Вестник офтальмологии
2024, Т. 140, №5, с. 130–136
https://doi.org/10.17116/oftalma2024140051130

Russian Annals of Ophthalmology
2024, vol. 140, №5, pp. 130–136
https://doi.org/10.17116/oftalma2024140051130

Применение методов искусственного интеллекта в диагностике и лечении заболевания первичного закрытия угла

© Н.И. КУРЫШЕВА[1, 2], А.Л. ПОМЕРАНЦЕВ[3], О.Е. РОДИОНОВА[3], Г.А. ШАРОВА[1, 4]

[1]Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования ФГБУ ГНЦ РФ «Федеральный биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия;
[2]Центр офтальмологии ФМБА России, ФГБУ ГНЦ РФ «ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия;
[3]ФГБУН «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова» Российской академии наук, Москва, Россия;
[4]ООО «Глазная клиника доктора Беликовой», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Проведен обзор данных литературы, посвященной применению методов искусственного интеллекта (ИИ) для диагностики и лечения заболевания первичного закрытия угла (ЗПЗУ). Приводятся сведения о том, как методы ИИ повышают эффективность скрининга закрытого угла передней камеры глаза в популяции. Представлены технологии применения глубокого обучения, включая нейронные сети, в анализе больших данных, полученных с помощью методов визуализации переднего отрезка глаза (оптической когерентной томографии переднего отрезка (AS-OCT), цифровой гониоскопии, ультразвуковой биомикроскопии). Освещены методы лечения ЗПЗУ с применением методов ИИ. Интеграция глубокого обучения и методов визуализации является важным шагом в оптимизации диагностики и лечения ЗПЗУ, снижающим нагрузку на систему здравоохранения.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, метод DD-SIMCA, заболевание первичного закрытия угла, оптическая когерентная томография переднего отрезка (AS-OCT), цифровая гониоскопия.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:
Курышева Н.И. — e-mail: e-natalia@list.ru; https://orcid.org/0000-0002-9265-6671
Померанцев А.Л. — e-mail: forecast@chph.ras.ru; https://orcid.org/0000-0001-7402-4011
Родионова О.Е. — e-mail: oksana@chph.ras.ru; https://orcid.org/0000-0002-0146-8284
Шарова Г.А. — e-mail: galina.shar@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-7163-4858
Автор, ответственный за переписку: Шарова Галина Аркадьевна — e-mail: galina.shar@mail.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:
Курышева Н.И., Померанцев А.Л., Родионова О.Е., Шарова Г.А. Применение методов искусственного интеллекта в диагностике и лечении заболевания первичного закрытия угла. *Вестник офтальмологии*. 2024;140(5):130–136.
https://doi.org/10.17116/oftalma2024140051130

Application of artificial intelligence methods in the diagnosis and treatment of primary angle-closure disease

© N.I. KURYSHEVA[1, 2], A.L. POMERANTSEV[3], O.YE. RODIONOVA[3], G.A. SHAROVA[1, 4]

[1]Medical Biological University of Innovations and Continuing Education of the Burnazyan Federal Biophysical Center, Moscow, Russia;
[2]Ophthalmological Center of Federal Medical-Biological Agency of Russia, Moscow, Russia;
[3]Federal Research Center for Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
[4]OOO Glaznaya klinika doktora Belikovoy, Moscow, Russia

ABSTRACT

This article reviews literature on the use of artificial intelligence (AI) methods for the diagnosis and treatment of primary angle-closure disease (PACD). The review describes how AI techniques enhance the efficiency of population screening for anterior chamber angle closure, presents technologies utilizing deep learning, including neural networks, for the analysis of large datasets obtained through anterior segment imaging methods, such as anterior segment optical coherence tomography (AS-OCT), digital gonioscopy, and ultrasound biomicroscopy, and discusses methods for treating PACD with the help of AI. Integration of deep learning and imaging techniques represents a crucial step in optimizing the diagnosis and treatment of PACD, reducing the burden on the healthcare system.

Keywords: *artificial intelligence (AI), data driven soft independent modelling of class analogies (DD-SIMCA), primary angle closure disease, anterior segment optical coherence tomography (AS-OCT), digital gonioscopy.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Kurysheva N.I. — https://orcid.org/0000-0002-9265-6671
Pomerantsev A.L. — https://orcid.org/0000-0001-7402-4011
Rodionova O.Ye. — https://orcid.org/0000-0002-0146-8284
Sharova G.A. — https://orcid.org/0000-0002-7163-4858
Corresponding author: Sharova G.A. — e-mail: galina.shar@mail.ru

TO CITE THIS ARTICLE:
Kurysheva NI, Pomerantsev AL, Rodionova OYe, Sharova GA. Application of artificial intelligence methods in the diagnosis and treatment of primary angle-closure disease. *Russian Annals of Ophthalmology.* 2024;140(5):130–136. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/oftalma2024140051130

Первичная закрытоугольная глаукома (ПЗУГ) часто протекает бессимптомно, тем не менее риск необратимой слепоты при данном заболевании в 3 раза превышает таковой при открытоугольной глаукоме [1]. Начальные стадии заболевания первичного закрытия угла (ЗПЗУ), к которым относятся подозрение на первичное закрытие угла (ППЗУ) и собственно первичное закрытие угла (ПЗУ), имеют наиболее скрытую симптоматику, но нуждаются в раннем выявлении из-за риска прогрессирования [2, 3].

