

Оценка эффективности периметрии с удвоением пространственной частоты в диагностике оптиконеуропатий

Симакова И.Л., д.м.н., доцент кафедры офтальмологии;

Тихоновская И.А., врач-офтальмолог диагностического отделения клиники офтальмологии.

ФГБВОУ ВПО «Военно-Медицинская академия» имени С.М. Кирова МО РФ,
194044, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Боткинская, д. 21.

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

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Симакова И.Л., Тихоновская И.А. Оценка эффективности периметрии с удвоением пространственной частоты в диагностике оптиконеуропатий. *Национальный журнал глаукома*. 2022; 21(1):23-35.

Резюме

ЦЕЛЬ. Сравнить диагностическую эффективность двух пороговых стратегий периметрии с удвоением пространственной частоты (FDT, Frequency Doubling Technology) у пациентов с начальной стадией первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ), оптической формой рассеянного склероза (РС) и застойным диском зрительного нерва (ДЗН) в рамках открытого сравнительного клинического исследования.

МЕТОДЫ. В исследовании участвовали 78 пациентов (105 глаз) с оптиконеуропатиями (ОН). В зависимости от этиологии ОН пациентов разделили на 3 группы: в 1-ю группу вошли 30 больных (46 глаз) с начальной стадией ПОУГ в возрасте от 30 до 65 лет ($54,9 \pm 1,3$); во 2-ю — 26 пациентов (26 глаз) с диагнозом оптическая форма РС (эпизод ретробульбарного неврита в анамнезе) в возрасте от 22 до 44 лет ($33,7 \pm 6,5$); в 3-ю — 22 пациента (33 глаза) в возрасте от 18 до 66 лет ($35,7 \pm 14,9$) с застойным ДЗН, который развился в подавляющем большинстве случаев (25 глаз, 75,7%) вследствие различных новообразований головного мозга. В 4-ю, контрольную, группу включили 60 здоровых лиц (60 глаз) в возрасте от 20 до 65 лет, которых разделили на 2 равные подгруппы — молодого ($24,8 \pm 4,4$) и старшего ($56,4 \pm 3,9$) возраста.

Всем испытуемым при комплексном офтальмологическом обследовании выполняли стандартную и нестандартную периметрию, используя анализатор поля зрения Humphrey Visual Field Analyzer II 745i (HFA II, Германия — США, пороговая стратегия 24-2) и авторскую модификацию

FDT-периметрии в виде 2 пороговых стратегий: известной FDT-16 и новой FDT-64.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Пороговые стратегии FDT-16 и FDT-64 более эффективны в диагностике глаукомной оптиконеуропатии (ГОН), что подтверждается более высоким уровнем чувствительности их результатов по 2 критериям, а именно — количеству выявленных скотом (n скотом ≥ 2) и количеству кластеров из скотом у больных ПОУГ (88 и 100%; 95 и 83% соответственно) по сравнению с таковыми у пациентов с РС (61 и 76%; 85 и 54% соответственно) и застойным ДЗН (51 и 78%; 88 и 70% соответственно). Уровень специфичности результатов пороговых стратегий FDT-16 и FDT-64 значительно выше специфичности периметрии по HFA II (100, 80 и 63% соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Пороговые стратегии FDT-периметрии наиболее эффективны в выявлении ГОН, что подтверждает более высокий уровень чувствительности их результатов у больных начальной стадией ПОУГ по сравнению с уровнем чувствительности результатов пациентов с РС и застойным ДЗН. Уровень специфичности результатов обеих стратегий FDT-периметрии намного превосходит уровень специфичности данных периметрии по HFA II, что свидетельствует о преимуществе FDT-периметрии в разделении здоровых людей и больных с ОН, причем не только глаукомного генеза.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стандартная и нестандартная компьютерная периметрия; FDT-периметрия; HM FDT-периметрия; оптиконеуропатии; глаукомная оптиконеуропатия.

Для контактов:

Симакова Ирина Леонидовна, e-mail: irina.l.simakova@gmail.com

ORIGINAL ARTICLE

Evaluation of the effectiveness of frequency doubling technology perimetry in the diagnosis of optic neuropathies

SIMAKOVA I.L., Dr. Sci. (Med.), Associate Professor at the Academic Department of Ophthalmology;

TIKHONOVSKAYA I.A., Ophthalmologist at the Diagnostic Department of the Clinic of Ophthalmology.

S.M. Kirov Military Medical Academy, 21 Botkinskaya St., Saint Petersburg, Russian Federation, 194044.

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

Conflicts of Interest: none declared.

For citations: Simakova I.L., Tikhonovskaya I.A. Evaluation of the effectiveness of frequency doubling technology perimetry in the diagnosis of optic neuropathies. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2022; 21(1):23-35.

Abstract

PURPOSE. To compare the diagnostic effectiveness of two perimetric threshold strategies with frequency-doubling technology in patients with early primary open-angle glaucoma (POAG), the optical form of multiple sclerosis (MS) and papilledema in an open-label comparative clinical study.

MATERIAL AND METHODS. The study involved 78 patients (105 eyes) with optic neuropathies (ON). The patients were divided into 3 groups depending on the etiology of optic neuropathy: the first group included 30 patients (46 eyes) with early POAG aged 30 to 65 years (54.9 ± 1.3); the second group included 26 patients (26 eyes) diagnosed with the optical form of MS (an episode of retrobulbar optic neuritis in the medical history) aged 22 to 44 years (33.7 ± 6.5); the third group consisted of 22 patients (33 eyes) aged from 18 to 66 years (35.7 ± 14.9) with papilledema caused in the majority of cases by various brain tumors (25 eyes or 75.7%). The fourth (control) group consisted of 60 healthy individuals (60 eyes) aged 20 to 65 years, who were divided into 2 equal subgroups – younger (24.8 ± 4.4) and older (56.4 ± 3.9).

Standard and non-standard perimetry was performed on all subjects during a comprehensive ophthalmic examination using the Humphrey 745i Visual Field Analyzer II (HFA II, «24-2» threshold strategy) (Germany-USA) and the author's own modification of Frequency Doubling Technology (FDT) Perimetry, in the form of 2 threshold strategies: the well-known «FDT-16» and the new «FDT-64».

RESULTS. Both the «FDT-16» and the «FDT-64» threshold strategies were more effective in diagnosing glaucomatous optic neuropathy (GON), as confirmed by the higher sensitivity of their results to two criteria – the number of identified scotomas (n of scotomas ≥ 2), and the number of scotoma clusters in patients with POAG (88 and 100%; 95 and 83%, respectively) compared with those in patients with MS (61 and 76%; 85 and 54%, respectively) and papilledema (51 and 78%; 88 and 70%, respectively). The specificity of the «FDT-16» and «FDT-64» threshold strategies was significantly higher than the specificity of Humphrey perimetry (100, 80 and 63%, respectively).

CONCLUSION. Both perimetric threshold strategies with frequency-doubling technology were found to be the most effective in detecting GON. This confirms that they are more sensitive in patients with early POAG when compared with the sensitivity in patients with MS and papilledema. The level of specificity of both FDT perimetry strategies far exceeds the level of specificity of Humphrey perimetry data, which indicates the advantage of FDT perimetry in separating healthy people from patients with ON, and not only of glaucoma genesis.

KEYWORDS: standard and non-standard computer perimetry, FDT perimetry, HM FDT perimetry, optic neuropathy, glaucomatous optic neuropathy.

Исследование поля зрения с помощью компьютерной периметрии имеет большое значение для диагностики, оценки течения и эффективности лечения многих заболеваний, и не только офтальмологического профиля. В частности, диагностика некоторых видов оптических нейропатий (ОН) позволяет в ряде случаев впервые выявлять терапевтическую, неврологическую или нейрохирургическую патологию, являющуюся причиной их развития [1–5]. В офтальмологической практике глаукомная оптическая нейропатия (ГОН) по-прежнему является лидирующей

причиной (27%) инвалидности по зрению, однако, частичная или полная атрофия зрительного нерва, возникшие в результате иной, неглаукомной природы ОН, в структуре причин слепоты и слабовидения в РФ составляет около 11% [6, 7].

В компьютерной периметрии различают стандартную автоматизированную периметрию и нестандартную, или нетрадиционную периметрию, одним из методов которой является FDT-периметрия (Frequency Doubling Technology, технология удвоения частоты). В современной литературе по теме диагностики ОН большинство работ посвящено

Таблица 1. Диагностические критерии преглаукомы и начальной стадии ПОУГ

Table 1. Diagnostic criteria for preglaucoma and early POAG

Стадия глаукомы <i>Glaucoma stage</i>	Э/Д по Армали и В.В. Волкову (экскавация ДЗН из расчета 4 квадрантов) <i>C/D by Armali, V.V. Volkov (optic disc excavation in 4 quadrants)</i>	Результат нагрузочной пробы <i>Result of the load test</i>	MD HFA II (дБ) <i>MD HFA II (dB)</i>	Снижение светочувствительности по В.В. Волкову <i>Decrease in photosensitivity by V.V. Volkov</i>	
				Локально (абсолютные котомы) в ЦПЗ <i>Locally (absolute scotomas) in the central field of vision</i>	Диффузно по всему ЦПЗ (дБ) <i>Diffuse throughout the central field of vision (dB)</i>
0 (преглаукома) <i>0 (preglaucoma)</i>	до 0,4 / 0 <i>up to 0.4 / 0</i>	Положительная только при нагрузке <i>Positive only under load</i>	до -0,01 <i>Up to -0.01</i>	Нет <i>not revealed</i>	≥20
I (начальная) <i>I (early)</i>	0,5-0,6 / в пределах 1 квадранта <i>0.5-0.6 / within 1 quadrant</i>	Положительная до и при нагрузке <i>Positive both without and under load</i>	до -6,0 <i>Up to -6.0</i>	1-10	18-15

вопросам раннего выявления и скрининга ГОН. По мнению большинства авторов, в качестве функционального скрининга на глаукому из всех известных методов нестандартной периметрии наибольшее распространение в силу достаточно высокой эффективности наряду с простотой для понимания испытуемыми и быстротой выполнения получил метод FDT-периметрии [8–22].

