

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПЕРИМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМЫ

© С.А. Сердюкова, И.Л. Симакова

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург

Для цитирования: Сердюкова С.А., Симакова И.Л. Компьютерная периметрия в диагностике первичной открытоугольной глаукомы // Офтальмологические ведомости. — 2018. — Т. 11. — № 1. — С. 54–65. doi: 10.17816/OV11154-65

Поступила в редакцию: 11.09.2017

Принята к печати: 17.01.2018

✧ Статическая периметрия, выполненная с помощью периметров экспертного класса Humphrey и Octopus, называется стандартной автоматизированной периметрией (SAP) и вот уже более 30 лет является «золотым стандартом» в оценке состояния поля зрения при диагностике глаукомы. В настоящее время на российском рынке появилось множество компьютерных периметров. В статье рассмотрены современные методы компьютерной периметрии, получившие наибольшее распространение в нашей стране, и приведена их сравнительная характеристика.

✧ **Ключевые слова:** первичная открытоугольная глаукома; диагностика и мониторинг глаукомы; стандартная автоматизированная периметрия; компьютерная периметрия; FDT-периметрия; пороговая и надпороговая периметрия.

COMPUTER PERIMETRY IN THE DIAGNOSIS OF PRIMARY OPEN-ANGLE GLAUCOMA

© S.A. Serdyukova, I.L. Simakova

S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

For citation: Serdyukova SA, Simakova IL. Computer perimetry in the diagnosis of primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology Journal*. 2018;11(1):54-65. doi: 10.17816/OV11154-65

Received: 11.09.2017

Accepted: 17.01.2018

✧ Static perimetry, made using Humphrey and Octopus expert class perimeters, is called the standard automated perimetry (SAP); and for more than 30 years, it is the “gold standard” in assessing the visual field in glaucoma diagnosis. Currently, many computer perimeters appeared on the Russian market. The article reviews modern methods of computerized perimetry which are most widespread in our country and presents their comparative characteristics.

✧ **Keywords:** primary open-angle glaucoma; diagnosis and monitoring of glaucoma; standard automated perimetry; automated perimetry; FDT perimetry; threshold and above-threshold perimetry.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в соответствии с международными стандартами для диагностики и мониторинга глаукомы важен не столько уровень внутриглазного давления (ВГД), сколько надёжная база достоверных данных о состоянии диска зрительного нерва (ДЗН) и поля зрения [1, 2].

Для выявления структурных признаков глаукомной оптиконейропатии (ГОН) используются высокотехнологичные приборы, осуществля-

ющие компьютерную томографию ДЗН в виде оптической когерентной томографии (ОСТ), конфокальной сканирующей лазерной офтальмоскопии (HRT), сканирующей лазерной поляриметрии с переменной компенсацией роговического лучепреломления (GDx VCC). К сожалению, в нашей стране из-за высокой коммерческой стоимости эти приборы малодоступны для широкой клинической практики, и прежде всего амбулаторной практики — для осуществления диспансерных

осмотров населения, в частности, групп риска развития глаукомы, с целью её ранней диагностики и мониторинга уже выявленного заболевания. Для этого обычно применяются офтальмоскопия и более доступные методы функциональной диагностики ГОН, к которым относятся различные методы периметрии [2].

В связи с появлением в начале XXI в. на российском рынке большого количества компьютерных периметров, позволяющих выполнять статическую периметрию на современном уровне, широкое распространение в нашей стране, как и во всём мире, получила компьютерная периметрия [3–6].

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ (КОМПЬЮТЕРНАЯ) АХРОМАТИЧЕСКАЯ ПЕРИМЕТРИЯ

Методику при предъявлении объектов в пространстве, ограниченном дугой или сферическим экраном, называют периметрией, а исследование поля зрения на плоскости — кампиметрией. В 70-е гг. XX в. вновь возродился интерес к исследованиям центрального поля зрения (ЦПЗ) при глаукоме, которые стали выполнять на несравненно более высоком техническом уровне, чем прежде, с помощью автоматизированных периметров Humphrey и Octopus, признанных «золотым стандартом» периметрии.

