

Искусственный интеллект в офтальмологии. Нужны ли нам калькуляторы риска развития и прогрессирования глаукомы?

Дорофеев Д.А., врач-офтальмолог, руководитель городского глаукомного кабинета¹;
<https://orcid.org/0000-0003-3352-8170>

Корелина В.Е., к.м.н., врач-офтальмолог²; <https://orcid.org/0000-0002-4435-8114>

Витков А.А., младший научный сотрудник³; <https://orcid.org/0000-0001-7735-9650>

Кирилик Е.В., врач-офтальмолог¹; <https://orcid.org/0000-0002-0189-9586>

Куроедов А.В., д.м.н., начальник офтальмологического отделения⁴, профессор кафедры офтальмологии⁵;
<https://orcid.org/0000-0001-9606-0566>

Лукьянова К.О., врач-офтальмолог¹; <https://orcid.org/0000-0002-6781-3343>

Маркелова А.А., студент⁶; <https://orcid.org/0000-0002-9939-9781>

Поздеева О.Г., д.м.н., профессор кафедры⁶, главный врач⁷; <https://orcid.org/0000-0003-0346-5332>

Хохлова А.С., заведующая отделением⁸. <https://orcid.org/0000-0003-2718-2871>

¹ ГАУЗ ГКБ №2, поликлиника №1, 454090, Российская Федерация, Челябинск, ул. Российская, 200;

² ООО АМК, 190068, Российская Федерация, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 78, лит. А;

³ ФГБНУ «НИИГБ им. М.М. Краснова», 119021, Российская Федерация, Москва, ул. Россолимо, 11А;

⁴ ФКУ «Медицинский учебно-научный клинический центр им. П.В. Мандрыка» Минобороны РФ, 107014, Российская Федерация, Москва, ул. Б. Оленья, 8А;

⁵ ГБОУ ВПО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава РФ, 117997, Российская Федерация, Москва, ул. Островитянова, 1;

⁶ ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, 454092, Российская Федерация, Челябинск, ул. Воровского, 64;

⁷ МАУЗ «Городская клиническая больница № 2», поликлиника №1, 454090, Российская Федерация, Челябинск, ул. Российская, 200;

⁸ КГБУЗ «ВКДЦ», 690001, Российская Федерация, Владивосток, ул. Светланская, 131.

Финансирование: авторы не получили финансирование при проведении исследования и написании статьи.

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Дорофеев Д.А., Корелина В.Е., Витков А.А. и соавт. Искусственный интеллект в офтальмологии.

Нужны ли нам калькуляторы риска развития и прогрессирования глаукомы? *Национальный журнал глаукома.* 2023; 22(2):29-37.

Резюме

Искусственный интеллект (ИИ) стремительно входит в современную медицинскую практику. Многие повседневные клинические задачи, от визуализации и автоматизированной диагностики до роботизированной хирургии невозможно сегодня представить без использования ИИ. Нейронные сети показывают впечатляющие результаты при анализе большого массива данных, полученных при компьютерной периметрии, оптической когерентной томографии, фотографировании глазного дна и др. В настоящее время в России и за рубежом разрабатываются математические алгоритмы, позволяющие по тем или иным признакам определять наличие глаукомного процесса.

В статье анализируются плюсы и минусы использования ИИ в офтальмологической практике. Обсуждается необходимость тщательного подбора критериев и их влияние на точность работы калькуляторов. Особенности использования математического анализа при подозрении на глаукому и при уже установленном диагнозе. Приводятся клинические примеры использования калькулятора риска развития глаукомы в рутинной практике офтальмолога.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: искусственный интеллект, калькулятор риска развития глаукомы, калькулятор прогрессирования глаукомы, прогностические модели глаукомы.

Для контактов:

Дорофеев Дмитрий Александрович, e-mail: dimmm.83@gmail.com

ORIGINAL ARTICLE

Artificial intelligence in ophthalmology. Do we need risk calculators for glaucoma development and progression?

DOROFEEV D.A., ophthalmologist, Head of the City Glaucoma Office¹; <https://orcid.org/0000-0003-3352-8170>

KORELINA V.E., Cand. Sci. (Med.), ophthalmologist²; <https://orcid.org/0000-0002-4435-8114>

VITKOV A.A., junior researcher³; <https://orcid.org/0000-0001-7735-9650>

KIRILIK E.V., ophthalmologist¹; <https://orcid.org/0000-0002-0189-9586>

KUROYEDOV A.V., Dr. Sci. (Med.), Head of the Ophthalmology Department⁴, Professor at the Academic Department of Ophthalmology⁵; <https://orcid.org/0000-0001-9606-0566>

LUKYANOVA K.O., ophthalmologist¹; <https://orcid.org/0000-0002-6781-3343>

MARKELOVA A.A., student⁶; <https://orcid.org/0000-0002-9939-9781>

POZDEEVA O.G., Dr. Sci. (Med.), Professor at the Academic Department⁶, Chief Physician⁷; <https://orcid.org/0000-0003-0346-5332>

KHOHLOVA A.S., Head of Department⁸. <https://orcid.org/0000-0003-2718-2871>

¹Chelyabinsk Public Clinical Hospital No. 2, Polyclinic No. 1, 200 Rossiyskaya St., Chelyabinsk, Russian Federation, 454090;

²ООО АМК; 190068, Russia, St. Petersburg, emb. river Moika, 78, lit.A

³Krasnov Research Institute of Eye Diseases, 11A Rossolimo St., Moscow, Russian Federation, 119021;

⁴Mandryka Military Clinical Hospital, 8A Bolshaya Olenya St., Moscow, Russian Federation, 107014;

⁵Pirogov City State Clinical Hospital No. 1, 8 Leninskiy pr., Moscow, Russian Federation, 119049;

⁶South Ural State Medical University, 64 Vorovskogo St., Chelyabinsk, Russian Federation, 454092;

⁷Chelyabinsk Public Clinical Hospital No. 2, Polyclinic No. 1, 200 Rossiyskaya St., Chelyabinsk, Russian Federation, 454090;

⁸Pacific State Medical University, 131 Svetlanskaya St., Vladivostok, Russian Federation, 690001.

Funding: the authors received no specific funding for this work.

Conflicts of Interest: none declared.

For citations: Dorofeev D.A., Korelina V.E., Vitkov A.A. et al. Artificial intelligence in ophthalmology. Do we need risk calculators for glaucoma development and progression? *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2023; 22(2):29-37.

Abstract

Artificial intelligence (AI) is rapidly entering modern medical practice. Many routine clinical tasks, from imaging and automated diagnostics to robotic surgery, cannot be imagined without the use of AI. Neural networks show impressive results when analyzing a large amount of data obtained from standard automated perimetry, optical coherence tomography (OCT) and fundus photography. Currently, both in Russia and abroad mathematical algorithms are being developed that allow detection of glaucoma based on certain signs.

This article analyzes the advantages and disadvantages of employing artificial intelligence in ophthalmological practice, discusses the need for careful selection of the criteria and their influence on the accuracy of calculators, considers the specifics of using mathematical analysis in suspected glaucoma, as well as in an already established diagnosis. The article also provides clinical examples of the use of glaucoma risk calculator in the routine practice of an ophthalmologist.

KEYWORDS: artificial intelligence, glaucoma risk calculator, glaucoma progression calculator, glaucoma prognostic model.

