

УДК 617.7-007.681-07:004.032.26/.8

DOI: 10.34215/1609-1175-2020-3-43-47

Оценка эффективности технологии нейронных сетей при анализе состояния диска зрительного нерва и перипапиллярной сетчатки у здоровых лиц, обследованных на глаукому

А.Б. Мовсисян^{1, 2}, А.В. Куроедов^{1, 3}, В.В. Городничий³, Г.А. Остапенко⁴, С.В. Подвигин⁵,
Ю.А. Рачинский⁵, С.Н. Ланин⁶

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва, Россия;

² Госпиталь для ветеранов войн № 2, Москва, Россия; ³ Центральный военный клинический госпиталь имени П.В. Мандрыка, Москва, Россия; ⁴ Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия;

⁵ ООО «Ангелы АйТи», Воронеж, Россия; ⁶ Красноярская краевая офтальмологическая клиническая больница имени П.Г. Макарова, Красноярск, Россия

Цель: оценка эффективности применения технологии искусственного интеллекта и нейронных сетей при анализе состояния диска зрительного нерва (ДЗН) и перипапиллярной сетчатки у здоровых людей. **Материал и методы.** Проведен проспективный анализ состояния органа зрения у 54 пациентов в возрасте от 49 лет до 71 года (100 глаз). Обследование включало авторефрактометрию, визометрию, тонометрию, автоматическую периметрию, спектральную оптическую когерентную томографию, Гейдельбергскую ретинотомографию. Заранее обученная нейронная сеть оценивала лишь фотографию ДЗН и перипапиллярной сетчатки. **Результаты.** Нейронной сетью были выделены двенадцать изображений с подозрением на глаукому, из которых врачи-эксперты отобрали пять. Сравнение всех групп наблюдения продемонстрировало наличие статистически значимых различий между ними по ряду визиометрических показателей. **Заключение.** Результаты исследования отразили высокую эффективность искусственного интеллекта и перспективность его применения для диагностики глаукомы.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома, диагностика, искусственный интеллект

Поступила в редакцию 08.05.2020 г. Принята к печати 18.06.2020 г.

Для цитирования: Мовсисян А.Б., Куроедов А.В., Городничий В.В., Остапенко Г.А., Подвигин С.В., Рачинский Ю.А., Ланин С.Н. Оценка эффективности технологии нейронных сетей при анализе состояния диска зрительного нерва и перипапиллярной сетчатки у здоровых лиц, обследованных на глаукому. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2020;3:43–7. doi: 10.34215/1609-1175-2020-3-43-47

Для корреспонденции: Мовсисян Анна Борисовна – аспирант кафедры офтальмологии им. А.П. Нестерова лечебного факультета РНИМУ им. Н.И. Пирогова (117997, г. Москва, ул. Островитянова, 1), ORCID: 0000-0001-8233-0385; e-mail: anna.movs@inbox.ru

Evaluation of the efficacy of neural network technology in the analysis of the condition of the optic nerve disc and peripapillary retina in healthy individuals examined for glaucoma

A.B. Movsisyan^{1, 2}, A.V. Kuroyedov^{1, 3}, V.V. Gorodnichy³, G.A. Ostapenko⁴, S.V. Podvigin⁵,
Yu.A. Rachinsky⁵, S.N. Lanin⁶

¹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia; ² Veterans Hospital No. 2, Moscow, Russia;

³ Mandryka Central Military Clinical Hospital, Moscow, Russia; ⁴ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia;

⁵ Angels IT Group, Voronezh, Russia; ⁶ Makarov State Ophthalmology Clinical Hospital, Krasnoyarsk, Russia

Objective: Evaluation of efficacy of the application of artificial intelligence technology and neural networks in the analysis of the condition of the optic disc and the peripapillary retina in healthy individuals. **Methods:** Prospective analysis of the condition of visual organs in 54 patients aged from 49 to 71 years (100 eyes) was conducted. The examination included autorefractometry, visometry, tonometry, automated perimetry, spectral domain optical coherence tomography, Heidelberg retina tomography. A pre-trained neural network evaluated only a photograph of the optic nerve disc and the peripapillary retina. **Results:** Neural network identified twelve images with suspected glaucoma, five of which were selected by medical experts. The comparison of all study groups has demonstrated the presence of statistically significant differences between them according to a range of visometric indicators. **Conclusions:** The study results showed high efficiency of artificial intelligence and the prospects of its use for the diagnosis of glaucoma.

