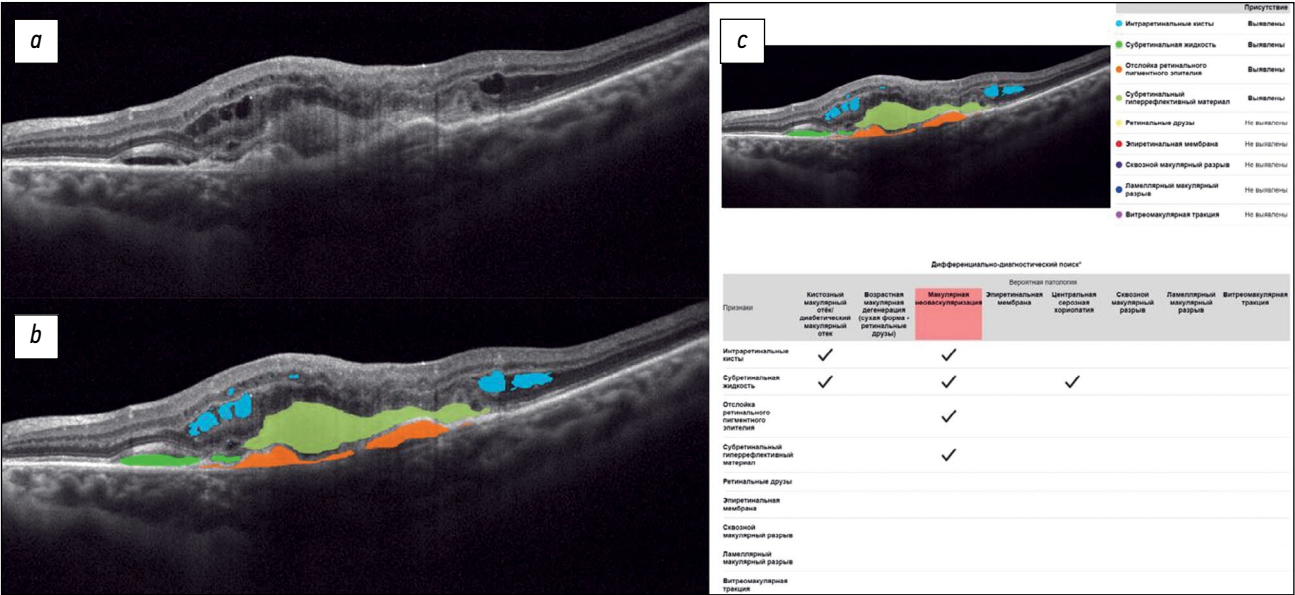


Рис. 2. Пример анализа скана структурной оптической когерентной томографии макулярной зоны пациента с экссудативной формой возрастной макулярной дегенерации программой искусственного интеллекта: *a* — скан структурной оптической когерентной томографии; *b* — скан структурной оптической когерентной томографии после сегментации патологических структур (субретинальная жидкость — зелёные маски, интраретинальные кисты — голубые маски, отслойка ретикулярного пигментного эпителия — оранжевые маски, субретинальный гиперрефлективный материал — салатная маска); *c* — отчёт по результатам анализа скана (в таблице дифференциально-диагностического поиска в качестве вероятной патологии красным цветом выделена макулярная неоваскуляризация).

патологии — показатели превысили 90% для всех заболеваний, за исключением витреомacularного тракционного синдрома, чувствительность в диагностике которого составила 86,96%. Положительной стороной программного

обеспечения является удобный пользовательский интерфейс с возможностью подсветки выявленных патологических структур на скане ОКТ, что даёт возможность врачу дополнительно перепроверить корректность