Искусственный интеллект (ИИ) стремительно входит в современную медицинскую практику. Многие повседневные клинические задачи, от визуализации и автоматизированной диагностики до роботизированной хирургии невозможно сегодня представить без использования ИИ. Нейронные сети показывают впечатляющие результаты при анализе большого массива данных,

полученных при компьютерной периметрии, оптической когерентной томографии (ОКТ), фотографировании глазного дна и др. [1–10]. Однако их внедрение в широкую клиническую практику в настоящее время затруднено ввиду ряда этических и технических причин, в то время как применение разнообразных калькуляторов одобрено в качестве помощника в принятии решения по диагностированию,

мониторингу и тактике дальнейшего ведения пациентов с заболеваниями разных систем и органов, начиная с расчета рисков рака молочной железы [11] и заканчивая продолжительностью жизни [12].

Из всех заболеваний органа зрения именно первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) требует от врача-офтальмолога сопоставления большого количества диагностических параметров, критериев и факторов риска. Вычислительные возможности математических моделей могут помочь в диагностике, прогнозировании начала заболевания, его прогрессирования, тяжести течения и определении эффективности лечения.

В настоящее время в России и за рубежом разрабатываются математические алгоритмы, позволяющие по тем или иным признакам определять наличие глаукомного процесса. Один из первых калькуляторов вероятности развития глаукомы появился в 2004 году в результате рандомизированного многоцентрового проспективного исследования OHTS (Ocular Hypertension Treatment Study) [13]. У пациентов с офтальмогипертензией (ОГ) оценивался риск развития глаукомы в течение ближайших пяти лет. К основным признакам, необходимым для расчетов, были отнесены: возраст, центральная толщина роговицы (ЦТР), уровень внутриглазного давления (ВГД), вертикальное соотношение экскавации к размеру диска зрительного нерва (ДЗН), среднее квадратическое отклонение среднего снижения светочувствительности сетчатки (sLV или PSD) [14]. Однако калькулятор имел целый ряд недостатков: очень жесткие критерии включения в исследование пациентов определенного возраста, расы и уровня офтальмотонуса, отсутствие понятия «давление цели». Для определения толерантного и целевого давления у пациентов с глаукомой Балалин С.В. и соавторы создали отдельный калькулятор, позволяющий рассчитать толерантное давление и давление цели [15, 16]. Дорофеев Д.А. и исследовательская группа «Научный авангард» разработали калькулятор вероятности глаукомы, учитывающий структурно-функциональные и региональные гемодинамические и клинко-эпидемиологические данные, позволяющие рассчитать вероятность наличия глаукомы [17, 18]. Использование калькуляторов, включающих такие признаки, как показатели гемодинамики заднего отрезка глазного яблока [19], обеспечило возможность отличать пациентов с глаукомой от здоровых людей с точностью около 80%.

В настоящее время существуют алгоритмы, анализирующие фундус-фотографии [8, 20, 21], результаты статической периметрии [2, 3], оптической когерентной томографии (ОКТ) [4, 5] или их комбинации [22–25]. Есть модели, позволяющие пациентам выполнять самоконтроль с помощью роботизированных ОКТ [26–28] или домашней периметрии [29–31] совместно с ОКТ [32]. Отечественный проект (t.me/ai_tonometry_bot) анализирует данные

об уровне офтальмотонуса, периметрии и изображения ОКТ (в процессе разработки), что позволяет достаточно точно определять степень тяжести патологического процесса и рекомендовать соответствующую терапию [10, 33].

У пациентов с верифицированным диагнозом ПОУГ математические алгоритмы позволяют оценивать скорость прогрессирования и вероятность неблагоприятного исхода. Расчеты могут помочь в составлении индивидуального плана лечения конкретного пациента, определить своевременность перехода к хирургическим методам.

Для решения этих задач в калькуляторах важно учитывать, насколько выражены были глаукомные изменения при постановке диагноза, общее соматическое состояние и возраст при начале лечения. От правильного расчета предполагаемой продолжительности жизни будет зависеть агрессивность тактики лечения, а также стоимость затрат на него [34]. Принятие решения неразрывно связано с фармакоэкономическими последствиями. Например, у пациента с высоким ВГД и низким риском прогрессирования (2%) предполагаемая продолжительность жизни должна превышать 20 лет, чтобы хирургическое лечение было обоснованным [35, 36].

В исследовании Olmsted [37] рассчитывалась вероятность односторонней слепоты у пациентов с впервые выявленной глаукомой. По мнению авторов, слепота на один глаз в течение 20 лет разовьется у 27% пациентов (95% доверительный интервал [ДИ]: 20–33%). Но если включить в подобный анализ все признаки из исследования Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS) [38, 39] и Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS) [40], то при офтальмогипертензии риск развития односторонней слепоты в течение 15 лет составит 10,5% [34]. Так сложные математические алгоритмы позволяют увереннее планировать схему лечения пациента.

Правильная оценка скорости прогрессирования глаукомного процесса с учетом выраженности изменений ганглиозных клеток сетчатки поможет определять пациентов, которым необходимо ретинопротекторное лечение уже на ранних стадиях глаукомы [41].

Наибольшее количество вопросов у практикующего доктора, как правило, вызывают пациенты с подозрением на глаукому, когда есть один или несколько факторов риска развития заболевания, но нет достоверных изменений в структурно-функциональных показателях. Например, в следующих ситуациях: при офтальмоскопии выявлена расширенная экскавация и изменения нейроретинального пояса при субнормальных цифрах внутриглазного давления; была обнаружена офтальмогипертензия при отсутствии других признаков; диагностированы пограничные значения морфофункционального статуса. В таких случаях офтальмолог вынужден решать сложную, но очень важную