Родоначальником стандартной автоматизированной периметрии (SAP) считают F. Fankhauser, который начал свои исследования в этом направлении в 1958 г., а уже в 1974 г. в Швейцарии фирмой INTERZEAG (сегодня HAAG STREIT) на основе его разработок был создан первый автоматизированный периметр Octopus-201 [7, 8]. А. Heijl и С. Krakau (1985) разработали программное обеспечение другого автоматизированного периметра — анализатора поля зрения Humphrey Visual Field Analyzer (HFA) и предложили оригинальный способ контроля фиксации взгляда тестируемого глаза испытуемого в процессе исследования, получивший всеобщее признание и названный именем авторов (Heijl-Krakau) [8, 9]. В 1985 г. J. Flammer разработал новую программу для Octopus-2000 «Глаукома-1» (G-1), которая исследует 59 точек ЦПЗ в пределах 30° от точки фиксации вместо 76 точек в программе «Глаукома-32» (1975) и до сих пор является основной программой при обследовании больных с глаукомой. Программа G-2, в которую были добавлены 14 дополнительных точек на периферии от 30 до 60°, введена в периметр Octopus-101 в 1993 г. [7, 8]. В 1987 г. были созданы аналогичные программы

(«30-2» и «24-2») для анализатора поля зрения HFA [10].

Принцип работы SAP, выполняемой на автоматизированных периметрах Octopus и HFA, базируется на стандартах, разработанных ещё Н. Goldmann для созданного им в 1945 г. полусферического периметра, быстро завоевавшего международное признание. В соответствии с данными стандартами яркость поверхности полусферы, служащей фоном для предъявления тестовых объектов, должна составлять 31,5 апостильба, яркость тестового объекта (стимула) — изменяться в диапазоне от 0,08 до 10 000 апостильбов, а его размер (диаметр) — от 1 до 5 мм (I–V) [5, 8, 10–12].

Первые разработанные стратегии полного порога и созданные на их основе тесты были достаточно длительными по времени и поэтому сложными при выполнении, особенно для испытуемых, что затрудняло их внедрение в широкую офтальмологическую практику [3, 5, 9, 10, 12]. Для устранения этого главного недостатка SAP группа шведских учёных в лице В. Bengtsson, J. Olsson, А. Heijl и Н. Rootzén разработала ускоренный алгоритм исследования — Swedish Interactive Threshold Algorithm (SITA) в двух вариантах: SITA-Standard (SS) и SITA-Fast (SF), то есть стандартный (на 50 % короче стандартного полного порога — Full Threshold) и укороченный (на 50 % короче сокращённой программы FASTPAC). Использование шведского алгоритма в анализаторе поля зрения HFA II позволило сократить количество предъявляемых стимулов на 25–30 % и тем самым уменьшить время исследования одного глаза с 20 до 6–7 мин, благодаря чему количество ошибок, связанных с утомлением и ослаблением внимания испытуемого, уменьшилось, а достоверность результатов исследования повысилась [1, 2, 8, 13, 14, 16–18].

В периметре Octopus для сокращения времени тестирования ЦПЗ также используется ускоренный алгоритм исследования в виде динамической (Dynamic) стратегии (время теста сокращается до 6–8 мин) и тенденциозно-ориентированной периметрии (TOP) (время тестирования составляет всего лишь 2–4 мин) [6, 13, 19].

На XIV конгрессе Российского глаукомного общества «Глаукома: теории, тенденции, технологии. HRT/Spectralis Клуб Россия» (2016) на секции «Периметрия — погружение» активно обсуждалась тема о сравнительной характеристике компьютерных периметров экспертного класса — Humphrey и Octopus. По мнению докладчиков, по-

