Национальный журнал глаукома
2023, Т. 22, № 4, стр. 33-43

National Journal of Glaucoma
2023, Vol. 22, № 4, pp. 33-43

УДК 617.7-007.681-07

https://doi.org/10.53432/2078-4104-2023-22-4-33-43

Новые возможности периметрии для скрининга и ранней диагностики глаукомы

Симакова И.Л., д.м.н., профессор кафедры офтальмологии[1]; https://orcid.org/0000-0001-8389-0421

Куликов А.Н., д.м.н., профессор, начальник кафедры офтальмологии[1]; https://orcid.org/0000-0002-5274-6993

Сердюкова С.А., к.м.н., врач-офтальмолог, заведующая офтальмологическим отделением[2]; https://orcid.org/0009-0007-5255-2041

Горбачева К.С., врач-офтальмолог[3]; https://orcid.org/0009-0006-5356-1313

Григорян Л.А., заместитель генерального директора по развитию бизнеса и управлению инновациями[4]. https://orcid.org/0000-0001-5610-4421

[1]Кафедра офтальмологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, *194044, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Боткинская, 21;*

[2]Офтальмологическое отделение клинико-диагностической поликлиники лечебно-диагностического центра ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, *194044, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Боткинская, 21;*

[3]ООО «Инкерман», *197198, Российская Федерация, Санкт-Петербург, муниципальный округ Введенский, пр. Добролюбова, 20, к. 1, литера А, этаж 1, пом. 1-Н, часть пом. 1;*

[4]ООО «Тотал Вижен», *119234, Российская Федерация, Москва, муниципальный округ Раменки, ул. Ленинские горы, 1, стр. 77, 101а.*

Финансирование: *авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.*
Конфликт интересов: *отсутствует.*

Для цитирования: Симакова И.Л., Куликов А.Н., Сердюкова С.А., Горбачева К.С., Григорян Л.А. Новые возможности периметрии для скрининга и ранней диагностики глаукомы. *Национальный журнал глаукома*. 2023; 22(4):33-43.

Резюме

ЦЕЛЬ. Изучить диагностическую эффективность усовершенствованной программной версии известной авторской модификации периметрии с удвоением пространственной частоты (Frequency Doubling Technology, FDT) при сравнительном исследовании с ее предыдущей версией и стандартной автоматизированной периметрией на одном контингенте здоровых лиц и больных первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ).

МАТЕРИА И МЕТОДЫ. В исследовании участвовали 56 пациентов (105 глаз) с ПОУГ. Средний возраст 61±13,2 лет. Пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от стадии глаукомы: 1 — начальная (39 глаз), 2 — развитая (25 глаз) и 3 — далекозашедшая (9 глаз) стадия. В 4-ю (контрольную) группу включили 32 глаза 16 здоровых человек (средний возраст 48,2±6,2 лет). Всем испытуемым выполняли стандартную автоматизированную периметрию (САП) на анализаторе поля зрения Humphrey Visual Field Analyzer III и нестандартную периметрию в виде нашей модификации FDT-периметрии и ее усовершенствованной программной версии — FDT VR-версии на базе нового отечественного портативного автоматического периметра Stimulus (ООО «Тотал Вижен»). Диск зрительного нерва оценивали на гейдельбергском ретинальном томографе.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Программная версия авторской модификации FDT-периметрии была усовершенствована для жидкокристаллических мониторов и адаптирована к портативному периметру Stimulus. При сравнении диагностической эффективности оба варианта FDT-периметрии по уровню чувствительности результатов не уступают (87,6%; 87,8% и 86,7%, соответственно), а по уровню специфичности (98,2%; 98,1% и 84,4%, соответственно) превосходят САП. Выявлена сильная (r=0,99988) корреляция между средними значениями светочувствительности по данным обоих вариантов FDT-периметрии (p<0,05).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Внедрение FDT-периметрии на базе нового отечественного портативного автоматического периметра «Stimulus» в широкую офтальмологическую практику может способствовать повышению эффективности скрининга и ранней диагностики глаукомы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скрининг глаукомы, ранняя диагностика глаукомы, стандартная и нестандартная периметрия, FDT-периметрия, портативный автоматический периметр.

Для контактов:

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

Статья поступила: 18.07.2023
Принята в печать: 03.08.2023

Article received: 18.07.2023
Accepted for printing: 03.08.2023

ORIGINAL ARTICLE

New possibilities of perimetry in screening and early diagnosis of glaucoma

Simakova I.L., Dr. Sci. (Med.), Professor at the Academic Department of Ophthalmology[1]; https://orcid.org/0000-0001-8389-0421

Kulikov A.N., Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Academic Department of Ophthalmology[1]; https://orcid.org/0000-0002-5274-6993

Serdiukova S.A., Cand. Sci. (Med.), ophthalmologist, Head of the Ophthalmological Department[2]; https://orcid.org/0009-0007-5255-2041

Gorbacheva K.S., ophthalmologist[3]; https://orcid.org/0009-0006-5356-1313

Grigoryan L.A., Deputy Chief Officer for Business Development and Innovation Management[4]. https://orcid.org/0000-0001-5610-4421

[1]S.M. Kirov Military Medical Academy, Academic Department of Ophthalmology, *21 Botkinskaya St., Saint Petersburg, Russian Federation, 194044;*

[2]S.M. Kirov Military Medical Academy, Ophthalmological Department of the Clinical and Diagnostic Polyclinic of the Medical and Diagnostic Center, *21 Botkinskaya St., Saint Petersburg, Russian Federation, 194044;*

[3]OOO Inkerman, *20-1 litt. A at Dobroljubova pr., floor 1, room 1-H, part of room 1, Saint Petersburg, Russian Federation, 197198;*

[4]OOO Total Vizhen, *1-77 Leninskie gory St., ofc. 101a, Moscow, Russian Federation, 119234.*

Funding: *the authors received no specific funding for this work.*
Conflicts of Interest: *none declared.*

For citations: Simakova I.L., Kulikov A.N., Serdiukova S.A., Gorbacheva K.S., Grigoryan L.A. New possibilities of perimetry in screening and early diagnosis of glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma.* 2023; 22(4):33-43.

Abstract

PURPOSE. To study the diagnostic effectiveness of an improved software version of the well-known authors' modification of Frequency Doubling Technology (FDT) perimetry by comparing it with the previous software version and standard automated perimetry on the same contingent of healthy individuals and patients with primary open-angle glaucoma (POAG).

METHODS. The study included 56 patients (105 eyes) (mean age 61±13.2 years) with POAG. Patients were divided into three groups depending on the stage of glaucoma: group 1 — early stage (39 eyes), group 2 — moderate (25 eyes), and group 3 — advanced (9 eyes) stage. The fourth (control) group included 32 eyes of 16 healthy people (average age 48.2±6.2 years). All study subjects underwent standard automated perimetry (SAP) on the Humphrey III visual field analyzer and non-standard perimetry in the form of our own modification of FDT perimetry and its improved software version — FDT VR version based on the new portable automatic perimeter "Stimulus" (OOO Total Vizhen, Russia). The optic nerve disc was evaluated on the Heidelberg Retina Tomograph 3.