Keywords: primary open-angle glaucoma, diagnosis, artificial intelligence

Received: 8 May 2020; Accepted: 18 June 2020

For citation: Movsisyan AB, Kuroyedov AV, Gorodnichy VV, Ostapenko GA, Podvigin SV, Rachinsky YuA, Lanin SN. Evaluation of the efficacy of neural network technology in the analysis of the condition of the optic nerve disc and peripapillary retina in healthy individuals examined for glaucoma. *Pacific Medical Journal*. 2020;3:43–7. doi: 10.34215/1609-1175-2020-3-43-47

Corresponding author: Anna B. Movsisyan, MD, postgraduate student, Pirogov Russian National Research Medical University (1 Ostrovityanova St., Moscow, 117997, Russian Federation); ORCID: 0000-0001-8233-0385; e-mail: anna.movs@inbox.ru

Актуальный алгоритм диагностики глаукомы подразумевает субъективную оценку изменений диска зрительного нерва (ДЗН) при офтальмоскопии, угла передней камеры глаза при гониоскопии, колебаний уровня внутриглазного давления в динамике и функциональных изменений по данным автоматической периметрии. Помимо этого, в приоритеты диагностического поиска включено изучение структурных особенностей макулярной и перипапиллярной зон сетчатки и зрительного нерва по результатам оптической когерентной томографии и Гейдельбергской ретинальной томографии. Зачастую диагноз можно опровергнуть или подтвердить только проведением всех вышеуказанных обследований, а в некоторых случаях и при длительном наблюдении. При этом временной фактор имеет решающее значение в отношении начала патогенетически обоснованного лечения с целью предупреждения быстрого прогрессирования глаукомных повреждений ДЗН с последующим нарушением зрительных функций [1, 2].

Разграничение нормы и патологии при минимальных изменениях служит приоритетным направлением клинической медицины, в том числе и современной глаукоматологии. По этой причине новые технологии, например нейросети и искусственный интеллект, все больше внедряются в клиническую практику, позволяя провести обследование при минимальных временных затратах. На протяжении многих лет для исследования состояния ДЗН на предмет постановки диагноза «глаукома» использовался исключительно математический анализ совокупного объема морфометрических данных. Вместе с тем, в последние годы наблюдается тренд применения искусственного интеллекта и нейронных сетей без необходимости ввода дополнительных сведений о пациенте и параметрах его глаза [3–9].

Целью настоящего исследования стала оценка эффективности применения технологии искусственного интеллекта и нейронных сетей при анализе состояния ДЗН и перипапиллярной сетчатки у здоровых лиц, которым ранее, по результатам специализированного обследования, был исключен диагноз глаукомы.

Материал и методы

Настоящее исследование стало продолжением изучения эффективности разработанной ранее модели нейросети для выявления глаукомных изменений по изображению ДЗН и перипапиллярной сетчатки, архитектура которой состоит из пяти сверточных слоев. Для обучения нейронной сети были выделены четыре диагноза: 1 – норма, 2 – начальная глаукома, 3 – развитая стадия глаукомы, 4 – глаукома далеко зашедшей стадии. Классификация осуществлялась на основе снимков глазного дна, из которых была взята область ДЗН с перипапиллярной сетчаткой. Входные данные делились на два класса: «норма» и «глаукома». Для обучения и оценки его качества множество данных было разбито на два подмножества: тренировочное