Первые и весьма немногочисленные публикации, посвященные исследованию возможностей FDT-периметрии в диагностике ОН неглаукомной природы и некоторых соматических заболеваний, появились в начале XXI века [3, 4, 23–26]. Все эти работы принадлежат зарубежным авторам и чаще всего освещают вопросы диагностики ОН, возникающей при оптической форме РС [27–29].

За рубежом FDT-периметрия с 1997 г. выполняется с помощью FDT-периметров 1-го поколения (Carl Zeiss Humphrey 710 Visual Field / FDT, 1997), а с 2005 г. — приборов 2-го поколения (Humphrey Matrix FDT Perimeter — HM FDT), адаптированного к анализатору поля зрения Humphrey [11, 16, 20].

В связи с тем, что зарубежные FDT-периметры до сих пор не сертифицированы в России, они отсутствуют на отечественном рынке офтальмологического оборудования. Поэтому на базе кафедры офтальмологии Военно-медицинской академии под руководством проф. В.В. Волкова и И.Л. Симаковой совместно с учеными кафедры прикладной математики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета была разработана модификация FDT-периметрии в виде скрининговой

и пороговой компьютерных программ. Пороговая программа была создана в двух вариантах (стратегиях): FDT-16 и FDT-64, последняя — по аналогии со стратегией HM FDT [11, 12]. Ранее не апробированная в клинике пороговая стратегия FDT-64 в ходе данного исследования совместно с программистом, соавтором данной компьютерной программы, была доработана. В частности, были откорректированы технические характеристики стимула в соответствии с зарубежным аналогом — FDT-периметром 2-го поколения HM FDT и создана база нормы (средние показатели светочувствительности сетчатки) для молодого (с 21 до 40 лет) и старшего (с 41 до 65 лет) возраста. В соответствии с новыми решениями изменился и дизайн диалогового окна программы.

Цель — сравнить диагностическую эффективность двух пороговых стратегий FDT-периметрии у пациентов с начальной стадией ПОУГ, оптической формой РС и застойным диском зрительного нерва (ДЗН) в формате открытого сравнительного клинического исследования.

Материалы и методы

В исследовании участвовали 78 пациентов (105 глаз) с ОН, которые в соответствии с этиологией ОН были разделены на 3 группы. В 1-ю группу включили 30 больных (46 глаз), возраст которых составил от 30 до 65 лет ($54,92 \pm 7,2$), с диагнозом ПОУГ начальной стадии, установленным ранее в различных медицинских учреждениях г. Санкт-Петербурга

Таблица 2. Сравнение технических характеристик периметра HFA II, 2 поколений оригинального FDT-периметра и 2 пороговых стратегий авторской модификации FDT-периметрии

Table 2. Comparison of the technical specifications of HFA II perimeter, 2 generations of the original FDT perimeter and 2 threshold strategies of the author's modification of FDT perimetry

Характеристики Specifications	HFA II (модель 720, 740, 745, 750) Humphrey (model 720, 740, 745, 750)	Original FDT Perimeter	Humphrey Matrix FDT Perimeter	Периметрия с удвоением пространственной частоты (авторская модификация) FDT perimetry (author's modification)	
				FDT-16	FDT-64
Размер стимула Stimulus sizes	Goldmann I-V	Черно-белый решетчатый стимул синусоидального профиля (0,25 цикл./град.) размером 10×10°, мерцающий в противофазе с временной частотой 25 Гц Black-and-white grid stimulus of sinusoidal profile (0.25 cycl./deg.) measuring 10×10°, flickering in antiphase with temporal frequency of 25 Hz	Черно-белый решетчатый стимул синусоидального профиля (0,5 цикл./град.) размером 5×5°, мерцающий в противофазе с временной частотой 18 Гц Black-and-white grid stimulus of sinusoidal profile (0.5 cycl./deg.) measuring 5×5°, flickering in antiphase with temporal frequency of 18 Hz	Черно-белый решетчатый стимул синусоидального профиля (0,25 цикл./град.) размером 10×10°, мерцающий в противофазе с временной частотой 30 Гц Black-and-white grid stimulus of sinusoidal profile (0.25 cycl./deg.) measuring 10×10°, flickering in antiphase with temporal frequency of 30 Hz	Черно-белый решетчатый стимул синусоидального профиля (0,5 цикл./град.) размером 5×5°, мерцающий в противофазе с временной частотой 18 Гц Black-and-white grid stimulus of sinusoidal profile (0.5 cycl./deg.) measuring 5×5°, flickering in antiphase with temporal frequency of 18 Hz
ЦПЗ (от точки фиксации) Central field of vision (from the fixation point)	до 24° или 30° Up to 24° or 30°	20° или 30° с носа 20° or 30° from the nose	20° или 30° с носа 20° or 30° from the nose	20°	20°
Диапазон яркости стимула Stimulus brightness range	0-3185 кд/м ² (10000 асб) 0-3185 cd/m ² (10000 asb)	0-50 кд/м ² (157 асб) 0-50 cd/m ² (157 asb)	0-100 кд/м ² (314 асб) 0-100 cd/m ² (314 asb)	0,055-79,5 кд/м ² (250 асб) 0.055-79.5 cd/m ² (250 asb)	0,055-79,5 кд/м ² (250 асб) 0.055-79.5 cd/m ² (250 asb)
Цвет пятна стимуляции Stimulation spot color	Видимый свет (белый) Visible light (white)	Видимый свет (белый, серый, черный) Visible light (white, gray, black)	Видимый свет (белый, серый, черный) Visible light (white, gray, black)	Видимый свет (белый, серый, черный) Visible light (white, gray, black)	Видимый свет (белый, серый, черный) Visible light (white, gray, black)
Время нарастания яркости/контраста стимула Stimulus brightness/contrast rise time	200 мс нарастание яркости/контраста по методу дихотомии 200 ms increase in brightness/contrast by the dichotomy method	720 мс нарастание яркости/контраста по методу дихотомии 720 ms increase in brightness/contrast by the dichotomy method	500 мс нарастание яркости/контраста по методу дихотомии 500 ms increase in brightness/contrast by the dichotomy method	плавное нарастание яркости/контраста в течение 20 секунд smooth increase in brightness/contrast during 20 seconds	плавное нарастание яркости/контраста в течение 20 секунд smooth increase in brightness/contrast during 20 seconds
Цвет фона, яркость его освещения Background color, brightness of its illumination	Белый 31,5 асб White 31.5 asb	Серый 157 асб Grey 157 asb	Серый 314 асб Grey 314 asb	Серый 130 асб Grey 130 asb	Серый 130 асб Grey 130 asb
Методы контроля фиксации взгляда Methods of gaze fixation control	Видеоконтроль и принцип Heijl-Krakau Video monitoring, the Heijl-Krakau principle	Принцип Heijl-Krakau The Heijl-Krakau principle	Видеоконтроль и принцип Heijl-Krakau Video monitoring, the Heijl-Krakau principle	Авторский способ (перемещение копии точки фиксации в зону слепого пятна) Author's own method (moving a copy of the fixation point to the blind spot zone)	Авторский способ (перемещение копии точки фиксации в зону слепого пятна) Author's own method (moving a copy of the fixation point to the blind spot zone)

и подтвержденным нами на основании оценки состояния ДЗН и центрального поля зрения (ЦПЗ) с учетом данных офтальмотонометрии (табл. 1). В исследовании, помимо отечественной классификации глаукомы (1975), мы использовали классификацию проф. В.В. Волкова (2001, 2007, 2008), которая имеет некоторое сходство с общепринятой за рубежом классификацией ПОУГ R. Mills и соавт. (2006) [30–33]. В частности, в своей классификации В.В. Волков сохранил диагноз «подозрение на глаукому», но только как предварительный, который в течение 3-х дней на основании результатов тщательного обследования пациента, причем предпочтительнее в стационаре или глаукомном центре, должен быть заменен клиническим диагнозом «офтальмогипертензия» либо «преглаукома», либо «глаукома» с уточнением ее стадии, в противном же случае — снят. Вместо препериметрической глаукомы в качестве еще более ранней, нулевой (0) стадии заболевания В.В. Волков выделил преглаукому [30–32].

