

Диагностика глаукомы на современном этапе

А.Б. Мовсисян^{1,2}, А.В. Куроедов^{1,3}

¹РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия

²ГБУЗ «ГВВ № 2 ДЗМ», Москва, Россия

³ФКУ «ЦВКГ им. П.В. Мандрыка», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Практикующие врачи по сегодняшний день проводят скрининг глаукомы, основываясь на триаде признаков заболевания, выдвинутой Грефе. С учетом прогнозируемого роста заболеваемости глаукомой и наблюдаемой тенденции верификации диагноза на момент уже выраженных изменений зрительных функций назрела необходимость пересмотра данных «маркеров». Оценивая современные диагностические возможности проведения скрининга на глаукому, можно с уверенностью сказать, что ни один из методов диагностики на сегодняшний день не может «работать в одиночку». Только проведение динамических исследований позволяет с полной уверенностью поставить диагноз «глаукома» или исключить наличие глаукомных изменений у пациента, ввиду чего в стандарт диагностики глаукомы входит несколько методов обследования. Для получения достоверных данных о распространенности заболевания необходима его своевременная диагностика, которая на сегодняшний день затруднена. Решением этой задачи может стать усовершенствование имеющихся диагностических методик и/или внедрение новых методов обследования. С появлением технологии искусственного интеллекта, способного обучаться и проводить глубокий анализ, стало возможным развитие и этого направления. Однако вопрос его оптимизации для практической медицины на сегодняшний день остается открытым.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома, скрининг глаукомы, диагностика глаукомы, нейросети.

Для цитирования: Мовсисян А.Б., Куроедов А.В. Диагностика глаукомы на современном этапе. Клиническая офтальмология. 2023;23(1):47–53. DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-1-47-53.

Making a diagnosis of glaucoma at the present time

A.B. Movsisyan^{1,2}, A.V. Kuroyedov^{1,3}

¹Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

²Hospital for War Veterans No. 2, Moscow, Russian Federation

³P.V. Mandryka Military Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Thus far, practicing physicians perform glaucoma screening based on Graefe's triad of symptoms. Considering the predicted increase in glaucoma incidence and the current trend in diagnosis verification at the time when patients already demonstrate significant changes in visual function, the issue on the need to revise these "markers" is raised. Summarizing the available modern diagnostic capabilities for glaucoma screening, it is fair to say that nowadays none of the diagnostic methods can "work alone". Only monitoring of glaucoma patients will help to determine accurately the presence or absence of glaucoma changes. Thus, the current standard for glaucoma detection includes several diagnostic methods. To receive reliable data on the disease prevalence, its diagnosis should be established in a timely manner. However, there are still difficulties faced in diagnosing glaucoma. This problem can be solved through the improvement of the available diagnostic tools and/or the introduction of novel methods of patient assessment. The advent of artificial intelligence (AI) technology, capable of learning and conducting in-depth analysis, has enabled the development of this approach. At the same time, the question of optimizing its application for practical medicine remains open.

Keywords: primary open-angle glaucoma, glaucoma screening, glaucoma diagnosing, neural networks.

For citation: Movsisyan A.B., Kuroyedov A.V. Making a diagnosis of glaucoma at the present time. Russian Journal of Clinical Ophthalmology. 2023;23(1):47–53 (in Russ.). DOI: 10.32364/2311-7729-2023-23-1-47-53.

Триада Грефе: насколько она актуальна сегодня в диагностике глаукомы?

Почти за два последних столетия накопилось достаточно научных данных, позволяющих понимать наблюдаемые морфофункциональные изменения при глаукоме. Вместе с тем практикующие врачи и по сегодняшний день проводят скрининг, основываясь на триаде признаков заболевания, выдвинутой Грефе [1, 2]. С учетом прогнозируемого роста заболеваемости глаукомой, связанного с естественным старением населения, вместе с верификацией диагноза на момент уже выраженных изменений зри-

тельных функций [3] поднимается вопрос о необходимости пересмотра данных «маркеров». Рассмотрим подробнее каждый из них.

В РФ измерение ВГД проводится всем гражданам, достигшим 40 лет, в рамках обязательной ежегодной диспансеризации населения [4]. Эффективность такого решения была проверена многолетним исполнением приказа Министерства здравоохранения СССР № 925 от 22.09.1976 («Об усилении мероприятий по раннему выявлению и активному наблюдению больных глаукомой»), утратившего свою силу по ряду причин более 30 лет на-

зад (приказ МЗ СССР № 221 от 21.03.1988 «О признании утратившими силу нормативных актов Минздрава СССР по разделу «Лечебно-профилактическая помощь населению») [5]. Не принимая во внимание организационные причины, способствующие понижению значимости метода тонометрии при использовании его в рамках скрининга глаукомы, были отмечены и исключительно медицинские составляющие, не способствующие его эффективности. Например, необходимость оценки данных тонометрии с учетом толщины роговицы в оптической зоне и рефракции глаза у отдельно взятых пациентов. Помимо этого, при глаукоме низкого давления (ГНД) изменения в отношении офтальмогипертензии и вовсе не будут выявлены. Именно поэтому встал закономерный вопрос о необходимости оценки уровня ВГД с учетом не только параметров глаза и существующих шкал оценки полученных значений согласно методике измерения, но и индивидуальных значений уровня офтальмотонуса. По ряду причин, в первую очередь связанных с оснащением диагностических кабинетов и ограничением времени, выделенного на обследование каждого пациента, врачами первичного звена здравоохранения и частных клиник могут быть упущены и недооценены клинически значимые изменения [6, 7].

Офтальмоскопия с оценкой состояния диска зрительного нерва (ДЗН) зачастую является ключевым исследованием при постановке диагноза: она должна проводиться с учетом нескольких параметров ДЗН, а также с анализом толщины слоя нервных волокон сетчатки (СНВС), при обязательном определении разницы этих параметров между парными глазами. Именно наличие асимметрии в состоянии ДЗН и СНВС является одним из признаков наличия глаукомы. Однако особенности описания состояния ДЗН и СНВС и правильная оценка выявляемых изменений, особенно при начальных проявлениях заболевания, в большей степени зависят от профессиональной компетенции врача-офтальмолога и даже от особенностей трактовки результатов, полученных при использовании специализированной техники [8, 9]. Минимизация риска снижения зрительных функций определяется комплексным подходом, включающим, в частности, точное определение стадии заболевания, оценку ожидаемой продолжительности жизни и скорости прогрессирования заболевания на основании состояния ДЗН, СНВС, полей зрения [10–13]. По этой причине, при отсутствии дефектов поля зрения, пропуске эпизодов повышенного уровня ВГД исследователи могут упускать как начало заболевания, так и возможность оценивать в будущем динамику процесса, что напрямую повлияет на продолжительность заболевания, а именно на время, в течение которого наступит слепота.

