

# Современные возможности функционального скрининга глаукомы (часть 1)

**СИМАКОВА И.Л.**, д.м.н., профессор кафедры офтальмологии<sup>1</sup>; <https://orcid.org/0000-0001-8389-0421>

**ГРИГОРЯН Л.А.**, заместитель генерального директора по развитию бизнеса и управлению инновациями<sup>2</sup>.  
<https://orcid.org/0000-0001-5610-4421>

**ГОРБАЧЕВА К.С.**, врач-офтальмолог<sup>3</sup>. <https://orcid.org/0009-0006-5356-1313>

<sup>1</sup>Кафедра офтальмологии ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Минобороны РФ, 194044, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Боткинская, 21;

<sup>2</sup>ООО «Тотал Вижен», 119234, Российская Федерация, Москва, муниципальный округ Раменки, ул. Ленинские горы, 1, стр. 77, 101а;

<sup>3</sup>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.

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

**Для цитирования:** Симакowa И.Л., Григорян Л.А., Горбачева К.С. Современные возможности функционального скрининга глаукомы (часть 1). *Национальный журнал глаукома*. 2023; 22(4):99-111.

## Резюме

В настоящее время для функционального скрининга глаукомы широко используются методы стандартной и нестандартной компьютерной периметрии с использованием стационарных приборов. В зарубежной литературе последних лет появилась информация о новых портативных устройствах, предназначенных для периметрии, преимуществами которых, помимо экономической доступности, являются автономность и мобильность, открывающие новые возможности их применения. К новым возможностям относятся также облачное хранение данных, использование технологий телемедицины, искусственного интеллекта, обследование пациентов с ограниченными возможностями, в том числе лежачих,

а также обследование вне медицинских учреждений. Все это позволит обеспечить глаукомных больных офтальмологической помощью во время их дистанцирования, в том числе социального, вследствие пандемии и карантина. Обзор литературы посвящен описанию новейших портативных устройств и приложений, предназначенных для периметрии, попытке их классифицировать по схожим параметрам, оценке преимуществ и недостатков, а также перспектив использования их для функционального скрининга глаукомы.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** глаукома, скрининг глаукомы, портативные устройства для периметрии, стандартная и нестандартная периметрия, FDT-периметрия.

## Для контактов:

**Симакowa Ирина Леонидовна**, e-mail: [irina.l.simakova@gmail.com](mailto:irina.l.simakova@gmail.com)

## LITERATURE REVIEW

## Modern possibilities of functional glaucoma screening (part 1)

**SIMAKOVA I.L.**, Dr. Sci. (Med.), Professor at the Academic Department of Ophthalmology<sup>1</sup>;  
<https://orcid.org/0000-0001-8389-0421>

**GRIGORYAN L.A.**, Deputy Chief Officer for Business Development and Innovation Management<sup>2</sup>;  
<https://orcid.org/0000-0001-5610-4421>

**GORBACHEVA K.S.**, ophthalmologist<sup>3</sup>. <https://orcid.org/0009-0006-5356-1313>

<sup>1</sup>S.M. Kirov Military Medical Academy, Academic Department of Ophthalmology, 21 Botkinskaya St., Saint Petersburg, Russian Federation, 194044;

<sup>2</sup>OOO Total Vizhen, 1-77 Leninskie gory St., ofc. 101a, Moscow, Russian Federation, 119234;

<sup>3</sup>OOO Inkerman, 20-1 litt. A at Dobroljubova pr., floor 1, room 1-H, part of room 1, Saint Petersburg, Russian Federation, 197198.

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

**Conflicts of Interest:** none declared.

**For citations:** Simakova I.L., Grigoryan L.A., Gorbacheva K.S. Modern possibilities of functional glaucoma screening (part 1). *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2023; 22(4):99-111.

## Abstract

Nowadays methods of standard and non-standard computerized perimetry using stationary devices are widely used in functional screening of glaucoma. The information about new portable devices for perimetry has appeared in foreign literature in recent years, describing such advantages as economic availability, autonomy and mobility, which open up new possibilities for their use. New possibilities include cloud storage of data, the use of telemedicine technologies, artificial intelligence, examination of patients with disabilities, including those who are bedridden, as well as examination outside of medical institutions. All of this can

allow glaucoma patients to receive ophthalmic care when in-person visits are unavailable, including social distancing needed during a pandemic or quarantine. This review of the literature describes the latest portable devices and applications for perimetry, attempts to classify them according to similar parameters, and assesses their advantages and disadvantages, as well as the prospects for their use in functional screening of glaucoma.

**KEYWORDS:** glaucoma, glaucoma screening, portable devices for perimetry, standard and non-standard perimetry, FDT-perimetry.

В нашей стране, как и во всем мире, глаукома является одной из главных причин слабости зрения и необратимой слепоты. Распространенность первичной инвалидности вследствие глаукомы выросла в девять раз, с 0,04 до 0,35 на 1 000 взрослого населения. Среди клинических форм глаукомы преобладает первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ). Поэтому у большей части инвалидов по зрению вследствие глаукомы была диагностирована именно ПОУГ (81%) [1].

Наиболее характерными признаками глаукомы являются специфическая атрофия диска зрительного нерва (ДЗН) в виде прогрессирующей экскавации, получившей название глаукомной оптико-нейропатии (ГОН). Функциональным проявлением ГОН являются нарушения светочувствительности в виде скотом, возникающих в характерной для глаукомы локализации центрального поля зрения (ЦПЗ). В настоящее время повышенный уровень

внутриглазного давления (ВГД) рассматривают не как абсолютный признак глаукомы, а как главный фактор риска в развитии этого заболевания. Поэтому в соответствии с международными стандартами ранняя диагностика глаукомы должна основываться, в первую очередь, на специфических для нее структурных и функциональных изменениях в состоянии ДЗН [1–5].

Опираясь на структурно-функциональный подход в диагностике глаукомы, В.В. Волков (2008) подчеркивал, что сложность заключается в решении вопроса о стадии заболевания, особенно в начале его развития [6]. Однако существующие сегодня импортные приборы для оценки структуры ДЗН, морфометрии его параметров сложны в эксплуатации и требуют достаточно высокой квалификации специалистов для трактовки результатов. Кроме того, индивидуальные морфологические показатели, в отличие от функциональных показателей,

в норме более вариабельны. Все это, включая также и весьма высокую стоимость этих приборов, препятствует широкому использованию их в нашей стране при массовых профилактических осмотрах населения на глаукому. В связи с этим для ранней диагностики глаукомы наиболее информативным и доступным является функциональный скрининг на основе современной компьютерной периметрии [6–8].

### Традиционная и нетрадиционная компьютерная периметрия

С 1857 г. методика периметрии прошла длинный путь эволюционного процесса от периметра Ферстера-Ауберта до современных высокотехнологичных компьютеризированных периметров. Современная компьютерная периметрия разделяется на традиционную — «белый стимул на белом фоне» — и нетрадиционную, отличающуюся, прежде всего, иной природой стимула. Традиционная компьютерная периметрия, выполненная с помощью периметров экспертного класса Humphrey (Humphrey Field Analyzer, HFA) и Octopus, благодаря высокой стандартизации световых и других параметров стимулов и фона, а также надежной базе данных нормы светочувствительности, называется стандартной автоматической или автоматизированной периметрией (САП). Кроме того, эти периметры считаются эталонными для обследования больных глаукомой [9, 10], так как в них реализованы стандарты, рекомендованные Международным периметрическим обществом в 1979 году: яркость поверхности полусферы, на которую проецируются стимулы, составляет 31,5 асб, яркость стимулов — в пределах 0,08–10000 асб, а их диаметр — от 1 до 5 мм (I–V), длительность предъявления стимулов — 0,2 с [11–14].

К сожалению, из-за высокой стоимости эти приборы малодоступны для широкой, особенно амбулаторной, офтальмологической практики нашей страны. Поэтому в течение двух последних десятилетий на российском рынке появилось множество экономически более доступных моделей компьютерных периметров. Из них только два производятся в России — это Перитест и Периком, остальные импортируются. Зарубежные компьютерные периметры обладают различными техническими характеристиками и диагностическими возможностями, что, конечно, не обеспечивает единообразия клинических оценок и сопоставимости данных. Для изучения этих вопросов на кафедре офтальмологии Военно-медицинской академии было выполнено диссертационное исследование по сравнительной характеристике некоторых методов компьютерной периметрии, опыт использования которых имеется в нашей стране, для диагностики и мониторинга глаукомы [14, 15].

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 [16]. В настоящее время, благодаря современным технологиям, получена достаточно подробная информация об их строении. Среди зрительных каналов выделяются два основных. Это вентральный тракт или парво-система — система нейронов, организованная мелкими клетками («midget cells») ганглиозного слоя сетчатки с малыми рецептивными полями. Она выделяет сигналы, имеющие высокие пространственные и низкие временные частоты, поэтому при анализе объекта обрабатывает информацию о его цвете и мелких деталях, т. е. отвечает за «объектное зрение».