Известно, что пациенты с ЗПЗУ отличаются анатомо-топографическими особенностями переднего и заднего сегментов глаза [4—6], наиболее информативно визуализируемыми с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ) [7—10]. Стоит отметить, что анализ многопараметрических данных достаточно трудоемок, поэтому интеграция методов визуализации с методами искусственного интеллекта (ИИ) может улучшить эффективность диагностики [11] и лечения ЗПЗУ.

Методы искусственного интеллекта в диагностике заболевания первичного закрытия угла

Одним из видов ИИ являются нейронные сети, способные интерпретировать сложные изображения (например, полученные при помощи ОКТ). Главная цель этих исследований — выявление закрытого угла передней камеры (УПК). Кроме того, решаются более тонкие задачи, например визуализация размеров УПК в динамике, при разном освещении и обнаружение гониосинехий с определением их локализации и протяженности.

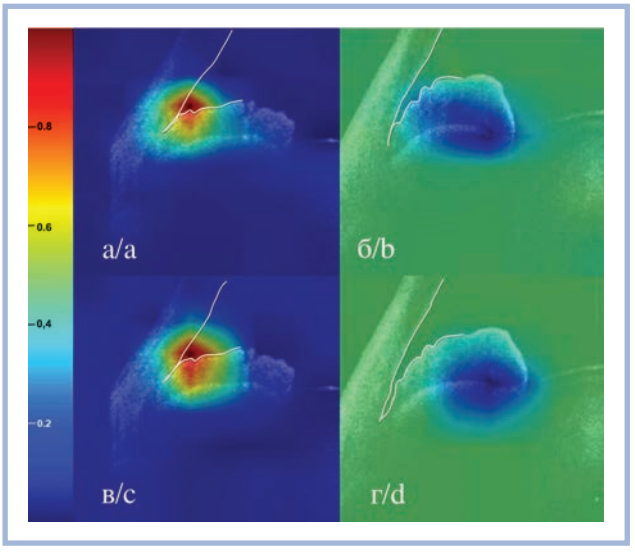
H. Fu и соавторы (2019) применили нейронную сеть VGG-16 с трансферным обучением для выявления закрытого УПК на ОКТ переднего отрезка (AS-OCT) с использованием аппарата Visante (Model 1000, Carl-Zeiss Meditec, США) [12]. Эффективность модели составила 0,96 площади под кривой (Area Under the Curve, AUC) с чувствительностью 90%, специфичностью 92%. В 2020 г. эти же авторы использовали усовершенствованную многоуровневую нейросеть Multilevel Deep Network, продемонстрировавшую AUC 0,96 для изображений AS-OCT, полученных на аппарате Visante, и 0,95 для изображений, полученных при использовании аппарата Cirrus HD-OCT (Model HD 5000, Carl-Zeiss Meditec, Германия) [13].

B.Y. Xu и соавторы (2019) создали несколько моделей ИИ, анализирующих данные гониоскопии и изображения AS-OCT, полученные на оптическом когерентном томографе Tomey CASIA SS-1000 (Tomey, Япония), для дифференциации открытых и закрытых УПК [14]. Классификатор ResNet18 показал максимальный результат для обоих методов визуализации: значения AUC как для обучающего (ОН), так и для проверочного набора (ПН) превысили 0,92.

M. Chiang и соавторы (2021), используя гониофотографии с камеры EyeCam (Clarity Medical Systems, США), продемонстрировали модель ИИ для выявления закрытых УПК, эффективность которой превосходит оценку как одним специалистом (AUC=0,97), так и группой экспертов (AUC=0,95) [15]. Несмотря на отличный результат, стоит отметить, что тайминг исследования на EyeCam сопоставим с таковым при гониоскопии.

