



<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-2-28-32>

# Результаты применения искусственных нейронных сетей для ранней диагностики глаукомы

Е.Н. Комаровских<sup>1</sup> ✉, Е.В. Подтынных<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Седина, д. 4, Краснодар, 350063, Россия

<sup>2</sup> Краснодарский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК "Микрохирургия глаза им. акад. С.Н. Федорова"» Минздрава России, ул. Красных Партизан, д. 6, Краснодар, 350012, Россия

**Цель работы** — обобщение опыта разработки и применения искусственных нейронных сетей (ИНС) в ранней диагностике первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ). **Материал и методы.** Обследовано 690 пациентов (918 глаз). Обучающая клиническая группа была сформирована из 459 клинических примеров (459 глаз), из которых 369 глаз были с начальной стадией ПОУГ и 90 глаз без глаукомы. Тестируемая клиническая группа была представлена 131 примером (131 глаз), из которых 110 (110 глаз) принадлежали больным ПОУГ и 21 (21 глаз) был без глаукомы. Итоговое диагностическое тестирование с помощью ИНС проведено на 328 (328 глаз) неизвестных примерах, принадлежащих лицам с подозрением на ПОУГ. Диагностический комплекс включал оптимально необходимый набор методов исследования. **Результаты.** В результате работы ИНС 198 глаз из группы с подозрением на глаукому (60,4 %) были распознаны как глаукомные со 100%-ной уверенностью. К категории неглаукомных, «здоровых», были отнесены 76 (23,2 %) глаз; 54 глаза из категории с подозрением на глаукому были распознаны как «сомнительные» и затем повторно протестированы нейросетевым консиллиумом, состоящим из 5 нейронных сетей. По результатам консиллиума глаукомными были признаны 28 глаз, что составило 51,9 % из числа «сомнительных»; 26 (48,1 %) глаз были распознаны консиллиумом как неглаукомные, «здоровые». **Заключение.** Полученный нами опыт позволяет утверждать, что ИНС не представляют никакой опасности для врача и пациента и являются прекрасным инструментом диагностики ПОУГ на ранних стадиях.

**Ключевые слова:** первичная открытоугольная глаукома; искусственные нейронные сети; ранняя диагностика

**Конфликт интересов:** отсутствует.

**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Для цитирования:** Комаровских Е.Н., Подтынных Е.В. Результаты применения искусственных нейронных сетей для ранней диагностики глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2023; 16 (2): 28-32. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-2-28-32>

## Using artificial neural networks for early diagnosis of glaucoma

Elena N. Komarovskikh<sup>1</sup> ✉, Evgeny V. Podtynnykh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kuban State Medical University, 4, Sedin St., Krasnodar, 350063, Russia

<sup>2</sup> S.N. Fedorov Eye Microsurgery National Medical Research Center, Krasnodar branch, 6, Krasnykh Partizan St., Krasnodar, 350012, Russia  
[komarovskikh\\_e.n@mail.ru](mailto:komarovskikh_e.n@mail.ru)

**Purpose:** to summarize the experience of the development and application of artificial neural networks (ANW) in early diagnosis of primary open-angle glaucoma (POAG). **Material and methods.** A total of 690 patients (918 eyes) were tested. The training clinical group consisted of 459 clinical examples (459 eyes), of which 369 eyes had an initial stage of POAG and 90 eyes had no glaucoma. The testing clinical group was represented by 131 examples (131 eyes), of which 110 eyes belonged to patients with POAG and 21 eyes were without glaucoma. The final diagnostic testing using ANW was conducted on 328 eyes with the diagnosis unknown to the researchers, which belonged

to people with suspected POAG. The diagnostic complex included an optimally necessary set of research techniques. **Results.** ANW identified glaucoma in 198 eyes out of those with suspected glaucoma (60.4 %) with 100 % certainty. 76 eyes (23.2 %) were classified as non-glaucoma, or “healthy”; 54 eyes of the suspected glaucoma patients were identified as “doubtful”, whereupon they were retested by a neural network pool consisting of 5 neural networks. According to the results of the retesting, 28 eyes, or 51.9 % of the “doubtful” ones were identified as having glaucoma, whereas 26 eyes (48.1 %) were identified as non-glaucomatous, i. e. healthy. **Conclusion.** Our experience suggests that artificial neural networks pose no danger to the doctor or the patient and can be viewed as a very convenient tool for early POAG diagnostics.