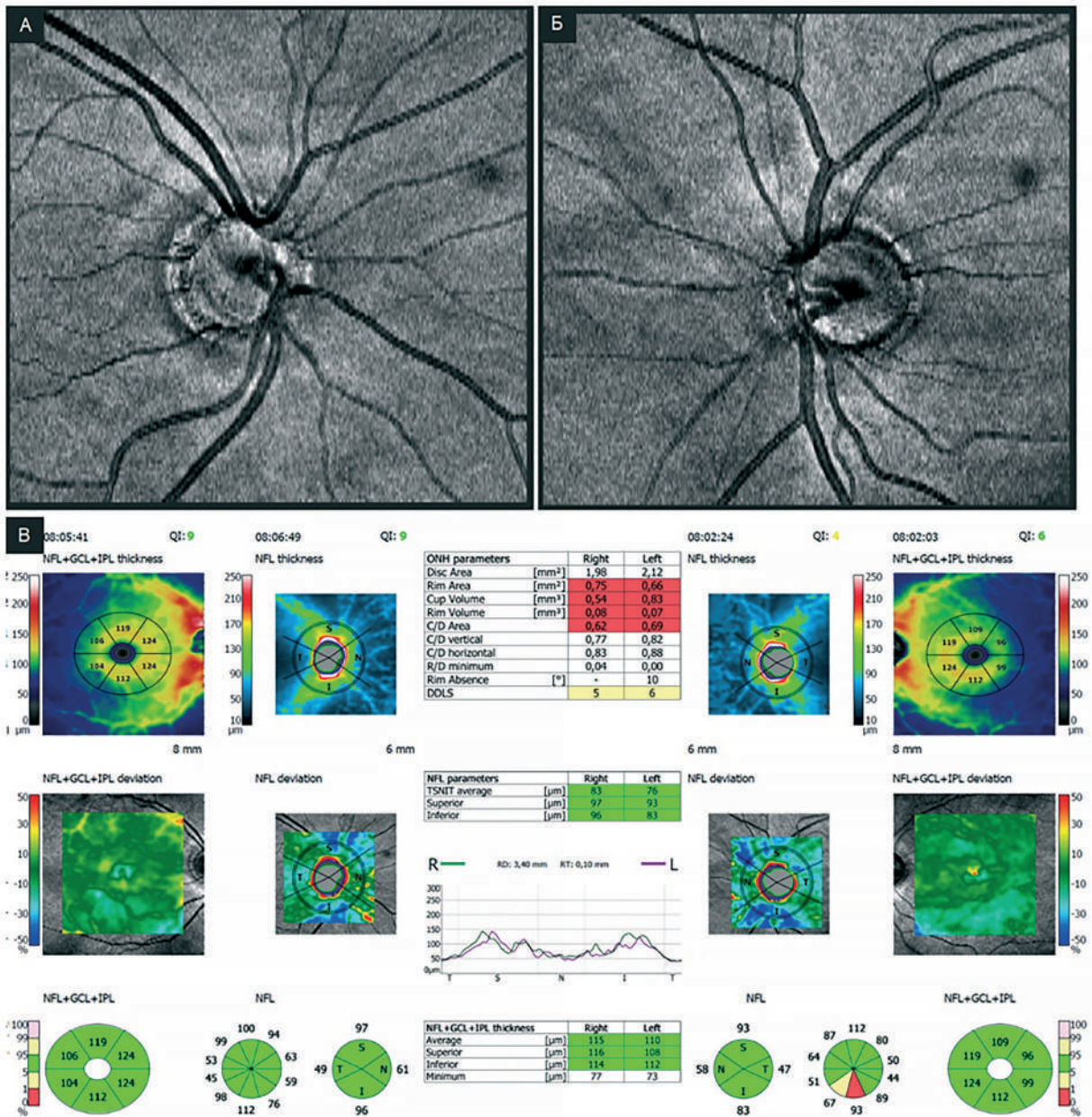


Рис. 1. Псевдо-sLO изображение ДЗН (А–Б). Оптическая когерентная томография ДЗН и макулярной области (В).
 Fig. 1. Pseudo-sLO image of the optic disc (A–B). Optical coherence tomography of the optic disc and macular area (B).

задачу дифференциальной диагностики индивидуальной нормы, подозрения на глаукому и начальной стадии глаукомы.

Приведем примеры, как калькулятор риска развития глаукомы может влиять на тактику ведения пациента с офтальмогипертензией.

Клинический случай

Пациентка А., 74 года, наблюдается с офтальмогипертензией, острота зрения обоих глаз — 1,0. При биомикроскопии выявлены начальные помутнения хрусталиков. Офтальмоскопия: ДЗН с четкими

контурами, Э/Д=0,8 (рис. 1А–Б), соответствует правилу ISNT, макулярная зона без особенностей. Тонометрия (P₀) правого глаза — 24 мм рт.ст., левого — 25 мм рт.ст.. Центральная толщина роговицы справа — 539 мкм, слева — 540 мкм. По данным компьютерной периметрии (рис. 2) не выявлено типичного снижения светочувствительности сетчатки, характерного для глаукомы [42]. При этом среднее снижение светочувствительности сетчатки (MD) составило -1,5 дБ и -0,1 дБ для правого и левого глаза, соответственно, а среднеквадратичное отклонение среднего снижения светочувствительности сетчатки (sLV) правого глаза — 2,6 дБ, левого — 2,3 дБ.

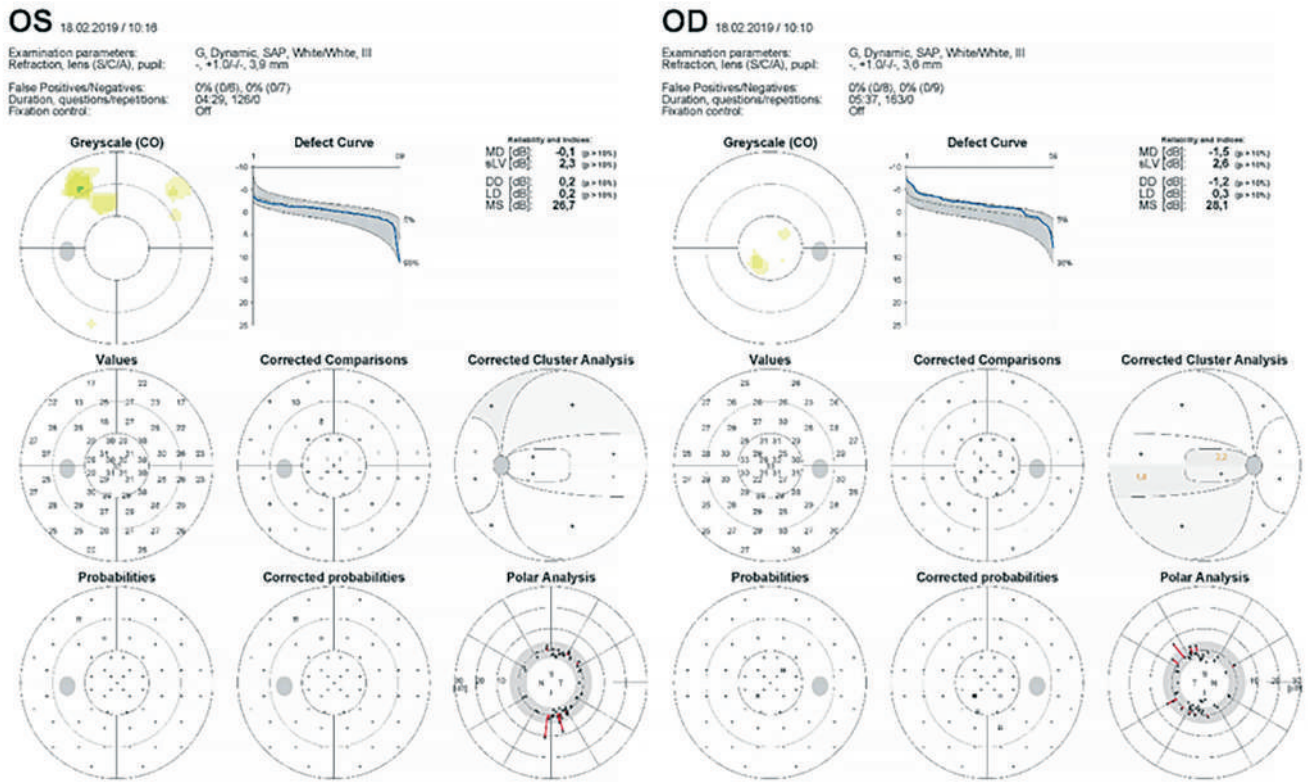


Рис. 2. Результаты стандартной автоматической периметрии Octopus 600 G Dynamic.
 Fig. 2. Results of standard automated perimetry Octopus 600 G Dynamic.

ОКТ ДЗН и макулярной области без видимых патогномичных паттернов выпадения толщины слоя нервных волокон сетчатки (СНВС), комплекса ганглиозных клеток и нейроретинального пояса (рис. 1В). Обращает на себя внимание расширение экскавации, в результате чего все количественные характеристики ДЗН находятся за пределами нормальных значений по сравнению с нормативной базой прибора. Однако при этом показатели комплекса ганглиозных клеток сетчатки и СНВС (за исключением нижнеазальных сегментов, что может быть обусловлено индивидуальными особенностями расположения нижнего пучка СНВС) не выходят за пределы значений нормативной базы и не демонстрируют типичных глаукомных паттернов, характерных для глаукомы, в виде серповидной полудуги расширяющейся от ДЗН по мере приближения к центральному отделам сетчатки [43–45].