Характерные изменения поля зрения у пациентов с глаукомой долгое время служили важным ориентиром для постановки диагноза. Вместе с тем при подозрении на глаукому и даже при начальной стадии первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) специфические глаукомные изменения при проведении периметрии могут быть минимизированы или вовсе не наблюдаться. Проведение и оценка специфических тестов могут быть затруднены необходимостью обучения обследуемого, его недостаточной концентрацией внимания при исследовании и изменением прозрачности преломляющих сред, а также в связи с сопутствующей патологией глаза. Все эти факторы могут

в большей или меньшей степени повлиять на полученные результаты, которые уже не будут обладать высокой достоверностью [9, 14].

Исходя из вышесказанного, остается открытым вопрос об актуальности выявления всех трех признаков Грефе для постановки диагноза. На наш взгляд, данные признаки нельзя исключать из диагностических маркеров выявления глаукомы, однако стоит расширить и уточнить наиболее важные из них, в особенности роль офтальмоскопии. Также необходимо подчеркнуть важность применения (в достаточном количестве и при соблюдении индивидуальных временных интервалов) дополнительных специализированных методов исследования: статической автоматической периметрии (САП), периметрии с технологией удвоения пространственной частоты — Frequency Doubling Technology (FDT) perimetry, оптической когерентной томографии (ОКТ) и, частично, гейдельбергской ретинальной томографии (Heidelberg Retinal Tomography, HRT) [15–17]. На сегодняшний день применение именно этого набора методов дает возможность выявить заболевание и определить маркеры его прогрессирования.

Стоит отметить, что «расшифровка» полученных сканов заднего отрезка глаза также требует грамотного анализа с учетом популяционной индивидуальности. По этой причине следует продолжить поиск универсального морфометрического или комбинированного метода исследования с целью повышения вероятности получения однозначного ответа о наличии заболевания или его отсутствии, исключая субъективные факторы. При этом следует учитывать возможные факторы риска у обследуемых [1, 16].

Роль скрининговых и дополнительных методов исследования в современной диагностике ПОУГ

Как следует из приказа МЗ РФ 124н от 13.03.2019 «Об утверждении порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения» [4], одним из обязательных методов обследования должна быть тонометрия, что должно помочь повысить выявляемость глаукомы среди населения. По данным мировой статистики, в развитых странах глаукома остается не диагностированной своевременно у 50% заболевших, тогда как в развивающихся странах данный показатель еще выше [18]. По этой причине раннее выявление и своевременная диагностика глаукомы имеют решающее значение, что по-прежнему является непростой задачей. Имеется достаточно данных о несоответствии между структурными и функциональными тестами — например, Исследование лечения офтальмогипертензии и Европейское исследование профилактики глаукомы, из которых следует, что только комплексная оценка результатов будет способствовать эффективно-му решению проблемы [19, 20].

Для измерения уровня ВГД могут использоваться различные аппараты и методы (контактные и бесконтактные). Бесконтактное измерение уровня ВГД является нечувствительным методом исследования (чувствительность — 22,1%, специфичность — 78,1%), однако недорогим и быстрым, поэтому может использоваться в качестве скрининга для выявления пациентов с глаукомой и повышенным уровнем офтальмотонуса (но доля таких пациентов является небольшой) [21].

Уже доказано, что почти в половине случаев ПОУГ развивается на фоне так называемого нормального уровня ВГД. В связи с этим ключевой в постановке диагноза становится оценка ДЗН: методом офтальмоскопии (требует наличия определенной квалификации специалиста), фотографиями (чувствительность методики — от 65 до 77%, специфичность — от 59 до 98%), визуализации с помощью компьютерных аппаратов (ОКТ, НРТ). Проведение последних подразумевает наличие соответствующей оснащённости кабинетов и правильной интерпретации полученных результатов. Чувствительность и специфичность методики НРТ с учетом анализа результатов Мурфильдского регрессионного анализа составляют 46 и 91% соответственно, что говорит о возможном большом числе ложноположительных результатов у здоровых лиц и низкой выявляемости заболевания у лиц с глаукомой. Оценка состояния ДЗН и макулы по данным ОКТ в настоящее время является важнейшим диагностическим тестом в отношении диагностики глаукомы и определения элементов ее прогрессирования. Вместе с тем применение данного метода обследования ограничено разрешающей способностью различных приборов, их программным обеспечением, с возможностью повторного построения карты поверхности и изменением прозрачности сред у пациентов. По данным литературы, высокая чувствительность спектральных моделей ОКТ позволяет выявлять заболевание при начальных изменениях в популяции высокого риска. Таким образом, ОКТ имеет преимущество перед НРТ как потенциально скрининговый метод, позволяя выявить глаукомные изменения (в том числе и допериметрические) на начальной стадии заболевания и провести отбор лиц, требующих дальнейшего динамического наблюдения [21, 22].

В течение последних лет при обследовании на глаукому с применением метода ОКТ принималось во внимание состояние нейроретинального пояса, СНВС, слоев ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) и их аксонов и оценка их состояния с учетом возможности применения приборов с разными принципами работы. Вместе с тем все чаще акцент делается на необходимость оценки новых «маркеров» при проведении ОКТ. Один из них — это диаметр отверстия мембраны Бруха (МБ), или расстояния между двумя противоположными краями МБ (Bruch's membrane opening, ВМО), и самого короткого расстояния от края мембраны до ближайшей точки внутренней пограничной мембраны (internal limiting membrane, ИЛМ). Такое расстояние было принято обозначать термином «минимальная ширина» (minimum rim width, MRW) [23–25].

В отношении ПОУГ, по данным исследований, одной из ключевых становится оценка толщины комплекса ганглиозных клеток (КГК), включающего слой нервных волокон макулярной зоны (СНВС МЗ), слой ГКС и внутренний плексиформный слой (ВПС). Изменения (апоптоз) затрагивают изначально слой ГКС (сначала гибнут ганглиозные клетки), затем ВПС (их дендриты), а потом уже СНВС МЗ (аксоны ганглиозных клеток). По этой причине важно оценивать весь КГК, а не только изменение толщины СНВС при обследовании пациента на предмет наличия глаукомных изменений [26].