следние модели Octopus-600 и Octopus-900 обладают рядом преимуществ, важнейшие из которых заключаются в постоянном контроле фиксации взгляда тестируемого глаза за счёт непрерывной регистрации положения зрачка (Octopus Fixation Control) и наличии функций кластерного (Cluster Analysis) и полярного (Polar Analysis) анализа поля зрения. При кластерном анализе поле зрения соответственно топографии нервных волокон сетчатки разделено на 10 кластеров. Для каждого кластера рассчитывается среднее отклонение светочувствительности сетчатки от средней возрастной нормы. При полярном анализе рассчитывается среднее отклонение светочувствительности сетчатки всего тестируемого ЦПЗ. Кроме того, результат теста периметра Octopus можно представить в виде кривой Бебье, которая позволяет наглядно (графически) оценить состояние светочувствительности сетчатки тестируемого глаза и сравнить результат с возрастной нормой. Дополнительно введена программа Low Vision, которая применяется у пациентов с острой зрением, сниженной до сотых. Кинетическая стратегия используется для мониторинга преимущественно III стадии глаукомы, что соответствует международным стандартам. Ещё одним преимуществом, которым обладают последние модели Octopus, является возможность импортировать в базу данных результаты периметрии по Humphrey и использовать распечатку результатов в удобной для специалиста форме (Octopus или Humphrey).

Следует также отметить, что в качестве быстрой скрининговой программы, занимающей около 1 мин, в Octopus-600 введена Pulsar-периметрия. Этот тест основан на предъявлении в течение 500 мс в различных точках ЦПЗ (до 30° от точки фиксации) концентрического стимула размером 5°, пульсирующего с временной частотой 10 Гц, и выполняется при остроте зрения не ниже 0,7. По данным некоторых авторов, результаты Pulsar-периметрии обладают высокой специфичностью (72–95 %) [20, 21].

Несмотря на большое разнообразие предлагаемых на современном рынке компьютерных периметров, к периметрам экспертного класса относят лишь анализатор поля зрения HFA II (Германия — США) и периметр Octopus (Швейцария) [17]. В настоящее время при подозрении глаукомы наиболее распространёнными являются периметрические пороговые тесты, выполненные с помощью периметров HFA II (программа «24-2» в 54 точках) или Octopus (программа G-1 в 59 точ-

ках) [8, 21]. Такая приверженность офтальмологов всего мира к этим периметрам-«первенцам» объясняется их высокой стандартизацией и надёжной базой данных средней нормы, которая позволяет контролировать результаты тестирования с учётом возраста и состояния оптических сред глаза испытуемого. В нашей стране из-за высокой коммерческой стоимости данных компьютерных периметров потребность в них далеко не удовлетворена [12, 13].

В России первый отечественный компьютерный периметр — автоматический статический периграф «Периком» в модели «Классика» был разработан НПКФ ВНИИМП-Оптимед в 1997 г., он был предназначен для выполнения надпороговой периметрии в режимах быстрого (30 %), сокращённого (70 %) или полного (100 %) объёма. Выявленные дефекты ЦПЗ автоматически распределяются по группам: норма, относительные скотомы 1-го или 2-го порядка, абсолютные скотомы [22].

В периграфе «Периком» в отличие от большинства зарубежных компьютерных периметров, использующих фотопический уровень яркости фона (10 кд/м² и более) белого цвета, яркость фона его полусферы, имеющего тёмно-серый цвет, ориентирована на мезопический уровень (1–1,5 кд/м²). Кроме того, тест-объект, используемый в периграфе «Периком», зелёного (длина волны 560 нм), а не белого цвета [23]. Первые работы, посвящённые исследованиям ЦПЗ при глаукоме с помощью периграфа «Периком», сообщали о хорошей эффективности прибора даже при выявлении признаков начальной глаукомы в виде расширения слепого пятна, назальной ступеньки и секторальных дефектов. Но главным достоинством отечественного периграфа авторы всё же считали его экономическую доступность по сравнению с зарубежными периметрами, в частности Peritest (Rodenstock) [24, 25].

С 2015 г. выпускается новая компьютерная программа для отечественного периграфа «Периком», в которой имеется пороговая стратегия, её можно устанавливать на прежнюю модель «Классика» с надпороговой программой. В новой программе используются варианты стратегии пороговой периметрии: полная (30П, 20П, 10П), сокращённая (30С, 20С) и быстрая (30Б, 20Б). Уровень фоновой подсветки остался прежним (1,5 кд/м²), но диапазон яркости стимула соответствует таковому в периметре Octopus (0,1–1000 кд/м²), распечатка результата исследования включает среднее отклонение све-

точувствительности сетчатки от средней нормы, которое рассчитывается автоматически по методу Бесселя. Контроль фиксации взгляда пациента выполняется по Heijl-Krakau, как и в периметрах экспертного класса, но при этом видеорегистрация положения зрачка не осуществляется, ведь это значительно повысило бы стоимость прибора [23].