Во 2-ю группу вошли 26 пациентов (26 глаз) в возрасте от 22 до 44 лет, средний возраст которых составил $33,69 \pm 6,47$ года, с диагнозом оптическая форма РС, который, согласно анамнезу заболевания, дебютировал в виде ретробульбарного неврита (РБН) и был установлен в различных медицинских учреждениях г. Санкт-Петербурга врачом-неврологом. Парные глаза больных РС из этой группы, в которых, в соответствии с анамнезом заболевания, не было атак РБН, были также обследованы в полном объеме. Таких глаз было 25, поскольку парный глаз одной пациентки исключили из наблюдения из-за частичной атрофии зрительного нерва, развившейся после атаки РБН вследствие РС, которая привела к понижению остроты зрения до 0,3, что и явилось критерием исключения из 2-й группы наблюдения.

В 3-ю группу были включены 22 пациента (33 глаза) в возрасте от 18 до 66 лет ($35,7 \pm 14,9$ года) с застойным ДЗН в начальной (26 глаз) и выраженной (7 глаз) стадиях, который в подавляющем большинстве случаев (75,7%) развивался вследствие различных новообразований головного мозга, а в оставшихся 8 случаях (24,3%) — по ряду других причин: у пациента 48 лет на фоне злокачественного течения гипертонической болезни, у беременной женщины на фоне преэклампсии, у военнослужащего вследствие ретробульбарной гематомы после тяжелой контузии глазницы, у учащегося Суворовского училища из-за кисты глазницы, развившейся вследствие эхинококкоза и оказывающей компрессию зрительного нерва и у 4 пациентов с синдромом Фостера-Кеннеди вследствие доброкачественной внутричерепной гипертензии. Все вышеперечисленные клинические случаи характеризовались односторонним поражением ДЗН.

В 4-ю, контрольную, группу включили 60 здоровых по состоянию органа зрения лиц (60 глаз), которых разделили на 2 равные подгруппы (30/30) — молодого (от 20 до 40 лет, в среднем $24,8 \pm 4,4$) и старшего возраста (от 41 года до 65 лет, в среднем $56,4 \pm 3,9$). Такое разделение здоровых испытуемых было необходимо для корректного сравнения результатов пороговых стратегий FDT-периметрии, полученных при ГОН и ОН другой этиологии, возникающих нередко в более молодом по сравнению с глаукомой возрасте. ОН, развившиеся вследствие оптической формы РС и застойного ДЗН, были выбраны нами для сравнительного исследования с ГОН по данным различных вариантов FDT-периметрии (пороговых стратегий) вследствие большей распространенности их в офтальмологической практике и присущей им в начале развития достаточно высокой остроты зрения, необходимой для качественного выполнения как стандартной, так и нестандартной компьютерной периметрии.

Критериями исключения стали пациенты с аномалиями рефракции, превышающими $\pm 5,0$ диоптрий, остротой зрения ниже 0,5 и глазными или иными, кроме вошедших в исследование, соматическими заболеваниями, влияющими на состояние поля зрения.

Всем пациентам, помимо стандартного офтальмологического обследования, выполняли исследование ЦПЗ с использованием компьютерного анализатора поля зрения Humphrey Visual Field Analyzer II 745i (HFA II; Германия-США, пороговая программа Central 24-2) и с помощью FDT-периметрии в виде 2 пороговых стратегий: известной FDT-16 и новой, доработанной FDT-64, о чем сообщалось выше. Основные отличия по техническим характеристикам анализатора поля зрения HFA II и отечественной модификации FDT-периметрии в сравнении с оригинальной FDT-периметрией представлены в табл. 2.

Сравнительная оценка диагностической эффективности пороговых стратегий FDT-периметрии и периметрии по HFA II у пациентов с начальной стадией ПОУГ, оптической формой РС и застойным ДЗН проводилась на основе комплексного статистического анализа полученных результатов, включающего определение уровней чувствительности и специфичности каждого метода, выполнение ROC-анализа (Receiver Operating Characteristic analysis), определение статистической значимости различий (параметрический критерий t-Стьюдента), выполнение корреляционного анализа по Спирмену, пошагового дискриминантного и дисперсионного анализа (ANOVA) с представлением этих данных в табличном или графическом виде с указанием 95% доверительных интервалов [34].

Все исследования проводили в соответствии с существующими международными и российскими законами, а также нормативными актами по биомедицинским исследованиям с участием людей.

Таблица 3. Сравнение результатов стандартной и нестандартной периметрии по средним значениям индекса MD

Table 3. Comparison of the results of standard and non-standard perimetry according to average values of the MD index

Группа испытуемых Group of subjects	Число глаз Number of eyes	Индекс MD / MD index		
		HFA II (dB)	FDT-16 (отн. ед. / relative units)	FDT-64 (отн. ед. / relative units)
1	46	-2,16±0,26	-0,01±0,04	-0,01±0,01
2	26	-2,98±0,61	-0,01±0,07	-0,01±0,01
3	33	-5,1±1,2	-0,09±0,03	-0,09±0,03
4	60	-1,13±0,2	0,02±0,00	0,03±0,001

Таблица 4. Чувствительность и специфичность результатов компьютерной периметрии по всем группам испытуемых

Table 4. Sensitivity and specificity of computer perimetry results for all groups of subjects

Критерии оценки эффективности стратегии компьютерной периметрии Criteria for evaluating the effectiveness of the computer perimetry strategy	Начальная стадия ПОУГ (1 группа) Early stage of POAG (1st group)	Оптическая форма РС (2 группа) Optic form of MS (2nd group)	Застойный ДЗН (3 группа) Papilledema (3rd group)
Уровень чувствительности (%) Sensitivity level (%)	HFA II / FDT-16 / FDT-64		
индекс MD / MD index	91/39/39	92/42/31	93/45/48
скотомы / n of scotomas	78/88/100	88/61/76	96/51/78
кластеры из скотом / n of scotoma clusters	40/95/83	54/85/54	48/88/70
Уровень специфичности (%) Specificity level (%)	HFA II / FDT-16 / FDT-64		
индекс MD / MD index	46/100/100		
скотомы / n of scotomas	63/100/80		
кластеры из скотом / n of scotoma clusters	100/100/100		

Результаты и обсуждение

В данной работе, выполненной по результатам завершеного диссертационного исследования, по сравнению с нашей пилотной статьей [35] предварительные выводы были уточнены и расширены на основании тщательно выполненного комплексного статистического анализа результатов, полученных на большем количестве материала.

По данным визометрии во всех 3 группах пациентов с ОН острота зрения была достаточно высокой и в среднем составила $0,99 \pm 0,01$, $0,96 \pm 0,02$ и $1,0 \pm 0,01$ соответственно.

При сравнительном анализе данных 2 пороговых стратегий FDT-периметрии в качестве «золотого» стандарта мы, как и большинство зарубежных ученых, приняли результаты периметрии, полученные с помощью пороговой стратегии 24-2 (56 стимулов) анализатора поля зрения HFA II.

Сравнительное исследование данных стандартной и нестандартной периметрии выполняли по 3 критериям (признакам):

1) значение глобального индекса MD (mean deviation — среднее отклонение светочувствительности сетчатки от нормы);

2) количество скотом (n скотом ≥ 2);

3) количество кластеров из скотом.

Известно, что кластером из скотом является группа из трех точек со снижением светочувствительности, имеющих вероятность $p < 5\%$, и хотя бы для одной из этих точек $p < 1\%$, при отсутствии смыкания этих точек со слепым пятном. Указанные изменения должны иметь место при двух последовательных проверках поля зрения [36]. Известно также, что технические характеристики сравниваемых периметров различаются по размеру и яркости стимула, фоновой освещенности, количеству

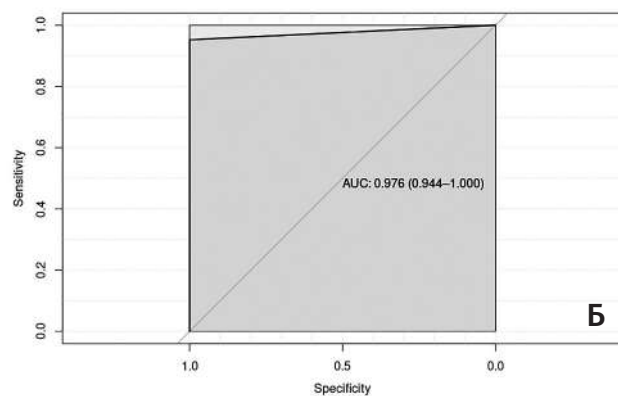
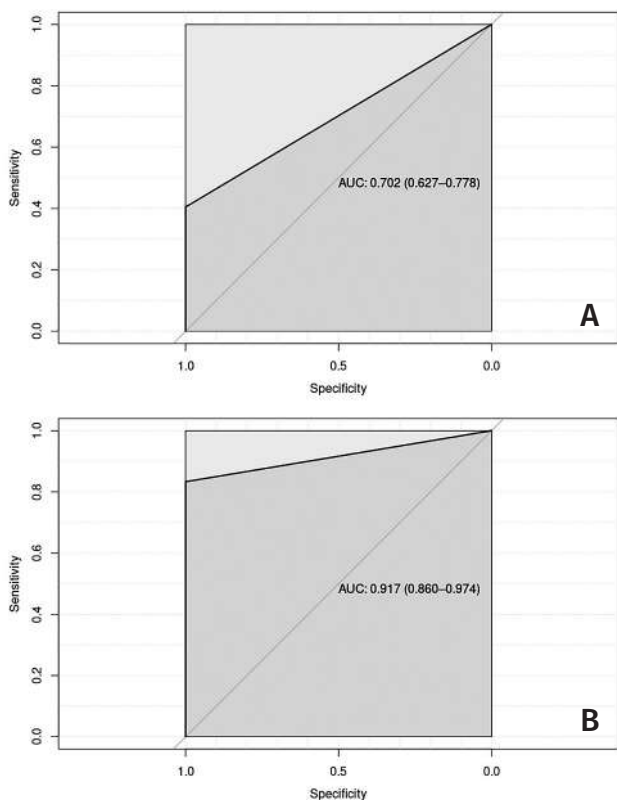


Рис. 1. Результаты ROC-анализа данных периметрии 24-2 HFA II (а), стратегии FDT-16 (б) и FDT-64 (в) по количеству кластеров из скотом в группе пациентов с начальной стадией ПОУГ.