В последние годы также появилось достаточно работ, в которых проводится оценка роли ОКТ-ангиографии (ОКТ-А) в диагностике и мониторинге глаукомных изменений и сравнение их с нормой. Поскольку были предложены как механические, так и сосудистые теории патогенеза глаукомы,

проведение оценки состояния сосудов дополняет оценку структурных и функциональных изменений. Нарушение сосудистой ауторегуляции и снижение перфузии ДЗН играют важную роль при глаукоме [27–30]. Оценка плотности перипапиллярных поверхностных сосудов сетчатки позволяет диагностировать и обнаруживать прогрессирование глаукомы аналогично анализу изменения толщины перипапиллярного СНВС. Сильная корреляция плотности сосудов макулярной области со средним отклонением поля зрения по сравнению с толщиной ГКС и прогрессирующее снижение плотности сосудов центральной зоны сетчатки без истончения ганглиозных клеток у пациентов с развитой стадией глаукомы подчеркивают более высокую диагностическую эффективность измерения плотности сосудов макулы [31, 32]. Однако имеются исследования, по результатам которых снижение толщины слоя ГКС опережает изменение плотности сосудов макулы [33, 34], что может быть связано с использованием различных приборов и/или их программным обеспечением. По этой причине на сегодняшний день можно говорить о том, что ОКТ-А является лишь вспомогательным методом оценки состояния и прогрессирования глаукомного процесса, не исключающим другие структурные и функциональные методы обследования.

Проведение САП для выявления глаукомы является малоодостоверным, особенно для обнаружения ранних изменений, и требует проведения серии последовательных исследований (не менее 6 за 2 года при подозрении на глаукому) [16], а также наличия определенной квалификации врача для правильной интерпретации полученных результатов. Выполнить эту рекомендацию бывает сложно в связи с недостаточным техническим оснащением, невысокой степенью комплаентности пациента и необходимостью выполнения одного и того же периметрического теста на одном аппарате [14, 35], поэтому на практике такого алгоритма действий мало кто придерживается [36].

Оценивая современные диагностические возможности проведения скрининга на глаукому, можно с уверенностью сказать, что ни один из методов диагностики на сегодняшний день не может «работать в одиночку». Только проведение динамических комплексных исследований позволит с полной уверенностью поставить диагноз «глаукома» или исключить наличие глаукомных изменений у пациента. Проведение диагностических исследований в полном объеме требует определенных временных затрат и привлечения высококвалифицированных специалистов, что является экономически невыгодным. По этой причине продолжается поиск универсального метода обследования, обладающего высокой чувствительностью и специфичностью при небольших временных затратах и приемлемой стоимости.

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИСПАНСЕРИЗАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С ГЛАУКОМОЙ: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

Всеобщая диспансеризация населения в нашей стране как одно из направлений организации медицинской помощи населению берет свое начало в 1927 г., когда Наркомздравом было принято положение об амбулаториях, которые определялись как лечебно-профилактические учреждения, призванные осуществлять оказание лечебной помощи проходящим больным, а также организацию и проведение профилактических мероприятий среди обслуживаемого ими населения [37].

Первый диспансер для больных глаукомой был организован по инициативе академика В.П. Филатова в 1931 г. на базе глазной клиники Одесского медицинского института [38]. Позже глаукомные диспансеры были созданы в Москве, Ленинграде, Харькове, Куйбышеве, Баку и других городах. В 1946 г. вышло инструктивно-методическое указание Министерства здравоохранения СССР по диспансерному обслуживанию больных глаукомой [5]. С этого времени стало налаживаться диспансерное обслуживание.

В 1952 г. в Государственном научно-исследовательском институте глазных болезней им. Гельмгольца было проведено совещание, на котором признали необходимым шире внедрять в практику лечебных учреждений метод диспансеризации больных глаукомой. Резолюция этого совещания легла в основу приказа министра здравоохранения СССР (№ 753 от 27 августа 1952 г.) и приказа министра здравоохранения РСФСР (№ 748 от 27 октября 1952 г.) «О мероприятиях по улучшению лечения больных глаукомой». В том же 1952 г. министерствами здравоохранения СССР и РСФСР была разработана программа действий по улучшению офтальмологической помощи населению, организации раннего выявления больных глаукомой и более широкому внедрению диспансерного метода [38, 39].

С 1957 г. по инициативе Института им. академика В.П. Филатова начались массовые профилактические осмотры населения для ранней диагностики глаукомы, а в 1964 г. вышел приказ МЗ РСФСР № 275 «О мероприятиях по борьбе с глаукомой». Результаты профилактических осмотров 19 171 человека в 65 городах РСФСР были опубликованы в монографии «Успехи отечественной офтальмологии и профилактика глазных заболеваний» и позволили детально изучить заболеваемость глаукомой и установить различия показателей у людей разного возраста и пола, имеющих разные профессии и стаж работы, а также определить сроки начала заболевания, лечения и др. [40]. К 1973 г. в РСФСР функционировало 107 глаукомных кабинетов, 47 ночных стационаров.

Что касается обследования пациентов на глаукому, то первым документом, регламентирующим диспансерную работу в этом направлении, стал приказ МЗ СССР № 925 от 22.09.1976 «Об усилении мероприятий по раннему выявлению и активному наблюдению больных глаукомой». В нем были определены объемы работы с пациентами и утверждено активное выявление заболевания путем массовых профосмотров населения старше 40 лет. Анализ полученных результатов работы профилактических кабинетов показал увеличение выявляемости больных глаукомой на 70% по сравнению с тремя предыдущими годами, при этом количество обследованных лиц на глаукому возросло в 3 раза. Ежегодно в стране профилактические осмотры проходили 15–20 млн человек [41, 42]. В 1980-е гг. продолжались мероприятия по раннему выявлению и активному наблюдению больных глаукомой, регламентированные приказом № 1000 от 23.09.1981 и приложением № 9 к приказу № 770 от 30.05.1981 «Инструкция по диспансеризации больных, практически здоровых лиц с фактором риска в амбулаторно-поликлинических условиях» (раздел «Офтальмология»). В последующем, в связи с изменениями социально-экономических условий и с внедрением системы обязательного медицинского страхования, приказ утратил силу [5].

Лишь спустя годы и только благодаря взаимодействию Российского глаукомного общества, Ассоциации

врачей-офтальмологов и Общества офтальмологов России в приказе Министерства здравоохранения РФ от 13 марта 2019 г. № 124н «Об утверждении порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения», вступившем в силу в 2020 г., был определен новый порядок проведения скрининга заболеваний органа зрения, в том числе глаукомы: измерение уровня ВГД при первом прохождении профилактического медицинского осмотра, далее в возрасте 40 лет и старше 1 раз в год [4].