Работ по сравнению результатов периметрии, выполненной с помощью периграфа «Периком», и зарубежных компьютерных периметров, в том числе экспертного класса, в доступной отечественной литературе нет. По нашим данным, уровень чувствительности результатов отечественного периграфа «Периком» в модели «Классика» по сравнению с периметром HFA II у больных с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) ожидаемо оказался ниже (74 и 81 % соответственно), но всё-таки достаточно хорошим за счёт преимущественно исследований больных со II и III стадиями заболевания. А уровень специфичности результатов периграфа «Периком» оказался даже выше специфичности данных периметра HFA II (88 и 79 % соответственно). Возможно, это объясняется тем, что зелёный стимул легче заметить на тёмно-сером фоне, чем белый стимул на белом фоне, что также способствовало определению самими испытуемыми из группы здоровых лиц более высокого рейтингового места для периграфа «Периком» по сравнению с периметром HFA II [26].

Периграф Периком, помимо стандартного исполнения в виде модели «Классика» — с расположением головы испытуемого внутри полусферы, с 2006 г. производится в виде модели «Классика-мини» — с расположением головы испытуемого за пределами полусферы. В модели «Классика-мини» добавлены водительский тест для исследования поля зрения водителей транспорта и вакуум-компрессионный тест для выполнения нагрузочной пробы с целью дифференциальной диагностики преглаукомы и начальной глаукомы, а также оценки стабилизации глаукоматозного процесса [23].

Ю.С. Астахов и др. (2012) оценили возможности «младшего брата» при одновременном использовании модели «Классика-мини» с универсальным задатчиком вакуум-компрессионных нагрузочных проб. Новая модель отечественного периграфа «Классика-мини» отличается меньшими размерами и более современным дизайном программы в формате операционной системы Windows 7. Кроме того, упор для головы и сам корпус при-

бора расположены между собой под небольшим углом, что обеспечивает более комфортное положение пациента в течение всего времени исследования. Авторы полагают, что периграф «Периком» «Классика-мини» всё же не может заменить модель «Классика» и тем более периметры экспертного класса HFA и Octopus, хотя в сочетании с задатчиком вакуум-компрессионных нагрузочных проб может с определённым успехом использоваться для скрининга глаукомы, заменив устаревшие периметры Ферстера [27].

Другой отечественный надпороговый периметр «Перитест-300» (ООО «Медприбор», Россия) отличается от периграфа «Периком» возможностью проведения сине-жёлтой периметрии и установки самостоятельной программы PeriTest PC на мониторе персонального компьютера для выполнения цветовой кампиметрии. [25]. В данном периметре имеются три варианта программы исследования («белое на белом»): «Тест», «Порог Ручной (Р)» и «Порог Автоматический (А)». Г.С. Стоянова и др. (2002) в своих исследованиях показали, что программа «Тест» предпочтительна для мониторинга глаукомы II и III стадий, а программы «Порог Р», «Порог А» — для диагностики начальной глаукомы. По данным авторов, результаты программы PeriTest PC по информативности не уступают данным периметров «Периком» и Octopus-101, но время тестирования значительно короче (5–7, 10–15 и 12–14 мин соответственно) [25].

В настоящее время на рынке появилось множество зарубежных компьютерных периметров. В нашей стране наибольшее распространение в силу экономической доступности получили такие зарубежные компьютерные периметры, как AP-1000, 2000, 3000 (Tomey, Германия); Twinfield-2 (Oculus, Германия); Easyfield, Centerfield-2, Smartfield (Oculus, Германия), Galaxy (MS Westfalia GMBH, Германия); AP-5000C, AP-7000 (Kowa, Япония); PTS-1000 (Optopol, Польша).