Результаты обследования были внесены в онлайн-калькулятор риска развития глаукомы, составленный на основании исследований ОНТС [13] и the European Glaucoma Prevention Study (EGPS) [46] и находящийся в свободном доступе (https://aao-resources-enformehosting.s3.amazonaws.com/resources/Glaucoma_Center/Continuous-Method-Calculator/index.html). Вероятность развития глаукомы хотя бы на одном глазу составила 34% (рис. 3А). Если бы у нашего пациента офтальмотонус составлял 30 мм рт.ст., вероятность глаукомы,

при прочих равных условиях, составила бы 49,5% (рис. 3Б), а если в расчете также изменить центральную толщину роговицы до 480 мкм, то это изменит результат до 86,2% (рис. 3В).

Таким образом, у пациента в приведенном выше примере высокий риск развития глаукомы в течение последующих пяти лет наблюдения. Данная информация может позволить практикующему врачу принять решение о начале гипотензивной терапии у пациента с офтальмогипертензией. Однако порог назначения гипотензивной терапии нигде не описан, и решение принимается врачом на основании клинического опыта, наличия дополнительных факторов риска развития глаукомы и настроения пациента. При этом стоит отметить, что при старении пациента, увеличении офтальмотонуса, размера экскавации и среднеквадратичного отклонения среднего снижения светочувствительности риск развития глаукомы будет увеличиваться, что может привести к изменению тактики дальнейшего наблюдения. Как известно, ЦТР хоть и снижается с возрастом, но столь значимых ее изменений (рис. 3В) в норме не наблюдается [47]. Соответственно, отношение к ЦТР как к фактору риска имеет большое значение, а калькулятор вероятности развития глаукомы позволяет акцентировать большее внимание на пациентах с тонкой ЦТР за счет большого вклада данного показателя в анализ риска развития заболевания.

A POAG Risk Calculator: Continuous Method							B POAG Risk Calculator: Continuous Method							B POAG Risk Calculator: Continuous Method									
Age range: 30–80 years	Right Eye Measurement			Left Eye Measurement			Avg	Age range: 30–80 years	Right Eye Measurement			Left Eye Measurement			Avg	Age range: 30–80 years	Right Eye Measurement			Left Eye Measurement			Avg
74	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd		74	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd		74	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	
Untreated Intraocular Pressure range: 20–32 mm Hg	24	24	24	25	25	25	24.5	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Central Corneal Thickness range: 475–558 µm	539	539	539	540	540	540	539.5	539	539	539	540	540	540	540	539.5	480	480	480	480	480	480	480	480
Cup to Disc Ratio by Contour range: 0.0–0.8	0.8			0.8			0.8	0.8				0.8			0.8	0.8			0.8			0.8	
Pattern Standard Deviation																							
<input type="radio"/> Humphrey range: 0.5–3 dB <input type="radio"/> Octopus Loss Variance range: 0.5–3 dB	2.6	2.6		2.3	2.3		1.5645	2.6	2.6		2.3	2.3		1.5645	<input type="radio"/> Humphrey range: 0.5–3 dB <input type="radio"/> Octopus Loss Variance range: 0.5–3 dB	2.6	2.6		2.3	2.3		1.5645	
Estimate Risk	The patient's estimated 5-year risk (%) of developing glaucoma in at least one eye.						34%	Estimate Risk	The patient's estimated 5-year risk (%) of developing glaucoma in at least one eye.						49.5%	Estimate Risk	The patient's estimated 5-year risk (%) of developing glaucoma in at least one eye.						86.2%

Рис. 3. Протокол расчёта риска развития глаукомы.
Fig. 3. Protocol of glaucoma risk calculation.

Стоит отметить, что результат рассчитывается по среднему арифметическому из всех данных, полученных от обоих глаз, однако, хотя глаукома и является парным процессом, часто она асимметрична [48], соответственно, целесообразнее рассчитывать риск для каждого глаза по отдельности.

Кроме того, авторы математических алгоритмов вынуждены придерживаться жестких параметров включения и исключения пациентов при наборе данных для создания этих моделей, в связи с чем не всегда полученные результаты могут быть применимы для всех пациентов всех групп и популяций, встречающихся на офтальмологическом приеме. Иными словами, нет гарантий, что прогностическая модель, разработанная на основе определенного набора данных, будет работать в другой группе пациентов.

Все существующие на сегодняшний день калькуляторы базируются на представлении о глаукоме как о заболевании с нарушением гидродинамики и разработаны для высоких цифр ВГД. Взгляды на патогенез ПОУГ стремительно меняются и возникает потребность в разработке новых, использующих другие массивы данных, все более подробных калькуляторов. Универсальных алгоритмов, отвечающих всем запросам, не существует.

Оценка скорости прогрессирования заболевания с помощью ИИ не всегда оправдывает ожидания и трудо-временные затраты. Известно, что ПОУГ относится к хроническим прогрессирующим болезням. Успех лечения во многом зависит от приверженности пациента рекомендациям [49, 50], его психоэмоционального статуса, отношения к болезни и желания лечиться. Никакие калькуляторы не учитывают эти важные составляющие терапии. Не берется в расчет также информация о стоимости и доступности лекарственных препаратов [51], влиянии болезни и лечения на качество жизни пациента.

Интеграция ИИ в нашу клиническую практику и повседневную жизнь сопряжена с большим количеством нерешенных юридических и этических вопросов. Математическая точность выполняемых

расчетов не может полностью уберечь врача от ошибочных выводов [52]. Безусловно, современный доктор должен понимать принципы машинного обучения, быть осведомлен о методах получения данных, которые он будет интерпретировать с помощью ИИ, разбираться в некоторых аспектах работы алгоритмов, степени их чувствительности и специфичности [53]. Нужно понимать, какой порог и критерии включения определили разработчики используемого калькулятора. Так, если был выбран высокий порог, специфичность его будет увеличиваться, а чувствительность — снижаться [54].

Взвешенное решение при постановке диагноза или подборе терапии необходимо принимать, используя комплексный подход, совмещающий личный врачебный опыт, клиническое мышление и математические вычисления [55–57]. Опрометчиво полагаться только на ИИ, ведь его ошибки потенциально могут иметь более разрушительное действие по сравнению с ошибками людей [58].

Заключение

Парадокс глаукомы заключается в том, что определенная часть пациентов, получающих лечение (по мнению некоторых авторов — до 50%) не должны его получать, так как у них на самом деле нет заболевания [59]. В то же время, 67% пациентов, страдающих глаукомой, не знают о своем заболевании [59]. Использование калькуляторов факторов риска развития глаукомы несомненно поможет грамотному специалисту отличать состояния индивидуальной нормы от проявлений начальной стадии заболевания.

Стремительно развивающиеся технологии, помогая врачу и повышая точность диагностической работы, призваны освободить время доктора для проявления эмпатии, построения эффективной коммуникации с пациентом и творческого подхода к своей работе, то есть для качеств, недоступных машине [60].