Однако имеющиеся на сегодняшний день результаты профилактических осмотров все же не полностью отображают распространенность и закономерность распространения глаукомы, так как только при систематичности наблюдений и массовости охвата населения с достаточной квалификацией осмотра может быть определен уровень заболеваемости глаукомой и разработаны новые средства по борьбе с ней [43]. Для получения достоверных данных о распространенности заболевания необходима его своевременная диагностика, которая на сегодняшний день затруднена. Решением этой задачи может стать усовершенствование имеющихся диагностических методик и/или внедрение новых методов обследования.

МЕСТО НЕЙРОСЕТЕЙ В ДИАГНОСТИКЕ ГЛАУКОМЫ

Сокращение времени от момента начала заболевания до постановки диагноза и начала этиопатогенетически обоснованного лечения является ключевым направлением современной медицины.

Диагностическое направление активно развивается: для анализа полученных результатов внедряются алгоритмы машинного анализа, неким образом страхующие и оператора, и врача. На сегодняшний день нельзя в полной мере исключить этап дифференциальной диагностики по результатам общеклинических и инструментальных обследований. С появлением технологии искусственного интеллекта (ИИ), способного обучаться и проводить глубокий анализ, стало возможным его применение [44, 45]. Использование ИИ легло в основу одного из направлений анализа данных ОКТ и/или САП с возможностью введения дополнительных данных для повышения точности обнаружения глаукомных изменений [45–48]. В настоящее время предпочтение отдается сверточным нейронным сетям (СНС), способным быстро обучаться [44, 45]. Одним из перспективных направлений можно считать использование данной технологии в оценке изображений глазного дна. Фотографии глазного дна могут быть подходящим «кандидатом» для популяционного скрининга на глаукому, поскольку это самый простой и широко распространенный метод оценки ДЗН [49], относительно недорогой и перспективный. В настоящее время разработаны модели ИИ, способные выявлять и определять изменения при диабетической ретинопатии, возрастной макулярной дегенерации. ИИ был обучен по данным сканов ОКТ и фотографий глазного дна пациентов, определять наличие и стадийность патологического процесса по результатам фундус-фотографирования. Программное обеспечение, разработанное подразделением DeepMind компании Google, позволяет выполнять параллельный анализ сразу по нескольким заболеваниям сетчатки [50]. В отношении диагностики глаукомы были разработаны подобные программные алгоритмы, однако для постановки окончательного диагноза они требовали проведения нескольких диагностических об-

следований, по результатам анализа которых нейросеть сообщила о вероятности наличия глаукомного процесса у конкретного пациента.

Применение моделей глубокого обучения показало отличные результаты в диагностике глаукомы, однако исследователи столкнулись с рядом проблем, связанных с использованием эталонных глаз на этапе обучения нейросети, т. е. машина будет работать не хуже исследователя, но повторять его ошибки. Например, в исследовании Z. Li et al. [51] алгоритм глубокого обучения имел тенденцию исключать диагноз глаукомы у пациентов с миопией высокой степени, увеличивая количество ложноотрицательных результатов, но переоценивал наличие глаукомы при физиологически увеличенных размерах ДЗН, увеличивая количество ложноположительных результатов.

Альтернативный подход к настройке моделей глубокого обучения для оценки фотографий глазного дна у пациентов с глаукомой был предложен F.A. Medeiros et al. [52] и называется межмашинным (M2M). В такой модели алгоритм сформирован с использованием цветных фотографий глазного дна, маркированных количественным эталонным стандартом, соответствующим измерению общей толщины СНВС, измеренным с помощью спектральных ОКТ.

Следует отметить, что при использовании в обучении цветных изображений глазного дна решающим может стать качество полученного изображения, что повлияет на обучение нейросети. В этом направлении также велись работы с целью улучшения качества, увеличения масштаба, изменения контрастности и яркости изображения с использованием алгоритмов глубокого обучения для последующего их анализа нейросетью [53]. Остается открытым и вопрос использования разработанных алгоритмов на глазах с сопутствующей патологией, так как неизвестно, как их будет интерпретировать программа, поскольку обучение происходило на «стандартных» глазах, исключающих дегенеративные изменения сетчатки и миопию высокой степени.

Система Pegasus (Visulytix Ltd., Великобритания) представляет собой облачную систему ИИ для оценки фотографии глазного дна, которая использует набор СНС, каждая из которых специализируется на своей задаче в рамках оценки изображения: идентификация ключевых ориентиров (ДЗН, макула), клинических признаков и классификация патологий. Система предназначена для использования любой фотографии глазного дна, которая содержит ДЗН, с использованием сначала СНС для поиска и выделения изображения ДЗН, а затем для передачи его стандартизированного фото в другую СНС, которая выполняет классификацию. В исследовании T.W. Rogers et al. [54] система Pegasus AI сравнивалась с работой 243 европейских офтальмологов и 208 британских оптометристов. В частности, оценивались фотографии глазного дна на предмет наличия глаукомных повреждений. Система достигла точности диагностики порядка 83,7%, что было в среднем сопоставимо с показателем у офтальмологов и оптометристов (AUC=0,871).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На наш взгляд, возможности рутинной диагностики давно себя исчерпали. Подтверждением этого является продолжительная дискуссия по поводу сроков наблюдения и целесообразности лечения пациентов с подозрением на глаукому, а также высокий процент обнаружения

ПОУГ развитых стадий у пациентов даже в благополучных с точки зрения оснащения специализированным оборудованием регионах нашей страны.

Разработка новых программ, например нейросетей, позволяющих поставить диагноз по результатам одного диагностического обследования, с возможностью прогнозирования особенностей течения заболевания у каждого отдельно взятого пациента, является весьма перспективным и пациентоориентированным направлением, в последующем оно может рассматриваться в качестве скринингового. Вместе с тем обучение такой нейросети является очень трудной задачей, так как требует использования высококвалифицированных кадров и большого массива информации. Методы диагностики и мониторинга, применяемые у пациентов с ПОУГ, совершенствуются в разных направлениях — от развития приборной и программной составляющих, оптимизации организационной составляющей до развития альтернативных технологий (например, оценка структурных и функциональных изменений и их соотношение, анализ с применением нейросетей). Но как все это оптимизировать для практической медицины? Вопрос на сегодняшний день остается открытым.