В мировой офтальмологической практике, кроме перечисленных выше, используют и другие компьютерные периметры, а именно AP-901 (APPA Autoperimeter, Индия); APS-6000B, APS-6000C (BER, КНР); MD-820 (КНР); KGW-6000C (КНР) [23]. Данные периметры в России не сертифицированы и поэтому не используются. В доступной зарубежной литературе нет работ, посвящённых сравнительной характеристике результатов исследований поля зрения при глаукоме с помощью этих приборов и «золо-

того стандарта» периметрии — периметров HFA и Octopus [23].

Благодаря региональной программе модернизации здравоохранения и личному вкладу главного офтальмолога Санкт-Петербурга Ю.С. Астахова в период с 2010 по 2012 г. на базе 13 городских поликлиник были организованы районные глаукомные центры, оснащённые современным офтальмологическим оборудованием, в том числе компьютерными периметрами AP-1000 (Tomey, Германия) и приборами для структурной оценки ДЗН Heidelberg Retina Tomograph (HRT-2) (Heidelberg Engineering, Германия), необходимыми для ранней диагностики и мониторинга глаукомы в соответствии с международными стандартами [1, 2, 28].

Периметр AP-1000 производился с 2009 г. в Германии. Новые модели AP-100, AP-200, (Австралия), AP-2000 (Германия) выпускаются с 2010 г. в таком же техническом решении, как и автоматический периметр AP-1000. AP-1000 и AP-100, AP-2000 и AP-200 являются статическими периметрами со световыми стимулами репроекционного типа (источник стимула расположен в верхней зоне полусферы за головой испытуемого и проецируется на фон полусферы). Но в моделях AP-1000 и AP-100 используется стимул только белого цвета и одного размера — III по Гольдману, а в моделях AP-2000 и AP-200, помимо стратегии «белое на белом», дополнительно включена стратегия «синее на жёлтом». Периметры последнего поколения AP-3000 и AP-300 комбинированные и предназначены для выполнения не только статической, но и кинетической периметрии. Кроме того, в этих моделях можно использовать световые стимулы проекционного типа не только белого, но и зелёного, синего и красного цветов, а размер стимула можно изменить в зависимости от цели исследования от I до V по Гольдману [23].

Периметр AP-1000 отличается от анализатора поля зрения HFA II яркостью фонового освещения (10 и 31,5 asb соответственно), диапазоном яркости стимула (0,1–318 и 0,1–3183 кд/м² соответственно), размером стимула по Гольдману (III и I–V соответственно), а также расположением головы испытуемого вне полусферы периметра [23]. Но в периметре AP-1000 в отличие от анализатора поля зрения HFA II имеются бинокулярная стратегия (водительский тест) и стратегия с мерцающим стимулом (flicker) «белое на белом» для ранней диагностики глаукомы. Кроме того, в периметре AP-1000 добавлена возмож-

ность установки исследователем новых программ для статической периметрии или изменения параметров уже имеющихся программ, например, путём увеличения или уменьшения количества тестируемых точек ЦПЗ [23].

У периметров всех моделей фирмы Tomey (AP-1000, AP-2000, AP-3000) по сравнению с периметрами линейки HFA II оценка результатов тестирования представлена большим количеством вариантов распечаток. Результат тестирования может быть предъявлен в шкале оттенков серого цвета либо цветной шкале (в формате 3D), в графическом изображении холма зрения в разрезе либо в виде стандартной распечатки (по типу распечатки периметра Octopus). Кроме того, состояние светочувствительности сетчатки тестируемого глаза пациента может быть оценено графически в виде кривой Бебье.

Как в отечественной, так и в зарубежной литературе мы не нашли ни одной статьи, в которой давалась бы сравнительная оценка результатов периметрии, выполненной с помощью линейки приборов фирмы Tomey и «золотого стандарта» — периметров Humphrey и Octopus, а также иных компьютерных периметров.

По нашим данным, чувствительность и специфичность результатов исследования больных ПОУГ в различных стадиях (I–III) на периметре AP-1000 (76 и 71 %, соответственно) оказались ниже чувствительности и специфичности данных периметрии по Humphrey (81 и 79 %, соответственно). Но начальная глаукома с помощью порогового периметра AP-1000 подтверждалась чаще, чем с использованием надпорогового периграфа «Периком». По оценке всех испытуемых (больных ПОУГ и здоровых лиц из контрольной группы), AP-1000 оказался самым сложным и поэтому менее комфортным при выполнении периметрических тестов по сравнению с FDT-периметрией, исследованием ЦПЗ на периметрах HFA II и «Периком» [26].