RESULTS. The software version of the authors' modification of FDT perimetry has been improved for liquid crystal monitors and adapted to the portable perimeter "Stimulus". When comparing diagnostic effectiveness, both variants of FDT perimetry are not inferior to SAP in sensitivity (87.6; 87.8 and 86.7%, respectively), and in terms of specificity (98.2; 98.1 and 84.4%, respectively) they are superior. A strong (r=0.99988) and reliable (p<0.05) correlation was found between the average values of light sensitivity for both variants of FDT perimetry.

CONCLUSION. The introduction of FDT perimetry based on the new portable automatic perimeter "Stimulus" into widespread ophthalmological practice can contribute to improving the effectiveness of screening and early diagnosis of glaucoma.

KEYWORDS: glaucoma screening, early diagnosis of glaucoma, standard and non-standard perimetry, FDT perimetry, portable automatic perimeter.

В нашей стране, как и во всем мире, глаукома является одной из главных причин слабовидения и необратимой слепоты, сохраняя на протяжении многих лет одно из первых мест в нозологической структуре инвалидности по зрению. Глаукома — неизлечимое заболевание, в связи с этим наиболее эффективной профилактикой слепоты от этой весьма распространённой патологии у людей старше 40 лет является её ранняя диагностика при проведении скрининга. Это можно выполнить либо в формате массового обследования населения, что вряд ли выполнимо, либо в условиях диспансеризации населения, что более реально и должно проводиться в соответствии с приказом Минздрава РФ №404н «Об утверждении порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения» от 27.04.2021 г.

В настоящее время в соответствии с международными стандартами ранняя диагностика глаукомы должна основываться, прежде всего, на тщательной оценке структурных и функциональных изменений ДЗН, характерных для глаукомной оптиконейропатии [1–3]. Однако в связи с высокой стоимостью импортных приборов для структурной оценки ДЗН широкое их применение в нашей стране при скрининге глаукомы ограничено. Кроме того, индивидуальные морфологические показатели, в отличие от функциональных показателей, в норме более вариабельны. В связи с этим для ранней диагностики глаукомы функциональный скрининг на основе пороговой компьютерной периметрии кажется более предпочтительным [4–7].

Как известно, традиционная периметрия выявляет изменения в поле зрения при гибели не менее 25-35% ганглиозных клеток сетчатки. В 60-е годы прошлого века было установлено, что передача от глаза к мозгу информации о пространственно-временных свойствах окружающего мира осуществляется с помощью ряда каналов-фильтров зрительной системы. Это parvo-система, отвечающая за «объектное зрение», magno-система, отвечающая за «пространственное зрение» и кониоцеллюлярная система, передающая информацию об оттенках синего и желтого цвета. Известно, что крупные нейроны magno-системы составляют всего 10% от всех ганглиозных клеток сетчатки и при глаукоме страдают в первую очередь благодаря своим крупным размерам, толстыми аксонам и большим рецептивным полям [8].

В связи с этим с конца прошлого века и до настоящего времени для ранней диагностики глаукомы разрабатываются методы нетрадиционной или нестандартной компьютерной периметрии, имеющие благодаря специфической природе стимулов более высокую чувствительность, что позволяет выявлять поражение определенных субпопуляций ганглиозных клеток сетчатки в самом начале развития глаукомы. По данным зарубежной литературы последних 20 лет, наиболее распространенным функциональным скринингом на глаукому является периметрия с технологией удвоения частоты — Frequency Doubling Technology (FDT) Perimetry, или FDT-периметрия [9–12]. Под руководством профессора В.В. Волкова на кафедре офтальмологии Военно-медицинской академии была разработана авторская модификация FDT-периметрии, которая, как показали кафедральные исследования, по уровню специфичности значительно превосходит, а по уровню чувствительности не уступает стандартной автоматизированной периметрии (САП) [13–15]. В.В. Волков полагал, что разработанная модификация FDT-периметрии реально претендует на роль эффективного, простого, быстро выполнимого и недорогого метода для проведения функционального скрининга глаукомы в нашей стране [4].

За последние 5 лет в зарубежной литературе появилось немало публикаций, посвященных портативным компьютерным периметрам. В большинстве случаев они предназначены в основном для выполнения традиционной периметрии («белый стимул на белом фоне»), но некоторые модели оснащены программой FDT-периметрии [16–19]. Преимуществами таких VR-периметров по сравнению со стационарными компьютерными периметрами являются их портативность, мобильность, автономность, экономическая доступность, а также открывающиеся новые возможности. В частности, возможность использования искусственного интеллекта в системе помощи врачу способствует принятию решения по результатам исследования поля зрения, а облачное хранение данных предполагает возможность телемедицины. Реализация этих преимуществ может способствовать повышению эффективности функционального скрининга глаукомы и, что очень важно, становится возможным обследование пациентов с ограниченными возможностями, в том числе, лежачих, находящихся вне медицинских учреждений, а также в условиях пандемии и карантина.

В 2018 году отечественная компания ООО «Тотал Вижен», резидент фонда Сколково, разработала прототип периметра на базе собственной системы виртуальной реальности, получивший название Stimulus [20, 21]. В 2020 г. разработчиками портативного автоматического периметра Stimulus совместно с Российским глаукомным обществом был организован и проведен онлайн-опрос среди врачей-офтальмологов, посвященный вопросам периметрии, по результатам которого опубликована статья [22]. В частности, более 90% респондентов считали целесообразным внедрение в офтальмологическую практику новых методов нестандартной периметрии.

Таблица 1. **Диагностические критерии для определения стадии глаукомы.**

Table 1. ***Diagnostic criteria for determining the stage of glaucoma.***

Стадия глаукомы *Glaucoma stage*	**Э/Д по Армали** *Armaly cup/disc ratio*	**Средний дефицит светочувствительности MD по HFA II (дБ)** *Mean deviation in visual field sensitivity on HFA II (dB)*	**Периферические границы поля зрения** *Peripheral boundaries of the visual field*
I (начальная) *(early)*	0,5–0,6	до -6,0 *up to -6.0*	Нормальные *Normal*
II (развитая) *(moderate)*	0,7–0,8	от -6,01 до -12,0 *-6.01 to -12.0*	Сужены с носовой стороны (при сохранности >15°) *Narrowed on the nasal side (when preserved >15°)*
III (далеко зашедшая) *(advanced)*	0,9	от -12,01 до -20,0 и хуже *-12.01 to -20.0 and worse*	Сужены с носовой стороны (при сохранности <15° хотя бы в одном из меридианов) *Narrowed on the nasal side (when preserved <15° in at least one of the meridians)*