Литература

1. Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей. Под ред. Егорова Е.А., Еричева В.П. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2019.
2. Клинические рекомендации. Глаукома первичная открытоугольная. 2020. (Электронный ресурс.) URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/96_1 (дата обращения: 08.09.2021).
3. Куроедов А.В., Мовсисян А.Б., Егоров Е.А. и др. Профиль пациентов с первичной открытоугольной глаукомой в Российской Федерации (предварительные результаты многоцентрового популяционного исследования). Часть 1. Национальный журнал глаукома. 2021;20(1):3–15. DOI: 10.25700/NJG.2021.01.01.
4. Приказ № 124 Н «Об утверждении порядка проведения профилактического осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения». (Электронный ресурс.) URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201904250016> (дата обращения: 08.08.2021).
5. Романова Т.Б., Романенко И.А. Диспансеризация глаукомы: прошлое и настоящее. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2007;8(2):75–78.
6. Егоров Е.А., Еричев В.П., Куроедов А.В. и др. Показатели офтальмотонометрии в здоровой популяции. Национальный журнал глаукома. 2018;17(2):91–98. DOI: 10.25700/NJG.2018.02.09.
7. Егоров Е.А., Петров С.Ю., Городничий В.В. и др. ТонOMETрическое внутриглазное давление у взрослого населения: популяционное исследование. Национальный журнал глаукома. 2020;19(2):39–50. DOI: 10.25700/NJG.2020.02.05.
8. Курышева Н.И. Глаукомная оптическая нейропатия. М.: МЕДпресс-информ; 2006.
9. Куроедов А.В., Городничий В.В., Огородникова В.Ю. и др. Офтальмоскопическая характеристика изменений диска зрительного нерва и слоя нервных волокон при глаукоме: пособие для врачей. М.: Дом печати «Столичный бизнес»; 2011.
10. Weinreb R.N., Khaw P.T. Primary open-angle glaucoma. Lancet. 2004;363(9422):1711–1720. DOI: 10.1016/S0140-6736(04)16257-0.
11. Glaucoma diagnosis: structure and function: the 1st consensus report of the world glaucoma association. Weinreb R., Greve E., eds. Amsterdam, the Netherlands: Kugler Publications; 2004.
12. Varma R., Lee P.P., Goldberg I., Kotak S. An assessment of the health and economic burdens of glaucoma. Am J Ophthalmol. 2011;152(4):515–522. DOI: 10.1016/j.ajo.2011.06.004.
13. Zeiss Mastering GPA Instruction Manual. (Electronic resource.) URL: <https://manuals.plus/zeiss/zeiss-mastering-gpa-manual-pdf> (access date: 08.08.2021).
14. Еричев В.П., Антонов А.А. Клиническая периметрия в диагностике и мониторинге глаукомы. М.: Апрель; 2016.
15. Симакова И.Л., Сухинин М.В., Соболев А.Ф., Сердюкова С.А. Эффективность различных методов компьютерной периметрии в диагностике первичной открытоугольной глаукомы. Часть 2. Национальный журнал глаукома. 2016;15(2):44–53.
16. European Glaucoma Society. Terminology and Guidelines for Glaucoma. 5th ed. Savona, Italy: PubliComm; 2020.
17. Куроедов А.В., Городничий В.В. Компьютерная ретинометрия (HRT): диагностика, динамика, достоверность. М.: Издательский центр МНТК «Микрохирургия глаза»; 2007.
18. Quigley H.A., Broman A.T. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. Br J Ophthalmol. 2006;90(3):262–267. DOI: 10.1136/bjo.2005.081224.
19. Kass M.A., Heuer D.K., Higginbotham E.J. 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; discussion 829–830. DOI: 10.1001/archoph.120.6.701.