и тестовое. В тренировочное подмножество были включены 8193 снимка с глаукомными изменениями ДЗН и «нормой» (без глаукомы). Стадии заболевания верифицировались согласно действующей международной классификации первичной открытоугольной глаукомы тремя экспертами со стажем работы от 5 до 25 лет [1, 2]. Для тестового подмножества использовано 407 снимков: из них 199 – «норма», 208 – с начальной, развитой и далеко зашедшей стадиями глаукомы. Средняя чувствительность метода (без деления по стадиям) составила 0,91, специфичность – 0,93. В свою очередь, чувствительность классификации для группы «норма» равнялась 0,93, для начальной стадии глаукомы – 0,71, для развитой стадии – 0,98 и для далеко зашедшей стадии – 0,99.

Следующим этапом стала оценка эффективности разработанной модели нейросети. На базе Центрального военного клинического госпиталя им. П.В. Мандрыка (Москва) с ноября 2019 г. по февраль 2020 г. проведен проспективный анализ состояния органа зрения 54 здоровых пациентов (100 глаз): 36 мужчин (68 глаз) и 18 женщин (32 глаза). Средний возраст обследованных составил 63 года (от 49 до 71 года). Критериями включения стали: пациенты обоих полов с отсутствием в анамнезе и семейном анамнезе диагноза «глаукома», компенсированным внутриглазным давлением и сохранными зрительными функциями. По данным большинства специальных исследований, глаукома более чем в 50 % случаев диагностируется в возрасте 60–65 лет [10, 11]. Однако выявление характерных изменений и постановка диагноза происходят уже в ее далеко зашедшей стадии. Это указывает на то, что болезнь начинается гораздо раньше, предположительно в возрасте от 55 до 60 лет. Поэтому нами и был выбран указанный возрастной диапазон.

Критериями исключения стали: офтальмогипертензия любой этиологии, миопия больше 6 дптр и гиперметропия больше 5 дптр, астигматизм больше 3 дптр, нарушение прозрачности роговицы любой этиологии, кераторефракционные операции в анамнезе, патология зрительного нерва, перенесенные за последний год нарушения кровообращения в сетчатке (тромбоз, окклюзия сосудов), острая или хроническая воспалительная офтальмопатология, макулярная дегенерация любой этиологии, а также другие состояния, затрудняющие, по мнению врача-эксперта, участие в клиническом наблюдении.

Всеми пациентами подписано информированное добровольное согласие на проведение обследования. Последнее включало авторефрактометрию, визометрию, тонометрию и оценку вязко-эластических свойств роговицы с помощью аппарата ORA (Ocular Response Analyzer, Reichert Inc., США), статистическую пороговую периметрию (тест SITA-standard central 24–2 threshold) на аппарате Humphrey 750i (Humphrey Field Analyzer, Humphrey–Zeiss, Германия), оптическую когерентную томографию на приборе Spectralis (версия программного обеспечения Glaucoma Module Premium

Edition 6.0, Heidelberg Engineering, Германия), сканирование зрительного нерва с помощью Гейдельбергского ретинального томографа (Heidelberg Engineering, Германия). В последующем фотографии ДЗН и перипапиллярной сетчатки анализировались предварительно обученной нейронной сетью. По завершении исследования осуществлялся анализ полученных данных и сравнение их с результатами работы нейросети.

Обработка цифровых массивов проводилась с использованием лицензионного программного обеспечения Statistica 12.0 (StatSoft Inc., США) с последующей системной проверкой полученных результатов. Все исследуемые параметры представлены в формате «медиана–интерквартильный размах»: Me (Q_{25} – Q_{75}). Для попарного сравнения двух независимых выборок использовалась Z-аппроксимация U-критерия Манна–Уитни, для повторных внутригрупповых сравнений – Z-аппроксимация T0-критерия Вилкоксона. Для проверки равенства медиан нескольких независимых выборок применяли H-критерий Краскела–Уоллеса. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез принимался меньшим 0,05.