Более древний с точки зрения эволюции зрительного анализатора дорсальный тракт или магно-система — система нейронов, организованная крупными ганглиозными клетками сетчатки («parasol cells») с большими рецептивными полями и толстыми аксонами. Выделяет низкие пространственные и высокие временные частоты, поэтому обеспечивает обработку информации о пространственных координатах объекта (его контуре, ориентации, движении), т. е. отвечает за «пространственное зрение» [17–19]. Известно, что магно-система объединяет всего 10% клеток от всего ганглиозного слоя сетчатки и состоит из более мелких, получивших название Мх-клеток, которые контролируют линейный компонент зрительного пути. Более крупные Му-клетки находятся в меньшинстве, составляя 15%...25% от популяции нейронов магно-системы, и осуществляют нелинейный путь передачи информации, отвечая за восприятие движения (мелькания) и смены контраста, и, как полагают, первыми страдают при глаукоме [20–22].

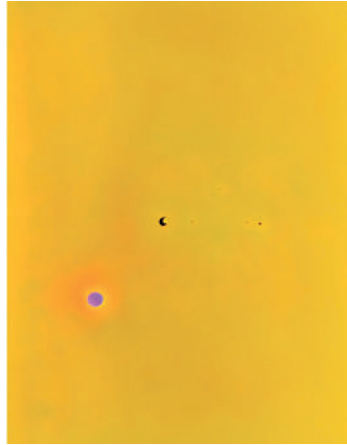
К настоящему времени известно гораздо больше типов субпопуляций ганглиозных клеток сетчатки. Например, кониоцеллюлярная система, которая образована малочисленными (около 5%), но крупными, подобно магно-системе, нейронами. По кониоцеллюлярному пути передается информация об оттенках синего и желтого цвета [18].

С.А. Johnson (2001), известный американский исследователь в области ранней диагностики глаукомы, отмечал, что назрела необходимость в создании таких высокочувствительных и специфических психофизических методов, которые могли бы выявлять не только поражение определенных субпопуляций ганглиозных клеток сетчатки в самом начале развития глаукомы, но и отличать «умирающие» клетки от «только что заболевших» [23]. В связи с этим с конца прошлого века и до настоящего времени для ранней диагностики глаукомы



**Рис. 1.** Коротковолновая автоматизированная или сине-желтая периметрия

**Fig. 1.** Short Wavelength Automated Perimetry or Blue-on-Yellow Perimetry

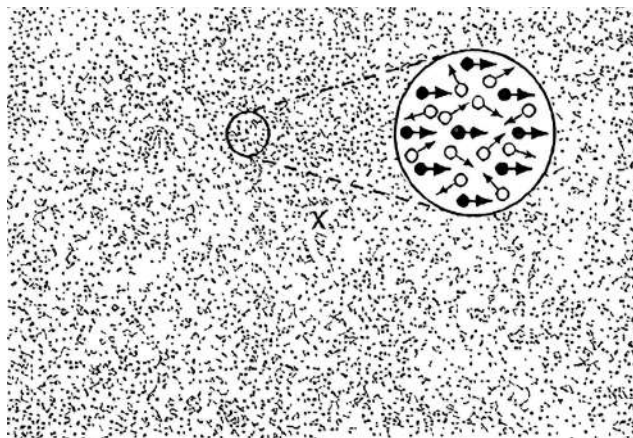


**Рис. 2.** Прибор 2-го поколения для выполнения FDT-периметрии — Humphrey Matrix 800 (Zeiss, США, Германия).

**Fig. 2.** The 2nd generation FDT-perimetry device — Humphrey Matrix 800 («Zeiss», USA, Germany)

разрабатываются методы нетрадиционной или нестандартной компьютерной периметрии [11, 12, 14]. Благодаря специфической природе стимулов эти методы имеют более высокую чувствительность, чем САП, что позволяет раньше выявлять изменения в ЦПЗ, характерные для глаукомы.

В 1978 г. был разработан первый метод нетрадиционной или нестандартной периметрии — Short Wavelength Automated Perimetry (SWAP), коротковолновая автоматизированная или сине-желтая периметрия (синий стимул на желтом фоне), которая выполняется на тех же приборах, что и САП (рис. 1). Полагали, что при глаукоме одной из первых страдает кониоцеллюлярная система, и поэтому сине-желтая периметрия способна выявлять самые ранние функциональные изменения в ЦПЗ. Но ожидания не оправдались, прежде всего, из-за



**Рис. 3.** Схема отображения стимулов при выполнении Motion-detection Perimetry.

**Fig. 3.** The stimulus display scheme during the Motion-detection Perimetry

высокой чувствительности стимула к нарушениям прозрачности хрусталика, что в значительной степени снижает специфичность результатов этого метода, а также их достоверность у пациентов с нередким сочетанием глаукомы и катаракты [24].

По данным зарубежной литературы последних 20 лет [25–28], наиболее распространенным функциональным скринингом на глаукому является периметрия с технологией удвоения частоты — Frequency Doubling Technology (FDT) Perimetry, или FDT-периметрия (рис. 2), которая позволяет исследовать магно-систему с помощью специфического стимула. По результатам FDT-периметрии у пациента с глаукомой оценивают степень нарушения зрительной иллюзии удвоения пространственной частоты, возникающей у человека в норме при условии контрфазного мелькания низкой пространственной частоты (менее 1 цикл/град) с высокой временной частотой (более 15 Гц).

Под руководством профессора В.В. Волкова на кафедре офтальмологии Военно-медицинской академии была разработана авторская модификация FDT-периметрии, которая, как показали диссертационные исследования, по уровню специфичности и меньшей вариабельности повторных исследований значительно превосходит, а по уровню чувствительности не уступает САП [15, 29, 30]. В.В. Волков полагал, что разработанная модификация FDT-периметрии реально претендует на роль эффективного, простого, быстро выполняемого и недорогого метода для проведения функционального скрининга глаукомы в нашей стране [6].

Для избирательной оценки магно-системы за рубежом также применяют Motion-detection Perimetry — периметрию, улавливающую движение (рис. 3), а с 2007 года Heidelberg Edge Perimeter — контурную периметрию (рис. 4), при которой, ана-





**Рис. 4.** Heidelberg Edge Perimeter (Heidelberg Engineering Company, Германия).

**Fig. 4.** Heidelberg Edge Perimeter («Heidelberg Engineering Company», Germany)

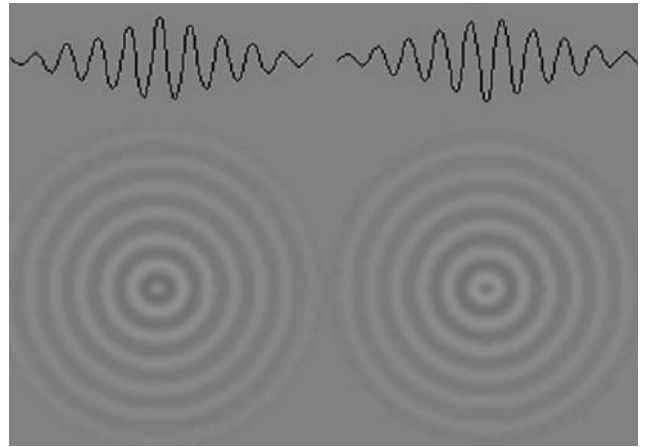
логично FDT-периметрии, используется стимул в виде зрительной иллюзии — серого контура по краю круга, создающегося мерцанием в противофазе фоновых изображений круга в виде черных и белых точек с временной частотой 15 Гц. Но этот метод для 10%...15% пациентов оказался очень сложным и поэтому невыполнимым, а у больных с глаукомой, к тому же, и весьма длительным — исследование одного глаза занимает 7–8 минут в зависимости от стадии заболевания.

Одной из последних разработок является мерцающий стимул в виде колец с разными уровнями контраста в противофазе в скрининговой программе Pulsar 600 модели Octopus (рис. 5).

В 2020 г. отечественной компанией «Тотал Вижен» (резидент фонда Сколково) при участии Российского глаукомного общества был организован и проведен онлайн-опрос среди врачей-офтальмологов, посвященный вопросам периметрии, по результатам которого была опубликована статья [31]. В частности, более 90% респондентов считали целесообразным внедрение в офтальмологическую практику новых методов нестандартной периметрии.