Таблица 2. **Материал исследования.**

Table 2. ***Study subjects.***

Группы испытуемых *Study groups*	**Количество глаз** *Number of eyes*	**Э/Д (при офтальмоскопии)** *C/D area ratio (ophthalmoscopy)*	**Уровень ВГД по Маклакову, мм рт.ст.** *IOP by Maklakov tonometry, mm Hg*	**Острота зрения с коррекцией** *Best-corrected visual acuity*
Группа 1 — I стадия ПОУГ *Group 1 – stage I POAG*	39	0,57±0,15/0,35±0,16	15,58±2,69	0,86±0,16
Группа 2 — II стадия ПОУГ *Group 2 — stage II POAG*	25	0,70±0,15/0,51±0,21	17,05±3,05	0,86±0,17
Группа 3 — III стадия ПОУГ *Group 3 — stage III POAG*	9	0,84±0,06/0,7±0,09	17,14±0,9	0,63±0,31
Группа 4 — контроль *Group 4 — controls*	32	0,49±0,14/0,24±0,11	17,97±2,04	1,0

Авторская модификация FDT-периметрии была разработана в период с 2003 по 2007 год для компьютеров с электронно-лучевыми мониторами, которые больше не производятся. Поэтому на кафедре офтальмологии Военно-медицинской академии в течение двух лет (с 2021 по 2023 гг.) совместно с ООО «Тотал Вижен» выполнялась инициативная научно-исследовательская работа (НИР) на тему «Сравнительное исследование методов стандартной и нестандартной компьютерной периметрии у здоровых лиц и больных глаукомой с целью скрининга и ранней диагностики». Специалистами данной компании было выполнено усовершенствование модификации FDT-периметрии для жидкокристаллических мониторов и адаптация ее к экспериментальному образцу нового отечественного портативного автоматического периметра «Stimulus».

Цель — изучить и оценить диагностическую эффективность усовершенствованной программной версии известной авторской модификации FDT-периметрии при сравнительном исследовании с ее предыдущей программной версией и САП на одном и том же контингенте здоровых и больных глаукомой в различных ее стадиях.

Материал и методы

В НИР было включено 56 человек (105 глаз). Основную группу составили больные первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ), которые были разделены на 3 группы в зависимости от стадии заболевания: группа 1 — начальная (39 глаз), группа 2 — развитая (25 глаз) и группа 3 — далеко зашедшая (9 глаз) стадии. Средний возраст пациентов с ПОУГ составил 61±13,2 лет (M±δ).

Рис. 1. Процесс выполнения авторской модификации FDT-периметрии.

Fig. 1. The process of performing the authors' modification of FDT perimetry.

Рис. 2. Этап выполнения усовершенствованной FDT VR-версии на базе портативного периметра Stimulus.

Fig. 2. The stage of performing the improved FDT VR utilizing the Stimulus portable perimeter.

В 4-ю группу (контрольную) включили 16 здоровых испытуемых (32 глаза), средний возраст которых составил 48,2±6,2 лет (M±δ).

Из исследования исключались пациенты, имеющие:

- глазные или системные заболевания, влияющие на состояние поля зрения;
- аномалии рефракции, превышающую ±5,0 дптр;
- остроту зрения ниже 0,5.

Диагноз ПОУГ подтверждали на основании международных стандартов по оценке состояния ДЗН и центрального поля зрения (ЦПЗ). Учитывали данные офтальмотонометрии. Для определения стадии глаукомы, кроме отечественной классификации (1975), мы использовали классификацию В.В. Волкова [4], во многом сходную с зарубежной классификацией [23]. В качестве диагностических критериев использовали соотношение экскавации к ДЗН по Армали (Э/Д), показатель среднего дефицита светочувствительности (MD) при компьютерной периметрии по Humphrey и состояние периферических границ поля зрения при кинетической периметрии *(табл. 1)*.

Материал исследования представлен в *табл. 2*. Далекозашедшая глаукома, как правило, не представляет трудности в диагностике, к тому же при этой стадии нередко острота зрения ниже 0,5, в связи с чем выборка по этой стадии ПОУГ составила всего 9 глаз.

Все исследования выполняли, руководствуясь существующими международными и российскими законами, а также нормативными актами по биомедицинским исследованиям с участием людей.

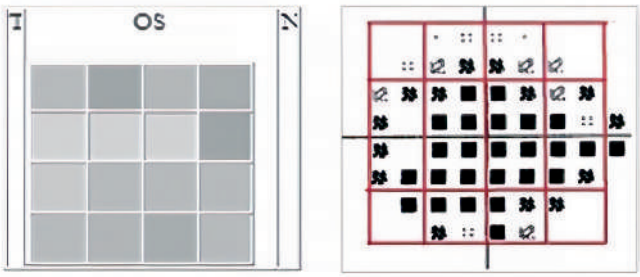
Всем испытуемым было проведено полное офтальмологическое обследование, включающее сбор жалоб и анамнеза, а также инструментальные методы исследования.

Кинетическую периметрию выполняли на проекционном периметре с полусферическим экраном (Inamy, Япония) в 8 меридианах с использованием стандартного тест-объекта: III объект по диаметру (4 мм) и 4 объект по яркости (320 кд/м^2).

ЦПЗ исследовали с помощью САП. В работе выполняли 2 метода компьютерной периметрии: САП на анализаторе поля зрения Humphrey III (США-Германия) и нестандартную периметрию в виде разработанной на кафедре офтальмологии ВМедА авторской модификации метода FDT-периметрии *(рис. 1)* и ее усовершенствованной программной версии — FDT VR-версии на базе экспериментальной модели портативного автоматического периметра Stimulus *(рис. 2)*.

Всем пациентам выполняли морфометрическую оценку ДЗН не только при помощи стереоофтальмоскопии, но и с применением Гейдельбергской ретинотомографии (HRT 3).

Для обработки данных в исследовании использовали статистические методы оценки результатов, основанные на одномерной описательной статистике и корреляционном анализе. Математико-статистическая обработка данных исследования осуществлена с помощью модулей «Анализ данных» и «Мастер диаграмм» табличного редактора Excel, а также модулей Basic Statistics / Tables (Базовые статистики и таблицы) и ANOVA (дисперсионный анализ) пакета программ по статистической обработке данных Statistica for Windows. Оценку степени влияния качественного фактора выполняли с помощью однофакторного дисперсионного анализа с представлением этих данных в табличном и графическом виде с указанием 95% доверительных интервалов [24].



А Б

Рис. 3. Представлено 16 сравниваемых участков ЦПЗ (10°×10°) и их соответствие при исследовании с помощью FDT-периметрии (А) и на периметре HFA III (Б).

Fig. 3. Representation of 16 comparison areas of central visual field (10×10°) and how they correspond between FDT (A) and HFA III perimetry data (Б).

Результаты и обсуждение

В открытом сравнительном исследовании изучена и оценена диагностическая эффективность 2 методов компьютерной периметрии:

• САП в виде периметрии по Humphrey (пороговая программа 24-2);

• нестандартная периметрия в виде двух программных версий FDT-периметрии:

1. авторская модификация FDT-периметрии, разработанная на кафедре офтальмологии академии для электронно-лучевых мониторов [25–27];

2. усовершенствованная сотрудниками ООО «Тотал Вижен» FDT VR-версия на базе портативного периметра Stimulus.