Результаты исследования

Были установлены средние показатели всех 100 обследованных ДЗН, которые не противоречили общепринятым значениям нормы для каждого из параметров и соответствовали средним показателям ранее проведенных исследований у здоровых лиц (табл. 1) [1, 2, 10]. Нейронная сеть осуществила анализ всех изображений, среди которых ею были выделены двенадцать снимков, отличающихся от нормы, с вероятными глаукомными изменениями. Из этих двенадцати изображений экспертами были отобраны пять. Сравнение всех групп изображений (отобранных и неотобранных) показало достоверное различие между ними. В первом случае, где нейросетью были выделены двенадцать изображений с вероятными глаукомными изменениями, достоверное различие было продемонстрировано по толщине слоя нервных волокон сетчатки в нижнем назальном отделе и на минимальном расстоянии от края мембраны Бруха до ближайшей точки внутренней пограничной мембраны в нижнем носовом и назальном отделах (по результатам оптической когерентной томографии). Во втором случае, при сравнении пяти, отобранных экспертами, и 95 остальных изображений, достоверное отличие по данным оптической когерентной томографии было определено по средней толщине слоя нервных волокон сетчатки в назальном секторе, а также минимальному расстоянию от края мембраны Бруха до ближайшей точки внутренней пограничной мембраны в нижнем носовом отделе – по данным Гейдельбергской ретинальной томографии (табл. 2). Также был проведен статистический анализ между пятью отобранными экспертами изображениями и семью оставшимися изображениями из группы, выделенной нейросетью.

Таблица 1

Параметры ДЗН у здоровых лиц

Параметр ^a	Показатели		
	Me	Q_{25} – Q_{75}	SD ^b
Disc area, мм ²	1,88	1,59–2,06	0,34
Cup area, мм ²	0,30	0,11–0,49	0,27
Rim area, мм ²	1,50	1,29–1,73	0,30
Cup/disc area ratio	0,17	0,05–0,25	0,12
Rim/disc area ratio	0,82	0,74–0,94	0,12
Linear cup/disc ratio	0,91	0,86–0,97	0,07
Cup volume, мм ³	0,03	0,00–0,09	0,09
Cup area/volume	5,53	0,00–8,63	5,21
Rim volume, мм ³	0,40	0,31–0,53	0,16
Rim area/volume	3,80	3,05–4,44	1,10
Mean cup depth, мм	0,16	0,11–0,21	0,08
Height variation contour, мм	0,38	0,30–0,47	0,10
Cup shape measure	–0,18	–(0,23–0,14)	0,06
Mean RNFL thickness, мм	0,25	0,21–0,29	0,07
Horizontal cup/disk ratio	0,37	0,22–0,50	0,20
Vertical cup/disk ratio	0,21	0,00–0,46	0,24
Horizontal/vertical cup/disc	0,93	0,00–1,33	3,45
G, мкм	98,00	91,50–106,00	12,88
TI, мкм	147,00	132,00–162,00	22,49
T, мкм	67,00	61,00–76,50	12,38
TS, мкм	131,00	117,00–141,00	21,66
NS, мкм	115,00	104,00–133,00	21,51
N, мкм	81,00	73,00–89,00	10,45
NI, мкм	118,00	100,00–133,00	22,23
GB, мкм	328,00	304,50–368,50	49,35
TIB, мкм	344,00	300,50–382,50	64,66
TB, мкм	229,50	206,50–259,00	44,82
TSB, мкм	304,00	265,50–345,00	362,64
NSB, мкм	364,00	332,00–412,50	70,65
NB, мкм	381,50	341,50–425,50	65,35
NIB, мкм	412,00	376,00–459,50	61,84
IOPcc, мм рт. ст.	15,90	14,00–17,75	2,70
IOPg, мм рт. ст.	15,60	12,35–17,35	3,46
MD, дБ	–2,25	–(3,58–1,24)	2,01
PSD, дБ	1,59	1,42–1,94	1,03