20. Miglior S., Zeyen T., Pfeiffer N. et al. Results of the European Glaucoma Prevention Study. *Ophthalmology*. 2005;112(3):366–375. DOI: 10.1016/j.ophtha.2005.06.020.
21. Диагностика первичной открытоугольной глаукомы. 10-й Консенсус Всемирной глаукомной ассоциации. Под ред. Weinreb R.N., Garway-Heath D., Leung Ch. et al. Пер. с англ. М.: Авторский тираж; 2019.
22. Курешева Н.И. Оптическая когерентная томография в диагностике глаукомной оптиконейропатии. Часть 2. Национальный журнал глаукома. 2016;15(3):60–70.
23. Гапонко О.В., Куроедов А.В., Городничий В.В. и др. Новые морфометрические маркеры диагностики глаукомы. РМЖ. Клиническая офтальмология. 2016;1:1–6.
24. Reis A.S., O'Leary N., Yang H. et al. Influence of clinically invisible, but optical coherence tomography detected, optic disc margin anatomy on neuroretinal rim evaluation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012;53(4):1852–1860. DOI: 10.1167/iov.11-9309.
25. Chauhan C.B., Burgoyne C.F. From Clinical examination of the optic disc to clinical assessment of the optic nerve head: a paradigm change. *Am J Ophthalmol*. 2013;156(2):218–227. DOI: 10.1016/j.ajo.2013.04.016.
26. Страхов В.В., Ярцев А.В., Алексеев В.В. и др. Структурно-функциональные изменения слоев сетчатки при первичной глаукоме и возможные пути ретинопротекции. Вестник офтальмологии. 2019;135(2):70–82. DOI: 10.17116/ofal.201913502170.
27. Tobe L.A., Harris A., Hussain R.M. et al. The role of reticulobar and retinal circulation on optic nerve head and retinal nerve fibre layer structure in patients with open-angle glaucoma over an 18-month period. *Br J Ophthalmol*. 2015;99(6):609–612. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2014-305780.
28. Leske M.C., Connell A.M., Wu S.Y. et al. Risk factors for open-angle glaucoma. The Barbados Eye Study. *Arch Ophthalmol*. 1995;113(7):918–924. DOI: 10.1001/archoph.1995.01100070092031.
29. De Moraes C.G., Liebmann J.M., Greenfield D.S. et al. Risk factors for visual field progression in the low-pressure glaucoma treatment study. *Am J Ophthalmol*. 2012;154(4):702–711. DOI: 10.1016/j.ajo.2012.04.015.
30. Harris A., Rechtman E., Siesky B. et al. The role of optic nerve blood flow in the pathogenesis of glaucoma. *Ophthalmol Clin North Am*. 2005;18(3):345–353. DOI: 10.1016/j.ohc.2005.04.001.
31. Yarmohammadi A., Zangwill L.M., Diniz-Filho A. et al. Relationship between optical coherence tomography angiography vessel density and severity of visual field loss in glaucoma. *Ophthalmology*. 2016;123(12):2498–2508. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.08.041.
32. Shoji T., Zangwill L.M., Akagi T. et al. Progressive macula vessel density loss in primary open-angle glaucoma: a longitudinal study. *Am J Ophthalmol*. 2017;182:107–117. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.07.011.
33. Rao H.L., Pradhan Z.S., Weinreb R.N. et al. A comparison of the diagnostic ability of vessel density and structural measurements of optical coherence tomography in primary open angle glaucoma. *PLoS One*. 2017;12(3):e0173930. DOI: 10.1371/journal.pone.0173930.
34. Rao H.L., Pradhan Z.S., Weinreb R.N. et al. Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density Measurements in Eyes With Primary Open-Angle Glaucoma and Disc Hemorrhage. *J Glaucoma*. 2017;26(10):888–895. DOI: 10.1097/IJG.0000000000000758.
35. Еричев В.П., Антонов В.П., Витков А.А. Базовые методы диагностики глаукомы. М.: Апрель; 2021.
36. Fung S.S., Lemer C., Russell R.A. et al. Are practical recommendations practiced? A national multicenter cross-sectional study on frequency of visual field testing in glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2013;97(7):843–847. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2012-302903.
37. Карайланов М.Г., Русев И.Т., Федоткина С.А., Прокин И.Г. Исторические аспекты реформирования первичной медико-санитарной помощи в России. Социальные аспекты здоровья населения (электронный научный журнал). 2016;3(49). DOI: 10.21045/2071-5021-2016-49-3-4. (Электронный ресурс.) URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/752/30/> (дата обращения: 20.08.2021).
38. Котелянская К.Е. Развитие в советском здравоохранении идеи академика В.П. Филатова о профилактике слепоты от глаукомы методом диспансеризации. В кн.: Тезисы докладов конференции с участием иностранных специалистов «Реабилитация больных с патологией органа зрения». Одесса; 1986:317–318.
39. Левтюх В.И., Анина Е.И., Степанюк Г.И. Состояние диспансерного наблюдения больных глаукомой в УССР. В кн.: Тезисы докладов конференции с участием иностранных специалистов «Реабилитация больных с патологией органа зрения». Одесса; 1986:325–326.
40. Удинцов Е.И. Успехи отечественной офтальмологии и профилактика глазных заболеваний. М.: Наука; 1966.
41. Ерошевский Т.И., Нестеров А.П. Глаукома: основные достижения, нерешенные вопросы. В кн.: Тезисы докладов V Всесоюзного съезда офтальмологов. М.; 1979:3–13.
42. Козлова Л.П., Анджелов В.О., Соколова П.Д. и др. О мерах по дальнейшему улучшению диспансерной помощи больным первичной глаукомой. В кн.: Тезисы докладов V Всесоюзного съезда офтальмологов. М.; 1979:39–41.
43. Movsisyan A.B., Kuroedov A.V., Arkharov M.A. et al. Эпидемиологический анализ заболеваемости и распространенности первичной открытоугольной глаукомы в Российской Федерации. Клиническая офтальмология. 2022;22(1):3–10. DOI: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-3-10.
44. Moraru A.D., Costin D., Moraru R.L., Branisteanu D.C. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology — present and future (Review). *Exp Ther Med*. 2020;20(4):3469–3473. DOI: 10.3892/etm.2020.9118.
45. Thakoor K.A., Koorathota S.C., Hood D.C., Sajda P. Robust and Interpretable Convolutional Neural Networks to Detect Glaucoma in Optical Coherence Tomography Images. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2021;68(8):2456–2466. DOI: 10.1109/TBME.2020.3043215.
46. Thakoor K.A., Li X., Tsamis E. et al. Strategies to Improve Convolutional Neural Network Generalizability and Reference Standards for Glaucoma Detection From OCT Scans. *Transl Vis Sci Technol*. 2021;10(4):16. DOI: 10.1167/tvst.10.4.16.
47. Mirzania D., Thompson A.C., Muir K.W. Applications of deep learning in detection of glaucoma: A systematic review. *Eur J Ophthalmol*. 2021;31(4):1618–1642. DOI: 10.1177/1120672120977346.
48. 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. DOI: 10.1016/j.ophtha.2021.07.032.
49. Muramatsu C., Hayashi Y., Sawada A. et al. Detection of retinal nerve fiber layer defects on retinal fundus images for early diagnosis of glaucoma. *J Biomed Opt*. 2010;15(1):016021. DOI: 10.1117/1.3322388.
50. Using AI to predict retinal disease progression. (Electronic resource.) URL: https://deepmind.com/blog/article/Using_ai_to_predict_retinal_disease_progression (access date: 07.06.2021).
51. Li Z., He Y., Keel S. et al. Efficacy of a Deep Learning System for Detecting Glaucomatous Optic Neuropathy Based on Color Fundus Photographs. *Ophthalmology*. 2018;125(8):1199–1206. DOI: 10.1016/j.ophtha.2018.01.023.
52. Medeiros F.A., Jammal A.A., Thompson A.C. From Machine to Machine: An OCT-Trained Deep Learning Algorithm for Objective Quantification of Glaucomatous Damage in Fundus Photographs. *Ophthalmology*. 2019;126(4):513–521. DOI: 10.1016/j.ophtha.2018.12.033.
53. Ha A., Sun S., Kim Y.K. et al. Deep-learning-based enhanced optic-disc photography. *PLoS One*. 2020;15(10):e0239913. DOI: 10.1371/journal.pone.0239913.
54. Rogers T.W., Jaccard N., Carbonaro F. et al. Evaluation of an AI system for the automated detection of glaucoma from stereoscopic optic disc photographs: the European Optic Disc Assessment Study. *Eye (Lond)*. 2019;33(11):1791–1797. DOI: 10.1038/s41433-019-0510-3.