В РФ, помимо описанных выше периметров, применяются периметры немецкой фирмы Oculus, а именно модели Easyfield, Centerfield-2, Smartfield, Twinfield-2. Первые три модели в отличие от большинства компьютерных периметров (HFA II, Octopus, Tomey) имеют более компактные размеры, защитный кожух со смотровым отверстием для наблюдения световых стимулов на встроенной в прибор сфере радиусом 300 мм. В периметре Twinfield-2 используются стимулы трёх размеров — I, III и V по Гольдману. Отличительной особенностью периметра Twinfield-2 является Continuous Light Increment Perimetry (CLIP)

стратегия (патент Oculus), позволяющая сократить время исследования путём повышения яркости стимула до того момента, когда стимул будет замечен испытуемым. Кроме того, имеется инновационная программа Glaucoma Staging and Progression (GSP) (патент Oculus), разделяющая данные исследования ЦПЗ на классы (норма; артефакт; изменения, относящиеся к глаукоме, или подозрение на неё) на основании их сравнения с базой данных обследования более 90 тысяч здоровых человек. Наряду с этим к привычным уже способам контроля фиксации взгляда (Heijl-Krakau, видеоконтроль) добавлен контроль показателя порогового значения светочувствительности сетчатки в нескольких точках ЦПЗ (патент Oculus) [23].

P. Capris et al. (2008) сравнили стратегию SITA FAST HFA II и стратегию CLIP Twinfield-2. Обе стратегии, по мнению авторов, несмотря на использование разных алгоритмов, показали хорошую способность в определении порогового значения светочувствительности сетчатки и имели меньшую продолжительность тестирования по сравнению со стратегией полного порога (6,1; 7,6 и 13,6 мин соответственно) [16].

Определённый интерес представляют компьютерные периметры японской фирмы Kowa, выпускающей две модели — AP-5000C и AP-7000. Особенность данных периметров заключается в возможности автоматической корреляции результата периметрии с изображением глазного дна, которое получают при помощи фундус-камеры на основе оптической когерентной томографии или конфокальной лазерной сканирующей микроскопии. В доступной литературе нет работ, посвящённых использованию и сравнению периметров фирмы Kowa с другими компьютерными периметрами.

C.A. Johnson (2001), известный американский исследователь в области ранней диагностики глаукомы, отметил, что назрела необходимость в создании таких высокочувствительных и специфических психофизических методов, которые могли бы не только выявлять поражение определённых субпопуляций ганглиозных клеток сетчатки в самом начале развития глаукомы, но и отличать «умирающие» клетки от «только что заболевших» [29]. Эти методы относятся к нетрадиционной или нестандартной компьютерной периметрии.

НЕСТАНДАРТНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ПЕРИМЕТРИЯ

В дополнение к стандартной, ахроматической («белый на белом») периметрии, осуществляемой на приборах Octopus и Humphrey,

E. Margre et al. (1978) разработали новый метод периметрии, в котором предложили использовать цветные стимулы на цветном фоне по цветоопонентному принципу [30]. В дальнейшем этот метод нестандартной компьютерной периметрии получил название Short-Wavelength Automated Perimetry (SWAP) — коротковолновая автоматизированная или сине-жёлтая периметрия [31].

По мнению В.В. Волкова (2008), Н.В. Митрофановой и др. (2014), А.А. Худоногова и др. (2012), C.A. Johnson et al. (1993), SWAP более чувствительна по сравнению с SAP к раннему выявлению патологических изменений в ЦПЗ при дифференциальной диагностике между офтальмогипертензией и начальной глаукомой. Но, с другой стороны, SWAP оказалась более чувствительной и к нарушениям прозрачности хрусталика, что в значительной степени снижает достоверность её результатов у пациентов с нередким сочетанием глаукомы и катаракты. Кроме того, достоверность результатов SWAP снижается и вследствие выраженной их вариабельности при повторных исследованиях из-за длительности тестирования, занимающего 15–20 мин для каждого глаза [12, 31–33].