Цифровая гониоскопия с применением трехмерных изображений УПК, полученных на AS-OCT, позволяет выявить закрытый УПК и гониосинехии. В исследовании F. Li и соавторов (2022) площадь под кривой модели глубокого обучения (Deep learning, DL) для первой задачи составила 0,94, а для второй — 0,90 при оценке гониосинехий по квадрантам и 0,88 — по часам в соответствии с циферблатом [16]. Принцип имитации гониоскопии при исследовании на AS-OCT представлен на **рисунке.** Авторы убедительно продемонстрировали, что наличие гониосинехий препятствует открытию УПК при изменении освещенности **(см. рисунок, в, а)** в отличие от аппозиционного закрытия УПК **(см. рисунок, г, б).** Преимуществом данной работы является анализ объемных изображений иридотрабекулярной зоны протяженностью 360є, а не отдельных сканов поперечных сечений УПК, что более точно соответствует критериям, определяющим стадии ЗПЗУ [17].

Y. Yang и соавторы (2022) использовали нейронную сеть InceptionResnetV2 для поиска закрытых УПК



Цифровая гониоскопия на основе AS-OCT.

Слева — парные тепловые карты с гониосинехиальным закрытием УПК в темноте (а) и в условиях освещения (в); справа — парные тепловые карты с аппозиционным закрытием УПК в темноте (б) и в условиях освещения (г) (по F. Li и соавт. [16], в модификации).

Digital gonioscopy based on AS-OCT.

On the left — paired heat maps showing synechial closure of the anterior chamber angle in the dark (a) and under illumination (c); on the right — paired heat maps showing appositional closure of the anterior chamber angle in the dark (b) and under illumination (d) (modified from F. Li et al. [16]).

и дифференциальной диагностики аппозиционного и гониосинехиального иридотрабекулярного контактов на изображениях, полученных с помощью томографа Tomey CASIA SS-1000 [18]. Модель ИИ продемонстрировала высокую эффективность в выявлении закрытых углов (AUC=0,96) и умеренную эффективность в определении гониосинехий (AUC=0,87).

J. Hao и соавторы (2022) применили нейросеть Hybrid Variation-aware Network (HV-Net), анализирующую парные двумерные и трехмерные изображения УПК и радужки (в условиях освещения и без него) на Tomey CASIA2, имитирующие динамическую гониоскопию [19]. Эффективность HV-Net в сравнении с остальными десятью моделями нейросетей в дифференциальной диагностике аппозиционного и гониосинехиального закрытия УПК была максимальной (AUC=0,85).

Модели ИИ подразумевают большие наборы данных, включая обучающие. Синтетические изображения, созданные на основе реалистичных, решают проблему как недостаточности данных, так и конфиденциальности. C. Zheng и соавторы (2021) применили нейросеть Generative Adversarial Networks (GAN) для выявления закрытых УПК [20]. В результате модель ИИ, основанная на реальных изображениях, и модель с применением сгенерированных изображений превзошли классическую, построенную на оценке площади иридотрабекулярного пространства, TISA750 (AUC 0,97; 0,94 и 0,88 соответственно). Следует отметить, что из-за однотипности данных GAN может снижать воспроизводимость модели на независимой выборке.

Модель ИИ N. Porporato и соавторов (2022) для выявления закрытого УПК продемонстрировала AUC=0,85 (95% доверительный интервал 0,80—0,90), чувствительность 83% и специфичность 87% [21], что соответствует данным аналогичных исследований [22, 23].

С помощью методов ИИ возможно не только выявление ЗПЗУ, но и классификация его стадий [24]. J. Shan и соавторы (2023) использовали три классификатора нейросети Inception V3, анализирующих изображения УПК на Swept-Source OKT (SS-OCT) [25]. Эффективность первого, дифференцирующего группу контроля, ППЗУ и совместную группу ПЗУ с ПЗУГ, составила: AUC 0,96 в ОН и 0,84 в ПН. Второй классификатор, отличающий группу контроля от ЗПЗУ, продемонстрировал максимальный результат — AUC 0,96 в ОН и 0,95 в ПН. Низкую эффективность показал третий классификатор, дифференцирующий ППЗУ и совместную группу ПЗУ с ПЗУГ, — AUC 0,83 в ОН и 0,64 в ПН. Таким образом, нейронные сети могут легко отличать норму от заболевания, но идентификация по стадиям ЗПЗУ все еще требует доработки.

В аналогичном исследовании Y. Eslami и соавторов (2023) эффективность идентификации открытых УПК и контрольных глаз выше, чем дифференцировка между стадиями ЗПЗУ [26].

Сравнительная характеристика основных исследований представлена в **таблице.**

Интеграция алгоритмов ИИ с ультразвуковой биомикроскопией также позволяет автоматически анализировать параметры УПК [27, 28].

Кроме того, методы ИИ применяются для обнаружения склеральной шпоры на изображениях AS-OCT, так как она является ключевым ориентиром в оценке УПК [29—31].