**Keywords:** primary open-angle glaucoma; artificial neural networks; early diagnosis

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

**For citation:** Komarovskikh E.N., Podtynnykh E.V. Using artificial neural networks for early diagnosis of glaucoma. Russian ophthalmological journal. 2023; 16 (2): 28-32 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2023-16-2-28-32>

Прогнозируемое общемировое увеличение числа лиц старше 60 лет на 1/3 к 2030 г., согласно докладу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 2022 г., и продолжающийся процесс старения населения [1] ожидаемо приведут к увеличению частоты случаев глаукомы и слепоты и слабовидения вследствие нее. В настоящее время проблема глаукомы вышла за рамки офтальмологии и превратилась в общемировую по причине своего высокого инвалидизирующего влияния: глаукома стала второй причиной слепоты и четвертой причиной слабовидения. К 2040 г. ожидаемое число больных глаукомой в мире достигнет 111,8 млн человек. Серьезным камнем преткновения в решении проблемы глаукомы остается ее ранняя диагностика [2]. В 2021 г. в Российской Федерации глаукомой страдали более 1 млн 249 тыс. человек [3]. Природная суть глаукомы, как заболевания со сложным, многофакторным, недостаточно изученным этиопатогенезом [4], требует к себе такого же диагностического подхода, базирующегося на комплексном анализе большой совокупности признаков. Особенно это касается случаев, когда накапливается большое количество клинических данных [5].

В реалиях современного общества бремя глаукомы состоит из индивидуального бремени в виде снижения качества жизни (беспокойство по поводу диагноза «глаукома»; при сужении полей зрения — повышение риска падения, аварии и пр.; побочные эффекты и неудобства от применения гипотензивных препаратов) и социального бремени (увеличение социальных расходов государства при прогрессировании глаукомы, слабовидении или слепоте пациента). Поэтому частью новой парадигмы решения проблемы глаукомы, ее ключевой проблемой, является раннее выявление группы риска, ранняя диагностика заболевания и раннее лечение как возможности профилактики слабовидения и слепоты вследствие глаукомы. Между тем известно, что в настоящее время в более чем половине случаев впервые выявленная первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) находится в развитой или далеко зашедшей стадиях [2].

Поиски математических методов решения медико-биологических задач велись уже не одну сотню лет — известно высказывание И. Канта, сделанное им в XVII веке: «В каждой естественной науке заключено столько истины, сколько в ней есть математики». Технологические достижения 80-х гг. прошлого столетия способствовали широкому внедрению компьютеров во все сферы жизни и формированию нейронинформатики как науки. Это привело к созданию устройств переработки больших объемов информации, имитирующих принципы работы естественных нейронных систем [6, 7]. Разработанные на основе кибернетических идей при попытке моделирования работы головного мозга искусственные нейронные сети (ИНС) оказались востребованными и

высокоэффективными благодаря «способности отыскивать закономерности в сложных медицинских данных» [8].

В последние годы в офтальмологии отмечается всплеск интереса к так называемому искусственному интеллекту (ИИ) [9–12]. ИИ на данном этапе развития нашего общества называют искусственные нейронные сети (artificial neural network), которые успешно решают задачи классификации, что широко востребовано в медицине [13]. В июне 2021 г. ВОЗ предупредила о рисках использования ИИ в медицине и, в частности, о «необходимости защиты автономии человека» в принятии медицинских решений и сохранении конфиденциальности персональных данных пациентов, так как, по мнению генерального директора ВОЗ Т.А. Гебрейесуса, «как и все новые технологии, искусственный интеллект обладает огромным потенциалом для улучшения здоровья миллионов людей в мире, но, как и все технологии, он может быть неправильно использован и вреден» (ТАСС, 2021).