### Портативные устройства для исследования поля зрения при глаукоме

Современные стационарные приборы для выполнения как традиционной периметрии, включая САП, так и нетрадиционной, включая FDT-периметрию, помимо очевидных достоинств, имеют ряд ограничений для использования в целях функционального скрининга глаукомы. Прежде всего, это невозможность выполнения компьютерной периметрии у пациентов с ограниченными возможностями, в том числе лежащих, у больных, находящихся вне медицинских учреждений офтальмологического



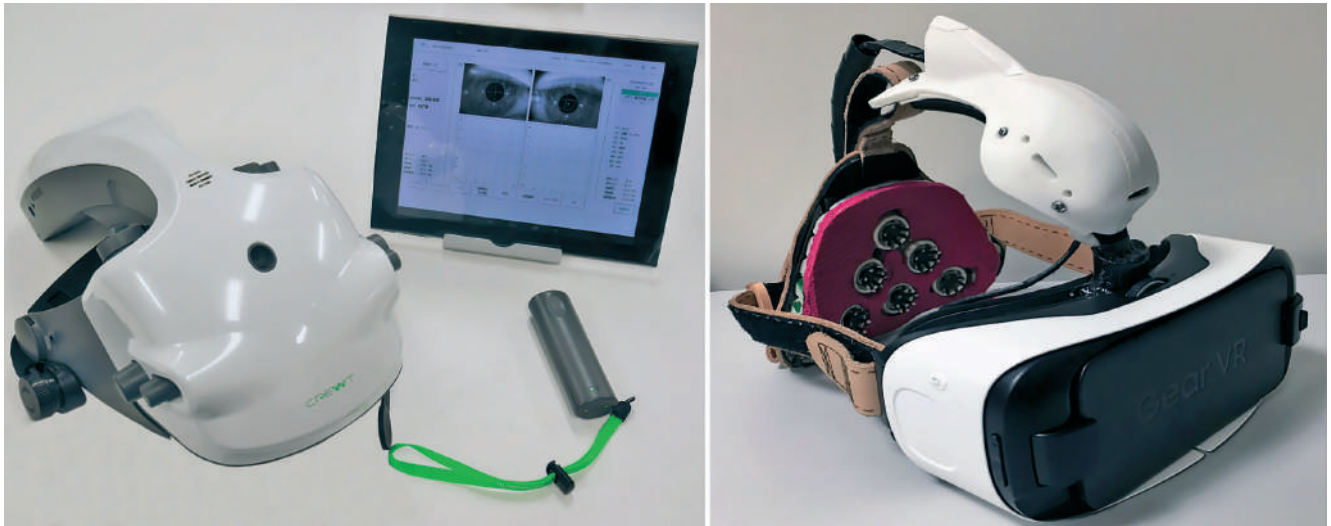
**Рис. 5.** Стимул программы Pulsar на периметре Octopus 600 («Haag Streit», Швейцария)

**Fig. 5.** The Pulsar program stimulus on the Octopus 600 perimeter («Haag Streit», Switzerland)

профиля, проживающих в отдаленных от специализированной медицинской помощи районах. Большой размер приборов, их высокая стоимость, значительная продолжительность исследования и необходимость в течение длительного времени пациенту находиться в вынужденной, не всегда удобной позе, сохраняя при этом внимание, создают определенные сложности для пожилых пациентов. Необходимость наличия специального затемненного помещения и обученного квалифицированного персонала являются ограничением в условиях проведения массовых профилактических осмотров населения с целью функционального скрининга глаукомы.

По данным упомянутого выше онлайн-опроса [31], целью которого было изучить потребности врачей-офтальмологов в отношении функциональных и эксплуатационных характеристик автоматических периметров и предложить возможное решение для удовлетворения этих потребностей, оказалось, что, исходя из повседневной практики, в арсенале врачей-офтальмологов необходимо иметь, как минимум один автоматический периметр, оснащенный скрининговой и пороговой стратегиями, причем с возможностью проведения как стандартной, так и нестандартной периметрии. Особыми пожеланиями практикующих офтальмологов были мобильность, портативность, автономность периметра, что исключает необходимость в специально подготовленном затемненном помещении и оборудованном рабочем месте и обеспечивает максимальную простоту в его использовании.

Этим требованиям в большой степени соответствуют портативные периметры. История их развития начинается с конца прошлого века. В 1998 году в США было запатентовано портативное устройство для исследования поля зрения, которое состояло из очков наподобие очков виртуальной реальности,



**Рис. 6.** Современные зарубежные портативные автоматические периметры: IMO (CREWT Medical Systems, Япония) и nGoggle (nGoggle Inc., США).

**Fig. 6.** Modern foreign portable automatic perimeters: IMO (CREWT Medical Systems, Japan) and nGoggle (nGoggle Inc., USA)

компьютера, принтера и мыши. Для каждого глаза в очках имелся отдельный плоский дисплей. Для фиксации взгляда в одних и тех же участках экранов отображалась специальная мишень в виде «муравья», что позволяло исследовать определенный квадрант поля зрения. Затем мишень смещали в нужную область и исследовали другой квадрант до тех пор, пока не были протестированы все участки поля зрения. Через заявленные в патенте очки представляли стимулы на плоскости, а не на полусфере, поэтому, по сути, это был не периметр, а кампиметр. В описании патента не указаны данные о яркости фона, яркости и размерах стимула, продолжительности его предъявления [32].

Разработки портативных периметров продолжались в разных странах, но устройств, которые могли бы применяться для функционального скрининга глаукомы, имея, прежде всего, результаты, сопоставимые с данными САП, до последнего времени предложено не было. Однако в настоящее время ситуация изменилась, и портативные периметры являются современным трендом периметрии. Так, уже несколько зарубежных компаний заявили о получении регистрационного удостоверения Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (Food and Drug Administration, FDA) на портативные периметры. Среди них:

- IMOVifa (Crewt Medical Systems, Inc, Япония);
- Heru Visual Field (Heru, Inc., США);
- I CARE M2S (Model: VROR) (M2S CO. LTD, Южная Корея);
- VF 2000 VR Visual Field Analyzer (Micro Medical Devices, Inc., США);
- ForeseeHome (Notal Vision, Израиль и США);

• C3 Field Analyzer (C3FA) (Remidio Innovative Solutions Inc, Индия и США);

• Vivid Vision Perimetry (Vivid Vision, США);

• Xenon-1 (Xenon Ophthalmics, США).

В настоящее время эти приборы имеют одобрение FDA, что свидетельствует о массовом признании авторитетным регулирующим органом портативных VR-периметров в качестве медицинских изделий. Надо признать, что это знаковое явление начала новой эры в периметрии. Это подтверждает и прогноз рынка автоматических периметров на 2022–2030 годы, в котором многие авторитетные агентства, в частности, Grand View Research (<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/automated-visual-field-analyzer-market-report>) уже официально упоминают портативные VR-периметры и новые методы периметрии аналогичные FDT-периметрии в качестве инструментов расширения рынка.

За последние 5 лет в зарубежной литературе появилось немало публикаций, посвященных портативным компьютерным (автоматическим) периметрам (рис. 6), предназначенным в основном для выполнения традиционной периметрии («белый стимул на белом фоне») [33, 34], но некоторые модели оснащены также и программой для выполнения FDT-периметрии. В частности, это модели MVP FDT (Bascom Palmer Eye Institute, США) и PalmScan VF2000 (Micro Medical Device, США), представленные на рис. 7 [35–37].

Преимуществами таких периметров по сравнению со стационарными компьютерными периметрами являются их портативность, мобильность, автономность, экономическая доступность. Для работы с ними не требуется затемненное



**Рис. 7.** Модели, оснащенные программой для выполнения FDT-периметрии: MVP FDT (Bascom Palmer Eye Institute, США) и PalmScan VF2000 (Micro Medical Devices, США).

**Fig. 7.** Models with a program for FDT-perimetry: MVP FDT (Bascom Palmer Eye Institute, USA) and PalmScan VF2000 (Micro Medical Devices, USA).

помещение, что дает возможность проводить периметрию у пациентов с ограниченными возможностями, находящихся вне медицинских учреждений, у детей, а также в условиях передвижных медицинских пунктов.

Конструкция современных портативных автоматических периметров открывает перед врачами-офтальмологами новые возможности. В частности, использование искусственного интеллекта для обработки результатов может оказать помощь врачу в принятии решения. Облачное хранение данных делает возможным использование телемедицины при необходимости в консультации более опытного специалиста. Кейс для хранения периметра может быть оснащен ультрафиолетовым облучателем для дезинфекции прибора.

Реализация этих преимуществ может способствовать повышению эффективности функционального скрининга глаукомы и, что очень важно, появится возможность обследовать пациентов с ограниченными возможностями, в том числе лежачих, также и вне медицинских учреждений, что особенно актуально в условиях пандемии и карантина.

В ходе изучения литературы найдена информация о более тридцати портативных устройствах и приложениях для исследования поля зрения, которые можно разделить на несколько групп по типу используемых систем визуализации:

1. приложения для телефонов, планшетов, ноутбуков и компьютеров (VisualFields Easy, Melbourne Rapid Field, Peristat, EyeCatcher, The Moorfields Motion Displacement Test) [38–42],

2. VR-очки с использованием держателей для смартфонов (или VR-очки по типу Cardboard) (Google Cardboard, nGoggle, GearVision, Toronto

Portable Perimeter, Glaucoma Easy Screener, Mobile Virtual Perimetry FDT, Trust EXOS 3D, Virtual Visual Fields) [35, 43–49],

3. программно-аппаратные комплексы на игровых VR-шлемах по типу VR-kit (полноценные VR-наборы, в которые входят шлемы, камеры и контроллеры) (re:Vive HERU, Oculus, VisuALL, Vivid Vision, ) [50–53],

4. программно-аппаратные комплексы на VR-шлемах, специально разработанных для выполнения периметрии (IMO, Advanced Vision Analyzer, PalmScan VF2000, nGoggle, GlauCUTU, The FOVE 0, STIMULUS, C3 Field Analyzer, VirtualEye, Smart System VR Headsets) [33, 34, 36, 37, 54–60] (рис. 6).