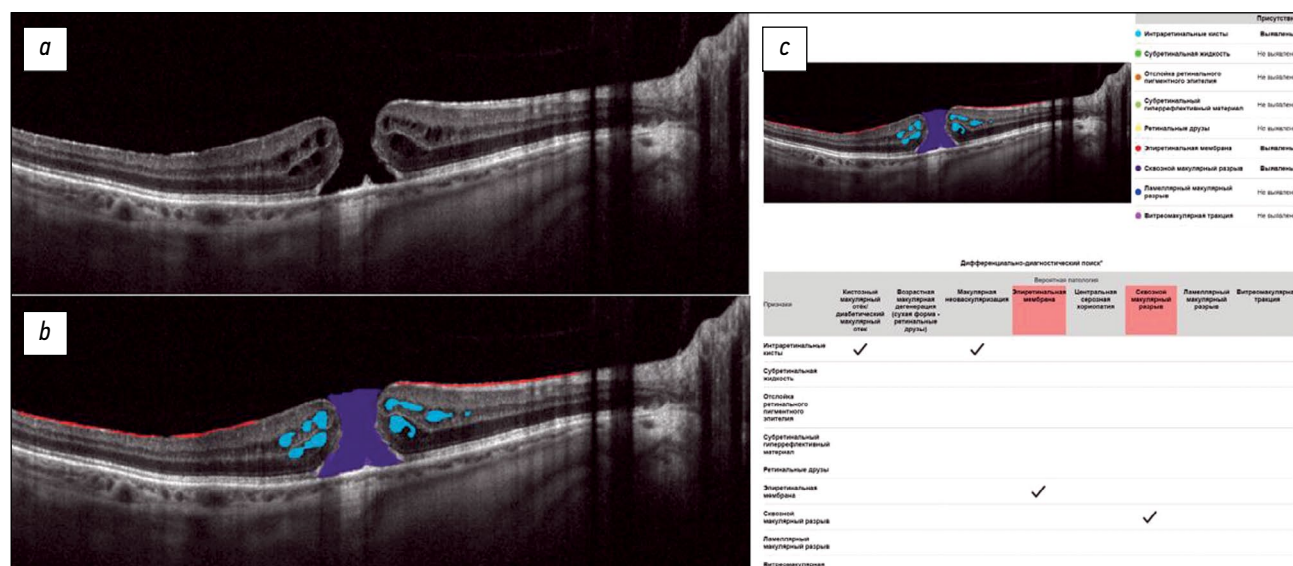


Рис. 3. Пример анализа скана структурной оптической когерентной томографии макулярной зоны пациента с диагнозом «макулярный разрыв, эпиретинальная мембрана» программой искусственного интеллекта: *a* — скан структурной оптической когерентной томографии; *b* — скан структурной оптической когерентной томографии после сегментации патологических структур (сквозной макулярный разрыв — фиолетовая маска, интраретинальные кисты — голубые маски, эпиретинальная мембрана — красные маски); *c* — отчёт по результатам анализа скана (в таблице дифференциально-диагностического поиска в качестве вероятной патологии красным цветом выделены эпиретинальная мембрана, сквозной макулярный разрыв).

работы программы и повышает уровень доверия врача технологии ИИ.

Обсуждение основного результата исследования

С практической точки зрения одним из наиболее перспективных направлений внедрения технологий ИИ в клиническую работу является их использование при проведении скрининговых обследований, когда возникает необходимость обследовать большое количество пациентов и выявить нуждающихся в специализированном офтальмологическом лечении. Технологии ИИ открывают возможность делегирования части функционала среднему медицинскому персоналу и организации доврачебного скрининга с целью высвобождения времени врача для более сложных задач и увеличения пропускной способности офтальмологического кабинета. Следует, однако, подчеркнуть, что технологии ИИ не могут служить заменой врача-офтальмолога, а могут быть лишь инструментом, позволяющим повысить эффективность лечебно-диагностического процесса. Определённые сложности внедрения программы ИИ могут быть обусловлены необходимостью использования стабильного интернет-соединения в связи с тем, что платформа расположена в «облачном пространстве». Для удобства работы в непрерывном режиме перспективным является разработка десктопного приложения, не зависящего от наличия интернета на устройстве.

Другим перспективным направлением использования технологий ИИ является мониторинг патологического процесса в ходе лечения. Сегментация интраретинальных

кист, субретинальной жидкости, отслойки пигментного эпителия, субретинального гиперрефлективного материала позволяет проводить количественную оценку динамики объёмов данных структур у пациентов с ДМО и экссудативной формой ВМД в ходе анти-VEGF терапии. На сегодняшний день основными количественными показателями, на которые ориентируется врач в процессе лечения, являются максимальная корригированная острота зрения, толщина центральной зоны сетчатки, а также площадь неоваскулярной мембраны у пациентов с ВМД по данным ОКТ-ангиографии. Разработка новых количественных критериев оценки эффективности анти-VEGF терапии — актуальная задача для совместной работы врачей-офтальмологов и разработчиков алгоритмов ИИ.