Опасения, высказанные ВОЗ, породили желание поделиться более чем 20-летним опытом применения ИНС в ранней диагностике ПОУГ с точки зрения «опасности ИИ».

**ЦЕЛЬ** исследования — обобщение опыта разработки и применения ИНС в ранней диагностике ПОУГ (1998–2002 гг.).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании участвовали 690 пациентов (918 глаз), из них было 75 условно здоровых лиц (111 глаз) без какой-либо глазной патологии, которая могла бы повлиять на чистоту исследования, 298 больных (479 глаз) — с начальной стадией ПОУГ, верифицированной на основании комплексного обследования, и 317 пациентов — с подозрением на глаукому (328 глаз). Для выполнения поставленной цели были сформированы обучающая и тестирующая выборки (клинические группы), а также выборка из примеров с подозрением на ПОУГ. По гендерно-возрастным параметрам группы были репрезентативны.

*Обучающая выборка (клиническая группа)* была сформирована из 459 клинических примеров (459 глаз). Средний возраст пациентов в этой группе, включавшей 290 (63,2 %) женщин и 169 (36,8 %) мужчин, составил  $59,75 \pm 0,48$  года. Среди них городских жителей было 384 (83,7 %), сельских — 75 (16,3 %), 26 (5,7 %) человек были рабочими, 145 (31,6 %) — служащими, 282 — (61,4 %) пенсионерами, 6 (1,3 %) имели иное социальное положение. Среднее значение остроты зрения пациентов этой группы составляло  $0,71 \pm 0,01$ . Классификационная принадлежность этой обучающей выборки была заранее известна исследователям и нейронным сетям и обозначена на уровне выходного нейрона. Таким образом, ИНС обучалась на известных примерах двух классов: класса «глаукома», что означало «больной с начальной стадией ПОУГ», и «здоровый», что означало «здоровый, без глаукомы».

*Тестирующая выборка (клиническая группа)* была представлена 131 примером (131 глаз). Средний возраст в этой группе, включавшей 78 (59,5 %) женщин и 53 (40,5 %) мужчин, составил  $64,51 \pm 0,62$  года. Среди них городских жителей было 113 (86,3 %), сельских — 18 (13,7 %), рабочих — 4 (3,1 %), служащих — 33 (25,2 %) человека, пенсионеров — 94 (71,8 %). Среднее значение остроты зрения в тестируемой группе составляло  $0,58 \pm 0,03$ . Принадлежность примера к тому или иному «классу», «больным» или «здоровым», была заранее известна исследователям, но не известна ИНС. Этот этап работы был построен на сравнении полученных от ИНС результатов с диагнозом, заранее известным исследователям.

Итоговое диагностическое тестирование с помощью ИНС проведено на 328 неизвестных примерах с подозрением на глаукому (328 глаз), которым с помощью традиционного офтальмологического обследования не удалось установить диагноз. Средний возраст пациентов в этой группе (190 (57,9 %) женщин и 138 (42,1 %) мужчин) составил  $59,24 \pm 0,56$  года, среднее значение остроты зрения —  $0,61 \pm 0,02$ .