Существуют также приложения и игры, в которых имитируются реальные жизненные ситуации. С помощью них можно оценить влияние глаукомных изменений поля зрения на повседневную жизнь пациентов (например, CoGVFT, HTC Vive Pro Eye, Meteor Blaster) [61–63].

Следует отметить, что кроме перечисленных выше достоинств, новые разработки имеют и существенные особенности эксплуатации в качестве медицинских изделий. Первые три группы работают на системах визуализации, разработанных для совершенно других условий работы. В первую очередь, они не имеют нативных систем калибровки яркости и положения стимулов, что влечет неизбежные ошибки при определении местоположения и глубины дефектов в поле зрения. Этот факт либо не обсуждается в статьях, либо все же исследуется — тогда приводятся способы уменьшения этих ошибок. Так, в статье, посвященной тестированию приложения MRF, сообщается, о рабочем диапазоне 31 дБ для iPad 3, максимальная яркость



которого составляла 318 кд/м<sup>2</sup>. Там же указано, что в другом исследовании с использованием аналогичного планшета iPad 3 максимальная яркость была 428 кд/м<sup>2</sup> [68]. Такое значительное различие в яркости безусловно влияет на результат тестирования. Кроме того, эти устройства были разработаны для индивидуального использования, что в свою очередь является причиной низкой вандалоустойчивости и ограниченных возможностей дезинфекции. Этот факт нельзя недооценивать, памятуя о требованиях в период пандемии. Второй группе присуще еще одно неудобство — небольшое время автономной работы. Поскольку значительная часть нагрузки лежит на процессоре смартфона, время его автономной работы резко сокращается.

Вполне понятно, что большая часть известных периметров нового поколения принадлежит к первым трем группам. Разработка конструктива системы визуализации с заданными довольно жесткими параметрами требует намного большего времени и средств, чем разработка самого изолированного программного обеспечения для периметрии. Производители четвертой группы портативных устройств, понимая эти проблемы, постарались их решить, но каждый на свой лад. Если говорить о профессиональных медицинских изделиях, на точность и надежность которых может полагаться медицинское сообщество, то это именно периметры четвертой группы.

### Приложения для телефонов, планшетов, ноутбуков и компьютеров

Приложения, разработанные для исследования поля зрения, можно установить на телефон, планшет, ноутбук или компьютер, либо использовать онлайн через интернет. Подобная доступность является их неоспоримым преимуществом. Суть исследования аналогична традиционной периметрии и заключается в том, что на экране устройства отображаются точка фиксации и стимулы разной интенсивности. Когда испытуемый заметил стимул, он либо дотрагивается до экрана, либо нажимает на кнопку мыши или клавиатуры. По окончании исследования на экран выводится протокол результата. С формальной точки зрения у этих приложений имеется ряд существенных недостатков. Так, параметры стимула и фона непредсказуемо отличаются от таковых у САП. Но главным недостатком приложений является сложность калибровки. Возможна калибровка яркости экрана с помощью фотометра, который придется приобрести дополнительно. Это существенно увеличит затраты и усложнит эксплуатацию. Подобную процедуру калибровки экрана придется проводить довольно часто, поскольку нет информации о стабильности параметров используемого оборудования в процессе эксплуатации.

Наиболее исследованными независимыми экспертами приложениями являются: Visual Fields Easy (VFE) и Melbourne Rapid Field (MRF). Поэтому рассмотрим их подробнее.

Приложение VFE для iPad было разработано американской компанией George Kong Software в 2012 году для скрининга глаукомы. Его можно бесплатно скачать из магазина приложений для планшета. Тест VFE оценивает 96 точек (24 на каждый квадрант поля зрения) в пределах 30° от точки фиксации в среднем в течение 3 мин. Расстояние до экрана во время исследования составляет 33 см, яркость фона — 10 кд/м<sup>2</sup> (31,4 асб), а стимул размером V по Гольдману представлен с относительной яркостью 16 дБ. Во время теста пациенты используют свою пресбиопическую коррекцию [38, 64]. В начале исследования в левом нижнем углу отображается красная точка фиксации. Стимулы предъявляются в течение 0,2 с, интервал составляет примерно 1 с. Пациент касается экрана iPad каждый раз, когда замечает предъявляемый стимул. После оценки первого квадранта точка фиксации перемещается в нижний правый угол для оценки другого квадранта ЦПЗ, взор пациента снова фиксируется на ней. Так исследуются все четыре квадранта. Результаты исследования можно распечатать или отправить по электронной почте с iPad через Wi-Fi.

C.A. Johnson et al. (2017) оценили точность и эффективность приложения VFE с помощью iPad 2. В исследование на базе Tilganga Institute of Ophthalmology (Катманду, Непал) было включено 411 глаз (206 участников), из которых 210 глаз были здоровы, в 183 глазах была глаукома и в 18 — диабетическая ретинопатия. Полученные результаты сопоставляли с исследованиями на периметре HFA, выполненными на 373 глазах из 411 (198 здоровых, 160 с глаукомой, 15 с диабетической ретинопатией). Возраст всех испытуемых был старше 40 лет. Средняя продолжительность исследования с помощью VFE составила 3 минуты 18 секунд. У пациентов с начальной стадией глаукомы не удалось получить высокую корреляцию результатов периметрии с помощью HFA и VFE, однако, удалось выявить большинство изменений полей зрения при более поздних стадиях глаукомы. Авторы объясняют это большим количеством ложноположительных ответов, которые могут возникать из-за того, что пропущенные стимулы не предъявляются повторно для подтверждения [38]. Кроме того, этими авторами описан ряд недостатков исследования с помощью VFE: не осуществляется контроль положения глаз и головы, а также фиксации взора во время тестирования; тест включает большое количество точек (96), и вообще не ясно, нужны ли все эти точки для выполнения исследования, средняя продолжительность которого для каждого глаза (3 минуты 18 секунд) больше, чем других скрининговых тестов, например, FDT-периметрии



(30–60 секунд на каждый глаз). Кроме того, пациенту необходимо касаться экрана дисплея, когда виден стимул, что может снизить качество изображения из-за пятен на экране от прикосновений.

В литературе представлены данные еще нескольких исследований, но количество включенных в них участников было значительно меньше. Так, S.A. Santos и E.S. Morabe (2016) сравнили результаты периметрии, выполненной с помощью периметра HFA и приложения VFE, загруженного на iPad 2 (версия 8.3). В исследование были включены 137 глаз 77 человек — здоровых и больных глаукомой. Авторы оценивали чувствительность и специфичность полученных данных, которые составили 91% и 100%, соответственно [65].

P. Ichhpujani et al. (2020) также оценили чувствительность и специфичность периметрии с помощью приложения VFE на iPad (версия 8) в сравнении с периметром HFA. В исследование было включено 210 глаз 210 пациентов (60 здоровых, 150 с глаукомой), из которых было 100 женщин (47,6%) и 110 мужчин (52,4%), средний возраст  $56,6 \pm 10,67$  лет. При начальной, развитой и далеко зашедшей глаукоме чувствительность результатов VFE составила 77,8, 90 и 97%, соответственно, а специфичность — 52,6, 48 и 70%, соответственно. Авторы считают, что приложение VFE на данный момент не может применяться в качестве инструмента для массового скрининга глаукомы и не заменяет периметрию с помощью HFA из-за низкой чувствительности при начальной глаукоме и низкого уровня специфичности своих результатов [66].

Таким образом, из-за низких показателей чувствительности и специфичности, особенно на ранних стадиях глаукомы, приложение VFE не может заменить САП и помочь в проведении функционального скрининга глаукомы.

В 2016 году австралийской компанией Glance optical было разработано приложение MRF для iPad (поколения 3, 4, Air 2, iPad Pro), ноутбуков и стационарных компьютеров, которое имеет следующие варианты исследования: полный пороговый тест (66 точек,  $30^\circ \times 20^\circ$ ), подходящий для выявления изменений поля зрения у пациентов с глаукомой; центральный тест (40 точек,  $17^\circ \times 12^\circ$ ) подходит для пациентов с развитой и далекозашедшей стадией глаукомы; макулярный тест (20 точек,  $6^\circ \times 6^\circ$ ) подходит для оценки терминальной стадии глаукомы. Исследование выполняется на расстоянии 33 см, яркость фона составляет 5 кд/м<sup>2</sup> (15,7 асб), рабочий диапазон относительной яркости стимулов — от 0 до 31 дБ, а их размеры увеличиваются по мере отдаления от центра, чтобы компенсировать отображение на плоском экране (более точное описание авторами не представлено). Длительность предъявления стимула составляет 0,3 с, затем следует задержка 0,7–1,1 с, во время которой принимается ответ пациента. Время предъявления

стимула отличается от САП, так как учитывается время движения руки до экрана либо клавиатуры, чтобы отметить замеченный стимул [68].

M.A. Chia et al. (2021) из Австралии оценили возможности MRF для исследования поля зрения в сельской местности. В исследование было включено 252 глаза 142 человек. Всем участникам выполнялась периметрия с помощью MRF на iPad и периметрия на приборах HFA либо Ostorus. Основными исследуемыми показателями были уровни чувствительности и специфичности. Средняя продолжительность теста MRF составила 1,88 минуты по сравнению с 5,92 минутами для эталонных тестов САП. MRF позволил выявить умеренные дефекты поля с чувствительностью и специфичностью 88,4% и 81,0%, соответственно [69].