Некоторым ограничением использования применяемой нами технологии является оценка единичного скана ОКТ, загруженного в программу. Актуально усовершенствование программного обеспечения, что позволит в последующем производить анализ всей серии снимков одного пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программное обеспечение Retina.AI на основе алгоритмов ИИ в ходе клинической валидации продемонстрировало высокие показатели чувствительности, специфичности и точности в диагностике ДМО, сухой и экссудативной формы ВМД, центральной серозной хориопатии и аномалий витреомакулярного интерфейса на основе анализа сканов структурной ОКТ. Платформа Retina.AI является российской разработкой и в настоящее время доступна

для тестирования по ссылке: www.screenretina.ru. Стоит отметить, что заключение программы не является диагнозом и требует уточнения специалиста.

А.Ю. Сизов — разработка алгоритмов ИИ, разметка данных, подготовка графических материалов; Г.М. Габараев — поиск литературы, обработка данных.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Е.А. Каталевская и А.Ю. Сизов входят в состав разработчиков программного обеспечения. Остальные авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: М.Р. Хабазова — поиск и обработка литературы, обработка данных, написание текста статьи, коррекция текста; Е.Н. Пономарева — проведение исследований, анализ данных, коррекция текста; И.А. Лоскутов — обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи; Е.А. Каталевская — разработка алгоритмов ИИ, разметка данных, редактирование текста статьи, обработка литературы и данных;

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. Katalevskaya EA and Sizov AYU are part of the software developers. Other authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Khabazova MR — literature search and analysis, data analysis, manuscript writing, manuscript editing; Ponomareva EN — conducting research, data analysis, manuscript editing; Loskutov IA — discussion of the research results, editing; Katalevskaya EA — development of the artificial intelligence algorithms, data markup, manuscript editing, literature search and analysis; Sizov AYU — development of the artificial intelligence algorithms, data markup, graphic materials preparation; Gabaraev GM — literature search, data analysis.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Report of the 2030 targets on effective coverage of eye care [Internet]. Geneva : World Health Organization. c2024. [дата обращения: 1.01.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240058002>
2. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study // *Lancet Glob Health*. 2021. Vol. 9, N 2. P. 144–160. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7
3. Samanta A., Aziz A.A., Jhingan M., et al. Emerging Therapies in Neovascular Age-Related Macular Degeneration in 2020 // *Asia Pac J Ophthalmol* (Phila). 2020. Vol. 9, N 3. P. 250–259. doi: 10.1097/APO.0000000000000291
4. Stahl A. The Diagnosis and Treatment of Age-Related Macular Degeneration // *Dtsch Arztebl Int*. 2020. Vol. 117. P. 513–520. doi: 10.3238/arztebl.2020.0513
5. 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. Vol. 128, N 11. P. 1580–1591. doi: 10.1016/j.ophtha.2021.04.027
6. Schaal S., Kaplan H.J., editors. Cystoid Macular Edema. Switzerland : Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-39766-5
7. Бикбов М.М., Файзрахманов Р.Р., Зайнуллин Р.М., и др. Макулярный отёк как проявление диабетической ретинопатии // *Сахарный диабет*. 2017. Т. 20, № 4. С. 263–269. EDN: ZMZAON doi: 10.14341/DM8328
8. Черных Д.В., Черных В.В., Трунов А.Н. Цитокины и факторы роста в патогенезе пролиферативной диабетической ретинопатии. Москва : Офтальмология, 2017. EDN: ZNDEWH
9. Gupta A., Tripathy K. Central Serous Chorioretinopathy [Internet]. [Updated 2022 Aug 22]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. Доступ по ссылке: <https://www.statpearls.com/point-of-care/96027>
10. Semeraro F., Morescalchi F., Russo A., et al. Central Serous Chorioretinopathy: Pathogenesis and Management // *Clinical ophthalmology*. 2019. Vol. 13. P. 2341–2352. doi: 10.2147/OPHT.S220845
11. Oh K.T., Lazzaro D.R., editors. Macular Hole. [Internet]. Medscape, 2020. [Дата обращения: 02.01.2020]. Доступ по ссылке: <https://emedicine.medscape.com/article/1224320-overview#a6>
12. Darian-Smith E., Howie A.R., Allen P.L., et al. Tasmanian macular hole study: whole population-based incidence of full thickness macular hole // *Clin Exp Ophthalmol*. 2016. Vol. 44, N 9. P. 812–816. doi: 10.1111/ceo.12801
13. Fung A.T., Galvin J., Tran T. Epiretinal membrane: A review // *Clin Experiment Ophthalmol*. 2021. Vol. 49. P. 289–308. doi: 10.1111/ceo.13914
14. Oh K.T., Lazzaro D.R., editors. Epiretinal Membrane [Internet]. Medscape, 2020. [Дата обращения: 02.01.2020]. Доступ по ссылке: <https://emedicine.medscape.com/article/1223882-overview#a4>
15. Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. Скрининг на диабетическую ретинопатию: Повышение эффективности, максимальное увеличение пользы и минимизация вреда, краткое руководство [Internet]. Копенгаген,