Литература

- Kucur SS, Holló G, Sznitman R. A deep learning approach to automatic detection of early glaucoma from visual fields. *PLoS One* 2018; 13(11):e0206081. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0206081>
- Asaoka R, Iwase A, Hirasawa K, Murata H, Araie M. Identifying “pre-perimetric” glaucoma in standard automated perimetry visual fields. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55(12):7814-7820. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-15120>
- Asaoka R, Murata H, Iwase A, Araie M. Detecting Preperimetric Glaucoma with Standard Automated Perimetry Using a Deep Learning Classifier. *Ophthalmology* 2016; 123(9):1974-1980. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.05.029>
- Mariottoni EB, Jammal AA, Urata CN, Berchuck SI, Thompson AC, Estrela T, Medeiros FA. Quantification of Retinal Nerve Fibre Layer Thickness on Optical Coherence Tomography with a Deep Learning Segmentation-Free Approach. *Sci Rep* 2020; 10(1):402. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57196-y>
- Maetschke S, Antony B, Ishikawa H, Wollstein G, Schuman J, Garnavi R. A feature agnostic approach for glaucoma detection in OCT volumes. *PLoS One* 2019; 14(7):e0219126. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0219126>
- Jammal AA, Thompson AC, Ogata NG, et al. Detecting Retinal Nerve Fibre Layer Segmentation Errors on Spectral Domain-Optical Coherence Tomography with a Deep Learning Algorithm. *Sci Rep* 2019; 9(1):9836. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46294-6>
- Medeiros FA, Jammal AA, Thompson AC. From Machine to Machine: An OCT-trained Deep Learning Algorithm for Objective Quantification of Glaucomatous Damage in Fundus Photographs. *Ophthalmology* 2019; 126(4):513. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2018.12.033>
- Christopher M, Belghith A, Bowd C, et al. Performance of Deep Learning Architectures and Transfer Learning for Detecting Glaucomatous Optic Neuropathy in Fundus Photographs. *Sci Rep* 2018; 8(1):16685. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35044-9>
- Gajendran MK, Rohowetz LJ, Koulen P, Mehdizadeh A. Novel Machine-Learning Based Framework Using Electroretinography Data for the Detection of Early-Stage Glaucoma. *Front Neurosci* 2022; 16. <https://doi.org/10.3389/FNINS.2022.869137>
- Дорофеев Д.А., Антонов А.А., Василенко Д.Ю. и соавт. Метод измерения внутриглазного давления с использованием технологий искусственного интеллекта и аппланационной тонометрии с фиксированной силой. *Российский офтальмологический журнал* 2022; 15 (2(Прил)):49-56. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-supplement-49-56>
- Smigel K. Breast Cancer Prevention Trial shows major benefit, some risk. *J Natl Cancer Inst* 1998;90(9):647-648. <https://doi.org/10.1093/JNCI/90.9.647>
- Living To 100 Life Expectancy Calculator. <https://www.livingto100.com/>. Accessed February 10, 2023.
- Gordon MO, Torri V, Miglior S, et al. Validated prediction model for the development of primary open-angle glaucoma in individuals with ocular hypertension. *Ophthalmology* 2007; 114(1):10-19. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.08.031>
- Gordon MO. The Ocular Hypertension Treatment Study. *Archives of Ophthalmology* 1999; 117(5):573. <https://doi.org/10.1001/archophth.117.5.573>
- Леошек М.В. Определение толерантного ВГД и прогнозирование скорости прогрессирования глаукомы по данным программы — калькулятора Балалина С.В. *Бюллетень медицинских интернет-конференций. Саратов: Наука и инновации* 2016; 797.
- Балалин С.В., Фокин В.П., Юферов О.В. Программное обеспечение для определения толерантного и целевого давления у больных первичной открытоугольной глаукомой. *РМЖ Клиническая офтальмология* 2013; 13(4):144-147.
- Авдеев Р.В., Александров А.С., Арапиев М.У. и соавт. Подозрение и начальная стадия глаукомы: дифференциально-диагностические критерии. *Российский офтальмологический журнал* 2017; 10(4):5-15. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-4-5-15>
- Авдеев Р.В., Александров А.С., Бакунина Н.А. и соавт. Структурно-функциональные диагностические критерии в оценке вероятности наличия подозрения на глаукому и начальной стадии глаукомы. *Медико-биологические проблемы жизнедеятельности* 2017; 17(1):105-117.
- Экгардт В.Ф., Дорофеев Д.А. Структурно-функциональные и гемодинамические особенности пациентов при простой первичной и псевдоэкзофолиативной открытоугольной глаукоме и офтальмогипертензии в модели прогнозирования развития глаукомы. Часть 3. *Национальный журнал глаукома* 2018; 17(4):3-15. <https://doi.org/10.25700/NJG.2018.04.01>
- Li Z, He Y, Keel S, Meng W, Chang RT, He M. Efficacy of a Deep Learning System for Detecting Glaucomatous Optic Neuropathy Based on Color Fundus Photographs. *Ophthalmology* 2018; 125(8):1199-1206. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2018.01.023>

References

- Kucur SS, Holló G, Sznitman R. A deep learning approach to automatic detection of early glaucoma from visual fields. *PLoS One* 2018; 13(11):e0206081. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0206081>
- Asaoka R, Iwase A, Hirasawa K, Murata H, Araie M. Identifying “pre-perimetric” glaucoma in standard automated perimetry visual fields. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55(12):7814-7820. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-15120>
- Asaoka R, Murata H, Iwase A, Araie M. Detecting Preperimetric Glaucoma with Standard Automated Perimetry Using a Deep Learning Classifier. *Ophthalmology* 2016; 123(9):1974-1980. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.05.029>
- Mariottoni EB, Jammal AA, Urata CN, Berchuck SI, Thompson AC, Estrela T, Medeiros FA. Quantification of Retinal Nerve Fibre Layer Thickness on Optical Coherence Tomography with a Deep Learning Segmentation-Free Approach. *Sci Rep* 2020; 10(1):402. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57196-y>
- Maetschke S, Antony B, Ishikawa H, Wollstein G, Schuman J, Garnavi R. A feature agnostic approach for glaucoma detection in OCT volumes. *PLoS One* 2019; 14(7):e0219126. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0219126>
- Jammal AA, Thompson AC, Ogata NG, et al. Detecting Retinal Nerve Fibre Layer Segmentation Errors on Spectral Domain-Optical Coherence Tomography with a Deep Learning Algorithm. *Sci Rep* 2019; 9(1):9836. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46294-6>
- Medeiros FA, Jammal AA, Thompson AC. From Machine to Machine: An OCT-trained Deep Learning Algorithm for Objective Quantification of Glaucomatous Damage in Fundus Photographs. *Ophthalmology* 2019; 126(4):513. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2018.12.033>
- Christopher M, Belghith A, Bowd C, et al. Performance of Deep Learning Architectures and Transfer Learning for Detecting Glaucomatous Optic Neuropathy in Fundus Photographs. *Sci Rep* 2018; 8(1):16685. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35044-9>
- Gajendran MK, Rohowetz LJ, Koulen P, Mehdizadeh A. Novel Machine-Learning Based Framework Using Electroretinography Data for the Detection of Early-Stage Glaucoma. *Front Neurosci* 2022; 16. <https://doi.org/10.3389/FNINS.2022.869137>
- Dorofeev DA, Antonov AA, Vasilenko DY, et al. A method for measuring intraocular pressure using artificial intelligence technology and fixed-force applanation tonometry. *Russian Ophthalmological Journal* 2022; 15(2 (Suppl)):49-56. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2022-15-2-supplement-49-56>
- Smigel K. Breast Cancer Prevention Trial shows major benefit, some risk. *J Natl Cancer Inst* 1998;90(9):647-648. <https://doi.org/10.1093/JNCI/90.9.647>
- Living To 100 Life Expectancy Calculator. <https://www.livingto100.com/>. Accessed February 10, 2023.
- Gordon MO, Torri V, Miglior S, et al. Validated prediction model for the development of primary open-angle glaucoma in individuals with ocular hypertension. *Ophthalmology* 2007; 114(1):10-19. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.08.031>
- Gordon MO. The Ocular Hypertension Treatment Study. *Archives of Ophthalmology* 1999; 117(5):573. <https://doi.org/10.1001/archophth.117.5.573>
- Leoshek MV. Defining the tolerant IOP and predicting the glaucoma progression rate according to the calculator of Balalin SV. *Saratov, Nauka i innovatsii Publ.*, 2016. 797 p.
- Balalin S.V., Fokin V.P., Yuferov O.V. Software for definition of the tolerant and target intraocular pressure in patients with primary open-angle glaucoma. *RMJ Clinical Ophthalmology* 2013; 13(4):144-147.
- Avdeev RV, Alexandrov AS, Arapiev MU, et al. Suspected glaucoma and early stage glaucoma: differential diagnostic criteria. *Russian Ophthalmological Journal* 2017; 10(4):5-15. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2017-10-4-5-15>
- Avdeev RV, Alexandrov AS, Bakunina NA et al. Structural and functional diagnostic criteria in assessing the probability of suspected glaucoma and the early-stage glaucoma. *Medical and Biological Problems of Life Activity* 2017; 17(1):105-117.
- Ekgardt V.F., Dorofeev D.A. The structural-functional and hemodynamic features in patients with simple and pseudoexfoliative open-angle glaucoma and ophthalmic hypertension in a model of glaucoma development prognosis. Part 3. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2018; 17(4):3-14. <https://doi.org/10.25700/NJG.2018.04.01>
- Li Z, He Y, Keel S, Meng W, Chang RT, He M. Efficacy of a Deep Learning System for Detecting Glaucomatous Optic Neuropathy Based on Color Fundus Photographs. *Ophthalmology* 2018; 125(8):1199-1206. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2018.01.023>