Для получения корректных результатов при сравнительной оценке уровня светочувствительности сетчатки, исследуемого двумя различными методами периметрии, ЦПЗ, тестируемое на периметре HFA III было условно разделено на участки, соответствовавшие по площади и локализации 16 квадратам поля зрения, исследуемого FDT-периметрией в обеих программных версиях — для электронно-лучевого и жидкокристаллического монитора. В итоге сравнивали количество и локализацию квадратов со скотомами, говоря иными словами, количество квадратов в ЦПЗ, пораженных глаукомой и выявленных каждым из сравниваемых между собой методом периметрии, а также частоту совпадений их по локализации в ЦПЗ *(рис. 3)*. При наличии даже одной скотомы в выделенном квадрате относили данный квадрат к числу пораженных глаукомой.

Для расчета чувствительности и специфичности результатов используемых в исследовании методов компьютерной периметрии применили метод дискриминантного анализа. Уровни чувствительности и специфичности определяли, используя следующие критерии:

1) значения глобальных индексов (MD для HFA и авторской модификации FDT-периметрии);

2) уровни средней светочувствительности по всему тестируемому ЦПЗ для авторской FDT-периметрии и FDT VR-версии на базе портативного периметра.

Как видно из *табл. 3*, диагностическая эффективность обеих программных версий FDT-периметрии по уровню чувствительности результатов не уступает периметрии по Humphrey, а по уровню специфичности превосходит.

Таблица 3. **Уровни чувствительности и специфичности результатов компьютерной периметрии.**

Table 3. ***Sensitivity and specificity of the results of computerized perimetry.***

Критерий оценки эффективности стратегии компьютерной периметрии ***Criteria for evaluating the effectiveness of the computerized perimetry strategy***	**24-2 HFA II**	**Авторская FDT** ***Authors' FDT***	**FDT VR-версия** ***FDT VR version***
Индекс MD Средний уровень светочувствительности *Mean deviation of light sensitivity*	Уровень чувствительности (%) *Sensitivity level (%)*		
	86,7	87,8	–
	–	87,9	87,6
Индекс MD Средний уровень светочувствительности *Mean deviation of light sensitivity*	Уровень специфичности (%) *Specificity level (%)*		
	84,4	98,1	–
	–	98,1	98,2

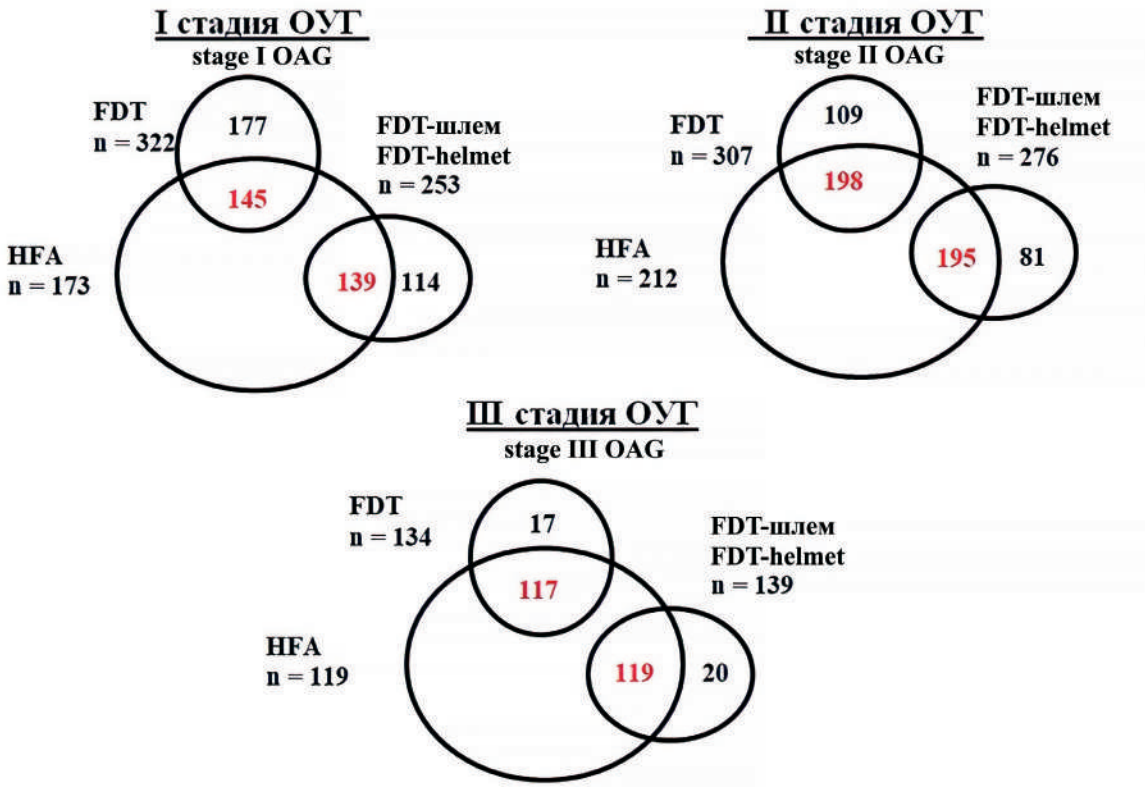


Рис. 4. Частота положительных результатов каждого из сравниваемых методов периметрии у больных ПОУГ и их совпадений (обозначено красным цветом) с данными периметрии по Humphrey, где n — число квадратов (размерами 10×10°) со скотомами.

Fig. 4. Frequency of positive results in each of the compared methods of perimetry in POAG patients and their coincidence (indicated in red) with Humphrey perimetry data, n — the number of squares (10×10°) with scotomas.

При оценке частоты подтверждения диагноза глаукомы в зависимости от стадии заболевания в основной (73 глаза) группе испытуемых мы выявили одинаковую чувствительность в определении I стадии ПОУГ обеих версий FDT-периметрии (76,9%), а метод периметрии по Humphrey оказался менее чувствительным (64,1%). У пациентов со II стадией ПОУГ частота подтверждения диагноза заметно повысилась как с помощью обоих вариантов FDT-периметрии (92%), так и при периметрии по Humphrey (76%). У больных с III стадией ПОУГ диагноз глаукомы подтверждали в 100% случаев по результатам всех (авторская версия FDT-периметрии, ее FDT VR-версия и периметрия по Humphrey) методов компьютерной периметрии.

Для диагностики глаукомы, особенно в начальной стадии международными экспертами рекомендуется использовать несколько методов статической компьютерной периметрии [1]. Наши данные подтверждают эту важную рекомендацию *(рис. 4)*.

По результатам нашего исследования *(рис. 4)*, у больных с I стадией ПОУГ наибольшее количество положительных ответов получено при авторской версии FDT-периметрии (322 квадратов со скотомами) и с помощью FDT VR-версии на базе шлем-периметра (253 квадратов со скотомами), что превышало аналогичный показатель периметрии по Humphrey (173 квадратов со скотомами).