Fig. 1. Results of ROC analysis of perimeter data 24-2 HFA II (a), strategies FDT-16 (b) and FDT-64 (c) by the number of scotoma clusters in the group of patients with early stage of POAG.

исследуемых точек (табл. 2). С целью получения корректных результатов при сравнении периметрических данных ЦПЗ на распечатке периметра HFA II разделили на 16 равных квадратов, каждый размером $10 \times 10^\circ$, аналогичных при исследовании FDT-периметрией с помощью стратегии FDT-16. Кластеры из скотом определяли при наличии в выделенном квадрате 3-х микроскотом с указанным выше уровнем достоверности и относили данный квадрат к числу пораженных глаукомой. При сравнении средних значений индекса MD у всех пациентов с ОН определяли депрессию светочувствительности сетчатки по результатам обеих пороговых стратегий FDT-периметрии (FDT-16 и FDT-64) и пороговой стратегии периметрии по HFA II (24-2), причем, по данным последней, среднее отклонение светочувствительности от нормы нередко обнаруживали и у здоровых лиц, что свидетельствует о более низкой специфичности данных HFA II по сравнению с FDT-периметрией (табл. 3).

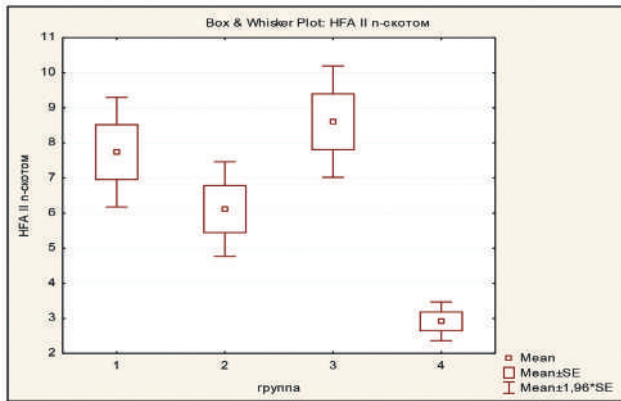
Диагностическую эффективность оценивали на основе изучения уровней чувствительности и специфичности результатов HFA II и FDT-периметрии (FDT-16 и FDT-64). В соответствии с данными отечественной и зарубежной литературы степень пересечения кривых вероятностных функций распределения между группами здоровых и группой больных ОН оценивали с помощью кривых «чувствительность-специфичность». Чувствительность — это относительная частота отнесения истинно больного к классу больных. Специфичность — это относительная частота отнесения истинно здорового к классу здоровых людей [34].

Уровень чувствительности и специфичности, рассчитанный по всем 3 критериям в 3 группах пациентов представлен в табл. 4.

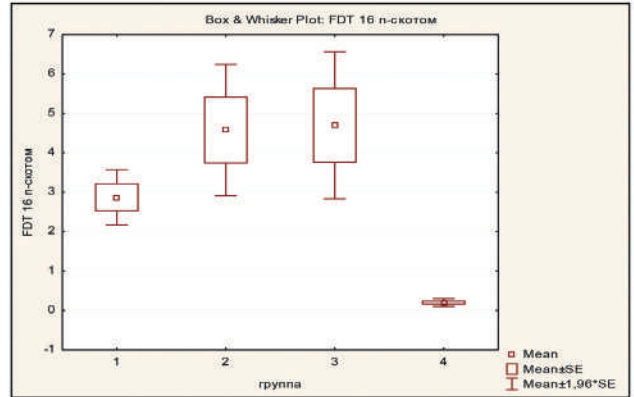
Как видно из табл. 4, уровень чувствительности обеих стратегий FDT-периметрии по сравнению с таковым периметрии по HFA II, рассчитанный по индексу MD, оказался в 2 раза ниже, а при расчете по количеству скотом и кластеров из скотом значительно выше, но только в группе с начальной стадией ПОУГ, причем скотомы располагались в характерной для начальной глаукомы локализации — в области слепого пятна, в верхне- или нижненосовых квадратах. В связи с этим мы полагаем, что обе стратегии FDT-периметрии лучше выявляют ГОН.

По уровню специфичности результатов, который характеризует возможность метода подтверждать отсутствие болезни, обе стратегии FDT-периметрии по значению индекса MD и количеству скотом намного превосходят периметрию по HFA II. Но следует отметить, что новая стратегия FDT-64 по уровню специфичности, рассчитанного по количеству скотом, несколько уступает известной стратегии FDT-16. Важно также отметить, что использование в качестве дополнительного критерия количество кластеров из скотом по сравнению с признаком количества скотом привело к повышению специфичности результатов HFA II более чем в 1,5 раза, а новой стратегии FDT-64 — на 20% (табл. 4). Уровень специфичности стратегии FDT-16 при всех 3 критериях оценки был 100%.

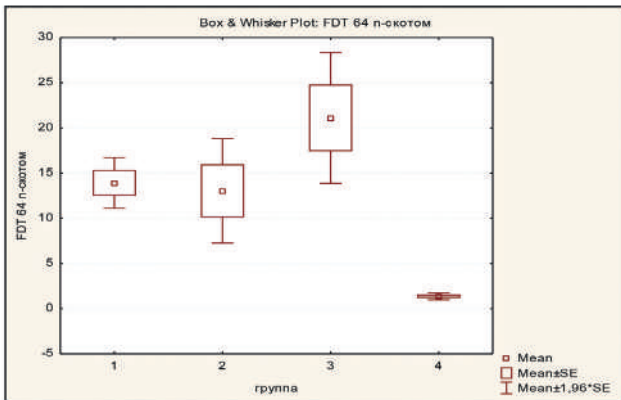
Таким образом, при анализе результатов из табл. 4, где приведены уровни чувствительности, рассчитанные по всем 3 критериям, в том числе и по количеству кластеров из скотом, при ГОН обе стратегии FDT-периметрии оказались в 2 раза эффективнее периметрии по HFA II. В связи с этим для сравнения данных стандартной и нестандартной



А



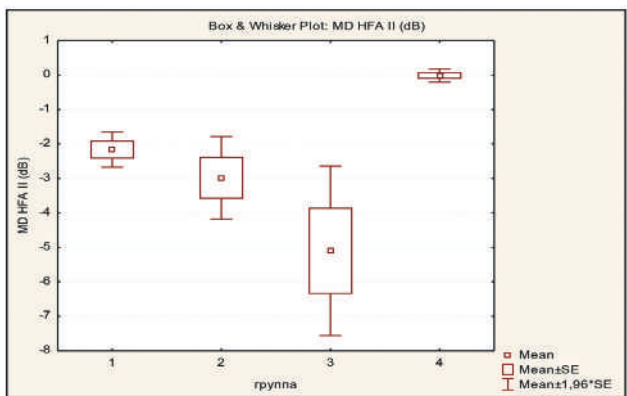
Б



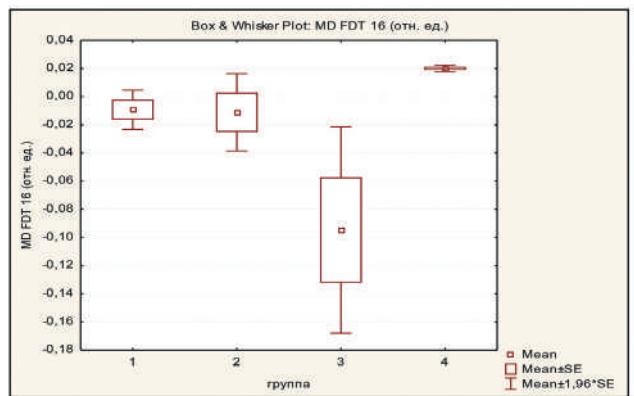
В

Рис. 2. Результаты дисперсионного анализа по всем группам испытуемых по среднему значению количества скотом (n≥2 при p<2, 1 и 0,5%) с указанием 95% доверительных интервалов (А — 24-2 HFA II, Б — FDT-16, В — FDT-64).