В аналогичном исследовании A.M. Schulz et al. (2017), продолжавшемся в течение 6 месяцев, участвовали 60 пациентов с глаукомой (17 с препериметрической и 43 с дефектами поля зрения) и 25 здоровых испытуемых. Оценивали индексы MD и PSD, средние пороговые значения светочувствительности. Глобальные индексы показали высокую корреляцию между результатами MRF и HFA (MD:  $r=0,80$ ; PSD:  $r=0,77$ ; VFI:  $r=0,85$ ; везде  $p<0,0001$ ). Но, несмотря на эти данные, с помощью MRF определили всего 72% дефектов поля зрения, выявленных при использовании HFA [70].

S.M. Prea et al. (2018) провели мультицентровое исследование, в котором сравнивали повторяемость результатов MRF и HFA в течение 6 месяцев (3 визита каждые 2 месяца). В исследование были включены 60 пациентов из 2 клинических центров: 39 человек из Кембриджа (Великобритания) в возрасте 37–89 лет и 21 человек из Нью-Дели (Индия) в возрасте 15–59 лет. Из них 3 испытуемых не имели изменений поля зрения и зрительного нерва, у 51 испытуемого был диагноз глаукомы и у 6 испытуемых — подозрение на глаукому с незначительными изменениями зрительного нерва и поля зрения. При каждом посещении выполнялась периметрия с помощью HFA (24-2 SITA-Fast и SITA-Standard) и MRF с использованием iPad 3. По результатам исследований MRF была аналогична SITA-Fast по скорости и значительно быстрее, чем SITA-Standard ( $4,6 \pm 0,1$ ;  $4,3 \pm 0,2$  и  $6,2 \pm 0,1$  минут, соответственно). Повторяемость результатов MRF была стабильной [71].

H. Kumar и M. Thulasidas (2020) провели сравнительное исследование результатов периметрии пациентов с глаукомой с помощью MRF на iPad и периметра HFA. В исследование были включены 28 глаз 28 пациентов с глаукомой. По сравнению с HFA средний показатель MD был значительно ниже для MRF со средней разницей  $3,09 \pm 3,28$  дБ, а среднее значение PSD было значительно выше со средней разницей  $1,40 \pm 2,15$  дБ, что, вероятно, связано с различием в количестве, размере, местопо-

ложении и продолжительности стимулов, используемых в MRF. Кроме того, байесовский метод, используемый в MRF, отличается от метода в HFA: при исследовании с помощью HFA оценивается светочувствительность в каждой точке поля зрения, а в MRF порог постоянен во всех 66 точках (30 дБ). Разница в исходных нормальных пороговых значениях с поправкой на возраст может быть еще одной причиной более низкого MD. В исследовании MRF выявило значительно меньшее количество точек

с отклонением светочувствительности  $p < 5\%$ , чем HFA, что указывает на возможность недооценки глаукомных дефектов и пропуска ранних случаев глаукомы [72].

В целом приложения VFE и MRF признают перспективными тестами для функционального скрининга глаукомы на основе планшетов и компьютеров, но, безусловно, эти портативные устройства требуют доработки функционала и более масштабных исследований.

## Литература

1. Клинические рекомендации. Глаукома первичная открытоугольная. Утверждены Минздравом РФ, 2020. 62 с.
2. Weinreb R.N., Greve E.L., editors. Glaucoma diagnosis: structure and function. The Netherlands (Hague): Kugler Publications; 2004. 162 p.
3. 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.
4. 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.
5. Егоров Е.А., Еричев В.П., редакторы. Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей. 4е изд. М: ГЭОТАР-Медиа 2019; 384.
6. Волков В.В. Глаукома открытоугольная. Москва: Медицинское информационное агенство 2008; 347.
7. 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; 15(1):25-36.
8. Симакова И.Л., Сухинин М.В., Соболев А.Ф., Сердюкова С.А. Эффективность различных методов компьютерной периметрии в диагностике первичной открытоугольной глаукомы (часть 2). *Национальный журнал глаукома* 2016; 15(2):44-52.
9. Егоров Е.А., Астахов Ю.С., Щуко А.Г., редакторы. Национальное руководство по глаукоме (путеводитель) для поликлинических врачей. Москва: ГЭОТАР-Медиа 2008; 135 с.
10. European Glaucoma Society. Terminology and guidelines for glaucoma. 5th ed. Italy (Savona): PubliComm; 2020. 170 p.
11. Курышева Н.И. Периметрия в диагностике глаукомной оптической нейропатии. М: ГРИНЛАЙТ 2015; 84.
12. Еричев В.П., Антонов А.А. Клиническая периметрия в диагностике и мониторинге глаукомы. М: Апрель 2016; 89.
13. Nouri-Mahdavi K. Selecting visual field tests and assessing visual field deterioration in glaucoma. *Can J Ophthalmol* 2014; 49(6):497-505. <https://doi.org/10.1016/j.jcjo.2014.10.002>.
14. 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>.
15. Симакова И.Л., Сердюкова С.А. Некоторые аспекты сравнительной характеристики разных методов компьютерной периметрии. *Офтальмологические ведомости* 2015; 2(8):5-9.
16. Campbell F.W., Green D.G. Optical and retinal factors affecting visual resolution. *J Physiol* 1965; 181(3):576-593. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1965.sp007784>.
17. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. М: Мир 1990; 239 с.
18. Вит В.В. Строение зрительной системы человека. Одесса: Астропринт 2003; 664.
19. Nealy T.A., Maunsell J.H. Magnocellular and parvocellular contributions to the responses of neurons in macaque striate cortex. *J Neurosci* 1994; 14(4):2069-2079. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.14-04-02069.1994>.

## References

1. Clinical recommendations. Primary open-angle glaucoma. Approved by the Ministry of Health of the Russian Federation, 2020; 62 p.
2. Weinreb R.N., Greve E.L., editors. Glaucoma diagnosis: structure and function. The Netherlands (Hague): Kugler Publications; 2004. 162 p.
3. 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.
4. 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. (In Russ.)
5. Egorov E.A., Elichev V.P., editors. Nacional'noe rukovodstvo po glaukome dlja praktikujushih vrachej. 4e izd. [National guideline for glaucoma for medical practitioners. 4th edition]. Moscow, GEOTAR-Media, 2019. 384 p.
6. Volkov V.V. Glaukoma otkrytougol'naya [Open-angle glaucoma]. Moscow, Medical information agency, 2008. 347 p.
7. 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.
8. 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):44-52. (In Russ.)
9. Egorov E.A., Astahov Yu.S., Shhuko A.G., editors. Nacional'noe rukovodstvo po glaukome (putevoditel') dlja poliklinicheskikh vrachej [National guide to glaucoma (guidebook) for outpatient clinics]. Moscow, GEOTAR-Media, 2008. 135 p.
10. European Glaucoma Society. Terminology and guidelines for glaucoma. 5th ed. Italy (Savona): PubliComm; 2020. 170 p.
11. Kuryshcheva N.I. Perimetriya v diagnostike glaukomnoy opticheskoy nejropatii [Perimetry in the diagnosis of glaucomatous optic neuropathy]. Moscow, GRINLAYT, 2015. 84 p.
12. Elichev V.P., Antonov A.A. Klinicheskaja perimetrija v diagnostike i monitoringe glaukomy [Clinical perimetry in the diagnosis and monitoring of glaucoma]. Moscow: Aprel Publ., 2016. 89 p.
13. Nouri-Mahdavi K. Selecting visual field tests and assessing visual field deterioration in glaucoma. *Can J Ophthalmol* 2014; 49(6):497-505. <https://doi.org/10.1016/j.jcjo.2014.10.002>.
14. Serdukova S.A., Simakova I.L. Computer perimetry in the diagnosis of primary open-angle glaucoma. *Oftalmologičeskie vedomosti* 2018; 1(11):63-74. <https://doi.org/10.17816/OV11154-65>.
15. Simakova I.L., Serdukova S.A. Some aspects of the comparative characteristics of different computerized perimetry methods. *Oftalmologičeskie vedomosti* 2015; 2(8):5-9.
16. Campbell F.W., Green D.G. Optical and retinal factors affecting visual resolution. *J Physiol* 1965; 181(3):576-593. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1965.sp007784>.
17. H'jubil D. Glaz, mozg, zrenie [Eye, brain, vision]. Moscow, Mir Publ., 1990. 239 p.
18. Vit V.V. Stroenie zritel'noi sistemy cheloveka [The structure of the human visual system]. Odessa, Astroprint, 2003. 664 p.
19. Nealy T.A., Maunsell J.H. Magnocellular and parvocellular contributions to the responses of neurons in macaque striate cortex. *J Neurosci* 1994; 14(4):2069-2079. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.14-04-02069.1994>.