Методы искусственного интеллекта в скрининге заболевания первичного закрытия угла

Мелкая передняя камера (anterior chamber depth, ACD) относится к факторам риска закрытия угла [32]. D. Chen и соавторы (2021) фотографировали переднюю камеру глаза с помощью смартфона (Samsung Galaxy S7, Южная Корея), установленного на портативной щелевой лампе [33]. Полученные изображения авторы использовали для создания модели ИИ (Random Forest — «случайный лес»), прогнозирующей глубину передней камеры глаза на факичных глазах с узким зрачком с целью выявления ЗПЗУ. Прогнозируемые значения ACD положительно коррелировали с таковыми, полученными на аппарате Tomey CASIA SS-1000: коэффициент корреляции R^2=0,91 для ОН и R^2=0,73 для ПН. Скрининг ЗПЗУ с применением мобильных устройств может приме-

Исследования, посвященные выявлению заболевания ПЗУ с помощью методов визуализации и ИИ
Studies on detecting PACD using imaging methods and AI

Первый автор, год, страна, источник	Объем исследования, число пациентов*	Цель исследования	Метод исследования, прибор	Модель ИИ	Площадь под кривой (AUC)
Fu H. и соавт., 2019, Сингапур [12]	2113	Выявление закрытого УПК	ОКТ, Visante AS-OCT	VGG-16 с трансферным обучением	0,96
Xu B.Y. и соавт., 2019, Китай и США [14]	791	Выявление закрытого и открытого УПК	ОКТ, Tomey CASIA SS-1000 Гониоскопия	ResNet18	0,96 ОН; 0,95 ПН 0,93 ОН; 0,92 ПН
Fu H. и соавт., 2020, Сингапур [13]	2113 202	Выявление закрытого УПК	ОКТ, Visante AS-OCT ОКТ, Cirrus HD-OCT	Multilevel Deep Network	0,96 0,95
Chiang M. и соавт., 2021, Китай и США [15]	4152	То же	Гониофотография на EyeCam	ResNet 50	0,97 (разметка одним специалистом) 0,95 (разметка группой специалистов)
Zheng C. и соавт., 2021, Китай [20]	894	То же	ОКТ, Tomey CASIA SS-1000	Generative adversarial networks	0,88 (клиническая оценка TISA750) 0,97 (реальные изображения) 0,94 (синтетические изображения)
Li F. и соавт., 2022, Китай, Сингапур, Таиланд [16]	2294	То же. Выявление гониосинехий	То же	3D-ResNet-34; 3D-ResNet-50	0,94 0,90 (по квадрантам); 0,88 (по часам в соответствии с циферблатом)
Yang Y. и соавт., 2022, Китай [18]	278	Выявление закрытого УПК Дифференциация аппозиционного и гониосинехиального закрытия УПК	То же	InceptionResnetV2	0,96 0,87
Porporato N. и соавт., 2022, Китай [21]	312	Выявление закрытого УПК	То же	VGG-16	0,85
Hao J. и соавт., 2022, Китай [19]	66	Дифференциация аппозиционного и гониосинехиального закрытия УПК	Tomey CASIA2	Hybrid Variation-aware Network	0,85
Shan J. и соавт., 2023, Китай, Сингапур, США [25]	1141 глаз	Контроль/ППЗУ/ПЗУ+ПЗУГ Контроль/ЗПЗУ ППЗУ/ПЗУ+ПЗУГ	Tomey CASIA SS-1000	Inception V3	0,96 ОН; 0,84 ПН 0,96 ОН; 0,95ПН 0,83 ОН; 0,64ПН

Примечание. * — во всех случаях, где не указано иное.

няться в отдаленных регионах и в условиях ограничения ресурсов здравоохранения.

Z.D. Soh и соавторы (2023) использовали фотографии передней камеры, полученные на цифровой камере (DC3; Topcon Corp., Япония), установленной на щелевой лампе (Topcon Corp., Япония), для создания модели ИИ, прогнозирующей глубину ACD, с целью выявления закрытия УПК [34]. Данный метод имитирует биометрию и может применяться для диагностики ЗПЗУ в условиях отсутствия ОКТ.

T.K. Yoo и соавторы (2022) предложили оригинальный метод выявления ПЗУГ [35]. С помощью алгоритма ИИ (CycleGAN), анализирующего разницу изображений на фотографиях глазного дна в глазах с нормальной и мелкой ACD, возможен скрининг ПЗУГ в условиях отсутствия дорогостоящего оборудования (AUC 0,97 для ACD ⩽2,60 мм и AUC 0,89 для ACD ⩽2,80 мм).