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Формирование диагностического комплекса базировалось на собственном опыте и данных литературы с опорой на имеющиеся на тот период методы ранней диагностики глаукомы. Диагностический комплекс включал традиционные методы (визометрия, офтальмомобиомикроскопия, сферопериметрия, контактная тонометрия по Маклакову с 10,0 г, электротонография, офтальмоскопия, гониоскопия), а также измерение систолического и диастолического артериального давления (АД), определение толерантного внутриглазного давления (ВГД) и индекса интолерантности ВГД, определение проводимости зрительного нерва и порога электрической чувствительности сетчатки. Кроме того, учитывали асимметрию клинических и функциональных показателей на двух глазах. Толерантное ВГД и индекс его интолерантности рассчитывали по таблице Т.В. Шлопак [4]. Компьютерные методы исследования включали доступные для того периода визоконтрастопериметрию (ВКМ), проводимую с помощью программы «Зебра 2.1» (ТОО «Астроинформ», Москва), и компьютерную (цветовую) кампиметрию (КК), для которой использовали программный автоматизированный комплекс с программой «Окуляр» (ООО «Боян», Москва) [14]. В нейронно-информационных исследованиях использовались программы MultiNeuron 2.0, программы-нейроимитаторы NeuroPro 0.25 и NeuroPro 0.3, разработанные в Институте вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН (1999) [6, 7].

*Критерии включения в исследование:* больные с начальной стадией ПОУГ, неоперированной, обоих полов, старше 40 лет; больные обоих полов с диагнозом «подозрение на глаукому», поставленным по результатам комплексного офтальмологического обследования, старше 40 лет.

*Критерии исключения из исследования:* наличие любой глазной патологии, сопутствующей ПОУГ; сахарный диабет; врожденная, юношеская, любая синдромальная глаукома; вторичные глаукомы; развитая, далеко зашедшая, терминальная стадии ПОУГ; подозрение или установленная первичная закрытоугольная глаукома; псевдоэксфолиативная глаукома; глаукома псевдонормального ВГД; пигментная глаукома; наличие хронических соматических заболеваний воспалительного или нейродегенеративного характера; онкологическая патология; последствия перенесенных травм глазного яблока, рубцы роговицы и/или склеры, изменения в углу передней камеры посттравматического генеза; прочие состояния и нозологии, могущие сказаться на чистоте выполняемого исследования.

При создании обучающей выборки соблюдался принцип репрезентативности, для чего использовались примеры, не вызывающие сомнений в диагнозе, фактический клинический материал, без отбора так называемых классических случаев. При несоблюдении этого правила обучающая выборка будет узконаправленной, и после обучения нейронные сети не будут гибкими, а диагностическая способность станет недостаточной. В условиях практической медицины довольно часто приходится испытывать некоторый недостаток фактического материала, что тем не менее не является препятствием для создания и обучения нейронных сетей [6, 7, 13]. Входных параметров (клинических признаков) было 49, из них 8 отражали возраст, пол, место проживания, социальную принадлежность, жалобы, давность заболевания или подозрения на него, наличие сопутствующей соматической патологии. Наличие или отсутствие признаков асимметрии в состоянии радужки, зрачковой пигментной каймы, угла передней камеры, диска зрительного нерва, поля зрения, центрального поля зрения, тонометрических и тонографических показателей, индекса интолерантности ВГД, порогов электрической чувствительности сетчатки и лабильности зрительного нерва отражались в 17 входных параметрах. Еще 24 признака отражали результаты реографических исследований гемодинамики глаза и головного мозга, не вошедшие в настоящее сообщение. Выходной параметр был один — принадлежность к тому или иному классу, т. е. нейросетевой «диагноз». Самообучение ИНС заключалось в автоматическом поиске закономерностей между совокупностью обучающих данных (входных параметров) и заранее известным и заложенным в обучающей выборке результатом, т. е. диагнозом [6, 7]. При успешном обучении нейронные сети способны распознавать примеры, относящиеся к разным классам, при этом каждый новый пример с разной степенью достоверности полученного результата относится нейросетью к одному из классов («глаукома» или «здоровый»).