21. Sengupta S, Singh A, Leopold HA, Gulati T, Lakshminarayanan V. Ophthalmic diagnosis using deep learning with fundus images — A critical review. *Artif Intell Med* 2020; 102. <https://doi.org/10.1016/J.ARTMED.2019.101758>
22. Garcia GGP, Nitta K, Lavieri MS, et al. Using Kalman Filtering to Forecast Disease Trajectory for Patients with Normal Tension Glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2019; 199:111. <https://doi.org/10.1016/J.AJO.2018.10.012>
23. Garcia GGP, Lavieri MS, Andrews C, et al. Accuracy of Kalman Filtering in Forecasting Visual Field and Intraocular Pressure Trajectory in Patients With Ocular Hypertension. *JAMA Ophthalmol* 2019; 137(12):1416-1423. <https://doi.org/10.1001/JAMAOPHTHALMOL.2019.4190>
24. Kazemian P, Lavieri MS, van Oyen MP, Andrews C, Stein JD. Personalized Prediction of Glaucoma Progression Under Different Target Intraocular Pressure Levels Using Filtered Forecasting Methods. *Ophthalmology* 2018; 125(4):569. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2017.10.033>
25. Xiong J, Li F, Song D, et al. Multimodal Machine Learning Using Visual Fields and Peripapillary Circular OCT Scans in Detection of Glaucomatous Optic Neuropathy. *Ophthalmology* 2022; 129(2):171-180. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2021.07.032/ATTACHMENT/6251BEAA-C04D-446E-BBA0-7DB330AC1958/MMC5.PDF>
26. Draelos M, Ortiz P, Qian R, et al. Automatic optical coherence tomography imaging of stationary and moving eyes with a robotically-aligned scanner. *Proc IEEE Int Conf Robot Autom* 2019; 2019:8897-8903. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2019.8793524>
27. Ortiz P, Draelos M, Viehland C, et al. Robotically aligned optical coherence tomography with 5 degree of freedom eye tracking for subject motion and gaze compensation. *Biomed Opt Express* 2021; 12(12):7361. <https://doi.org/10.1364/BOE.443537>
28. Draelos M, Ortiz P, Qian R, et al. Contactless optical coherence tomography of the eyes of freestanding individuals with a robotic scanner. *Nat Biomed Eng* 2021; 5(7):726-736. <https://doi.org/10.1038/S41551-021-00753-6>
29. Симакова И.Л., Тихоновская И.А. Оценка эффективности периметрии с удвоением пространственной частоты в диагностике оптиконейропатии. *Национальный журнал глаукома* 2022; 21(1):23-35. <https://doi.org/10.53432/2078-4104-2022-21-1-23-35>
30. Li F, Song D, Chen H, et al. Development and clinical deployment of a smartphone-based visual field deep learning system for glaucoma detection. *NPJ Digit Med* 2020; 3(1):123. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00329-9>
31. Pradhan ZS, Sircar T, Agrawal H, et al. Comparison of the Performance of a Novel, Smartphone-based, Head-mounted Perimeter (GearVision) With the Humphrey Field Analyzer. *J Glaucoma* 2021; 30(4):E146-E152. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001797>
32. Liu Y, Holekamp NM, Heier JS. Prospective, Longitudinal Study: Daily Self-Imaging with Home OCT for Neovascular Age-Related Macular Degeneration. *Ophthalmol Retina* 2022; 6(7):575-585. <https://doi.org/10.1016/j.oret.2022.02.011>
33. Дорофеев Д.А., Визгалова Л.О., Горобец А.В. и соавт. Возможности искусственного интеллекта в измерении отсчетов внутриглазного давления по Маклакову. *Национальный журнал глаукома* 2020; 19(1):20-27. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.01.03>
34. Weinreb RN, Friedman DS, Fechtner RD, et al. Risk assessment in the management of patients with ocular hypertension. *Am J Ophthalmol* 2004; 138(3):458-467. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2004.04.054>
35. Kymes SM. Effect of Patient's Life Expectancy on the Cost-effectiveness of Treatment for Ocular Hypertension. *Archives of Ophthalmology* 2010; 128(5):613. <https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2010.83>
36. Lee PP, Walt JG, Doyle JJ, et al. A multicenter, retrospective pilot study of resource use and costs associated with severity of disease in glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2006; 124(1):12-19. <https://doi.org/10.1001/ARCHOPHT.124.1.12>
37. Hattenhauer MG, Johnson DH, Ing HH, et al. The probability of blindness from open-angle glaucoma. *Ophthalmology* 1998; 105(11):2099-2104. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(98\)91133-2](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(98)91133-2)
38. Kass MA, Heuer DK, Higginbotham EJ, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: a randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(6):701-713. <https://doi.org/10.1001/archophth.120.6.701>
39. Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(6):714-720; discussion 829-830. <https://doi.org/10.1001/archophth.120.6.714>
40. Blackwell B, Gaasterland D, Ederer F, et al. The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS): 12. Baseline risk factors for sustained loss of visual field and visual acuity in patients with advanced glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2002; 134(4):499-512. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(02\)01659-8](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(02)01659-8)