2021. [Дата обращения: 02.01.2020]. Доступ по ссылке: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289055321>

16. Qassimi A.N., Kozak I., Karam A.M., et al. Management of Diabetic Macular Edema: Guidelines from the Emirates Society of Ophthalmology // *Ophthalmology and therapy*. 2022. Vol. 11. P. 1937–1950. doi: 10.1007/s40123-022-00547-2

17. Каталевская Е.А., Каталевский Д.Ю., Тюриков М.И., Велиева И.А., Большунов А.В. Перспективы использования искусственного интеллекта в диагностике и лечении заболеваний сетчатки // *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2022. Т. 22, № 1. С. 36–43. EDN: AEBQGU doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-36-43

18. Schmidt-Erfurth U., Reiter G.S., Riedl S., et al. AI-based monitoring of retinal fluid in disease activity and under therapy // *Prog Retin Eye Res*. 2022. Vol. 86. doi: 10.1016/j.preteyeres.2021.100972

19. Altris.ai [Internet]. United States : Altris Inc. [Дата обращения: 01.01.2022]. Доступ по ссылке: <https://www.altris.ai>

20. Малугин Б.Э., Сахнов С.Н., Аксенова Л.Е., и др. Разработка модели глубокого машинного обучения для обнаружения биомаркеров анатомического и функционального исхода анти-VEGF-терапии на ОКТ-изображениях сетчатки // *Офтальмохирургия*. 2022. № S4. С. 77–84. EDN: OWQLRM doi: 10.25276/0235-4160-2022-4S-77-84

REFERENCES

1. Report of the 2030 targets on effective coverage of eye care [Internet]. Geneva: World Health Organization. c2024. [cited 2023 Jan 1]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240058002>

2. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Health*. 2021;9(2):144–160. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7

3. Samanta A, Aziz AA, Jhingan M, et al. Emerging Therapies in Neovascular Age-Related Macular Degeneration in 2020. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2020;9(3):250–259. doi: 10.1097/APO.0000000000000291

4. Stahl A. The Diagnosis and Treatment of Age-Related Macular Degeneration. *Dtsch Arztebl Int*. 2020;117:513–520. doi: 10.3238/arztebl.2020.0513

5. Teo ZL, Tham YC, 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. doi: 10.1016/j.ophtha.2021.04.027

6. Schaal S, Kaplan HJ, editors. *Cystoid Macular Edema*. Switzerland: Springer International Publishing; 2017. doi: 10.1007/978-3-319-39766-5

7. Bikbov MM, Fayzrakhmanov RR, Zaynullin RM, et al. Macular oedema as manifestation of diabetic retinopathy. *Diabetes mellitus*. 2017;20(4):263–269. EDN: ZMZAON doi: 10.14341/DM8328

8. Chernykh DV, Chernykh VV, Trunov AN. *Cytokines and growth factors in the pathogenesis of proliferative diabetic retinopathy*. Moscow: Oftal'mologiya; 2017. EDN: ZNDEWH

9. Gupta A, Tripathy K. Central Serous Chorioretinopathy [Internet]. [Updated 2022 Aug 22]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022. Available from: <https://www.statpearls.com/point-of-care/96027>

10. Semeraro F, Morescalchi F, Russo A, et al. Central Serous Chorioretinopathy: Pathogenesis and Management. *Clinical ophthalmology*. 2019;13:2341–2352. doi: 10.2147/OPHTH.S220845

11. Oh KT, Lazzaro DR, editors. Macular Hole. [Internet]. Medscape, 2020. [cited 2020 Jan 02]. Available from: <https://emedicine.medscape.com/article/1224320-overview#a6>

12. Darian-Smith E, Howie AR, Allen PL, et al. Tasmanian macular hole study: whole population-based incidence of full thickness macular hole. *Clinical & Experimental Ophthalmology*. 2016;44(9):812–816. doi: 10.1111/ceo.12801