*Статистическая обработка* результатов исследования проводилась с помощью программы статистики MN\_STAT (MultiNeuron for Paradox Ver. 2.0, NeuroLine, 1995), позволяющей осуществлять расчеты по стандартным формулам математической оценки. Рассчитывались средние значения и ошибки средних, размах разброса данных, проводился анализ корреляционных полей связи между анализируемыми параметрами по достоверности и силе. Критерием статистической достоверности получаемых выводов считали общепринятую в медицине величину  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В предшествующем исследовании были выяснены сроки наблюдения 84 пациентов с диагнозом «подозрение на глаукому»: менее года наблюдались 48,8 % (41 пациент), свыше года и до максимальных для этой группы пяти лет — 51,2 % (43 пациента). Средний срок наблюдения составил  $18,3 \pm 1,7$  мес, таким образом, более половины пациентов с подозрением на глаукому наблюдались дольше полутора лет [13]. Основное исследование состояло из нескольких последовательных этапов с использованием разных баз данных и представляло собой следующую последовательность:

- 1-й этап — создание обучающей выборки из клинических примеров разных классов;
- 2-й этап — создание на основе обучающей выборки ИНС для конкретной задачи;
- 3-й этап — обучение созданных ИНС;
- 4-й этап — проверка качества обученности ИНС на примерах с известным диагнозом;

• 5-й этап — диагностическое тестирование неизвестных клинических примеров с помощью ИНС.

Изначально в обучающую выборку (клиническую группу) вошли 90 примеров (90 глаз) «больных глаукомой» и 90 примеров (90 глаз) «здоровых», так как при несоблюдении их паритета обученная ИНС будет лучше распознавать класс, преобладающий количественно. По мере накопления данных было добавлено еще 279 примеров (279 глаз) больных начальной ПОУГ. В целом обучающая выборка была сформирована из 459 клинических примеров (459 глаз), из которых 369 глаз были примерами глаз с начальной стадией ПОУГ и 90 — примерами глаз условно здоровых лиц без глаукомы.

Тестирующая выборка (клиническая группа) предназначалась для определения качества обучения ИНС, выявления уровня ее «диагностической способности», уровня качества распознавания «больных» и «здоровых» глаз. Тестирующая выборка была представлена 131 примером (131 глаз), из которых 110 примеров (110 глаз) принадлежали больным начальной стадией ПОУГ и 21 пример (21 глаз) был без глаукомы. Полученные при выполнении этого этапа результаты показали высокую распознающую способность созданных и обученных ИНС, что позволило перейти к решению конкретных диагностических задач следующего этапа.

Результат теста на примерах с известным ответом, не входивших в обучающую группу и неизвестных ИНС, является критерием способности обученной нейронной сети к экстраполяции опыта. Из 131 примера тестирующей выборки правильно были распознаны 119 клинических примеров (119 глаз, 90,8 %). Остальные 12 примеров (12 глаз, 9,2 %) были распознаны ИНС также как «больные» и «здоровые», но с низкой степенью уверенности нейронной сети в ответе. Из 119 глаз правильно была диагностирована ПОУГ на 102 глазах (92,7 % от числа глаукомных глаз). Правильно были распознаны 17 здоровых глаз (81 % от числа здоровых глаз). Более низкий показатель правильных ответов среди «здоровых» был обусловлен меньшим числом их примеров в обучающей выборке, что в дальнейшем нивелировалось нами с помощью возможностей программы MultiNeuron 2.0. Уровень распознавания созданных и обученных нами более чем 100 ИНС оказался достаточно высоким, что позволило перейти к дальнейшему этапу работы.

На следующем этапе для диагностического тестирования неизвестных клинических примеров с подозрением на глаукому обученным ИНС была представлена группа из 328 неизвестных примеров 328 глаз с подозрением на глаукому. Это были примеры пациентов с неизвестным для врача-офтальмолога и ИНС диагнозом, сложные в диагностическом плане случаи, когда опытный врач-глаукоматолог не смог поставить диагноз, ограничившись определением временного диагноза «подозрение на глаукому». В таблице представлены результаты этого этапа исследования.