20. Quigley H.A., Sanchez R.M., Dunkelburger G.R. Chronic glaucoma selectively damages large optic nerve fibers. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1987; 28(6):913-920. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(88\)33176-3](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(88)33176-3).
21. Maddess T., Henry J. Performance of nonlinear visual units in ocular hypertension and glaucoma. *Clin Vision Sci* 1992; 7(5):371-383.
22. Pammer K., Wheatley C. Isolating the M(y)-cell response in dyslexia using the spatial frequency doubling illusion. *Vision Res* 2001; 41(3):2139-2147. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00092-x](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00092-x).
23. Johnson C.A. Psychophysical measurement of glaucomatous damage. *Surv Ophthalmol*. 2001; 45(3):313-318. [https://doi.org/10.1016/S0039-6257\(01\)00201-6](https://doi.org/10.1016/S0039-6257(01)00201-6).
24. Sample P.A. Should SWAP and FDT be used to monitor glaucoma suspects with normal SAP? *International glaucoma review* 2008; 10(2, suppl.):3.
25. Liu S., Yu M., Weinreb R.N., Lai G., Lam D.S.C., Leung C.K.S. 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>.
26. Horn F.K., Scharch V., Mardin C.Y., Lämmer R., Kremers J. Comparison of frequency doubling and flicker defined form perimetry in early. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2016; 254(5):937-946. <https://doi.org/10.1007/s00417-016-3286-1>.
27. 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*. 2019; 13:33-42. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S177581>.
28. 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>
29. 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; 8(2):5-21.
30. Тихоновская И.А., Симакова И.Л. Нестандартная компьютерная периметрия в диагностике некоторых оптических нейропатий. *Офтальмологические ведомости* 2021; 14(1):75-87. <https://doi.org/10.17816/OV60059>.
31. Григорян Л.А., Симакова И.Л., Куроедов А.В. Периметрия как методика с позиций практического офтальмолога. *Национальный журнал глаукома* 2021; 3(20):21-29. <https://doi.org/10.53432/2078-4104-2021-20-3-21-29>
32. Kasha J. R. Jr., inventor. Visual field perimetry using virtual reality glasses. US patent 5,737,060. 1998 Apr 7.
33. Matsumoto C., Yamao S., Nomoto H., Takada S., Okuyama S., Kimura S., Kenzo Yamanaka K., Makoto Aihara M., Yoshikazu Shimomura Y. Visual field testing with head-mounted perimeter 'imo'. *PLoS ONE* 2016; 11(8):e0161974. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161974>.
34. Medeiros F.A., Zao J.K., Wang Y., Nakanishi M., Lin Y.-P., Diniz-Filho A., Jung T.-P. The nGoggle: a portable brain-based method for assessment of visual function deficits in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016; 57(12).
35. Alawa K.A., Nolan R.P., Han E., Arboleda A., Durkee H., Sayed M. S., Aguilar M.C., Lee R. K. Low-cost, smartphone-based frequency doubling technology visual field testing using a head-mounted display. *British J Ophthalmol* 2019; 0:1-5. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-314031>.
36. Shetty V., Sankhe P., Haldipurkar S. S., Haldipurkar T., Dhamankar R., Kashelkar P., Shah D., Mhatre P., Setia M. S. Diagnostic performance of the PalmScan VF2000 virtual reality visual field analyzer for identification and classification of glaucoma. *J Ophthalmic Vis Res* 2021; 17(1):33-41. <https://doi.org/10.18502/jovr.v17i1.10168>.
37. Wan L., Yan W., Sun Y., Chang R. Comparison of virtual reality (Palm-Scan VF2000) visual fields analyzer with Humphrey visual field in glaucoma patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020; 61(7).
38. Johnson C.A., Thapa S., George Kong Y.X., Robin A.L. Performance of an iPad application to detect moderate and advanced visual field loss in Nepal. *Am J Ophthalmol* 2017; 182:147-154. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.08.007>.
20. Quigley H.A., Sanchez R.M., Dunkelburger G.R. Chronic glaucoma selectively damages large optic nerve fibers. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1987; 28(6):913-920. [https://doi.org/10.1016/S0161-6420\(88\)33176-3](https://doi.org/10.1016/S0161-6420(88)33176-3).
21. Maddess T., Henry J. Performance of nonlinear visual units in ocular hypertension and glaucoma. *Clin Vision Sci* 1992; 7(5):371-383.
22. Pammer K., Wheatley C. Isolating the M(y)-cell response in dyslexia using the spatial frequency doubling illusion. *Vision Res* 2001; 41(3):2139-2147. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00092-x](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00092-x).
23. Johnson C.A. Psychophysical measurement of glaucomatous damage. *Surv Ophthalmol*. 2001; 45(3):313-318. [https://doi.org/10.1016/S0039-6257\(01\)00201-6](https://doi.org/10.1016/S0039-6257(01)00201-6).
24. Sample P.A. Should SWAP and FDT be used to monitor glaucoma suspects with normal SAP? *International glaucoma review* 2008; 10(2, suppl.):3.
25. Liu S., Yu M., Weinreb R.N., Lai G., Lam D.S.C., Leung C.K.S. 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>.
26. Horn F.K., Scharch V., Mardin C.Y., Lämmer R., Kremers J. Comparison of frequency doubling and flicker defined form perimetry in early. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2016; 254(5):937-946. <https://doi.org/10.1007/s00417-016-3286-1>.
27. 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*. 2019; 13:33-42. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S177581>.
28. 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. (In Russ.) <https://doi.org/10.53432/2078-4104-2022-21-1-23-35>
29. Simakova I.L., Volkov V.V., Boiko E.V., Klavdiev V.E. Creation of the method of frequency-doubling technology perimetry: an international and Russian experience. *National Journal glaucoma* 2009; 8(2):5-21.
30. Tihonovskaja, I.A., Simakova I.L. Non-standard computer perimetry in the diagnosis of some optic neuropathies. *Oftalmologičeskie vedomosti* 2021; 14(1):75-87. <https://doi.org/10.17816/OV60059>.
31. 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>
32. Kasha J. R. Jr., inventor. Visual field perimetry using virtual reality glasses. US patent 5,737,060. 1998 Apr 7.
33. Matsumoto C., Yamao S., Nomoto H., Takada S., Okuyama S., Kimura S., Kenzo Yamanaka K., Makoto Aihara M., Yoshikazu Shimomura Y. Visual field testing with head-mounted perimeter 'imo'. *PLoS ONE* 2016; 11(8):e0161974. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161974>.
34. Medeiros F.A., Zao J.K., Wang Y., Nakanishi M., Lin Y.-P., Diniz-Filho A., Jung T.-P. The nGoggle: a portable brain-based method for assessment of visual function deficits in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016; 57(12).
35. Alawa K.A., Nolan R.P., Han E., Arboleda A., Durkee H., Sayed M. S., Aguilar M.C., Lee R. K. Low-cost, smartphone-based frequency doubling technology visual field testing using a head-mounted display. *British J Ophthalmol* 2019; 0:1-5. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-314031>.
36. Shetty V., Sankhe P., Haldipurkar S. S., Haldipurkar T., Dhamankar R., Kashelkar P., Shah D., Mhatre P., Setia M. S. Diagnostic performance of the PalmScan VF2000 virtual reality visual field analyzer for identification and classification of glaucoma. *J Ophthalmic Vis Res* 2021; 17(1):33-41. <https://doi.org/10.18502/jovr.v17i1.10168>.
37. Wan L., Yan W., Sun Y., Chang R. Comparison of virtual reality (Palm-Scan VF2000) visual fields analyzer with Humphrey visual field in glaucoma patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020; 61(7).
38. Johnson C.A., Thapa S., George Kong Y.X., Robin A.L. Performance of an iPad application to detect moderate and advanced visual field loss in Nepal. *Am J Ophthalmol* 2017; 182:147-154. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.08.007>.