13. Fung AT, Galvin J, Tran T. Epiretinal membrane: A review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*. 2021;49:289–308. doi: 10.1111/ceo.13914

14. Oh KT, Lazzaro DR, editors. Epiretinal Membrane [Internet]. Medscape, 2020. [cited 2020 Jan 02]. Available from: <https://emedicine.medscape.com/article/1223882-overview#a4>

15. World Health Organization. Regional Office for Europe. Screening for diabetic retinopathy: a short guide. Increase effectiveness, maximize benefits and minimize harm [Internet]. Copenhagen; 2021. [cited 2020 Jan 02]. Available from: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289055321>

16. Qassimi AN, Kozak I, Karam AM, et al. Management of Diabetic Macular Edema: Guidelines from the Emirates Society of Ophthalmology. *Ophthalmology and therapy*. 2022;11:1937–1950. doi: 10.1007/s40123-022-00547-2

17. Katalevskaya EA, Katalevskiy DYU, Tyurikov MI, Velieva IA, Bol'shunov AV. Future of artificial intelligence for the diagnosis and treatment of retinal diseases. *Russian journal of clinical ophthalmology*. 2022;22(1):36–43. EDN: AEBQGU doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-36-43

18. Schmidt-Erfurth U, Reiter GS, Riedl S, et al. AI-based monitoring of retinal fluid in disease activity and under therapy. *Prog Retin Eye Res*. 2022;86. doi: 10.1016/j.preteyeres.2021.100972

19. Altris.ai [Internet]. United States: Altris Inc. [cited 2022 Jan 01]. Available from: <https://www.altris.ai>

20. Malyugin BE, Sakhnov SN, Axenova LE, et al. A deep machine learning model development for the biomarkers of the anatomical and functional anti-VEGF therapy outcome detection on retinal OCT images. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022;(S4):77–84. EDN: OWQLRM doi: 10.25276/0235-4160-2022-4S-77-84

ОБ АВТОРАХ

*** Хабазова Маргарита Робертовна;**

адрес: Российская Федерация, 115682, г. Москва,
Ореховый бульвар, д. 28;
ORCID: 0000-0002-7770-575X;
eLibrary SPIN: 2736-9089;
e-mail: rita.khabazova@mail.ru

Пономарева Елена Николаевна;

ORCID: 0009-0001-0828-9844;
eLibrary SPIN: 7868-4425;
e-mail: ponomareva.en@fnkc-fmba.ru

Лоскутов Игорь Анатольевич, д-р мед. наук;

ORCID: 0000-0003-0057-3338;
eLibrary SPIN: 5845-6058;
e-mail: loskoutigor@mail.ru

Каталевская Евгения Алексеевна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0002-5710-9205;
eLibrary SPIN: 7849-8890;
e-mail: ekatalevskaya@mail.ru

Сизов Александр Юрьевич;

ORCID: 0000-0003-3338-4015;
eLibrary SPIN: 4468-1730;
e-mail: sizov_ost_vk@mail.ru

Габараев Георгий Малхазович;

ORCID: 0000-0002-0759-3107;
eLibrary SPIN: 1802-3224;
e-mail: geor_gabaraev1@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Margarita R. Khabazova;**

address: 28 Orekhovyi bul'var, 115682
Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0002-7770-575X;
eLibrary SPIN: 2736-9089;
e-mail: rita.khabazova@mail.ru

Elena N. Ponomareva;

ORCID: 0009-0001-0828-9844;
eLibrary SPIN: 7868-4425;
e-mail: ponomareva.en@fnkc-fmba.ru

Igor A. Loskutov, MD, Dr. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0003-0057-3338;
eLibrary SPIN: 5845-6058;
e-mail: loskoutigor@mail.ru

Evgenia A. Katalevskaya, MD, Cand. Sci. (Medicine);

ORCID: 0000-0002-5710-9205;
eLibrary SPIN: 7849-8890;
e-mail: ekatalevskaya@mail.ru

Alexander Yu. Sizov;

ORCID: 0000-0003-3338-4015;
eLibrary SPIN: 4468-1730;
e-mail: sizov_ost_vk@mail.ru

Georgiy M. Gabaraev;

ORCID: 0000-0002-0759-3107;
eLibrary SPIN: 1802-3224;
e-mail: geor_gabaraev1@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author