Методы искусственного интеллекта в лечении заболевания первичного закрытия угла

Методы ИИ открывают новые возможности в оценке результатов хирургического лечения и в области принятия решений о выборе тактики того или

иного вмешательства. С помощью машинного обучения, в частности проекционного метода Data Driven Soft Independent Modelling of Class Analogies (DD-SIMCA), разработанного А.Л. Померанцевым (2008) [36, 37], возможен анализ многопараметрических данных, например полученных на изображениях AS-OCT у пациентов с ЗПЗУ [38, 39].

Н.И. Курышева и соавторы (2023) применили метод DD-SIMCA в оценке эффективности периферической лазерной иридотомии (ПЛИТ) и ленсэктомии (ЛЭ) у больных с ПЗУ [40].

Принимая во внимание актуальность поиска предикторов эффективности лечения ЗПЗУ [41], эти же авторы впервые применили методы машинного обучения, в частности метод регрессии на главные компоненты, в количественном прогнозе гипотензивного эффекта ПЛИТ и ЛЭ при ПЗУ [42]. Каждая из двух регрессионных моделей (ПЛИТ-модель и ЛЭ-модель) включала 37 клинико-анатомических параметров: возраст, пол, сфероэквивалент, остроту зрения с максимальной коррекцией и без коррекции, внутриглазное давление (ВГД), наличие/отсутствие начальной катаракты, толщину хориоидеи в макуле в 13 точках, длину передне-задней оси (ПЗО), глубину передней камеры, высоту свода хрусталика, кривизну радужки и ее толщину в 750 мкм от склеральной шпоры в назальном и темпоральном секторах, дистанцию открытия угла (AOD500, AOD750), площадь иридотрабекулярного пространства (TISA500, TISA750), степень открытия угла по Shaffer в верхних и нижних секторах. В результате был определены предикторы гипотензивного эффекта ПЛИТ и ЛЭ. Прогнозируя результаты лечения с помощью ЛЭ-модели и ПЛИТ-модели, можно оценить, насколько в каждом конкретном случае снизится ВГД при том и другом методе, и далее решить, достаточно ли этого для конкретного пациента.

В последующем исследовании Н.И. Курышева и соавторы (2023) продолжили работу в области тактики лечения ПЗУ [43]. Предложен укороченный вариант алгоритма с использованием проекционных методов ИИ, не уступающий по своей точности полному, описанному выше. Укороченный вариант предполагает анализ всего четырех параметров вместо 37, выбранных с учетом доступности измерений в рутинной клинической практике: пол, ВГД, длина ПЗО и глубина передней камеры [43]. Авторы получили патент на изобретение [44].

Перспективы применения методов искусственного интеллекта при заболевании первичного закрытия угла

Интеграция методов визуализации переднего отрезка глаза, особенно оптической когерентной томографии, с методами ИИ способствует повышению эффективности скрининга и диагностики ЗПЗУ. Увеличение числа общедоступных наборов данных могло бы улучшить воспроизводимость и точность алгоритмов ИИ. В настоящее время лишь восемь исследований из 183, посвященных обсуждаемой теме, соответствуют критериям включения в «открытую базу» [45].

Перспективным также является объединение методов ИИ с интраоперационной AS-OCT. В настоящее время нейронная сеть способна идентифицировать трабекулярную сеть при видеогониоскопии и может применяться для обучения начинающих офтальмохирургов [46].

Несмотря на достижения в области применения методов ИИ при ЗПЗУ, необходимы дальнейшие исследования для их широкого внедрения в клиническую практику, что позволит обеспечить своевременную диагностику и выбор персонализированного лечения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Foster PJ, Oen FT, Machin D, et al. The prevalence of glaucoma in Chinese residents of Singapore: a cross-sectional population survey of the Tanjong Pagar district. *Arch Ophthalmol*. 2000;118(8):1105-1111. https://doi.org/10.1001/archopht.118.8.1105
2. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Первичный закрытый угол передней камеры: прогрессирование от подозрения до глаукомы. Часть 1. Частота и скорость перехода подозрения на первичный закрытый угол в истинно закрытый угол и первичную закрытоугольную глаукому. *Вестник офтальмологии*. 2022;138(4):101-107.
Kurysheva NI, Sharova GA. Primary anterior chamber angle closure: progression from suspect to glaucoma. Part 1. Frequency and rate of transition from suspected primary angle closure to true angle closure and primary angle closure glaucoma. *Russian Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2022;138(4):101-107 (In Russ.). https://doi.org/10.17116/oftalma2022138041101
3. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Первичный закрытый угол передней камеры: прогрессирование от подозрения до глаукомы. Часть 2. Предикторы первичного закрытого угла. *Вестник офтальмологии*. 2022;138(4):108-116.
Kurysheva NI, Sharova GA. Primary anterior chamber angle closure: progression from suspect to glaucoma. Part 2. Predictors of primary angle closure. *Russian Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2022;138(4):108-116 (In Russ.). https://doi.org/10.17116/oftalma2022138041108
4. Huang W, Li X, Gao X, Zhang X. The anterior and posterior biometric characteristics in primary angle-closure disease: Data based on anterior segment optical coherence tomography and swept-source optical coherence tomography. *Indian J Ophthalmol*. 2021;69(4):865-870. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_936_20
5. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Анатомо-топографические особенности переднего и заднего сегментов глаза при ранних стадиях заболевания первичного закрытия угла. *Национальный журнал глаукома*. 2023;22(1):42-53.
Kurysheva NI, Sharova GA. Anatomical and topographical characteristics of the eye in the early stages of primary angle closure disease. *National Journal glaucoma*. 2023;22(1):42-53 (In Russ.). https://doi.org/10.53432/2078-4104-2023-22-1-42-53