39. Vingrys A.J., Healey J.K., Liew S., Saharinen V., Tran M., Wu W., Kong G.Y.X. Validation of a tablet as a tangent perimeter. *Trans Vis Sci Tech* 2016; 5(4):3. <https://doi.org/10.1167/tvst.5.4.3>.
40. Lowry E.A., Hou J., Hennein L., Chang R.T., Lin S., Keenan J., Wang S.K., Ianchulev S., Pasquale L. R., Han Y. Comparison of Peristat online perimetry with the Humphrey perimetry in a clinic-based setting. *Trans Vis Sci Tech* 2016; 5(4):4. <https://doi.org/10.1167/tvst.5.4.4>.
41. Jones P.R., Smith N.D., Bi W., Crabb D.P. Portable perimetry using eye-tracking on a tablet computer – a feasibility assessment. *Trans Vis Sci Tech* 2019; 8(1):17. <https://doi.org/10.1167/tvst.8.1.17>.
42. Ong E.L., Zheng Y., Aung T., Tan L., Cheng C.Y., Wong T.Y., How A. Performance of the Moorfields Motion Displacement Test for identifying eyes with glaucoma. *Ophthalmology* 2014; 121:88-92. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.08.036>.
43. Selvaraj D. Using Google Cardboard to perform a visual field screening test. Ames (Iowa): Iowa State Univ.; 2018.
44. Zao J.K., Jung T.-P., Chang H.-M., Gan T.-T., Wang Y.-T., Lin Y.-P., Wen-Hao Liu W.-H., Guang-Yu Zheng G.-Y., Chin-Kuo Lin C.-K., Chia-Hung Lin C.-H., Yu-Yi Chien Y.-Y., Lin F.-C., Huang Y.-P., Méndez S.J.R., Medeiros F.A. Augmenting VR/AR Applications with EEG/EOG Monitoring and Oculo-Vestibular Recoupling. Foundations of augmented cognition: neuroergonomics and operational neuroscience. Switzerland: Springer International Publishing; 2016.
45. Sircar T., Mishra A., Bopardikar A., Narayan Tiwari V.N. GearVision: smartphone-based head mounted perimeter for detection of visual field defects. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2018; 2018:5402-5405. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8513574>.
46. Ahmed Y., Pereira A., Bowden S., Shi R.B., Li Y., Ahmed I.K., Steve A. Multicenter comparison of the Toronto portable perimeter with the Humphrey field analyzer. A pilot study. *Ophthalmol Glaucoma* 2022; 5(2):146-159. <https://doi.org/10.1016/j.ogla.2021.07.011>.
47. Nida E.K., Bekele S., Geurts L., Abele V.V. Acceptance of a smartphone-based visual field screening platform for glaucoma: pre-post study. *JMIR Form Res* 2021; 5(9):e26602. <https://doi.org/10.2196/26602>.
48. Tsapakis S., Papaconstantinou D., Diagourtas A., Droutsas K., Andreanos K., Moschos M.M., Brouzas D. Visual field examination method using virtual reality glasses compared with the Humphrey perimeter. *Clin Ophthalmol* 2017; 11:1431-1443. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S131160>.
49. Hu G.Y., Prasad J., Chen D.K., Alcantara-Castillo J.C., Patel V.N., Al-Aswad L.A. Home monitoring of glaucoma using a home tonometer and a novel Virtual reality visual field device: acceptability and feasibility. *Ophthalmol Glaucoma* 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ogla.2022.05.001>.
50. Kashem R., Goldbach A.H., Elsayy A., Mohder F., Bonyadi S., Sharma M., Christian Duque C., Taher Eleiwa T., Abdulla R. Shaheen A.R., Shousha M.A., Parrish R. Comparison of Heru Visual field as a cloud based artificial intelligence-powered software application downloadable on commercial augmented reality headset with Humphrey field analyzer SITA Standard. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021; 62(8).
51. Stapelfeldt J., Kucur S.S., Huber N., Höhn R., Sznitman R. Virtual reality-based and conventional visual field examination comparison in healthy and glaucoma patients. *Transl Vis Sci Technol* 2021; 10(12):10. <https://doi.org/10.1167/tvst.10.12.10>.
52. Reza R., Alberto G. G., Jonathan M. S., Jay K. L. Preliminary report on a novel virtual reality perimeter compared with standard automated perimetry. *J Glaucoma* 2021; 30:17-23. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001670>.
53. Greenfield J.A., Deiner M., Nguyen A., Wollstein G., Damato B., Backus B.T., Wu M., Schuman J.S., Ou Y. Measurement reproducibility using Vivid Vision Perimetry: a virtual reality-based mobile platform. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020; 61(7).
54. Narang P., Agarwal A., Srinivasan M., Agarwal A. Advanced vision analyzer-virtual reality perimeter: device validation, functional correlation and comparison with Humphrey field analyzer. *Ophthalmol Sci* 2021; 1(2):100035. <https://doi.org/10.1016/j.xops.2021.100035>.
55. Kunumpol P., Lerthirunvibul N., Phienphanich P., Munthuli A., Tantisevi V., Manassakorn A., Chansangpet S., Itthipanichpong R., Ratanawongphaibol K., Rojanapongpun P., Tantibundhit C. GlauCUTU: virtual reality visual field test. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2021; 2021:7416-7421. <https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9629827>.
39. Vingrys A.J., Healey J.K., Liew S., Saharinen V., Tran M., Wu W., Kong G.Y.X. Validation of a tablet as a tangent perimeter. *Trans Vis Sci Tech* 2016; 5(4):3. <https://doi.org/10.1167/tvst.5.4.3>.
40. Lowry E.A., Hou J., Hennein L., Chang R.T., Lin S., Keenan J., Wang S.K., Ianchulev S., Pasquale L. R., Han Y. Comparison of Peristat online perimetry with the Humphrey perimetry in a clinic-based setting. *Trans Vis Sci Tech* 2016; 5(4):4. <https://doi.org/10.1167/tvst.5.4.4>.
41. Jones P.R., Smith N.D., Bi W., Crabb D.P. Portable perimetry using eye-tracking on a tablet computer – a feasibility assessment. *Trans Vis Sci Tech* 2019; 8(1):17. <https://doi.org/10.1167/tvst.8.1.17>.
42. Ong E.L., Zheng Y., Aung T., Tan L., Cheng C.Y., Wong T.Y., How A. Performance of the Moorfields Motion Displacement Test for identifying eyes with glaucoma. *Ophthalmology* 2014; 121:88-92. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.08.036>.
43. Selvaraj D. Using Google Cardboard to perform a visual field screening test. Ames (Iowa): Iowa State Univ.; 2018.
44. Zao J.K., Jung T.-P., Chang H.-M., Gan T.-T., Wang Y.-T., Lin Y.-P., Wen-Hao Liu W.-H., Guang-Yu Zheng G.-Y., Chin-Kuo Lin C.-K., Chia-Hung Lin C.-H., Yu-Yi Chien Y.-Y., Lin F.-C., Huang Y.-P., Méndez S.J.R., Medeiros F.A. Augmenting VR/AR Applications with EEG/EOG Monitoring and Oculo-Vestibular Recoupling. Foundations of augmented cognition: neuroergonomics and operational neuroscience. Switzerland: Springer International Publishing; 2016.
45. Sircar T., Mishra A., Bopardikar A., Narayan Tiwari V.N. GearVision: smartphone-based head mounted perimeter for detection of visual field defects. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2018; 2018:5402-5405. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8513574>.
46. Ahmed Y., Pereira A., Bowden S., Shi R.B., Li Y., Ahmed I.K., Steve A. Multicenter comparison of the Toronto portable perimeter with the Humphrey field analyzer. A pilot study. *Ophthalmol Glaucoma* 2022; 5(2):146-159. <https://doi.org/10.1016/j.ogla.2021.07.011>.
47. Nida E.K., Bekele S., Geurts L., Abele V.V. Acceptance of a smartphone-based visual field screening platform for glaucoma: pre-post study. *JMIR Form Res* 2021; 5(9):e26602. <https://doi.org/10.2196/26602>.
48. Tsapakis S., Papaconstantinou D., Diagourtas A., Droutsas K., Andreanos K., Moschos M.M., Brouzas D. Visual field examination method using virtual reality glasses compared with the Humphrey perimeter. *Clin Ophthalmol* 2017; 11:1431-1443. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S131160>.
49. Hu G.Y., Prasad J., Chen D.K., Alcantara-Castillo J.C., Patel V.N., Al-Aswad L.A. Home monitoring of glaucoma using a home tonometer and a novel Virtual reality visual field device: acceptability and feasibility. *Ophthalmol Glaucoma* 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ogla.2022.05.001>.
50. Kashem R., Goldbach A.H., Elsayy A., Mohder F., Bonyadi S., Sharma M., Christian Duque C., Taher Eleiwa T., Abdulla R. Shaheen A.R., Shousha M.A., Parrish R. Comparison of Heru Visual field as a cloud based artificial intelligence-powered software application downloadable on commercial augmented reality headset with Humphrey field analyzer SITA Standard. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2021; 62(8).
51. Stapelfeldt J., Kucur S.S., Huber N., Höhn R., Sznitman R. Virtual reality-based and conventional visual field examination comparison in healthy and glaucoma patients. *Transl Vis Sci Technol* 2021; 10(12):10. <https://doi.org/10.1167/tvst.10.12.10>.
52. Reza R., Alberto G. G., Jonathan M. S., Jay K. L. Preliminary report on a novel virtual reality perimeter compared with standard automated perimetry. *J Glaucoma* 2021; 30:17-23. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001670>.
53. Greenfield J.A., Deiner M., Nguyen A., Wollstein G., Damato B., Backus B.T., Wu M., Schuman J.S., Ou Y. Measurement reproducibility using Vivid Vision Perimetry: a virtual reality-based mobile platform. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2020; 61(7).
54. Narang P., Agarwal A., Srinivasan M., Agarwal A. Advanced vision analyzer-virtual reality perimeter: device validation, functional correlation and comparison with Humphrey field analyzer. *Ophthalmol Sci* 2021; 1(2):100035. <https://doi.org/10.1016/j.xops.2021.100035>.
55. Kunumpol P., Lerthirunvibul N., Phienphanich P., Munthuli A., Tantisevi V., Manassakorn A., Chansangpet S., Itthipanichpong R., Ratanawongphaibol K., Rojanapongpun P., Tantibundhit C. GlauCUTU: virtual reality visual field test. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2021; 2021:7416-7421. <https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9629827>.