^a Disk area – площадь ДЗН, Cup area – площадь экскавации, Rim area – площадь нейроретинального пояса (НРИ), Cup/disc area ratio – соотношение площадей экскавации и ДЗН, Rim/disc area ratio – отношение площадей НРИ и ДЗН, Linear cup/disc ratio – соотношение линейных размеров экскавации и ДЗН, Cup volume – объем экскавации, Cup area/volume – отношение площади к объему экскавации, Rim volume – объем НРИ, Rim area/volume – отношение площади к объему НРИ, Mean cup depth – средняя глубина экскавации, Height variation contour – высота вариации поверхности сетчатки вдоль контурной линии, Cup shape measure – числовое выражение трехмерной формы экскавации ДЗН, Mean RNFL thickness – средняя толщина слоя нервных волокон сетчатки, horizontal cup/disk ratio – горизонтальное соотношение экскавации к ДЗН, Vertical cup/disk ratio – вертикальное соотношение экскавации к ДЗН, Horizontal/vertical cup/disc – соотношение вертикального и горизонтального соотношений экскавации к ДЗН, G–NI – толщина слоя нервных волокон в различных секторах ДЗН (G – общие средние значения, TI – нижний темпоральный сектор, T – темпоральный сектор, TS – верхний темпоральный сектор, NS – верхний назальный сектор, N – назальный сектор, NI – нижний назальный сектор), GB–NIB – толщина слоя нервных волокон с минимальным расстоянием от края мембраны Бруха до ближайшей точки внутренней пограничной мембраны (те же секторы с обозначением «В»), IOPcc – роговично-компенсированный уровень внутриглазного давления, IOPg – уровень внутриглазного давления, соотношенный с тонометрией по Гольдману, MD – средняя светочувствительность сетчатки и PSD – ее стандартное отклонение.

^b SD (standard deviation) – стандартное отклонение.

Таблица 2

Параметры глаз пациентов, выделенных нейросетью и отобранных экспертами из общего числа наблюдений (n=100)

Параметр ^a	Показатели по группам наблюдения ^б								Значимость различий ^в
	Группа 1 (n=88)		Группа 2 (n=12)		Группа 3 (n=95)		Группа 4 (n=5)		
	Me	Q ₂₅ –Q ₇₅	Me	Q ₂₅ –Q ₇₅	Me	Q ₂₅ –Q ₇₅	Me	Q ₂₅ –Q ₇₅	
Cup area/volume	4,92	0,0–8,10	7,58	2,47–12,20	4,94	0,0–8,20	10,40	8,0–14,0	p ^{3,4} <0,02, Z ^{3,4} =–2,5
G, мкм	101,0	93,0–106,0	93,5	91,0–95,0	100,0	93,0–106,0	91,0	91,0–93,0	p ^{3,4} <0,04, Z ^{3,4} =2,11
TI, мкм	147,5	132,0–162,5	142,0	130,0–158,5	147,0	132,0–163,0	147,0	124,0–150,0	–
T, мкм	66,0	60,5–77,5	68,0	63,0–72,0	66,0	61,0–77,0	70,0	67,0–76,0	–
TS, мкм	131,0	115,5–141,0	131,5	123,0–138,0	131,0	118,0–142,0	120,0	114,0–131,0	–
NS, мкм	116,0	105,5–133,0	102,0	85,0–127,0	116,0	105,0–134,0	85,0	85,0–114,0	–
N, мкм	81,0	73,0–89,5	80,5	73,5–84,0	81,0	73,0–90,0	73,0	68,0–78,0	p ^{3,4} <0,05, Z ^{3,4} =1,98
NI, мкм	120,5	103,0–133,5	96,0	92,5–109,5	119,0	100,0–133,0	107,0	95,0–112,0	p ^{1,2} <0,01, Z ^{1,2} =2,74
GB, мкм	329,0	304,5–371,5	317,5	304,5–337,0	329,0	306,0–371,0	304,0	248,0–346,0	–
TIB, мкм	344,0	303,0–388,5	340,0	292,0–363,0	345,0	304,0–386,0	295,0	271,0–328,0	–
TB, мкм	229,5	205,0–263,5	232,0	216,0–244,0	229,0	205,0–263,0	241,0	223,0–244,0	–
TSB, мкм	306,5	265,5–350,0	297,5	263,5–313,5	306,0	269,0–347,0	253,0	228,0–301,0	–
NSB, мкм	372,0	338,5–425,5	330,5	291,5–362,0	367,0	336,0–416,0	280,0	261,0–318,0	p ^{1,2} <0,02, Z ^{1,2} =2,57; p ^{3,4} <0,01, Z ^{3,4} =2,57
NB, мкм	386,5	344,5–432,0	357,5	334,0–380,5	385,0	343,0–428,0	353,0	252,0–369,0	p ^{1,2} <0,04, Z ^{1,2} =2,11
NIB, мкм	415,0	376,0–462,5	400,5	360,0–435,5	413,0	376,0–462,0	386,0	297,0–404,0	–