6. Самохвалов Н.В., Сорокин Е.Л., Марченко А.Н., Пашенцев Я.Е. Анатомо-морфометрические особенности структур переднего сегмента глаза при гиперметропии и риск развития первичной закрытоугольной глаукомы. *Вестник офтальмологии*. 2022;138(5):22-28.
Samokhvalov NV, Sorokin EL, Marchenko AN, Pashentsev YE. Anatomical and morphometric features of anterior eye segment structures in hyperopia and the risk of developing primary angle-closure glaucoma. *Russian Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2022;138(5):22-28 (In Russ.). https://doi.org/10.17116/oftalma202213805122
7. Chansangpetch S, Rojanapongpun P, Lin SC. Anterior Segment Imaging for Angle Closure. *Am J Ophthalmol.* 2018;188:xvi-xxix. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.01.006
8. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Роль оптической когерентной томографии в диагностике заболеваний закрытого угла передней камеры. Часть 1: Визуализация переднего сегмента глаза. *Офтальмология*. 2021;18(2):208-215.
Kurysheva NI, Sharova GA. The Role of Optical Coherence Tomography in the Diagnosis of Angle Closed Diseases of the Anterior Chamber. Part 1: Visualization of the Anterior Segment of the Eye. *Ophthalmology in Russia*. 2021;18(2):208-215 (In Russ.). https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-2-208-215
9. Еричев В.П., Полева Р.П., Хдери Х. Новые возможности оптической когерентной томографии в диагностике первичной закрытоугольной глаукомы. *Национальный журнал глаукома*. 2021;20(2):14-22.
Erichev VP, Poleva RP, Hadiri Kh. New capabilities of optical coherence tomography in the diagnostics of primary angle-closure glaucoma. *National Journal glaucoma*. 2021;20(2):14-22 (In Russ.). https://doi.org/10.25700/2078-4104-2021-20-2-14-22
10. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Роль оптической когерентной томографии в диагностике заболеваний закрытого угла передней камеры. Часть 2: Визуализация заднего сегмента глаза. *Офтальмология*. 2021;18(3):381-388.
Kurysheva NI, Sharova GA. The Role of Optical Coherence Tomography in the Diagnosis of Angle Closed Diseases of the Anterior Chamber. Part 2: Visualization of the Posterior Segment of the Eye. *Ophthalmology in Russia*. 2021;18(3):381-388 (In Russ.). https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3-381-388
11. Soh ZD, Tan M, Nongpiur ME, et al. Assessment of angle closure disease in the age of artificial intelligence: A review. *Prog Retin Eye Res*. 2024;98:101227. https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2023.101227
12. Fu H, Baskaran M, Xu Y, et al. A Deep Learning System for Automated Angle-Closure Detection in Anterior Segment Optical Coherence Tomography Images. *Am J Ophthalmol.* 2019;203:37-45. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2019.02.028
13. Fu H, Xu Y, Lin S, et al. Angle-Closure Detection in Anterior Segment OCT Based on Multilevel Deep Network. *IEEE Trans Cybern*. 2020;50(7):3358-3366. https://doi.org/10.1109/TCYB.2019.2897162
14. Xu BY, Chiang M, Chaudhary S, Kulkarni S, Pardeshi AA, Varma R. Deep Learning Classifiers for Automated Detection of Gonioscopic Angle Closure Based on Anterior Segment OCT Images. *Am J Ophthalmol.* 2019;208:273-280. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2019.08.004
15. Chiang M, Guth D, Pardeshi AA, et al. Glaucoma Expert-Level Detection of Angle Closure in Goniophotographs With Convolutional Neural Networks: The Chinese American Eye Study. *Am J Ophthalmol.* 2021;226:100-107. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2021.02.004
16. Li F, Yang Y, Sun X, et al. Digital Gonioscopy Based on Three-dimensional Anterior-Segment OCT: An International Multicenter Study. *Ophthalmology.* 2022;129(1):45-53. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2021.09.018
17. Foster PJ, Buhrmann R, Quigley HA, Johnson GJ. The definition and classification of glaucoma in prevalence surveys. *Br J Ophthalmol.* 2002 Feb;86(2):238-242. https://doi.org/10.1136/bjo.86.2.238
18. Yang Y, Wu Y, Guo C, et al. Diagnostic Performance of Deep Learning Classifiers in Measuring Peripheral Anterior Synechia Based on Swept Source Optical Coherence Tomography Images. *Front Med (Lausanne)*. 2022;8:775711. https://doi.org/10.3389/fmed.2021.775711
19. Hao J, Li F, Hao H, et al. Hybrid Variation-Aware Network for Angle-Closure Assessment in AS-OCT. *IEEE Trans Med Imaging.* 2022;41(2):254-265. https://doi.org/10.1109/TMI.2021.3110602
20. Zheng C, Bian F, Li L, et al. Assessment of Generative Adversarial Networks for Synthetic Anterior Segment Optical Coherence Tomography Images in Closed-Angle Detection. *Transl Vis Sci Technol.* 2021;10(4):34. https://doi.org/10.1167/tvst.10.4.34