56. Soans R.S., Renken R.J., John J., Bhongade A., Raj D., Saxena R., Tandon R., Gandhi T.K., Cornelissen F.W. Patients prefer a virtual reality approach over a similarly performing screen-based approach for continuous oculomotor-based screening of glaucomatous and neuro-ophthalmological visual field defects. *Front Neurosci* 2021;15. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.745355>.
57. Еричев В.П., Ермолаев А.П., Антонов А.А., Котляр К., Мазурова Ю.В., Левицкий Ю.В., Хдери Х. Исследование поля зрения при помощи портативного периметра выполненного на базе шлема виртуальной реальности. *Новости глаукомы* 2018; 4(48):42-43. <https://doi.org/10.30808/978-5-6040782-2018-1-1-106-110>.
58. Mees L., Upadhyaya S., Kumar P., Kotawala, S., Haran S., Rajasekar S., Friedman D.S., Venkatesh R. Validation of a head-mounted virtual reality visual field screening device. *J Glaucoma* 2020; 29(2):86-91. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001415>.
59. Wroblewski D., Francis B.A., Sadun A., Vakili G., Chopra V. Testing of visual field with virtual reality goggles in manual and visual grasp modes. *Biomed Res Int* 2014; 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/206082>.
60. Liu J., McAnany J.J., Wilensky J.T., Aref A.A., Vajaranant T.S. M&S Smart System contrast sensitivity measurements compared to standard visual function measurements in primary open angle glaucoma patients. *J Glaucoma* 2017; 26(6):528-533. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000659>.
61. Goh R.L.Z., Kong Y.X.G., McAlinden C., Liu J., Crowston J.G., Skaliky S.E. Objective assessment of activity limitation in glaucoma with smartphone virtual reality goggles: a pilot study. *Trans Vis Sci Tech* 2018; 7(1):10. <https://doi.org/10.1167/tvst.7.1.10>.
62. Jong C., Skaliky S.E. The computerized glaucoma visual function test: a pilot study evaluating computer-screen based tests of visual function in glaucoma. *Trans Vis Sci Tech* 2020; 9(12):9. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.12.9>.
63. Sipatchin A., Wahl S., Rifai K. Eye-Tracking for clinical ophthalmology with virtual reality (VR): a case study of the HTC Vive Pro Eye's Usability. *Healthcare* 2021; 9(2):180. <https://doi.org/10.3390/healthcare9020180>.
64. Rodriguez-Una I., Azuara-Blanco A. New technologies for glaucoma detection. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2018; 7(6):394-404. <https://doi.org/10.22608/APO.2018349>.
65. Santos A.S., Morabe E.S. "VisualFields Easy": an iPad application as a simple tool for detecting visual field defects. *Philipp J Ophthalmol* 2016; 41:22-26.
66. Ichhpujani P., Thakur S., Sahi R.K., Kumar S. Validating tablet perimetry against standard Humphrey visual field analyzer for glaucoma screening in Indian population. *Indian Journal of Ophthalmology* 2020; 69(1):87-91. [https://doi.org/10.4103/ijo.IJO\\_1847\\_19](https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1847_19).
67. Kitayama K., Young A.G., Ochoa A., Yu F., Wong K.Y.-S., Coleman A.L. The agreement between an iPad visual field app and Humphrey frequency doubling technology in visual field screening at health fairs. *J Glaucoma* 2021; 30(9):846-850. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001902>.
68. Vingrys A.J., Healey J.K., Liew S., Saharinen V., Tran M., Wu W., George Y. X. Kong. Validation of a tablet as a tangent perimeter. *Trans Vis Sci Tech* 2016; 5(4):3. <https://doi.org/10.1167/tvst.5.4.3>.
69. Chia M.A., Trang E., Agar A., Vingrys A.J., Hepschke J., Kong G.Y., Turner A.W. Screening for Glaucomatous Visual Field Defects in Rural Australia with an iPad. *J Curr Glaucoma Pract* 2021; 15(3):125-131. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10078-1312>.
70. Schulz A.M., Graham E.C., You Y.Y., Klistorner A., Graham S.L. Performance of iPad-based threshold perimetry in glaucoma and controls. *Clin Exp Ophthalmol* 2018; 46(4):346-355. <https://doi.org/10.1111/ceo.13082>.
71. Prea S.M., Kong G.Y.X., Mehta A., He M., Crowston J.G., Gupta V., Martin K.R., Vingrys A.J. Six-month longitudinal comparison of a portable tablet perimeter with the Humphrey field analyzer. *Am J Ophthalmol* 2018; 190:9-16. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.03.009>.
72. Kumar H., Thulasidas M. Comparison of perimetric outcomes from Melbourne rapid fields tablet perimeter software and Humphrey field analyzer in glaucoma patients. *J Ophthalmol* 2020; 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8384509>.
56. Soans R.S., Renken R.J., John J., Bhongade A., Raj D., Saxena R., Tandon R., Gandhi T.K., Cornelissen F.W. Patients prefer a virtual reality approach over a similarly performing screen-based approach for continuous oculomotor-based screening of glaucomatous and neuro-ophthalmological visual field defects. *Front Neurosci* 2021;15. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.745355>.
57. Elichev V.P., Ermolaev A.P., Antonov A.A., Kotliar K., Mazurova Iu.V., Levitsky Yu.V., Hderi K. Study of the field of view using a portable perimeter made on the basis of a virtual reality helmet. *Glaucoma news* 2018; 4(48):42-43. <https://doi.org/10.30808/978-5-6040782-2018-1-1-106-110>.
58. Mees L., Upadhyaya S., Kumar P., Kotawala, S., Haran S., Rajasekar S., Friedman D.S., Venkatesh R. Validation of a head-mounted virtual reality visual field screening device. *J Glaucoma* 2020; 29(2):86-91. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001415>.
59. Wroblewski D., Francis B.A., Sadun A., Vakili G., Chopra V. Testing of visual field with virtual reality goggles in manual and visual grasp modes. *Biomed Res Int* 2014; 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/206082>.
60. Liu J., McAnany J.J., Wilensky J.T., Aref A.A., Vajaranant T.S. M&S Smart System contrast sensitivity measurements compared to standard visual function measurements in primary open angle glaucoma patients. *J Glaucoma* 2017; 26(6):528-533. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000659>.
61. Goh R.L.Z., Kong Y.X.G., McAlinden C., Liu J., Crowston J.G., Skaliky S.E. Objective assessment of activity limitation in glaucoma with smartphone virtual reality goggles: a pilot study. *Trans Vis Sci Tech* 2018; 7(1):10. <https://doi.org/10.1167/tvst.7.1.10>.
62. Jong C., Skaliky S.E. The computerized glaucoma visual function test: a pilot study evaluating computer-screen based tests of visual function in glaucoma. *Trans Vis Sci Tech* 2020; 9(12):9. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.12.9>.
63. Sipatchin A., Wahl S., Rifai K. Eye-Tracking for clinical ophthalmology with virtual reality (VR): a case study of the HTC Vive Pro Eye's Usability. *Healthcare* 2021; 9(2):180. <https://doi.org/10.3390/healthcare9020180>.
64. Rodriguez-Una I., Azuara-Blanco A. New technologies for glaucoma detection. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2018; 7(6):394-404. <https://doi.org/10.22608/APO.2018349>.
65. Santos A.S., Morabe E.S. "VisualFields Easy": an iPad application as a simple tool for detecting visual field defects. *Philipp J Ophthalmol* 2016; 41:22-26.
66. Ichhpujani P., Thakur S., Sahi R.K., Kumar S. Validating tablet perimetry against standard Humphrey visual field analyzer for glaucoma screening in Indian population. *Indian Journal of Ophthalmology* 2020; 69(1):87-91. [https://doi.org/10.4103/ijo.IJO\\_1847\\_19](https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1847_19).
67. Kitayama K., Young A.G., Ochoa A., Yu F., Wong K.Y.-S., Coleman A.L. The agreement between an iPad visual field app and Humphrey frequency doubling technology in visual field screening at health fairs. *J Glaucoma* 2021; 30(9):846-850. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001902>.
68. Vingrys A.J., Healey J.K., Liew S., Saharinen V., Tran M., Wu W., George Y. X. Kong. Validation of a tablet as a tangent perimeter. *Trans Vis Sci Tech* 2016; 5(4):3. <https://doi.org/10.1167/tvst.5.4.3>.
69. Chia M.A., Trang E., Agar A., Vingrys A.J., Hepschke J., Kong G.Y., Turner A.W. Screening for Glaucomatous Visual Field Defects in Rural Australia with an iPad. *J Curr Glaucoma Pract* 2021; 15(3):125-131. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10078-1312>.
70. Schulz A.M., Graham E.C., You Y.Y., Klistorner A., Graham S.L. Performance of iPad-based threshold perimetry in glaucoma and controls. *Clin Exp Ophthalmol* 2018; 46(4):346-355. <https://doi.org/10.1111/ceo.13082>.
71. Prea S.M., Kong G.Y.X., Mehta A., He M., Crowston J.G., Gupta V., Martin K.R., Vingrys A.J. Six-month longitudinal comparison of a portable tablet perimeter with the Humphrey field analyzer. *Am J Ophthalmol* 2018; 190:9-16. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.03.009>.
72. Kumar H., Thulasidas M. Comparison of perimetric outcomes from Melbourne rapid fields tablet perimeter software and Humphrey field analyzer in glaucoma patients. *J Ophthalmol* 2020; 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8384509>.