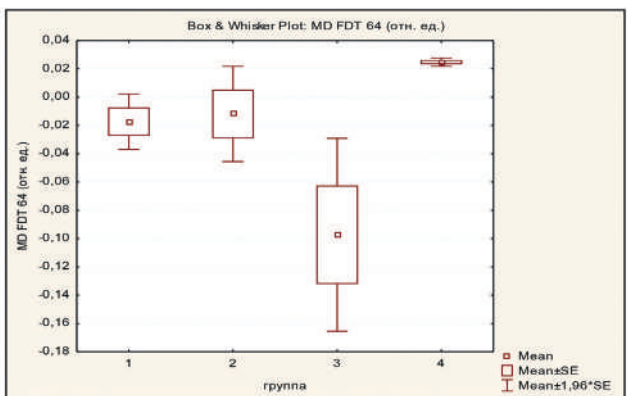
Fig. 2. Results of the analysis of variance for all groups of subjects according to the average value of the number of scotomas (n≥2 at p<2, 1 and 0.5%), indicating 95% confidence intervals (А — «24-2» HFA II, Б — «FDT-16» and В — «FDT-64»).



А



Б



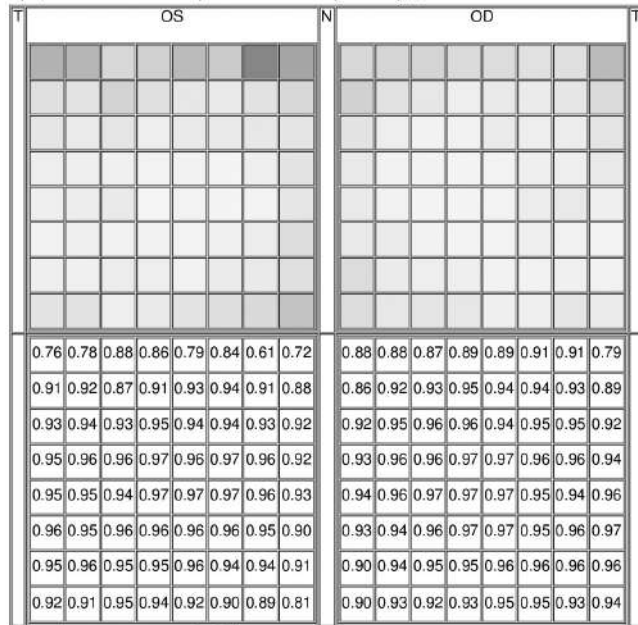
В

Рис. 3. Результаты дисперсионного анализа по всем группам испытуемых по средним значениям глобально-индекса MD с указанием 95% доверительных интервалов (А — 24-2 HFA II, Б — FDT-16, В — FDT-64).

Fig. 3. The results of the analysis of variance for all groups of subjects according to the average values of the global MD index indicating 95% confidence intervals (А — «24-2» HFA II, Б — «FDT-1» and В — «FDT-64»).

Пороговая FDT-периметрия

Ф.И.О.: К.
 Дата рождения: 09.06.1984
 Правый глаз: без ретробульбарного неврита в анамнезе
 Левый глаз: ретробульбарный неврит в анамнезе
 Врач: Тихоновская И.А.
 Дата тестирования: 19.01.2018
 Продолжительность тестирования OD: 3 минут 24 секунд
 Продолжительность тестирования OS: 3 минут 49 секунд

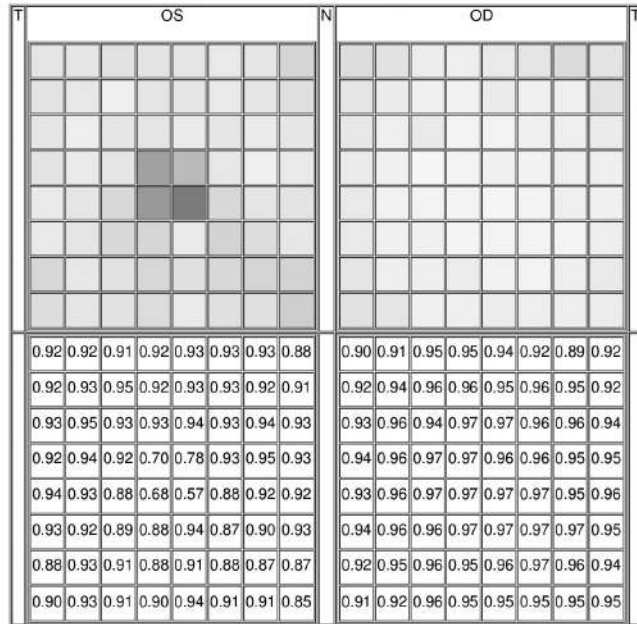


Норма (среднее значение): 0.93
 Среднее по тесту (OD): 0.94 MD (OD): 0.0256
 Среднее по тесту (OS): 0.92 MD (OS): 0.0541

А

Пороговая FDT-периметрия

Ф.И.О.: Д.
 Дата рождения: 13.05.1972
 Правый глаз: без ретробульбарного неврита в анамнезе
 Левый глаз: ретробульбарный неврит в анамнезе
 Врач: Тихоновская И.А.
 Дата тестирования: 30.01.2017
 Продолжительность тестирования OD: 3 минут 6 секунд
 Продолжительность тестирования OS: 4 минут 24 секунд



Норма (среднее значение): 0.93
 Среднее по тесту (OD): 0.95 MD (OD): 0.0235
 Среднее по тесту (OS): 0.90 MD (OS): -0.0765

Б

Рис. 4. Результат исследования ЦПЗ пациентов К. и Д. с РС (расположение скотом по периферии (А) и в центральном отделе (Б) ЦПЗ), полученный с помощью пороговой стратегии FDT-64.

Fig. 4. Printout of the results of studying of the central field of vision of patients with MS (location of scotomas on the periphery (A) and in the central part (B) of the central field of vision), performed using the threshold strategy «FDT-64».

периметрии в 1-й группе мы также применили ROC-анализ, используя в качестве оценочного критерия наиболее эффективный признак — количество кластеров из скотом. Результаты ROC-анализа подтвердили, что уровень чувствительности обеих стратегий FDT-периметрии в 2 раза выше, чем таковой периметрии по HFA II (40%). При этом чувствительность стратегии FDT-16 несколько превысила аналогичный показатель новой стратегии FDT-64 (95% и 83% соответственно) (рис. 1).

Как видно на рис. 2 и рис. 3, по данным дисперсионного анализа доверительный интервал средних значений обоих показателей — количества скотом и индекса MD перекрывается во всех 3 группах больных, но не перекрывается с таковым в группе здоровых лиц, причем меньший разброс этих значений в 4-й, контрольной, группе отмечается по данным FDT-периметрии. Из этого следует, что как периметрия HFA II, так и обе стратегии FDT-периметрии по этим двум показателям достаточно хорошо разделяют здоровых и больных с ОН, причем чувствительность результатов обеих стратегий

FDT-периметрии выше (табл. 4), но дифференцировать клиническую разновидность ОН с помощью этих признаков не представляется возможным.

В поисках характерных изменений в поле зрения при ОН глаукомного и неглаукомного генеза мы проанализировали изменения ЦПЗ у пациентов с исследуемыми в работе ОН. При застойном ДЗН по данным нашего исследования выявлено, что скотомы локализуются чаще в верхневисочном (область слепого пятна) и носовом отделе, особенно при его начальной стадии, и часто совпадает с локализацией депрессии светочувствительности при ГОН. Хотя дифференциальная диагностика данной разновидности ОН с ГОН не составит труда при выполнении офтальмоскопии, застойный ДЗН в начале своего развития, еще не вызывающий жалоб у пациента, не будет пропущен в большинстве случаев при FDT-периметрии, что весьма важно в том числе и для витального прогноза. При РС в распечатке результатов новой стратегии FDT-64, как правило, характерно расположение скотом по периферии ЦПЗ, реже — в его центральном отделе (рис. 4 а, б), в отличие

Пороговая FDT-периметрия

Ф.И.О.: Т.

Дата рождения: 17.09.1973

Правый глаз: начальный застой ДЗН

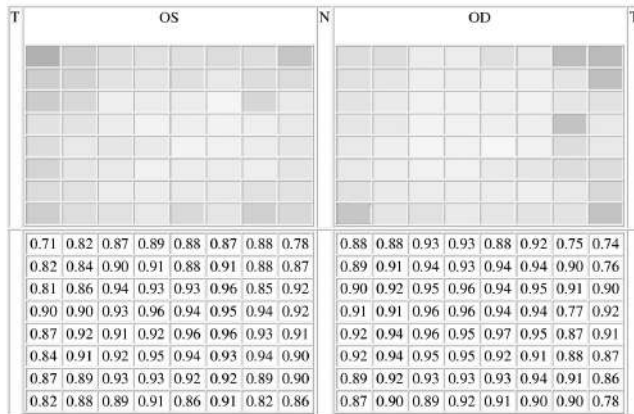
Левый глаз: начальный застой ДЗН

Врач: Тихоновская И.А.