21. Sengupta S, Singh A, Leopold HA, Gulati T, Lakshminarayanan V. Ophthalmic diagnosis using deep learning with fundus images — A critical review. *Artif Intell Med* 2020; 102. <https://doi.org/10.1016/J.ARTMED.2019.101758>
22. Garcia GGP, Nitta K, Lavieri MS, et al. Using Kalman Filtering to Forecast Disease Trajectory for Patients with Normal Tension Glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2019; 199:111. <https://doi.org/10.1016/J.AJO.2018.10.012>
23. Garcia GGP, Lavieri MS, Andrews C, et al. Accuracy of Kalman Filtering in Forecasting Visual Field and Intraocular Pressure Trajectory in Patients With Ocular Hypertension. *JAMA Ophthalmol* 2019; 137(12):1416-1423. <https://doi.org/10.1001/JAMAOPHTHALMOL.2019.4190>
24. Kazemian P, Lavieri MS, van Oyen MP, Andrews C, Stein JD. Personalized Prediction of Glaucoma Progression Under Different Target Intraocular Pressure Levels Using Filtered Forecasting Methods. *Ophthalmology* 2018; 125(4):569. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2017.10.033>
25. Xiong J, Li F, Song D, et al. Multimodal Machine Learning Using Visual Fields and Peripapillary Circular OCT Scans in Detection of Glaucomatous Optic Neuropathy. *Ophthalmology* 2022; 129(2):171-180. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2021.07.032/ATTACHMENT/6251BEAA-C04D-446E-BBA0-7DB330AC1958/MMC5.PDF>
26. Draelos M, Ortiz P, Qian R, et al. Automatic optical coherence tomography imaging of stationary and moving eyes with a robotically-aligned scanner. *Proc IEEE Int Conf Robot Autom* 2019; 2019:8897-8903. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2019.8793524>
27. Ortiz P, Draelos M, Viehland C, et al. Robotically aligned optical coherence tomography with 5 degree of freedom eye tracking for subject motion and gaze compensation. *Biomed Opt Express* 2021; 12(12):7361. <https://doi.org/10.1364/BOE.443537>
28. Draelos M, Ortiz P, Qian R, et al. Contactless optical coherence tomography of the eyes of freestanding individuals with a robotic scanner. *Nat Biomed Eng* 2021; 5(7):726-736. <https://doi.org/10.1038/S41551-021-00753-6>
29. Simakova IL, Tikhonovskaya IA. Evaluation of the effectiveness of frequency doubling technology perimetry in the diagnosis of optic neuropathies. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2022; 21(1):23-35. <https://doi.org/10.53432/2078-4104-2022-21-1-23-35>
30. Li F, Song D, Chen H, et al. Development and clinical deployment of a smartphone-based visual field deep learning system for glaucoma detection. *NPJ Digit Med* 2020; 3(1):123. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00329-9>
31. Pradhan ZS, Sircar T, Agrawal H, et al. Comparison of the Performance of a Novel, Smartphone-based, Head-mounted Perimeter (GearVision) With the Humphrey Field Analyzer. *J Glaucoma* 2021; 30(4):E146-E152. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001797>
32. Liu Y, Holekamp NM, Heier JS. Prospective, Longitudinal Study: Daily Self-Imaging with Home OCT for Neovascular Age-Related Macular Degeneration. *Ophthalmol Retina* 2022; 6(7):575-585. <https://doi.org/10.1016/j.oret.2022.02.011>
33. Dorofeev D.A., Vizgalova L.O., Gorobets A.V., et al. The possibilities of artificial intelligence use in the assessment of Maklakov intraocular pressure prints. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2020; 19(1):20-27. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.01.03>
34. Weinreb RN, Friedman DS, Fechtner RD, et al. Risk assessment in the management of patients with ocular hypertension. *Am J Ophthalmol* 2004; 138(3):458-467. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2004.04.054>
35. Kymes SM. Effect of Patient's Life Expectancy on the Cost-effectiveness of Treatment for Ocular Hypertension. *Archives of Ophthalmology* 2010; 128(5):613. <https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2010.83>
36. Lee PP, Walt JG, Doyle JJ, et al. A multicenter, retrospective pilot study of resource use and costs associated with severity of disease in glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2006; 124(1):12-19. <https://doi.org/10.1001/ARCHOPHT.124.1.12>
37. Hattenhauer MG, Johnson DH, Ing HH, et al. The probability of blindness from open-angle glaucoma. *Ophthalmology* 1998; 105(11):2099-2104. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(98\)91133-2](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(98)91133-2)
38. Kass MA, Heuer DK, Higginbotham EJ, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: a randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(6):701-713. <https://doi.org/10.1001/archophth.120.6.701>
39. Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(6):714-720; discussion 829-830. <https://doi.org/10.1001/archophth.120.6.714>
40. Blackwell B, Gaasterland D, Ederer F, et al. The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS): 12. Baseline risk factors for sustained loss of visual field and visual acuity in patients with advanced glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2002; 134(4):499-512. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(02\)01659-8](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(02)01659-8)