^a См. примечание к табл. 1.

^б Группа 1 – наблюдения за вычетом выделенных нейросетью из 100 изображений, группа 2 – наблюдения, подозрительные на глаукому, выделенные нейросетью, группа 3 – наблюдения за вычетом выбранных экспертами из 100 изображений, группа 4 – наблюдения подозрительные на глаукому, выбранные экспертами из 12 изображений, выделенных нейросетью.

^в Указаны значимые различия по Z-аппроксимации критерия Вилкоксона (в надиндексах – номера групп).

Таблица 3

Параметры глаз пациентов, отобранных экспертами из группы наблюдений, выделенных нейросетью

Параметр ^a	Показатели по группам наблюдения ^б			
	Группа 4 (n=5)		Группа 5 (n=7)	
	Me	Q ₂₅ -Q ₇₅	Me	Q ₂₅ -Q ₇₅
G, мкм	91,0	91,0–93,0	94,0	91,0–110,0
TI, мкм	147,0	124,0–150,0	137,0	134,0–168,0
T, мкм	70,0	67,0–76,0	68,0	61,0–69,0
TS, мкм ^в	120,0	114,0–131,0	134,0	131,0–147,0
NS, мкм	85,0	85,0–114,0	113,0	86,0–148,0
N, мкм ^г	73,0	68,0–78,0	83,0	81,0–91,0
NI, мкм	107,0	95,0–112,0	95,0	86,0–100,0
GB, мкм	304,0	248,0–346,0	319,0	307,0–349,0
TIB, мкм	295,0	271,0–328,0	347,0	306,0–379,0
TB, мкм	241,0	223,0–244,0	221,0	211,0–256,0
TSB, мкм	253,0	228,0–301,0	303,0	282,0–318,0
NSB, мкм	280,0	261,0–318,0	357,0	313,0–371,0
NB, мкм	353,0	252,0–369,0	362,0	337,0–395,0
NIB, мкм	386,0	297,0–404,0	411,0	393,0–454,0
IOPcc, мм рт. ст. ^д	17,4	17,2–19,0	13,0	12,0–17,0
IOPg, мм рт. ст.	17,6	17,3–17,9	10,4	9,6–17,8

^a См. примечание к табл. 1.

^б Группа 4 – наблюдения, подозрительные на глаукому, выбранные экспертами из 12 изображений, выделенных нейросетью, группа 5 – наблюдения, подозрительные на глаукому, не выбранные экспертами из 12 изображений, выделенных нейросетью.

^в Значимые различия между группами по Z-аппроксимации критерия Вилкоксона: $p<0,05$, $Z=-2,04$.

^г Значимые различия между группами по Z-аппроксимации критерия Вилкоксона: $p<0,02$, $Z=-2,43$.

^д Значимые различия между группами по Z-аппроксимации критерия Вилкоксона: $p<0,03$, $Z=2,27$.