Дата тестирования: 26.12.2016

Продолжительность тестирования OD: 4 минут 19 секунд

Продолжительность тестирования OS: 4 минут 27 секунд



Норма (среднее значение): 0.93

Среднее по тесту (OD): 0.90 Среднее по тесту (OS): 0.89

MD (OD): -0.1040 MD (OS): -0.0520

Рис. 5. Результат исследования ЦПЗ пациента Т. с двухсторонним застойным ДЗН начальной стадии, полученный с помощью пороговой стратегии FDT-64.

Fig. 5. The printout of the results of the study of the central field of vision of patient T. with bilateral papilledema of the first stage, performed using the threshold strategy «FDT-64».

от застойного ДЗН, при котором скотомы локализируются чаще в верхневисочном (область слепого пятна) и носовом отделе ЦПЗ, особенно при его начальной стадии (рис. 5).

Несколько неожиданной находкой явилось то, что парные глаза в группе пациентов с РС, несмотря на отсутствие в анамнезе проявлений РБН, имели депрессию светочувствительности сетчатки как по результатам стандартной (24-2 HFA II: MD= -2,01±0,39 dB), так и нестандартной (FDT-16: MD= -0,01±0,06 отн. ед.; FDT-64: MD= -0,007±0,01 отн. ед.) периметрии (рис. 6), что согласуется с данными зарубежных авторов [27].

На рис. 6 представлены результаты исследования ЦПЗ пациента с РС с помощью новой стратегии FDT-64, причем атака РБН была только в правом глазу, но депрессия светочувствительности сетчатки имеется в обоих глазах.

Время, затраченное на выполнение компьютерной периметрии, является одним из факторов, влияющим на достоверность результатов исследования. Большая продолжительность теста вызывает у пациента зрительное утомление, которое нередко приводит к ошибочным результатам. В нашем исследовании мы провели хронометраж всех периметрических тестов, результат представлен на рис. 7. Во всех 4 группах самой короткой по времени выполнения была стратегия FDT-16, а самой продолжительной — периметрия по HFA II.

Пороговая FDT-периметрия

Ф.И.О.: Ц.

Дата рождения: 13.10.1983

Правый глаз: без ретробульбарного неврита в анамнезе

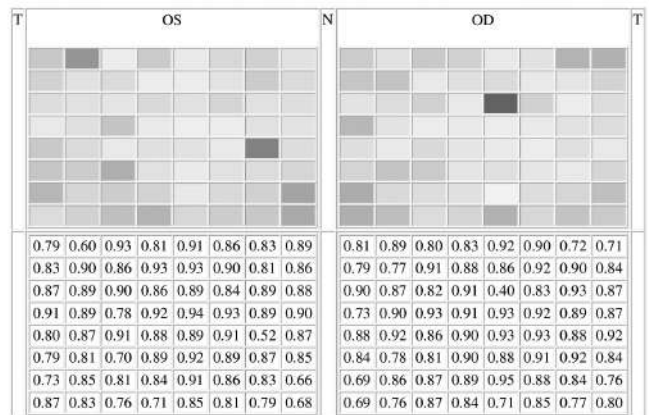
Левый глаз: ретробульбарный неврит в анамнезе

Врач: Тихоновская И.А.

Дата тестирования: 30.09.2020

Продолжительность тестирования OD: 5 минут 21 секунд

Продолжительность тестирования OS: 5 минут 26 секунд



Норма (среднее значение): 0.93

Среднее по тесту (OD): 0.85 Среднее по тесту (OS): 0.84

MD (OD): -0.1172 MD (OS): -0.1154

Рис. 6. Результат исследования ЦПЗ пациента Ц. с РС, полученный с помощью порогового варианта авторской модификации FDT-периметрии (стратегия FDT-64).

Fig. 6. The printout of the examination results of the central field of vision of the patient T. with a MS made using a threshold version of the author's modification of FDT-perimetry (strategy «FDT-64»).

Определение рейтингового места новой пороговой стратегии FDT-64 и периметрии по HFA II выполняли сами испытуемые, оценивая в специально разработанной анкете-опроснике простоту метода для собственного понимания и комфортность при его выполнении. Оценочными признаками для испытуемых в анкете служили: понимание задачи и условий выполнения теста; оценка простоты выполнения; оценка зрительной усталости; оценка общей усталости. По сумме баллов определяли рейтинговое место каждой стратегии компьютерной периметрии.

В табл. 5 представлены результаты оценки стратегии FDT-64 и периметрии на HFA II всеми пациентами с ОН, в соответствии с которыми большинство пациентов с РС и застойным ДЗН 1-е место определили пороговой стратегии FDT-64 (73% и 64%, соответственно), оценив ее как наиболее комфортный для себя и простой в понимании и выполнении тест. Однако пациенты с начальной стадией ПОУГ определили 1-е место FDT-64 с гораздо меньшим перевесом (58% и 42% соответственно), что, по-видимому, объясняется длительностью глаукомного анамнеза и хорошим эффектом обучения, приобретенным больными ПОУГ при неоднократном выполнении периметрии на HFA II в процессе мониторинга этого заболевания.

Таким образом, обе пороговые стратегии периметрии с удвоением пространственной частоты оказались наиболее эффективными в выявлении

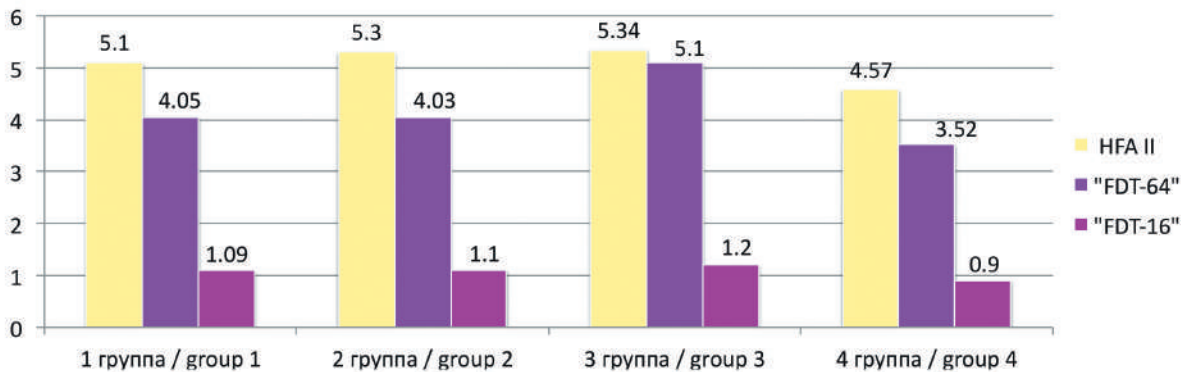


Рис. 7. Анализ хронометражных данных (в минутах) сравниваемых пороговых стратегий компьютерной периметрии по всем группам испытуемых.

Fig. 7. Analysis of timekeeping data (in minutes) of the compared threshold strategies of computer perimetry for all groups of subjects.

Таблица 5. Рейтинговое место стратегии FDT-64 и периметрии HFA II по оценке всех пациентов с ОН

Table 5. Ranking of the «FDT-64» strategy and Humphrey perimetry after assessment of all patients with ON

Группа пациентов с ОН A group of patients with ON	1-е место по данным анкетирования (%) 1st place according to the survey (%)	
	FDT-64	24-2 HFA II
1	58	42
2	73	27
3	64	36

ГОН, что подтверждает более высокий уровень чувствительности их результатов у больных начальной стадией ПОУГ по сравнению с уровнем чувствительности результатов пациентов с РС и застойным ДЗН. Уровень специфичности результатов обеих стратегий FDT-периметрии намного превосходит уровень специфичности данных периметрии по HFA II, что свидетельствует о преимуществе FDT-периметрии в разделении здоровых людей и больных с ОН, причем не только глаукомного генеза.

Выводы

1. Обе пороговые стратегии FDT-периметрии — известная FDT-16 и доработанная FDT-64 — по уровню чувствительности результатов более эффективны в выявлении ГОН, чем ОН при РС и застойном ДЗН.

2. Уровень специфичности результатов обеих стратегий FDT-периметрии в среднем в 2 раза превосходит уровень специфичности данных периметрии по HFA II, что свидетельствует о преимуществе FDT-периметрии в разделении здоровых людей и пациентов с ОН, причем не только глаукомного генеза.

3. При оценке характера изменений ЦПЗ с помощью обеих пороговых стратегий FDT-периметрии выявлено, что при начальной стадии ГОН депрессия светочувствительности определяется, в первую очередь, в его носовом и височном отделах, при ОН вследствие РС — чаще по его периферии концентрически и реже — в центральном отделе, а при застойном ДЗН — чаще в его верхневисочном и носовом отделах.

4. Самой короткой по времени выполнения является стратегия FDT-16, а самой продолжительной — периметрия по HFA II. Новая пороговая стратегия FDT-64 при сравнении с периметрией по HFA II по данным анкетирования является наиболее комфортной и простой в понимании и выполнении с точки зрения самих испытуемых.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Симакова И.Л.
 Сбор и обработка материала: Тихоновская И.А.
 Статистическая обработка: Симакова И.Л., Тихоновская И.А.
 Написание статьи: Тихоновская И.А.
 Редактирование: Симакова И.Л.