В результате тестирования ИНС с максимальной степенью уверенности в число «глаз, больных глаукомой»

вошли 60,4 % примеров, в число «здоровых» — 23,2 % примеров. Таким образом, число глаз с подозрением на глаукому уменьшилось на 83,6 %. Известно, что при решении неформализованных задач в разных проблемных областях (задача ранней диагностики ПОУГ является именно такой) точность на тестовой выборке в 70–90 % правильных ответов соответствует проценту правильных ответов при решении этих задач специалистом. Для решения вопроса с оставшимися сомнительными примерами с подозрением на ПОУГ, где принадлежность была определена ИНС неуверенно, было проведено повторное тестирование нейросетевым консилиумом, состоящим из 5 нейронных сетей. По результатам консилиума глаукомными были признаны 28 глаз, что составило 51,9 % из числа «сомнительных», а 26 глаз были распознаны консилиумом как неглаукомные, «здоровые», что составило 48,1 %. Учитывая затруднения, возникшие при определении диагноза в этих случаях, пациентам рекомендовали повторить диагностическое тестирование через полгода.

При компьютерном моделировании с помощью ИНС были определены наиболее диагностически значимые, имеющие больший вес в определении принадлежности к классам «больной глаукомой» — «здоровый» методы исследования и, соответственно, клинические признаки. Наиболее ценными для ранней диагностики ПОУГ оказались данные, полученные при проведении КК, ВКМ, электротонографии, офтальмоскопии и офтальмобиомикроскопии, а также асимметрия клинических проявлений на двух глазах. Максимальной диагностической ценностью по результатам исследований и определению ИНС обладали КК и ВКМ, что соответствовало данным А.М. Шамшиновой и В.В. Волкова [14] о ранних нарушениях восприятия пространственных контрастных частот и возникновении дефектов в центральном поле зрения при ПОУГ. Кроме того, максимальной диагностической ценностью для выявления начальной стадии ПОУГ обладала, по подсчетам ИНС, асимметрия этих признаков на двух глазах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, хорошо обученные на достаточном количестве входных признаков ИНС даже при частичном недостатке фактического материала у новых больных, что довольно часто встречается в практической медицине, показали высокую распознающую способность без потери качества. Используя реальный клинический материал с неограниченным количеством вводимых признаков (симптомов) заболевания и самих клинических примеров новых пациентов по принципу «чем больше, тем лучше» и применяя обычный персональный компьютер, можно получить действенный инструмент для ранней диагностики ПОУГ в тех случаях, когда традиционная диагностика затруднительна. При этом ИНС не подменяют врача-офтальмолога, так как ответ носит некатегоричный характер. При самообучении на новых клинических примерах ИНС обладают значительной гибкостью, и их способности распознавания постоянно по-

**Таблица.** Результаты ранней диагностики ПОУГ с помощью искусственных нейронных сетей  
**Table.** Results of early diagnosis of POAG using artificial neural networks

Исходные значения Initial values		Результаты нейротестирования Results of neurotesting		
показатель parameter	подозрение на ПОУГ suspected POAG	ПОУГ диагностирована POAG diagnosed	ПОУГ отвергнута POAG rejected	оставлено подозрение на ПОУГ left suspicion of POAG
Число примеров, глаз Number of examples, eyes	328	198	76	54
Удельный вес, % Specific gravity, %	100	60,4	23,2	16,4

вышаются. На основании всего вышеперечисленного была получена возможность создания, клинической апробации и внедрения в практику медицинской нейроинформационной технологии ранней диагностики ПОУГ. ИИ, или, что более правильно, самообучающиеся ИНС, оказались высокоинформативным, точным и безопасным инструментом в руках офтальмолога. Укорочение диагностического этапа способствовало уменьшению материальных, временных и моральных затрат для пациентов с подозрением на ПОУГ, снижению медицинских, экономических и неощутимых издержек, связанных с периодом «подозрения на глаукому», повышению качества жизни пациентов за счет ликвидации хронического стресса, всегда сопутствующему неустановленному диагнозу «глаукома».