Анализ показал наличие достоверных отличий между ними по средней толщине слоя нервных волокон сетчатки в верхнем темпоральном и назальном секторах (по данным оптической когерентной томографии) и значениям роговично-компенсированного уровня внутриглазного давления (табл. 3)

Обсуждение полученных данных

Средние показатели результатов обследования 100 глаз, первоначально отнесенных к здоровым, не противоречили результатам ранее проведенных исследований. Также была продемонстрирована значимость вычисления минимального расстояния от края мембраны Бруха до ближайшей точки внутренней пограничной мембраны, что уже неоднократно описывалось в литературе [10, 12, 13]. Выделенные нейросетью из этой группы двенадцать глаз с «подозрением на глаукому» имели достоверные отличия по ряду параметров от остальных 88 наблюдений, что говорит о высокой эффективности ее работы после обучения. В то же время пять глаз из двенадцати, выделенных нейросетью, имели некоторые отличия от остальных 95 наблюдений. Несмотря на то, что оставшиеся семь изображений из выделенных нейросетью (группа 5) имели отдельные достоверные отличия от пяти, отобранных экспертами, на данном этапе полученные результаты можно считать достаточно успешными, так как анализ проводился без учета дополнительных данных о пациенте. Очевидно, что требуется дальнейшее обучение нейронной сети путем расширения

группы обследованных здоровых лиц. Все пациенты, у которых при использовании нейросети и технологии искусственного интеллекта установлены отклонения от нормы, взяты на учет с целью продолжения динамического наблюдения.

Ограничения исследования

Ограничения данного исследования могут касаться возрастной характеристики обследованных. Такой выбор обусловлен с наиболее вероятным выявлением глаукомных изменений в возрасте около 60 лет при исключении выраженных возрастных изменений мембраны Бруха, которые прогрессируют у лиц старше 65 лет [10, 11, 14, 15]. Также не были приняты во внимание все данные, относящиеся к макулярной и парамакулярной сетчатке, которые будут анализироваться на следующем этапе работы. По нашему мнению, учитывая полученные результаты, необходимо расширить основную группу наблюдения с проведением повторного анализа, а также осуществить аналитическую выборку «спорных глаз», часто встречающихся в практике поликлинических врачей.

Заключение

Результаты исследования продемонстрировали высокую диагностическую эффективность искусственного интеллекта – нейросети из пяти сверточных слоев. Выделение из группы здоровых глаз с глаукомными изменениями только по фотографии ДЗН и перипапиллярной сетчатки без ввода дополнительной информации о пациенте еще до клинических проявлений заболевания можно считать успешным решением поставленной задачи и ожидаемым итогом. Использование нейросетей по праву можно отнести к современным, эффективным и перспективным методам диагностики глаукомы. В ближайшем будущем мы предполагаем увеличить объем выборки за счет многоцентрового исследования с включением большего количества морфофункциональных параметров.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования: авторы заявляют о финансировании работы из собственных средств.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования – АВК, АБМ