Temp. 4	Sup. 2	Sup. 1	Nas. 4
Temp. 3	Cen. 3	Cen. 2	Nas. 3
Temp. 2	Cen. 4	Cen. 1	Nas. 2
Temp. 1	Inf. 2	Inf. 1	Nas. 1

Рис. 5. Условное обозначение 16 квадратов ЦПЗ (10°×10°), исследуемых при FDT-периметрии.

Fig. 5. Designation of 16 central visual field squares (10°×10°) studied with FDT perimetry.

Для более детальной оценки результатов двух программных версий FDT-периметрии мы провели сравнительный анализ значений средней свето-

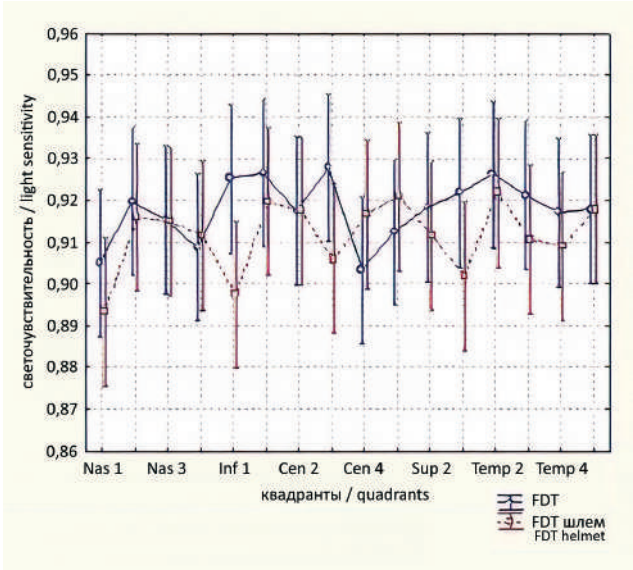


Рис. 6. Сравнение средних значений светочувствительности в 16 тестируемых квадратах ЦПЗ по данным двух программных версий FDT-периметрии: авторской модификации и на базе портативного периметра в группе здоровых лиц.

Fig. 6. Comparison of the average values of light sensitivity in 16 tested squares of central visual field in the group of healthy individuals according to the data from two software versions of FDT perimetry: the author's modification and the VR version utilizing the portable perimeter.

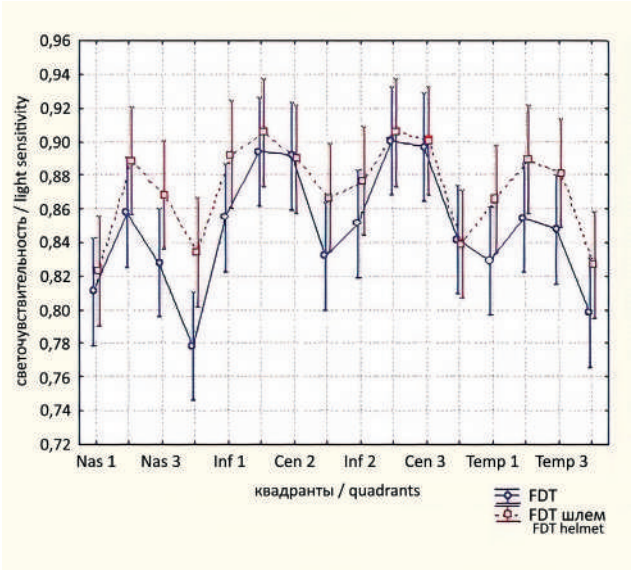


Рис. 7. Сравнение средних значений светочувствительности в 16 тестируемых квадратах ЦПЗ по данным двух программных версий FDT-периметрии: авторской модификации и на базе портативного периметра у больных с I стадией ПОУГ.

Fig. 7. Comparison of the average values of light sensitivity in 16 tested squares of central visual field in patients with stage I POAG according to the data from two software versions of FDT perimetry: the author's modification and the VR version utilizing the portable perimeter.

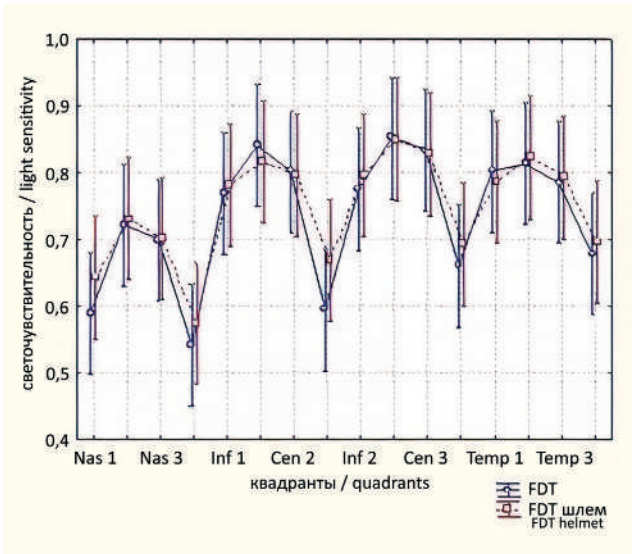


Рис. 8. Сравнение средних значений светочувствительности в 16 тестируемых квадратах ЦПЗ по данным двух программных версий FDT-периметрии: авторской модификации и на базе портативного периметра у больных со II стадией ПОУГ.

Fig. 8. Comparison of the average values of light sensitivity in 16 tested squares of central visual field in patients with stage II POAG according to the data from two software versions of FDT perimetry: the author's modification and the VR version utilizing the portable perimeter.

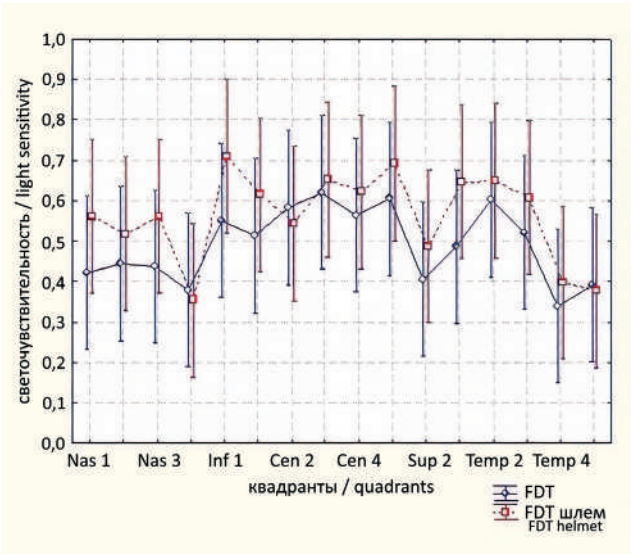


Рис. 9. Сравнение средних значений светочувствительности в 16 тестируемых квадратах ЦПЗ по данным двух программных версий FDT-периметрии: авторской модификации и на базе портативного периметра у больных с III стадией ПОУГ

Fig. 9. Comparison of the average values of light sensitivity in 16 tested squares of central visual field in patients with stage III POAG according to the data from two software versions of FDT perimetry: the author's modification and the VR version utilizing the portable perimeter.