В теперь уже далеком 1967 г. профессор А.М. Водовозов предвидел, что на рубеже 1990–2000 гг. «может быть создана автоматическая диагностическая машина, которая в состоянии поставить диагноз глаукомы. Конечно, даже самая совершенная машина не заменит врача, но удешевит его возможности в смысле быстроты и точности диагноза»<sup>1</sup>. Разработанная нами более 20 лет назад медицинская нейроинформационная технология продемонстрировала широкие возможности ИНС для ранней диагностики ПОУГ. Однако в полной мере возможности прошедших лет использованы не были, что объясняется низкой компьютерной грамотностью и недостаточной обеспеченностью врачей-офтальмологов персональными компьютерами на рубеже XX–XXI вв. Тем не менее полученный нами опыт позволяет утверждать, что ИНС являются прекрасным инструментом, работающим на благо всего человечества и не представляющим никакой опасности для врача и пациента.

#### Литература/References

1. Всемирный доклад о проблемах зрения. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2020. [World Vision Report. Geneva: World Health Organization; 2020 (In Russ.)]. Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/328717/9789240017207-rus.pdf>
2. Мовсисян А.Б., Куроедов А.В., Архаров М.А., Прохоренко В.В., Чепурнов И.А. Эпидемиологический анализ заболеваемости и распространенности первичной открытоугольной глаукомы в Российской Федерации. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2022; 22 (1): 3–10. [Movsisiyan A.B., Kuroedov A.V., Arharov M.A., Prokhorenko V.V., Chepurnov I.A. Epidemiological analysis of the incidence and prevalence of primary open-angle glaucoma in the Russian Federation. *Russian journal of clinical ophthalmology*. 2022; 22 (1): 3–10 (In Russ.)]. doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-3-10

<sup>1</sup> Водовозов А.М. Новые методы исследования в офтальмологии. В кн: Материалы III съезда офтальмологов СССР. Москва; 1967: 299–332.

**Вклад авторов в работу:** Е.Н. Комаровских — замысел и дизайн исследования, сбор данных, их анализ и интерпретация, написание текста статьи, финальная подготовка статьи к публикации, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования; Е.В. Подтынных — техническая корректировка текста статьи, участие в финальной стадии подготовки статьи к публикации.

**Authors' contribution:** E.N. Komarovskikh — concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, writing of the article, the final preparation of the article for publication, the final approval of the version of the article for publication; E.V. Podtynnykh — preparation of the article or its critical revision in terms of significant intellectual content, partial technical adjustment of the article, participation in the final stage of preparing the article for publication.

Поступила: 06.07.2022. Переработана: 24.08.2022. Принята к печати: 25.08.2022  
Originally received: 06.07.2022. Final revision: 24.08.2022. Accepted: 25.08.2022

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Седина, д. 4, Краснодар, 350063, Россия  
Елена Николаевна Комаровских — д-р мед. наук, профессор, профессор кафедры глазных болезней

Краснодарский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК "Микрохирургия глаза" им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, ул. Красных Партизан, д. 6, Краснодар, 350012, Россия