Сбор и обработка материала – АБМ, АВК, ВВГ, ГАО, СВП, ЮАР, СНЛ

Статистическая обработка – ВВГ, АБМ, СВП, ЮАР

Написание текста – АБМ, АВК

Редактирование – АВК

Литература / References

1. Егоров Е.А., Астахов Ю.С., Еричев В.П. *Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей*. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015:456 [Egorov EA, Astahov YuS, Erichev VP. *National glaucoma guideline for practitioners*. Moscow: GEOTAR-Media; 2015:456 (In Russ).]
2. Weinreb RN, Garway-Heath T, Leung C, Medeiros FA, Leibmann J. *Diagnosis of primaryopen glaucoma*. WGA Consensus Series 10. Amsterdam: Kugler Publications; 2017.
3. Oliveira DAB, Vellasco MBR, Oliveira MB, Yamane R. Application of neural networks in aid for diagnosis for patients with glaucoma. *Int Conf Bio-inspired Sys Sign Proc*. 2009;1(1):139–145. doi: 10.5220/0001547401390145
4. Bizios D, Heijl A, Hougaard JL, Bengtsson B. Machine learning classifiers for glaucoma diagnosis based on classification of retinal nerve fibre layer thickness parameters measured by Stratus OCT. *Acta Ophthalmol*. 2010;88:44–52.
5. Karthikeyan S, Rengarajan N. A thorough investigation on automated diagnosis of glaucoma. *Int J Adv Res Comp Sci*. 2012;3(4):294–302.
6. Vidotti VG, Costa VP, Silva FR, Resende GM, Cremasco F, Dias M, Gomi ES. Sensitivity and specificity of machine learning classifiers for glaucoma diagnosis using Spectral Domain OCT and standard automated perimetry. *Arq Bras Oftalmol*. 2013;76(3):170–4.
7. Thompson AC, Jammal AA, Medeiros FA. A deep learning algorithm to quantify neuroretinal rim loss from optic disc photographs. *Am J Ophthalmol*. 2019;201:9–18.
8. 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):513–21.
9. Куроедов А.В., Остапенко Г.А., Митрошина К.В., Мовсисян А.Б. Современная диагностика глаукомы: нейросети и искусственный интеллект. *Клиническая офтальмология*. 2019;19(4):230–7. [Kuroyedov AV, Ostapenko GA, Mitroshina KV, Movsisyan AB. State of the art of glaucoma diagnosis: neural networks and artificial intelligence. *Russian Journal of Clinical Ophthalmology*. 2019;19(4):230–7 (in Russ).]
10. Гапонько О.В., Куроедов А.В., Городничий В.В., Кондракова И.В., Криницына Е.А. Традиционные и современные морфометрические характеристики нейроретинального пояса в диагностике начальной стадии глаукомы. *Национальный журнал глаукома*. 2018;17(3):3–14. [Gaponko OV, Kuroyedov AV, Gorodnichy VV, Kondrakova IV, Krinitsyna EA. Traditional and modern morphometric characteristics of the neuroretinal rim in early glaucoma diagnosis. *Russian Journal of Glaucoma*. 2018; 17(3):3–14 (in Russ).]
11. Авдеев Р.В., Александров А.С., Арапиев М.У., Бакунина Н.А., Басинский А.С., Белая Д.А. и др. Подозрение и начальная стадия глаукомы: дифференциально-диагностические критерии. *Российский офтальмологический журнал*. 2017;10(4):5–15. [Avdeev RV, Alexandrov AS, Arapiev MU, Bakunina NA, Basinskiy AS, Belaya DA, et al. Suspected glaucoma and early stage glaucoma: differential diagnostic criteria. *Russian Ophthalmological Journal*. 2017;10(4):5–15 (In Russ).]
12. Reis AS, O'Leary N, Yang H, Sharpe GP, Nicoleta MT, Burgoyne CF, Chauhan BC. Influence of clinically invisible, but optical coherence tomography detected, optic disc margin anatomy on neuroretinal rim evaluation. *IOVS*. 2012;53(4):1852–60.
13. Chauhan CB, Burgoyne CF. From clinical examination of the optic disc to clinical assessment of the optic nerve head: A paradigm change. *Am J Ophthalmol*. 2013;156(2):218–27.
14. Курышева Н.И., Киселева Т.И., Арджевнишвили Т.Д., Фомин А.В., Ходак Н.А., Орозбаева Г.М., Рыжков П.К. Хориоидея при глаукоме: результаты исследования методом ОКТ. *Национальный журнал глаукома*. 2013;3:73–82. [Kuryшева NI, Kiseleva TI, Ardzhvnishvili TD, Fomin AV, Khodak NA, Orozbaeva GM, Ryzhkov PK. The choroid and glaucoma: Choroidal thickness measurement by means of optical coherence tomography. *Russian Journal of Glaucoma*. 2013;3:73–82 (In Russ).]
15. Curcio CA, Johnson M. Structure, function, and pathology of Bruch's membrane. *Retinal degenerative diseases: Mechanisms and Experimental Therapy*. Eds by Rickmann C.B., LaVail M.M., Anderson R.E., et al. Switzerland: Springer, 2016:465–81.