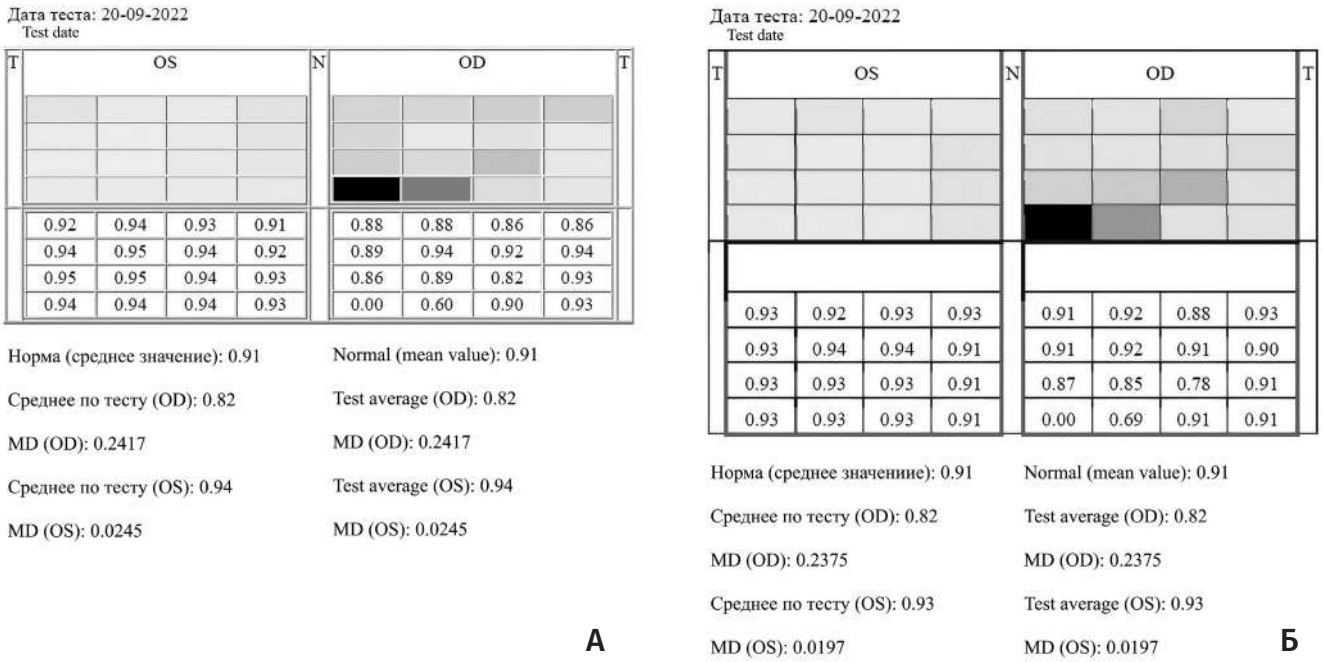


Рис. 10. Результаты исследования больного К. ПОУГ I стадии правого глаза (левый глаз здоров) по данным авторской модификации FDT-периметрии (А) и усовершенствованной FDT VR-версии на базе портативного периметра (Б).

Fig. 10. Examination of patient K. with stage I POAG in the right eye (the left eye is healthy) using the author's modification of FDT perimetry (A), and the improved FDT VR utilizing the portable perimeter (Б).

чувствительности в 16 квадратах ЦПЗ и совпадения по локализации квадратов со скотомами при I, II и III стадиях ПОУГ. Для этого мы сравнивали уровень светочувствительности в одноименных квадратах поля зрения, выявленных с помощью двух программных версий FDT-периметрии *(рис. 5)*. Статистическую обработку данных выполняли с помощью дисперсионного анализа с определением степени значимости различий ($p \leq 0,05$).

Как видно на *рис. 6*, доверительный интервал средних значений светочувствительности у здоровых лиц перекрывается по всем квадратам, кроме Inf. 1, а различия в этих квадратах незначимые.

В группе больных с I стадией ПОУГ значимое различие выявили лишь в одном из 16 тестируемых квадратов ЦПЗ – Nas. 4 *(рис. 7)*. В группах пациентов с развитой и далеко зашедшей ПОУГ различия средних показателей светочувствительности по всем 16 квадратам ЦПЗ оказались незначимыми *(рис. 8, 9)*.

В качестве примера хорошего совпадения результатов двух программных версий FDT-периметрии на рис. 10 приводится одно из клинических наблюдений. Больному К., 55 лет, диагноз ПОУГ I стадии правого глаза (левый глаз интактный) был установлен при обследовании в отделении офтальмологии клинико-диагностической поликлиники ВМедА в 2021 году, рекомендованы инстилляции дорзаламида 2 раза в день в правый глаз. Гипотензивный режим пациент соблюдал.

В своем исследовании мы определяли наличие, характер и силу связи между морфометрическими и функциональными показателями ДЗН. В частности, корреляционная связь между средними значениями глобальных индексов (MD для HFA II и авторской FDT-периметрии) и размером экскавации ДЗН, которую оценивали как по данным стереоофтальмоскопии (соотношение Э/Д по Армали), так и результатам HRT 3 (Cup/Disk Area Ratio), у больных ПОУГ всех трех групп оказалась сильной ($r=0,99948$ и $r=0,83503$, соответственно) и во всех случаях статистически значимой ($p<0,05$).

В усовершенствованной программной VR-версии на базе портативного периметра расчет индекса MD пока окончательно не разработан. Поэтому для исследования структурно-функциональной связи в анализ включили средние значения светочувствительности по всему ЦПЗ и размера экскавации по данным HRT 3 (Cup/Disk Area Ratio), между которыми по результатам обеих версий FDT-периметрий обнаружена также положительная и во всех случаях сильная, практически функциональная корреляционная связь ($r=0,99950$ для авторской FDT-периметрии и $r=0,99962$ для усовершенствованной FDT VR-версии на базе портативного периметра; везде $p<0,05$).

Кроме того, корреляционная связь между средними значениями светочувствительности по всему ЦПЗ обеих версий FDT-периметрии была положительная и сильная ($r=0,99988$; $p<0,05$).

Выводы

1. Выполнено усовершенствование программной версии FDT-периметрии для жидкокристаллических мониторов и адаптация ее к отечественному портативному автоматическому периметру Stimulus.

2. По уровню чувствительности результатов усовершенствованная программная версия FDT-периметрии, адаптированная к отечественному портативному автоматическому периметру «Stimulus», и авторская модификация совпадают и не уступают международному стандарту — периметрии по Humphrey.

3. По уровню специфичности усовершенствованная программная версия FDT-периметрии, адаптированная к отечественному портативному автоматическому периметру Stimulus, и авторская модификация также совпадают и превосходят периметрию по Humphrey.