Литература

1. Шеремет Н.Л., Ронзина И.А., Галоян Н.С., Казарян Э.Э. Современные методы исследования зрительного нерва при оптических нейропатиях различного генеза. *Вестник офтальмологии* 2011; 127(2):15-18.
2. Синеок Е.В., Малов И.В., Власов Я.В. Традиционные офтальмологические методы исследования и ROC-анализ периметрии в диагностике нейродегенерации у пациентов с демиелинизирующими заболеваниями. *Практическая медицина* 2017; 9(110):187-192.
3. Yoon M.K., Hwang T.N., Day S. et al. Comparison of Humphrey Matrix frequency doubling technology to standard automated perimetry in neuro-ophthalmic disease. *Middle East Afr J Ophthalmology* 2012; (19):211-215. <https://doi.org/10.4103/0974-9233.95254>
4. Aykan U., Akdemir M.O., Yildirim O., Varlibas F. Screening for patients with mild Alzheimer Disease using frequency doubling technology perimetry. *Neuro-Ophthalmology* 2013; 37(6):239-246. <https://doi.org/10.3109/01658107.2013.830627>.
5. Soans R.S., Grillini A., Saxena R., Renken, R.J. et al. Eye-movement-based assessment of the perceptual consequences of glaucomatous and neuro-ophthalmological visual field defects. *Translational Vision Science & Technology*. 2021; 10(2):1-17. <https://doi.org/10.1167/tvst.10.2.1>.
6. Нероев В.В. Инвалидность по зрению в Российской Федерации. СПб: Российский офтальмологический конгресс «Белые Ночи»: тезисы докладов. 2017; 28-30.
7. Бадимова А.В. Особенности эпидемиологии заболеваемости и инвалидности в связи с болезнями органов зрения в России и за рубежом. *Наука молодых (Eruditio Juvenium)* 2020; 8(2):261-268. <https://doi.org/10.23888/HMJ202082261-268>
8. Artes P.H., Hutchison D.M., Nicoleta M. T. et al. Threshold and variability properties of matrix frequency-doubling technology and standard automated perimetry in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005; 46(7):2451-2457. <https://doi.org/10.1167/iovs.05-0135>
9. Leeprechanon N., Giangiacoamo A., Fontana H. et al. Frequency-doubling perimetry: comparison with standard automated perimetry to detect glaucoma. *American journal of ophthalmology* 2007; 143(2):263-271. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2006.10.033>
10. Medeiros F.A., Sample P.A., Zangwill L.M., Liebmann J.M. et al. A statistical approach to the evaluation of covariate effects on the receiver operating characteristic curves of diagnostic tests in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006; 47(6):2520-7. <https://doi.org/10.1167/iovs.05-1441>.
11. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В., Клавдиев В. Е. и др. Создание метода периметрии с удвоенной пространственной частотой за рубежом и в России. *Глаукома* 2009; 8(2):5-21.
12. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В. Сравнение результатов разработанного метода периметрии с удвоенной пространственной частотой и оригинального метода FDT-периметрии. *Глаукома* 2010; 9(1):5-11.
13. Terry A.L., Paulose-Ram R., Tilert T.J., Johnson C.A. et al. The methodology of visual field testing with frequency doubling technology in the National Health and Nutrition Examination Survey, 2005-2006. *Ophthalmic epidemiology* 2010; 17(6):411-21. doi:10.3109/09286586.2010.528575
14. Progression of Glaucoma: the 8th consensus report of the world glaucoma association. Edited by: Weinreb R, Greve E. Amsterdam, Kugler Publ., 2011. 170 p.
15. Zeppieri M., Johnson C.A. Frequency doubling technology (FDT) perimetry. Imaging and perimetry society, 2013.
16. Liu S., Yu M., Weinreb R.N., Lai G. et al. Frequency-Doubling Technology Perimetry for Detection of the Development of Visual Field Defects in Glaucoma Suspect Eyes. *JAMA Ophthalmology* 2014; 132(1):77-83. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2013.5511>.
17. Boland M.V., Gupta P., Ko F., Zhao D. et al. Evaluation of frequency-doubling technology perimetry as a means of screening for glaucoma and other eye diseases using the National Health and Nutrition Examination Survey. *JAMA Ophthalmology* 2016; 134(1):57-62. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.4459>.
18. Camp A.S., Weinreb R.N. Will perimetry be performed to monitor glaucoma in 2025? *Ophthalmology* 2017; 124(12):71-75. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.04.009>.
19. Jung K.I., Park C.K. Detection of functional change in preperimetric and perimetric glaucoma using 10-2 matrix perimetry. *American journal of ophthalmology* 2017; 182:35-44. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.07.007>.

References

1. Sheremet N.L., Ronzina I.A., Galoyan N.S., Kazaryan E.E. Up to date methods of optic nerve evaluation in patients with optic neuropathy of various etiology. *Vestnik oftal'mologii* 2011; 127(2):15-18. (In Russ.)
2. Sineok E.V., Malov I.V., Vlasov I.V. Traditional ophthalmic research methods and ROC-analysis of perimetry in the diagnosis of neurodegeneration in patients with demyelinating diseases. *Prakticheskaya medicina* 2017; 9(110):187-192. (In Russ.)
3. Yoon M.K., Hwang T.N., Day S. et al. Comparison of Humphrey Matrix frequency doubling technology to standard automated perimetry in neuro-ophthalmic disease. *Middle East Afr J Ophthalmology* 2012; (19):211-215. <https://doi.org/10.4103/0974-9233.95254>
4. Aykan U., Akdemir M.O., Yildirim O., Varlibas F. Screening for patients with mild Alzheimer Disease using frequency doubling technology perimetry. *Neuro-Ophthalmology* 2013; 37(6):239-246. <https://doi.org/10.3109/01658107.2013.830627>.
5. Soans R.S., Grillini A., Saxena R., Renken, R.J. et al. Eye-movement-based assessment of the perceptual consequences of glaucomatous and neuro-ophthalmological visual field defects. *Translational Vision Science & Technology*. 2021; 10(2):1-17. <https://doi.org/10.1167/tvst.10.2.1>.
6. Neroyev V.V. Visually impaired in the Russian Federation. St. Petersburg, Russian Ophthalmological Congress 'Belye Nochi': conference abstracts. 2017. pp. 28-30 (In Russ.)
7. Badimova A.V. Features of the epidemiology of morbidity and disability in connection with diseases of the organs of vision in Russia and abroad. *Nauka molodykh (Eruditio Juvenium)* 2020; 8(2):261-268 (In Russ.) <https://doi.org/10.23888/HMJ202082261-268>
8. Artes P.H., Hutchison D.M., Nicoleta M. T. et al. Threshold and variability properties of matrix frequency-doubling technology and standard automated perimetry in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005; 46(7):2451-2457. <https://doi.org/10.1167/iovs.05-0135>
9. Leeprechanon N., Giangiacoamo A., Fontana H. et al. Frequency-doubling perimetry: comparison with standard automated perimetry to detect glaucoma. *American journal of ophthalmology* 2007; 143(2):263-271. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2006.10.033>
10. Medeiros F.A., Sample P.A., Zangwill L.M., Liebmann J.M. et al. A statistical approach to the evaluation of covariate effects on the receiver operating characteristic curves of diagnostic tests in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006; 47(6):2520-7. <https://doi.org/10.1167/iovs.05-1441>.
11. Simakova I.L., Volkov V.V., Boiko E.V., Klavdiev V.E. et al. Creation of the method of frequency-doubling technology perimetry: an international and Russian experience. *Glaucoma* 2009; 8(2):15-21. (In Russ.)
12. Simakova I.L., Volkov V.V., Boiko E.V. The results of developed method of frequency-doubling technology (FDT) perimetry in comparison with the results of the original FDT-perimetry. *Glaucoma* 2010; 9(1):5-11. (In Russ.)
13. Terry A.L., Paulose-Ram R., Tilert T.J., Johnson C.A. et al. The methodology of visual field testing with frequency doubling technology in the National Health and Nutrition Examination Survey, 2005-2006. *Ophthalmic epidemiology* 2010; 17(6):411-21. doi:10.3109/09286586.2010.528575
14. Progression of Glaucoma: the 8th consensus report of the world glaucoma association. Edited by: Weinreb R, Greve E. Amsterdam, Kugler Publ., 2011. 170 p.
15. Zeppieri M., Johnson C.A. Frequency doubling technology (FDT) perimetry. Imaging and perimetry society, 2013.
16. Liu S., Yu M., Weinreb R.N., Lai G. et al. Frequency-Doubling Technology Perimetry for Detection of the Development of Visual Field Defects in Glaucoma Suspect Eyes. *JAMA Ophthalmology* 2014; 132(1):77-83. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2013.5511>.
17. Boland M.V., Gupta P., Ko F., Zhao D. et al. Evaluation of frequency-doubling technology perimetry as a means of screening for glaucoma and other eye diseases using the National Health and Nutrition Examination Survey. *JAMA Ophthalmology* 2016; 134(1):57-62. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.4459>.
18. Camp A.S., Weinreb R.N. Will perimetry be performed to monitor glaucoma in 2025? *Ophthalmology* 2017; 124(12):71-75. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.04.009>.
19. Jung K.I., Park C.K. Detection of functional change in preperimetric and perimetric glaucoma using 10-2 matrix perimetry. *American journal of ophthalmology* 2017; 182:35-44. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.07.007>.