Евгений Викторович Подтынных — врач-офтальмолог

Для контактов: Елена Николаевна Комаровских,  
komarovskikh\_e\_n@mail.ru

- Arharov M.A., Prokhorenko V.V., Chepurnov I.A. Epidemiological analysis of the incidence and prevalence of primary open-angle glaucoma in the Russian Federation. *Russian journal of clinical ophthalmology*. 2022; 22 (1): 3–10 (In Russ.)]. doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-3-10
- Нероев В.В. Офтальмология Российской Федерации в цифрах: краткий сборник. Москва; 2021. [Neroev V.V. *Ophthalmology of the Russian Federation in Figures: A Brief Collection*. Moscow; 2021 (In Russ.)].
- Егоров Е. Ф., Еричев В. П., ред. Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей. 4-е изд., испр. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2019. [Egorov E.A., Eriчев V.P., eds. *National Guidelines for Glaucoma for Practitioners*. 4th ed. Moscow: GEOTAR-Media; 2019 (In Russ.)].
- Волков В.В. О разных подходах к диагностике начальной открытоугольной глаукомы. *Офтальмологический журнал*. 1989; 44 (2): 77–80 [Volkov V.V. On different approaches to the diagnosis of early open-angle glaucoma. *Journal of ophthalmology*. 1989; 44 (2): 77–80 (In Russ.)].
- Горбань А.Н., Россиев Д.А. Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск: Наука; 1996. [Gorban' A.N., Rossiev D.A. *Neural networks on a personal computer*. Novosibirsk: Science; 1996 (In Russ.)].
- Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Кирдин А.Н. и др. Нейроинформатика. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН; 1998. [Gorban' A.N., Dunin-Barkovskij V.L., Kirдин A.N., et al. *Neuroinformatics*. Novosibirsk: Science Siberian Enterprise Russian Academy of Sciences; 1998 (In Russ.)].
- Шевченко Ю.Л., Шихвердиев Н.Н., Оточкин А.В. Прогнозирование в кардиохирургии. Санкт-Петербург: Питер Паблишинг; 1998 [Shevchenko Ju.L., Shihverdiev N.N., Otochkin A.V. *Prognosis in cardiac surgery*. Saint-Petersburg: Peter Publishing; 1998 (In Russ.)].
- Каталевская Е.А., Каталевский Д.Ю., Тюрников М.И. и др. Перспективы использования искусственного интеллекта в диагностике и лечении заболеваний сетчатки. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2022; 22 (1): 36–43. [Katalevskaja E.A., Katalevskij D.Ju., Tjurikov M.I., et al. Prospects for the use of artificial intelligence in the diagnosis and treatment of retinal diseases. *Russian journal of clinical ophthalmology*. 2022; 22 (1): 36–43 (In Russ.)]. doi: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-36-43
- Grzybowski A, Brona P, Lim G, et al. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye (Lond)*. 2020; 34 (3): 451–60. doi: 10.1038/s41433-019-0566-0
- Hwang DK, Chou YB, Lin TC, et al. Optical coherence tomography-based diabetic macula edema screening with artificial intelligence. *J. Chin. Med. Assoc.* 2020; 83 (11): 1034–8. doi: 10.1097/JCMA.0000000000000351
- Shah A, Clarida W, Amelon R, et al. Validation of automated screening for referable diabetic retinopathy with an autonomous diagnostic artificial intelligence system in a spanish population. *J. Diabetes Sci. Technol*. 2021; 15 (3): 655–63. doi: 10.1177/1932296820906212
- Комаровских Е.Н., Лазаренко В.И., Ильенков С.С. Ранняя диагностика первичной открытоугольной глаукомы. Красноярск; 2001 [Komarovskikh E.N., Lazarenko V.I., Il'nenkov S.S. *Early diagnosis of primary open-angle glaucoma*. Krasnoyarsk; 2001 (In Russ.)].
- Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. Москва: Медицина; 1999. [Shamshinova A.M., Volkov V.V. *Functional research methods in ophthalmology*. Moscow: Medicine; 1999 (In Russ.)].

Kuban State Medical University, 4, Sedin St., Krasnodar, 350063, Russia  
Elena N. Komarovskikh — Dr. of Med. Sci., professor, professor of the department of eye diseases

S.N. Fedorov Eye Microsurgery National Medical Research Center, Krasnodar branch, 6, Krasnykh Partizan St., Krasnodar, 350012, Russia  
Evgeny V. Podtynnykh — ophthalmologist

Contact information: Elena N. Komarovskikh,  
komarovskikh\_e\_n@mail.ru