4. Выявленные высокая и достоверная корреляция между средними значениями светочувствительности центрального поля зрения, а также незначимые различия между ними позволяют после проведения этапа клинических испытаний и получения регистрационного удостоверения рекомендовать внедрение FDT-периметрии на базе портативного автоматического периметра Stimulus в широкую офтальмологическую практику с целью повышения эффективности скрининга и ранней диагностики глаукомы, что соответствует указаниям Правительства Российской Федерации по импортозамещению.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Симакова И.Л., Григорян Л.А.
Сбор и обработка материала: Сердюкова С.Г., Горбачева К.С., Григорян Л.А.
Статистическая обработка: Сердюкова С.Г.
Написание статьи: Симакова И.Л. Сердюкова С.А., Горбачева К.С.
Редактирование: Куликов А.Н., Симакова И.Л.

Литература

1. Weinreb R., Greve E., eds. Glaucoma diagnosis: structure and function: the 1th consensus report of the world glaucoma association. Amsterdam, the Netherlands: Kugler Publications; 2004; 162 p.
2. Волков В.В. О стандартах для оценки наличия, течения и лечения глаукомы по рекомендациям экспертов Международной ассоциации глаукомных обществ (часть 1). *Национальный журнал глаукома* 2012; 2:60-64.
3. Волков В.В. О стандартах для оценки наличия, течения и лечения глаукомы по рекомендациям экспертов Международной ассоциации глаукомных обществ (часть 2). *Национальный журнал глаукома* 2012; 3:48-52.
4. Волков В.В. Глаукома открытоугольная. М: Медицинское информационное агентство 2008; 347.
5. Симакова И.Л., Сухинин М.В., Сердюкова С.А. Эффективность различных методов компьютерной периметрии в диагностике первичной открытоугольной глаукомы (Часть 1). *Национальный журнал глаукома* 2016; 1:25-36.
6. Симакова И.Л., Сухинин М.В., Сердюкова С.А. Эффективность различных методов компьютерной периметрии в диагностике первичной открытоугольной глаукомы (Часть 2). *Национальный журнал глаукома* 2016; 15(2):44-53.
7. Сердюкова С.А., Симакова И.Л. Компьютерная периметрия в диагностике первичной открытоугольной глаукомы. *Офтальмологические ведомости* 2018; 1(11):63-74. https://doi.org/10.17816/OV11154-65
8. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. М: Мир 1990; 239.
9. Тихоновская И.А., Симакова И.Л. Нестандартная компьютерная периметрия в диагностике некоторых оптических нейропатий. *Офтальмологические ведомости* 2021; 1(14):75-87. https://doi.org/10.17816/OV60059
10. Liu S., Yu M., Weinreb R.N., Lai G., Lam D.S., Leung C.K. Frequency-Doubling Technology Perimetry for Detection of the Development of Visual Field Defects in Glaucoma Suspect Eyes. *JAMA Ophthalmology* 2014; 1(132):77-83. https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2013.5511.
11. Horn F.K., Scharch V., Mardin C.Y., Lämmer R., Kremers J. Comparison of frequency doubling and flicker defined form perimetry in early glaucoma. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol* 2016; 5(254):937-946. https://doi.org/10.1007/s00417-016-3286-1.
12. Morejon A., Mayo-Iscar A., Martin R., Ussa F. Development of a new algorithm based on FDT Matrix perimetry and SD-OCT to improve early glaucoma detection in primary care. *Clin Ophthalmol (Auckland, N.Z.)* 2019; 13:33-42.

References

1. Weinreb R., Greve E., eds. Glaucoma diagnosis: structure and function: the 1th consensus report of the world glaucoma association. Amsterdam, the Netherlands: Kugler Publications; 2004; 162 p.
2. Volkov V.V. On the standards for an assessment of existence, course and treatment of glaucoma according to recommendations of experts of the International association of glaucoma societies (part I). *National Journal glaucoma* 2012; 2:60-64.
3. Volkov V.V. On the standards for an assessment of existence, course and glaucoma treatment according to recommendations of experts of the International association of glaucoma societies (part 2). *National Journal glaucoma* 2012; 3:48-52.
4. Volkov V.V. Glaukoma otkrytougol´naya [Open-angle glaucoma]. Moscow, Medicinskoe informacionnoe agentstvo, 2008. 347 p.
5. Simakova I.L., Sukhinin M.V., Serdukova S.A. The effectiveness of various methods of computerized perimetry in primary open-angle glaucoma. Part 1. *National Journal glaucoma* 2016; 15(1):25-36.
6. 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.
7. Serdyukova S.A., Simakova I.L. Computer perimetry in the diagnosis of primary open-angle glaucoma. *Oftal'mologičeskie vedomosti* 2018; 11(1):54-65. https://doi.org/10.17816/OV11154-65
8. Khiubel D. Glaz, mozg, zrenie [Eye, brain, vision]. Moscow, Mir Publ., 1990. 239 p.
9. Tikhonovskaya I.A., Simakova I.L. Non-standard computer perimetry in the diagnosis of some optic neuropathies. *Oftal'mologičeskie vedomosti* 2021; 1(14):75-87. https://doi.org/10.17816/OV60059
10. Liu S., Yu M., Weinreb R.N., Lai G., Lam D.S., Leung C.K. Frequency-Doubling Technology Perimetry for Detection of the Development of Visual Field Defects in Glaucoma Suspect Eyes. *JAMA Ophthalmology* 2014; 1(132):77-83. https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2013.5511.
11. Horn F.K., Scharch V., Mardin C.Y., Lämmer R., Kremers J. Comparison of frequency doubling and flicker defined form perimetry in early glaucoma. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol* 2016; 5(254):937-946. https://doi.org/10.1007/s00417-016-3286-1.
12. Morejon A., Mayo-Iscar A., Martin R., Ussa F. Development of a new algorithm based on FDT Matrix perimetry and SD-OCT to improve early glaucoma detection in primary care. *Clin Ophthalmol (Auckland, N.Z.)* 2019; 13:33-42.