41. Leung CKS, Yu M, Weinreb RN, et al. Retinal Nerve Fiber Layer Imaging with Spectral-Domain Optical Coherence Tomography: A Prospective Analysis of Age-Related Loss. *Ophthalmology* 2012; 119(4):731-737. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2011.10.010>
42. Chang TC, Ramulu P, Hodapp E. Clinical Decisions in Glaucoma SECOND. Miami: Ta Chen Chang; 2016.
43. Kim KE, Jeoung JW, Park KH. Author reply. *Ophthalmology* 2015; 122(7):e44-e45. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.01.004>
44. Kim KE, Jeoung JW, Park KH, Kim DM, Kim SH. Diagnostic classification of macular ganglion cell and retinal nerve fiber layer analysis: Differentiation of false-positives from glaucoma. *Ophthalmology* 2015; 122(3):502-510. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.09.031>
45. Rebolleda G, Leal-Fonseca M, Moreno-Montañés J, Casas-Llera P, Muñoz-Negrete FJ. Re: Kim et al.: Diagnostic classification of macular ganglion cell and retinal nerve fiber layer analysis: differentiation of false-positives from glaucoma (*Ophthalmology* 2015; 122:502-10). *Ophthalmology* 2015;122(7):e43-e44. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.12.039>
46. European Glaucoma Prevention Study (EGPS) Group, Miglior S, Pfeiffer N, et al. Predictive factors for open-angle glaucoma among patients with ocular hypertension in the European Glaucoma Prevention Study. *Ophthalmology* 2007; 114(1):3-9. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.05.075>
47. Mwanza JC, Tulenko SE, Budenz DL, et al. Longitudinal Change in Central Corneal Thickness in the Tema Eye Survey. *Am J Ophthalmol* 2018; 186:10-18. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.11.002>
48. Страхов В.В. Аннотация результатов исследований патогенеза и значения межклеточной асимметрии при первичной открытоугольной глаукоме. *РМЖ Клиническая офтальмология* 2015; 15(2):97-101.
49. Ловпаче Дж.Н., Завадский П.С., Зверева О.Г. и соавт. Комплаентность и персистенция у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой с позиции офтальмолога. *Национальный журнал глаукома* 2020; 19(2):11-21. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.02.02>
50. Корнеева А.В., Куроедов А.В., Завадский П.С. и соавт. Приверженность гипотензивной терапии при глаукоме: мнение пациентов о ключевых факторах низкой степени комплаенса. Результаты многоцентрового интерактивного научно-аналитического исследования. *Национальный журнал глаукома* 2020; 19(3):12-21. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.03.02>
51. Ловпаче Д.Н., Дорофеев Д.А. Фармакоэкономическая целесообразность применения бесконсервантной терапии при лечении первичной открытоугольной глаукомы у пациентов с синдромом «сухого глаза» (промежуточные результаты). *РМЖ Клиническая офтальмология* 2017; 17(4):195-200. <https://doi.org/10.21689/2311-7729-2017-17-4-195-200>
52. Roberts M, Driggs D, Thorpe M, et al. Common pitfalls and recommendations for using machine learning to detect and prognosticate for COVID-19 using chest radiographs and CT scans. *Nature Machine Intelligence* 2021; 3(3):199-217. <https://doi.org/10.1038/s42256-021-00307-0>
53. Mc Grath O, Sarfraz MW, Gupta A, Yang Y, Aslam T. Clinical Utility of Artificial Intelligence Algorithms to Enhance Wide-Field Optical Coherence Tomography Angiography Images. *J Imaging* 2021;7(2)32. <https://doi.org/10.3390/JIMAGING7020032>
54. Fawcett T. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognit Lett* 2006; 27(8):861-874. <https://doi.org/10.1016/J.PATREC.2005.10.010>
55. Nam JG, Park S, Hwang EJ, et al. Development and Validation of Deep Learning-based Automatic Detection Algorithm for Malignant Pulmonary Nodules on Chest Radiographs. *Radiology* 2019; 290(1):218-228. <https://doi.org/10.1148/RADIOLOGY.2018180237>
56. Patel BN, Rosenberg L, Willcox G, et al. Human-machine partnership with artificial intelligence for chest radiograph diagnosis. *NPJ Digit Med* 2019; 2:111. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0189-7>
57. Tschandl P, Rinner C, Apalla Z, et al. Human-computer collaboration for skin cancer recognition. *Nat Med* 2020; 26(8):1229-1234. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0942-0>
58. Firestone C. Performance vs. competence in human-machine comparisons. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2020;117(43):26562. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1905334117>
59. Burr J, Mowatt G, Hernández R, et al. The clinical effectiveness and cost-effectiveness of screening for open angle glaucoma: a systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess (Rockv)* 2007; 11(41):1-190. <https://doi.org/10.3310/hta11410>
60. Korteling JE (Hans), van de Boer-Visschedijk GC, Blankendaal RAM, Boonekamp RC, Eikelboom AR. Human-versus Artificial Intelligence. *Front Artif Intell* 2021; 4. <https://doi.org/10.3389/FRAI.2021.622364>
41. Leung CKS, Yu M, Weinreb RN, et al. Retinal Nerve Fiber Layer Imaging with Spectral-Domain Optical Coherence Tomography: A Prospective Analysis of Age-Related Loss. *Ophthalmology* 2012; 119(4):731-737. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2011.10.010>
42. Chang TC, Ramulu P, Hodapp E. Clinical Decisions in Glaucoma SECOND. Miami: Ta Chen Chang; 2016.
43. Kim KE, Jeoung JW, Park KH. Author reply. *Ophthalmology* 2015; 122(7):e44-e45. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.01.004>
44. Kim KE, Jeoung JW, Park KH, Kim DM, Kim SH. Diagnostic classification of macular ganglion cell and retinal nerve fiber layer analysis: Differentiation of false-positives from glaucoma. *Ophthalmology* 2015; 122(3):502-510. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.09.031>
45. Rebolleda G, Leal-Fonseca M, Moreno-Montañés J, Casas-Llera P, Muñoz-Negrete FJ. Re: Kim et al.: Diagnostic classification of macular ganglion cell and retinal nerve fiber layer analysis: differentiation of false-positives from glaucoma (*Ophthalmology* 2015; 122:502-10). *Ophthalmology* 2015;122(7):e43-e44. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.12.039>
46. European Glaucoma Prevention Study (EGPS) Group, Miglior S, Pfeiffer N, et al. Predictive factors for open-angle glaucoma among patients with ocular hypertension in the European Glaucoma Prevention Study. *Ophthalmology* 2007; 114(1):3-9. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.05.075>
47. Mwanza JC, Tulenko SE, Budenz DL, et al. Longitudinal Change in Central Corneal Thickness in the Tema Eye Survey. *Am J Ophthalmol* 2018; 186:10-18. <https://doi.org/10.1016/J.AJO.2017.11.002>
48. Strakhov VV. Annotation of results of the study on pathogenesis and significance of interocular asymmetry in primary open-angle glaucoma. *RMJ Clinical Ophthalmology* 2015; 15(2):97-101.
49. Lovpache D.N., Zavadski P.C., Zvereva O.G., et al. Compliance and persistence in patients with primary open-angle glaucoma through the doctor opinions. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2020; 19(2):11-21. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.02.02>
50. Korneeva A.V., Kuroyedov A.V., Zavadski P.C., et al. Adherence to glaucoma hypotensive therapy: patients' opinions on key factors of low compliance. Analytical multi-central study results. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2020; 19(3):12-21. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.03.02>
51. Lovpache DN, Dorofeev DA. Pharmaco-economic expediency of the use of preservative-free therapy in the treatment of primary open-angle glaucoma in patients with the dry eye syndrome (intermediate results). *RMJ Clinical Ophthalmology* 2017; 17(4):195-200. <https://doi.org/10.21689/2311-7729-2017-17-4-195-200>
52. Roberts M, Driggs D, Thorpe M, et al. Common pitfalls and recommendations for using machine learning to detect and prognosticate for COVID-19 using chest radiographs and CT scans. *Nature Machine Intelligence* 2021; 3(3):199-217. <https://doi.org/10.1038/s42256-021-00307-0>
53. Mc Grath O, Sarfraz MW, Gupta A, Yang Y, Aslam T. Clinical Utility of Artificial Intelligence Algorithms to Enhance Wide-Field Optical Coherence Tomography Angiography Images. *J Imaging* 2021;7(2)32. <https://doi.org/10.3390/JIMAGING7020032>
54. Fawcett T. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognit Lett* 2006; 27(8):861-874. <https://doi.org/10.1016/J.PATREC.2005.10.010>
55. Nam JG, Park S, Hwang EJ, et al. Development and Validation of Deep Learning-based Automatic Detection Algorithm for Malignant Pulmonary Nodules on Chest Radiographs. *Radiology* 2019; 290(1):218-228. <https://doi.org/10.1148/RADIOLOGY.2018180237>
56. Patel BN, Rosenberg L, Willcox G, et al. Human-machine partnership with artificial intelligence for chest radiograph diagnosis. *NPJ Digit Med* 2019; 2:111. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0189-7>
57. Tschandl P, Rinner C, Apalla Z, et al. Human-computer collaboration for skin cancer recognition. *Nat Med* 2020; 26(8):1229-1234. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0942-0>
58. Firestone C. Performance vs. competence in human-machine comparisons. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2020;117(43):26562. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1905334117>
59. Burr J, Mowatt G, Hernández R, et al. The clinical effectiveness and cost-effectiveness of screening for open angle glaucoma: a systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess (Rockv)* 2007; 11(41):1-190. <https://doi.org/10.3310/hta11410>
60. Korteling JE (Hans), van de Boer-Visschedijk GC, Blankendaal RAM, Boonekamp RC, Eikelboom AR. Human-versus Artificial Intelligence. *Front Artif Intell* 2021; 4. <https://doi.org/10.3389/FRAI.2021.622364>