21. Porporato N, Tun TA, Baskaran M, et al. Towards 'automated gonioscopy': a deep learning algorithm for 360° angle assessment by swept-source optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol.* 2022;106(10):1387-1392. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-318275
22. Randhawa J, Chiang M, Porporato N, et al. Generalisability and performance of an OCT-based deep learning classifier for community-based and hospital-based detection of gonioscopic angle closure. *Br J Ophthalmol.* 2023;107(4):511-517. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-319470
23. Hao H, Zhao Y, Yan Q, et al. Angle-closure assessment in anterior segment OCT images via deep learning. *Med Image Anal.* 2021;69:101956. https://doi.org/10.1016/j.media.2021.101956
24. Amil P, González L, Arrondo E, et al. Unsupervised feature extraction of anterior chamber OCT images for ordering and classification. *Sci Rep.* 2019;9(1):1157. https://doi.org/10.1038/s41598-018-38136-8
25. Shan J, Li Z, Ma P, et al. Deep Learning Classification of Angle Closure based on Anterior Segment OCT. *Ophthalmol Glaucoma.* Published online July 16, 2023. https://doi.org/10.1016/j.ogla.2023.06.011
26. Eslami Y, Mousavi Kouzahkanan Z, Farzinvash Z, et al. Deep Learning-Based Classification of Subtypes of Primary Angle-Closure Disease With Anterior Segment Optical Coherence Tomography. *J Glaucoma.* 2023;32(6):540-547. https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000002194
27. Wang W, Wang L, Wang X, Zhou S, Lin S, Yang J. A Deep Learning System for Automatic Assessment of Anterior Chamber Angle in Ultrasound Biomicroscopy Images. *Transl Vis Sci Technol.* 2021;10(11):21. https://doi.org/10.1167/tvst.10.11.21
28. Jiang W, Yan Y, Cheng S, et al. Deep Learning-Based Model for Automatic Assessment of Anterior Angle Chamber in Ultrasound Biomicroscopy. *Ultrasound Med Biol.* 2023;49(12):2497-2509. https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.08.013
29. Liu P, Higashita R, Guo PY, et al. Reproducibility of deep learning based scleral spur localisation and anterior chamber angle measurements from anterior segment optical coherence tomography images. *Br J Ophthalmol.* 2023;107(6):802-808. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-319798
30. Xu BY, Chiang M, Pardeshi AA, Moghimi S, Varma R. Deep Neural Network for Scleral Spur Detection in Anterior Segment OCT Images: The Chinese American Eye Study. *Transl Vis Sci Technol*. 2020;9(2):18. https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.18
31. Gómez-Correa JE, Torres-Treviño LM, Moragrega-Adame E, et al. Intelligent-assistant system for scleral spur location. *Appl Opt.* 2020;59(10):3026-3032. https://doi.org/10.1364/AO.384440
32. Kurysheva NI, Rodionova OY, Pomerantsev AL, Sharova GA. Personalized Management of Physiologic/Ophthalmologic Particularities for Predictive Approach and Targeted Prevention of Primary Angle Closure Glaucoma Applied to Persons at Risk. In: Wang, W. (eds) All Around Suboptimal Health. *Advances in Predictive, Preventive and Personalised Medicine*, *Springer, Cham*. 2024;18:171-192. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46891-9_13
33. Chen D, Ho Y, Sasa Y, Lee J, Yen CC, Tan C. Machine Learning-Guided Prediction of Central Anterior Chamber Depth Using Slit Lamp Images from a Portable Smartphone Device. *Biosensors (Basel)*. 2021;11(6):182. https://doi.org/10.3390/bios11060182
34. Soh ZD, Jiang Y, S/O Ganesan SS, et al. From 2 dimensions to 3rd dimension: Quantitative prediction of anterior chamber depth from anterior segment photographs via deep-learning. *PLOS Digit Health*. 2023;2(2):e0000193. https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000193
35. Yoo TK, Ryu IH, Kim JK, Lee IS, Kim HK. A deep learning approach for detection of shallow anterior chamber depth based on the hidden features of fundus photographs. *Comput Methods Programs Biomed*. 2022;219:106735. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106735
36. Pomerantsev AL. Acceptance areas for multivariate classification derived by projection methods. *J Chemometrics*. 2008;22:601-609. https://doi.org/10.1002/cem.1147
37. Pomerantsev AL, Rodionova OYe. Concept and role of extreme objects in PCA/SIMCA. *J Chemometrics.* 2014;28:429-438. https://doi.org/10.1002/cem.2506
38. Курышева Н.И., Померанцев А.Л., Родионова О.Е., Шарова Г.А. Методы машинного обучения в сравнительной оценке различных подходов к хирургическому лечению первичного закрытия угла передней камеры глаза. *Офтальмология*. 2022;19(3):549-556.