References

- National guidelines for glaucoma for practitioners. Egorov E.A., Eriчев V.P., eds. М.: GEOTAR-Media; 2019 (in Russ.).
- Clinical guidelines. Glaucoma primary open-angle. 2020. (Electronic resource.) URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/96_1 (access date: 09.08.2021) (in Russ.).
- Kuroedov A.V., Movsisyan A.B., Egorov E.A. et al. The profile of patients with primary open-angle glaucoma in the Russian Federation (preliminary results of a multicenter population-based study). Part 1. *National Journal Glaucoma*. 2021;20(1):3–15 (in Russ.). DOI: 10.25700/NJG.2021.01.01.
- Order No. 124 N "On approval of the procedure for conducting preventive examination and medical examination of certain groups of the adult population". (Electronic resource.) URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/96_1 (access date: 08.08.2021) (in Russ.).
- Romanova T.B., Romanenko I.A. Clinical examination of glaucoma. *RMJ. Clinical ophthalmology*. 2007;8(2):75–78 (in Russ.).
- Egorov E.A., Eriчев V.P., Kuroedov A.V. et al. Tonometry values of intraocular pressure in healthy population. *National Journal Glaucoma*. 2018;17(2):91–98 (in Russ.). DOI: 10.25700/NJG.2018.02.09.
- Egorov E.A., Petrov S.Yu., Gorodnichy V.V. et al. Tonometric intraocular pressure in adult population: a population study. *National Journal Glaucoma*. 2020;19(2):39–50 (in Russ.). DOI: 10.25700/NJG.2020.02.05.
- Kuryshcheva N.I. Glaucoma optic neuropathy. М.: MEDpress-inform; 2006 (in Russ.).
- Kuroedov A.V., Gorodnichy V.V., Ogorodnikova V.Yu. et al. Ophthalmoscopy characteristics changes of the optic nerve head and the retinal nerve fiber layer in glaucoma patients (manual for doctors). М.: Dom pečati «Stolichnyy biznes»; 2011 (in Russ.).
- Weinreb R.N., Khaw P.T. Primary open-angle glaucoma. *Lancet*. 2004;363(9422):1711–1720. DOI: 10.1016/s0140-6736(04)16257-0.
- Glaucoma diagnosis: structure and function: the 1st consensus report of the world glaucoma association. Weinreb R., Greve E., eds. Amsterdam, the Netherlands: Kugler Publications; 2004.
- Varma R., Lee P.P., Goldberg I., Kotak S. An assessment of the health and economic burdens of glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2011;152(4):515–522. DOI: 10.1016/j.ajo.2011.06.004.
- Zeiss Mastering GPA Instruction Manual. (Electronic resource.) URL: <https://manuals.plus/zeiss/zeiss-mastering-gpa-manual-pdf> (access date: 08.08.2021).
- Eriчев V.P., Antonov A.A. Clinical perimetry in the diagnosis and monitoring of glaucoma. М.: Aprel'; 2016 (in Russ.).
- Simakova I.L., Sukhinin M.V., Sobolev A.F., Serdukova S.A. The effectiveness of various methods of computerized perimetry in primary open-angle glaucoma. Part 2. *National Journal Glaucoma*. 2016;15(2):44–53 (in Russ.).
- European Glaucoma Society. Terminology and Guidelines for Glaucoma. 5th ed. Savona, Italy: PubliComm; 2020.
- Kuroedov A.V., Gorodnichy V.V. Computed retinotomography (HRT): diagnostics, dynamics, reliability. М.: Izdatel'skii tsentr MNTK "Mikrokhirurgiya glaza"; 2007 (in Russ.).
- Quigley H.A., Broman A.T. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol*. 2006;90(3):262–267. DOI: 10.1136/bjo.2005.081224.
- Kass M.A., Heuer D.K., Higginbotham E.J. 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; discussion 829–830. DOI: 10.1001/archoph.120.6.701.
- Miglior S., Zeyen T., Pfeiffer N. et al. Results of the European Glaucoma Prevention Study. *Ophthalmology*. 2005;112(3):366–375. DOI: 10.1016/j.ophtha.2005.06.020.
- Diagnosis of primary open-angle glaucoma. 10th Consensus of the World Glaucoma Association. Weinreb R.N., Garway-Heath D., Leung Ch. et al., eds. Translation from English. М.: Avtorskiy tirazh; 2019 (in Russ.).
- Kuryshcheva N.I. Optical coherence tomography in glaucoma optic neuropathy diagnostics. Part 2. *National Journal Glaucoma*. 2016;15(3):60–70 (in Russ.).