13. Бойко Э.В., Симакова И.Л., Кузьмичева О.В. Мечетин А.А., Целомудрый А.И., Филина Е.В. Высокотехнологичный скрининг на глаукому. *Военно-медицинский журнал* 2010; 331(2):23-26.
14. Симакова И.Л., Сердюкова С.А. Некоторые аспекты сравнительной характеристики разных методов компьютерной периметрии. *Офтальмологические ведомости* 2015; 8(2):5-9. https://doi.org/10.17816/OV201525-9
15. Симакова И.Л., Тихоновская И.А. Оценка эффективности периметрии с удвоением пространственной частоты в диагностике оптиконейропатий. *Национальный журнал глаукома* 2022; 21(1):23-35. https://doi.org/10.53432/2078-4104-2022-21-1-23-35
16. Nakanishi M., Wang Y., Jung T., Zao J. K., Chien Y.Y., Diniz-Filho A., Daga F.B., Lin Y.P., Wang Y., Medeiros F.A. Detecting glaucoma with a portable brain-computer interface for objective assessment of visual function loss. *JAMA Ophthalmol* 2017; 6(135):550-557.
17. Mees L., Upadhyaya S., Kumar P., Haran S., Rajasekar S., Friedman D.S., Venkatesh R. Validation of a head-mounted virtual reality visual field screening device. *Journal of Glaucoma* 2020; 2(29):86-91.
18. Nakai Y., Bessho K., Shono Y., Taoka K., Nakai Y. Comparison of imo and Humphrey field analyzer perimeters in glaucomatous eyes. *International Journal of Ophthalmol* 2021; 12(14):1882-1887. https://doi.org/10.18240/ijo.2021.12.11
19. Shetty, V., Sankhe P., Haldipurkar S.S., Haldipurkar T., Dhamankar R., Kashelkar P., Shah D., Mhatre P., Setia S. Diagnostic performance of the PalmScan VF2000 virtual reality visual field analyzer for identification and classification of glaucoma. *Journal of ophthalmic and vision research* 2021; 1(17):33-41. https://doi.org/10.18502/jovr.v17i1.10168
20. Еричев В.П., Ермолаев А.П., Григорян Г.Л. Антонов А.А., Котляр К., Мазурова Ю.В., Левицкий Ю.В., Хдери Х. Периметрия у ограниченно подвижных и лежачих пациентов при помощи портативного периметра на базе шлема виртуальной реальности. *Новости глаукомы* 2019; 1(49):56-57.
21. Еричев В.П., Ермолаев А.П., Антонов А.А., Григорян Г.Л., Котляр К., Левицкий Ю.В., Хдери Х., Мазурова Ю.В. Исследование светочувствительности сетчатки у пациентов с патологией центрального зрения с помощью портативного периметра, созданного на базе шлема виртуальной реальности. *Вестник офтальмологии* 2019; 135(3):46-54. https://doi.org/10.17116/oftalma201913503146
22. Григорян Л.А., Симакова И.Л., Куроедов А.В. Периметрия как методика с позиций практического офтальмолога. *Национальный журнал глаукома* 2021; 20(3):21-29. https://doi.org/10.53432/2078-4104-2021-20-3-21-29
23. Mills R., Budenz D., Lee P. Categorizing the stage of glaucoma from pre-diagnosis to end-stage disease. *Am J Ophthalmol* 2006; 141(1): 24-30. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2005.07.044.
24. Юнкеров В.И., Григорьев С.Г. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований. 2-е изд. СПб: ВМедА 2005; 292.
25. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В., Клавдиев В.Е. Создание метода периметрии с удвоенной пространственной частотой за рубежом и в России. *Национальный журнал глаукома* 2009; 2:15-21.
26. Симакова И.Л. Периметрия с удвоенной пространственной частотой как основа мониторинга диспансерного наблюдения больных с глаукомой. *Вестник Российской военно-медицинской академии* 2010; 3(31):67-70.
27. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В. Сравнение результатов разработанного метода периметрии с удвоенной пространственной частотой и оригинального метода FDT-периметрии. *Национальный журнал глаукома* 2010; 1:5-11.

13. Boiko E.V., Simakova I.L., Kuz'micheva O.V., Mechetin A.A., Tselomudryi A.I., Filina E.V. High-technological screening for glaucoma. *Voenno-meditsinskii zhurnal* 2010; 331(2):23-26.
14. Simakova I.L., Serdyukova S.A. Some aspects of the comparative characteristics of different computerized perimetry methods. *Ophthalmologičeskie vedomosti* 2015; 8(2):5-9. https://doi.org/10.17816/OV201525-9
15. Simakova I.L., Tikhonovskaya I.A. Evaluation of the effectiveness of frequency doubling technology perimetry in the diagnosis of optic neuropathies. *National Journal glaucoma* 2022; 21(1):23-35. https://doi.org/10.53432/2078-4104-2022-21-1-23-35
16. Nakanishi M., Wang Y., Jung T., Zao J. K., Chien Y.Y., Diniz-Filho A., Daga F.B., Lin Y.P., Wang Y., Medeiros F.A. Detecting glaucoma with a portable brain-computer interface for objective assessment of visual function loss. *JAMA Ophthalmol* 2017; 6(135):550-557.
17. Mees L., Upadhyaya S., Kumar P., Haran S., Rajasekar S., Friedman D.S., Venkatesh R. Validation of a head-mounted virtual reality visual field screening device. *Journal of Glaucoma* 2020; 2(29):86-91.
18. Nakai Y., Bessho K., Shono Y., Taoka K., Nakai Y. Comparison of imo and Humphrey field analyzer perimeters in glaucomatous eyes. *International Journal of Ophthalmol* 2021; 12(14):1882-1887. https://doi.org/10.18240/ijo.2021.12.11
19. Shetty, V., Sankhe P., Haldipurkar S.S., Haldipurkar T., Dhamankar R., Kashelkar P., Shah D., Mhatre P., Setia S. Diagnostic performance of the PalmScan VF2000 virtual reality visual field analyzer for identification and classification of glaucoma. *Journal of ophthalmic and vision research* 2021; 1(17):33-41. https://doi.org/10.18502/jovr.v17i1.10168
20. Erichev V.P., Ermolaev A.P., Grigoryan G.L., Antonov A.A., Kotliar K., Mazurova Yu.V., Levitskiy Yu.V., Hderi H. Perimetry in disabled patients with portative perimeter based on virtual reality helmet. *Glaucoma News* 2019; 1(49):56-57.
21. Erichev V.P., Ermolaev A.P., Antonov A.A., Grigoryan G.L., Kotliar K., Levitsky Yu.V., Hderi K., Mazurova Iu.V. Investigation of retinal photosensitivity in patients with central vision pathology using a portable perimeter based on a virtual reality helmet. *Bulletin of Ophthalmology* 2019; 135(3):46-54. https://doi.org/10.17116/oftalma20191350314
22. Grigoryan L.A., Simakova I.L., Kuroyedov A.V. Perimetry as a technique from the standpoint of practicing ophthalmologists. *National journal glaucoma* 2021; 20(3):21-29. https://doi.org/10.53432/2078-4104-2021-20-3-21-29
23. Mills R., Budenz D., Lee P. Categorizing the stage of glaucoma from pre-diagnosis to end-stage disease. *Am J Ophthalmol* 2006; 141(1): 24-30. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2005.07.044.
24. Yunkerov V.I., Grigoryev S.G. Matematiko-statisticheskaya obrabotka dannyh meditsinskih issledovanii [Mathematical and statistical processing of medical research data]. Saint Petersburg, Military Medical Academy, 2005. 292 p.
25. Simakova I.L., Volkov V.V., Boiko E.V. Creation of the method of frequency-doubling technology perimetry: an international and Russian experience. *National Journal glaucoma* 2009; 2:15-21.
26. Simakova I.L. Frequency doubling technology perimetry as the basis for regular monitoring of patientswith glaucoma. *Vestnik Rossiyskoi voenno-meditsinskoi akademii* 2010; 3(31):67-70.
27. 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. *National Journal glaucoma* 2010; 1:5-11.