Kurysheva NI, Pomerantsev AL, Rodionova OYe, Sharova GA. Machine Learning Methods in the Comparative Evaluation of Various Approaches to the Surgical Treatment of Primary Angle Closure. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(3):549-556 (In Russ.).
https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-3-549-556

39. Rodionova O, Kurysheva N, Sharova G, Pomerantsev A. Expanding the DD-SIMCA concept: A case study of precision medicine. *Anal Chim Acta*. 2023;1250:340958.
https://doi.org/10.1016/j.aca.2023.340958

40. Kurysheva NI, Pomerantsev AL, Rodionova OY, Sharova GA. Comparison of Lens Extraction Versus Laser Iridotomy on Anterior Segment, Choroid, and Intraocular Pressure in Primary Angle Closure Using Machine Learning. *J Glaucoma*. 2023;32(6):e43-e55.
https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000002145

41. Курышева Н.И., Шарова Г.А. Предикторы успеха периферической лазерной иридотомии и ленсэктомии при начальных стадиях заболевания первичного закрытия угла передней камеры. *Вестник офтальмологии*. 2023;139(3):98-105.
Kurysheva NI, Sharova GA. Predictors of the success of laser peripheral iridotomy and lensectomy in the early stages of primary angle closure disease. *Russian Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2023;139(3):98-105 (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/oftalma202313903198

42. Kurysheva NI, Rodionova OYe, Pomerantsev AL, Sharova GA. Comparative study of predictors of hypotensive efficacy of laser peripheral iridotomy and lensectomy in patients with primary anterior chamber angle closure based on machine learning methods. *Biomed Signal Proc Control*. 2023;85:104884.
https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.104884

43. Kurysheva NI, Rodionova OY, Pomerantsev AL, Sharova GA, Golubnitschaja O. Machine learning-couched treatment algorithms tailored to individualized profile of patients with primary anterior chamber angle closure predisposed to the glaucomatous optic neuropathy. *EPMA J*. 2023;14(3):527-538.
https://doi.org/10.1007/s13167-023-00337-1

44. Патент РФ на изобретение №2797850/ 08.06.2023. Бюлл. №16. Курышева Н.И., Родионова О.Е., Померанцев А.Л., Шарова Г.А. *Способ выбора тактики хирургического лечения пациентов с первичным закрытием угла передней камеры глаза*. Ссылка активна на 01.02.2024.
Patent RF na izobretenie №2797850/08.06.2023. Byull. №16. Kurysheva NI, Rodionova OYe, Pomerantsev AL, Sharova GA. *Method of choosing the tactics of surgical treatment of patients with primary closure of the angle of the anterior chamber of the eye*. (In Russ.). Accessed February 01, 2024
https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

45. Restrepo D, Quion JM, Do Carmo Novaes F, et al. Ophthalmology Optical Coherence Tomography Databases for Artificial Intelligence Algorithm: A Review. *Semin Ophthalmol*. Published online February 9, 2024.
https://doi.org/10.1080/08820538.2024.2308248

46. Lin KY, Urban G, Yang MC, et al. Accurate Identification of the Trabecular Meshwork under Gonioscopic View in Real Time Using Deep Learning. *Ophthalmol Glaucoma*. 2022;5(4):402-412.
https://doi.org/10.1016/j.ogla.2021.11.003

Поступила 22.02.2024
Received 22.02.2024
Принята в печать 26.03.2024
Accepted 26.03.2024