23. Gaponko O.V., Kuroyedov A.V., Gorodnichy V.V. et al. New morphometric diagnostic markers of glaucoma. *RMJ. Clinical ophthalmology*. 2016;1:1–6 (in Russ.).
24. Reis A.S., O'Leary N., Yang H. et al. Influence of clinically invisible, but optical coherence tomography detected, optic disc margin anatomy on neuroretinal rim evaluation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012;53(4):1852–1860. DOI: 10.1167/iov.11-9309.
25. Chauhan C.B., Burgoyne C.F. From Clinical examination of the optic disc to clinical assessment of the optic nerve head: a paradigm change. *Am J Ophthalmol*. 2013;156(2):218–227. DOI: 10.1016/j.ajo.2013.04.016.
26. Strahov V.V., Yartsev A.V., Alekseev V.V. et al. Structural and functional changes in the retinal layers in patients with primary glaucoma and possible means of retinoprotection. *Vestnik Oftalmologii*. 2019;135(2):70–82 (in Russ.). DOI: 10.17116/oftalma201913502170.
27. Tobe L.A., Harris A., Hussain R.M. et al. The role of reticulobar and retinal circulation on optic nerve head and retinal nerve fibre layer structure in patients with open-angle glaucoma over an 18-month period. *Br J Ophthalmol*. 2015;99(6):609–612. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2014-305780.
28. Leske M.C., Connell A.M., Wu S.Y. et al. Risk factors for open-angle glaucoma. The Barbados Eye Study. *Arch Ophthalmol*. 1995;113(7):918–924. DOI: 10.1001/archophth.1995.01100070092031.
29. De Moraes C.G., Liebmann J.M., Greenfield D.S. et al. Risk factors for visual field progression in the low-pressure glaucoma treatment study. *Am J Ophthalmol*. 2012;154(4):702–711. DOI: 10.1016/j.ajo.2012.04.015.
30. Harris A., Rechtman E., Siesky B. et al. The role of optic nerve blood flow in the pathogenesis of glaucoma. *Ophthalmol Clin North Am*. 2005;18(3):345–353. DOI: 10.1016/j.ohc.2005.04.001.
31. Yarmohammadi A., Zangwill L.M., Diniz-Filho A. et al. Relationship between optical coherence tomography angiography vessel density and severity of visual field loss in glaucoma. *Ophthalmology*. 2016;123(12):2498–2508. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.08.041.
32. Shoji T., Zangwill L.M., Akagi T. et al. Progressive macula vessel density loss in primary open-angle glaucoma: a longitudinal study. *Am J Ophthalmol*. 2017;182:107–117. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.07.011.
33. Rao H.L., Pradhan Z.S., Weinreb R.N. et al. A comparison of the diagnostic ability of vessel density and structural measurements of optical coherence tomography in primary open angle glaucoma. *PLoS One*. 2017;12(3):e0173930. DOI: 10.1371/journal.pone.0173930.
34. Rao H.L., Pradhan Z.S., Weinreb R.N. et al. Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density Measurements in Eyes With Primary Open-Angle Glaucoma and Disc Hemorrhage. *J Glaucoma*. 2017;26(10):888–895. DOI: 10.1097/JG.0000000000000758.
35. Eriчев V.P., Antonov A.A., Vitkov A.A. Basic methods for diagnosing glaucoma. *M.: Aprel*; 2021 (in Russ.).
36. Fung S.S., Lemer C., Russell R.A. et al. Are practical recommendations practiced? A national multicentre cross-sectional study on frequency of visual field testing in glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 2013;97(7):843–847. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2012-302903.
37. Karaylanov M.G., Rusev I.T., Fedotkina S.A., Prokin, I.G. Historical aspects of primary health care reforming in Russia. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya [social online]*. 2016;3(49) (in Russ.). DOI: 10.21045/2071-5021-2016-49-3-4. (Electronic resource.) URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/752/30/> (access date: 20.08.2021).
38. Kotlyanskaya K.E. The development of the idea of Academician V.P. Filatov on the prevention of blindness from glaucoma by the method of clinical examination. In: Abstracts of the conference reports with the participation of foreign experts "Rehabilitation of patients with pathology of the organ of vision." Odessa; 1986:317–318 (in Russ.).
39. Levtyukh V.I., Anina Ye.I., Stepanyuk G.I. Status of dispensary observation of patients with glaucoma in the Ukrainian SSR. In: Abstracts of the conference reports with the participation of foreign experts "Rehabilitation of patients with pathology of the organ of vision." Odessa; 1986:325–326 (in Russ.).
40. Udintsov Ye.I. Successes of domestic ophthalmology and prevention of eye diseases. *M.: Nauka*; 1966 (in Russ.).
41. Eroshvskij T.I., Nesterov A.P. Glaucoma: main achievements, unresolved issues. In: Abstracts of reports of the V All-Union Congress of Ophthalmologists. *M.*; 1979:3–13 (in Russ.).
42. Kozlova L.P., Andzhelov V.O., Sokolova P.D. et al. On measures to further improve dispensary care for patients with primary glaucoma. In: Abstracts of reports of the V All-Union Congress of Ophthalmologists. *M.*; 1979:39–41 (in Russ.).
43. Movsisyan A.B., Kuroyedov A.V., Arkharov M.A. et al. Epidemiological analysis primary open-angle glaucoma incidence and prevalence in Russia. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology*. 2022;22(1):3–10 (in Russ.). DOI: 10.32364/2311-7729-2022-22-1-3-10.
44. Moraru A.D., Costin D., Moraru R.L., Branisteanu D.C. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology — present and future (Review). *Exp Ther Med*. 2020;20(4):3469–3473. DOI: 10.3892/etm.2020.9118.
45. Thakoor K.A., Koorathota S.C., Hood D.C., Sajda P. Robust and Interpretable Convolutional Neural Networks to Detect Glaucoma in Optical Coherence Tomography Images. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2021;68(8):2456–2466. DOI: 10.1109/TBME.2020.3043215.
46. Thakoor K.A., Li X., Tsamis E. et al. Strategies to Improve Convolutional Neural Network Generalizability and Reference Standards for Glaucoma Detection From OCT Scans. *Transl Vis Sci Technol*. 2021;10(4):16. DOI: 10.1167/tvst.10.4.16.
47. Mirzania D., Thompson A.C., Muir K.W. Applications of deep learning in detection of glaucoma: A systematic review. *Eur J Ophthalmol*. 2021;31(4):1618–1642. DOI: 10.1177/1120672120977346.
48. 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. DOI: 10.1016/j.ophtha.2021.07.032.
49. Muramatsu C., Hayashi Y., Sawada A. et al. Detection of retinal nerve fiber layer defects on retinal fundus images for early diagnosis of glaucoma. *J Biomed Opt*. 2010;15(1):016021. DOI: 10.1117/1.3322388.
50. Using AI to predict retinal disease progression. (Electronic resource.) URL: https://deepmind.com/blog/article/Using_ai_to_predict_retinal_disease_progression (access date: 07.06.2021).
51. Li Z., He Y., Keel S. et al. Efficacy of a Deep Learning System for Detecting Glaucomatous Optic Neuropathy Based on Color Fundus Photographs. *Ophthalmology*. 2018;125(8):1199–1206. DOI: 10.1016/j.ophtha.2018.01.023.
52. Medeiros F.A., Jammal A.A., Thompson A.C. From Machine to Machine: An OCT-Trained Deep Learning Algorithm for Objective Quantification of Glaucomatous Damage in Fundus Photographs. *Ophthalmology*. 2019;126(4):513–521. DOI: 10.1016/j.ophtha.2018.12.033.
53. Ha A., Sun S., Kim Y.K. et al. Deep-learning-based enhanced optic-disc photography. *PLoS One*. 2020;15(10):e0239913. DOI: 10.1371/journal.pone.0239913.
54. Rogers T.W., Jaccard N., Carbonaro F. et al. Evaluation of an AI system for the automated detection of glaucoma from stereoscopic optic disc photographs: the European Optic Disc Assessment Study. *Eye (Lond)*. 2019;33(11):1791–1797. DOI: 10.1038/s41433-019-0510-3.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Мовсисян Анна Борисовна — ассистент кафедры офтальмологии им. акад. А.П. Нестерова лечебного факультета РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117997, Россия, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1; врач-офтальмолог офтальмологического отделения ГБУЗ «ГВВ № 2 ДЗМ»; 109472, Россия, г. Москва, Волгоградский пр-т, д. 168; ORCID iD 0000-0001-8233-0385.

Куроедов Александр Владимирович — д.м.н., профессор кафедры офтальмологии РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России; 117437, Россия, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1; начальник офтальмологического центра (с дневным стационаром) ФКУ «ЦВКГ им. П.В. Мандрыка»; 107014, Россия, г. Москва, ул. Большая Оленья, вл. 8А; ORCID iD 0000-0001-9606-0566.

Контактная информация: Мовсисян Анна Борисовна, e-mail: anna.movs@inbox.ru.

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

Конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 09.11.2021.

Поступила после рецензирования 02.12.2021.

Принята в печать 27.12.2021.

ABOUT THE AUTHORS:

Anna B. Movsisyan — assistant of the Acad. A.P. Nesterov Department of Ophthalmology of the Faculty of Medicine, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov str., Moscow, 117997, Russian Federation; ophthalmologist of the Ophthalmology Department, Hospital for War Veterans No. 2; 168, Volgogradskiy av., Moscow, 109472, Russian Federation; ORCID iD 0000-0001-8233-0385.

Aleksandr V. Kuroyedov — Dr. Sc. (Med.), Professor of the Department of Ophthalmology, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov str., Moscow, 117437, Russian Federation; Head of the Ophthalmological Center (with a day hospital), P.V. Mandryka Military Clinical Hospital; 8A, Bolshaya Olenya str., Moscow, 107014, Russian Federation; ORCID iD 0000-0001-9606-0566.

Contact information: Anna B. Movsisyan, e-mail: anna.movs@inbox.ru.

Financial Disclosure: no authors have a financial or property interest in any material or method mentioned.

There is no conflict of interests.

Received 09.11.2021.

Revised 02.12.2021.

Accepted 27.12.2021.