20. Hu R., Wang C., Racette L. Comparison of matrix frequency-doubling technology perimetry and standard automated perimetry in monitoring the development of visual field defects for glaucoma suspect eyes. *PLoS One* 2017; 12(5):1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178079>.
21. Furlanetto R.L., Teixeira S.H., Gracitelli C.P.B., Lottenberg C. et al. Structural and functional analyses of the optic nerve and lateral geniculate nucleus in glaucoma. *PLoS One* 2018; 13(3):e0194038. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194038>.
22. Terauchi R., Wada T., Ogawa S., Kaji M. et al. FDT Perimetry for Glaucoma Detection in Comprehensive Health Checkup Service. *Journal of Ophthalmology* 2020; 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4687398>.
23. Arantes T.E., Garcia C.R., Tavares I.M., Mello P.A. et al. Relationship between retinal nerve fiber layer and visual field function in human immunodeficiency virus-infected patients without retinitis. *Retina* 2012; 32(1):152-9. <https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e31821502e1>.
24. Walsh D.V., Capó-Aponte J.E., Jorgensen-Wagers K., Temme L.A. et al. Visual field dysfunctions in warfighters during different stages following blast and nonblast mTBI. *Mil Med* 2015; 180(2):178-85. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00230>.
25. Cesareo M., Martucci A., Ciuffoletti E., Mancino R. et al. Association between Alzheimer's disease and glaucoma: a study based on Heidelberg retinal tomography and frequency doubling technology perimetry. *Frontiers in neuroscience* 2015; 9:479. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00479>.
26. Moyal L., Blumen-Ohana E., Blumen M., Blatrix C. et al. Parafoveal and optic disc vessel density in patients with obstructive sleep apnea syndrome: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018; 256(7):1235-1243. <https://doi.org/10.1007/s00417-018-3943-7>.
27. Corallo G., Cicinelli S., Papadia M., Bandini F. et al. Conventional perimetry, short-wavelength automated perimetry, frequency-doubling technology, and visual evoked potentials in the assessment of patients with multiple sclerosis. *European Journal of Ophthalmology* 2005; 15:730-8. <https://doi.org/10.1177/112067210501500612>.
28. Ruseckaite R., Maddess T.D., Danta G., James A.C. Frequency doubling illusion VEPs and automated perimetry in multiple sclerosis. *Documenta ophthalmologica* 2006; 113(1):29-41. <https://doi.org/10.1007/s10633-006-9011-3>.
29. Shahraki K., Mostafa S.S., Kaveh A.A., Yazdi H.R. et al. Comparing the Sensitivity of Visual Evoked Potential and Standard Achromatic Perimetry in Diagnosis of Optic Neuritis. *JOJ Ophthalmol* 2017; 2(5):555-600. <https://doi.org/10.19080/JOJO.2017.02.555600003>.
30. Волков В.В. Глаукома при псевдонормальном давлении. М: Медицина 2001; 350.
31. Волков В.В. Дополнительное обоснование предлагаемой для обсуждения классификации открытоугольной глаукомы на основе представлений о патогенезе ее прогрессирования. *Вестник офтальмологии* 2007; 123(4):40-45.
32. Волков В.В. Глаукома открытоугольная. М: Медицинское информационное агентство 2008.
33. Mills R., Budenz D., Lee P. Categorizing the stage of glaucoma from pre-diagnosis end-stage disease. *American Journal of Ophthalmology* 2006; 141(1):24-30.
34. Григорьев С.Г., Лобзин Ю.В., Скрипченко Н.В. Роль и место логической регрессии и ROC-анализа в решении медицинских диагностических задач. *Журнал инфектологии*. 2016; 8(4):36-45. <https://doi.org/10.22625/2072-6732-2016-8-4-36-45>.
35. Тихоновская И.А., Симакова И.Л. Оценка информативности стандартной и нестандартной периметрии в диагностике глаукомной и некоторых неглаукомных оптиконеуропатий. В: Невские горизонты 2020: Материалы научной конференции офтальмологов с международным участием. СПб: СПбГПМУ, ООО «Пиастр Плюс» 2020. 216.
36. Егоров Е.А., Алексеев В.Н. Патогенез и лечение первичной открытоугольной глаукомы. Москва: ГЭОТАР Медиа 2017; 224.
20. Hu R., Wang C., Racette L. Comparison of matrix frequency-doubling technology perimetry and standard automated perimetry in monitoring the development of visual field defects for glaucoma suspect eyes. *PLoS One* 2017; 12(5):1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178079>.
21. Furlanetto R.L., Teixeira S.H., Gracitelli C.P.B., Lottenberg C. et al. Structural and functional analyses of the optic nerve and lateral geniculate nucleus in glaucoma. *PLoS One* 2018; 13(3):e0194038. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194038>.
22. Terauchi R., Wada T., Ogawa S., Kaji M. et al. FDT Perimetry for Glaucoma Detection in Comprehensive Health Checkup Service. *Journal of Ophthalmology* 2020; 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4687398>.
23. Arantes T.E., Garcia C.R., Tavares I.M., Mello P.A. et al. Relationship between retinal nerve fiber layer and visual field function in human immunodeficiency virus-infected patients without retinitis. *Retina* 2012; 32(1):152-9. <https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e31821502e1>.
24. Walsh D.V., Capó-Aponte J.E., Jorgensen-Wagers K., Temme L.A. et al. Visual field dysfunctions in warfighters during different stages following blast and nonblast mTBI. *Mil Med* 2015; 180(2):178-85. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-14-00230>.
25. Cesareo M., Martucci A., Ciuffoletti E., Mancino R. et al. Association between Alzheimer's disease and glaucoma: a study based on Heidelberg retinal tomography and frequency doubling technology perimetry. *Frontiers in neuroscience* 2015; 9:479. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00479>.
26. Moyal L., Blumen-Ohana E., Blumen M., Blatrix C. et al. Parafoveal and optic disc vessel density in patients with obstructive sleep apnea syndrome: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018; 256(7):1235-1243. <https://doi.org/10.1007/s00417-018-3943-7>.
27. Corallo G., Cicinelli S., Papadia M., Bandini F. et al. Conventional perimetry, short-wavelength automated perimetry, frequency-doubling technology, and visual evoked potentials in the assessment of patients with multiple sclerosis. *European Journal of Ophthalmology* 2005; 15:730-8. <https://doi.org/10.1177/112067210501500612>.
28. Ruseckaite R., Maddess T.D., Danta G., James A.C. Frequency doubling illusion VEPs and automated perimetry in multiple sclerosis. *Documenta ophthalmologica* 2006; 113(1):29-41. <https://doi.org/10.1007/s10633-006-9011-3>.
29. Shahraki K., Mostafa S.S., Kaveh A.A., Yazdi H.R. et al. Comparing the Sensitivity of Visual Evoked Potential and Standard Achromatic Perimetry in Diagnosis of Optic Neuritis. *JOJ Ophthalmol* 2017; 2(5):555-600. <https://doi.org/10.19080/JOJO.2017.02.555600003>.
30. Volkov V.V. Glaukoma psevdonormal'nogo davleniya [Glaucoma with pseudonormal pressure]. Moscow, Medicine Publ., 2001. 350 p. (In Russ.)
31. Volkov V.V. Additional rationale for the open-angle glaucoma classification to be discussed, by using the concepts of the pathogenesis of its progression. *Vestnik oftalmologii* 2007; 123(4):40-45. (In Russ.)
32. Volkov V.V. Glaukoma otkrytougol'naya [Open-angle glaucoma]. Moscow: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo Publ., 2008. (In Russ.)
33. Mills R., Budenz D., Lee P. Categorizing the stage of glaucoma from pre-diagnosis end-stage disease. *American Journal of Ophthalmology* 2006; 141(1):24-30.
34. Grigoryev S.G., Lobzin Yu.V., Skripchenko N.V. The role and place of logistic regression and ROC analysis in solving medical diagnostic task. *Journal Infectology* 2016; 8(4):36-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.22625/2072-6732-2016-8-4-36-45>.
35. Tikhonovskaya I.A., Simakova I.L. Efficacy evaluation of the standard and non-standard perimetry in the diagnostics of glaucomatous and some non-glaucomatous optic neuropathies. In: Nevskie gorizonty-2020: Materialy nauchnoy konferencii oftalmologov s mezhdunarodnym uchastiem [Neva Horizons 2020: Theses of an international scientific conference]. Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Piastir Plyus LLC, 2020. P. 216. (In Russ.)
36. Egorov E.A., Alekseev V.N. Patogenez i lechenie pervichnoy otkrytougol'noi glaukomy [Pathogenesis and treatment of the primary open-angle glaucoma]. Moscow: GEOTAR Media Publ., 2017. 224 p. (In Russ.)