С созданием укороченного алгоритма SITA для SWAP (2004) время исследования сократилось примерно на 70 % (с 15–20 до 4 мин) без значимой потери чувствительности результатов теста и увеличения вариабельности показателей, что, по мнению некоторых авторов, позволяет рекомендовать шире использовать SWAP для ранней диагностики глаукомы [5, 15].

Последние 25 лет в ранней диагностике глаукомы всё больше внимание уделяется методам, исследующим нарушения пространственной контрастной чувствительности (ПКЧ) сетчатки. По данным ряда работ, известно, что при развитии глаукомы отклонения от нормы таких тонких психофизических функций, как пространственная и временная контрастная чувствительность, начинаются на более раннем этапе, на уровне рецептивных полей сетчатки, и опережают появление скотом в ЦПЗ, выявляемых SAP [12, 33, 34]. К таким методам относятся периметрия с удвоением пространственной частоты (Frequency Doubling Technology Perimetry, или FDT-периметрия), периметрия с помощью мелькающего объекта, или Flicker Perimetry (FP), а также периметрия, обнаруживающая движение (Motion-detection Perimetry).

По данным современной зарубежной литературы, в качестве скрининга глаукомы из всех существующих функциональных методов наи-

более высоко оценивается периметрия с удвоением пространственной частоты. В основе FDT-периметрии лежит феномен зрительной иллюзии удвоения низкой пространственной частоты, возникающей у человека в норме в условиях её модуляции с высокой временной частотой, описанный ещё D.H. Kelly в 1966 г. Идея использования феномена удвоения пространственной частоты для ранней диагностики глаукомы принадлежит учёному из Австралии T.L. Maddess (1991). В широкую клиническую практику за рубежом FDT-периметрия вошла благодаря исследованиям С.А. Johnson (1997). В 1997 г. в США был создан первый прибор — The original FDT Perimeter для осуществления новой технологии периметрии, а уже в 2005 г. был выпущен FDT-периметр второго поколения — Humphrey Matrix FDT Perimeter (НМ FDT) [5, 33, 35–37]. По данным многочисленных исследований С.А. Johnson (1997), R.N. Weinreb, E.L. Greve (2004), J.A. Landers et al. (2006), F.K. Horn (2011, 2014), L.M. Alencar et al. (2011), результаты новой технологии периметрии имеют высокий уровень чувствительности при выявлении начальной глаукомы (79,1–85 %) и, что не менее важно, высокий уровень специфичности (88,1–91,4 %). Результаты FDT-периметрии, по данным зарубежной литературы, по уровню чувствительности не уступают, а по уровню специфичности и вариабельности повторных исследований (test-retest) превосходят результаты периметрии по Humphrey [1, 19, 38–41].

При сравнении результатов FDT-периметрии, выполненной на FDT-периметрах первого (оригинальный FDT) и второго (НМ FDT) поколений, статистически значимой разницы в результатах при скрининге глаукомы выявлено не было. Главное различие заключается в дополнении взятых из оригинального FDT-периметра тестов новыми программами тестирования. В этих программах размер стимула был уменьшен в 4 раза (с 10×10 до 5×5 градусов) с соответствующим изменением пространственной и временной частоты. В результате этих изменений длительность тестирования каждого глаза, конечно, увеличилась (с 3–4 до 4–5 мин), но за счёт уменьшения размера стимула исследование ЦПЗ стало осуществляться более детально [1, 41].

Зарубежные FDT-периметры в РФ не сертифицированы и поэтому на рынке нашей страны отсутствуют. В 2003–2007 гг. на базе кафедры офтальмологии Военно-медицинской академии (ВМедА) И.Л. Симаковой под руководством В.В. Волкова

и совместно с учёными кафедры прикладной математики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета была разработана отечественная модификация FDT-периметрии в пороговом и скрининговом вариантах [35]. Как показали исследования И.Л. Симаковой (2010), разработанная в виде программного продукта модификация FDT-периметрии, имеющая определённые отличия от оригинального зарубежного метода, не уступает ему по чувствительности и специфичности результатов в ранней диагностике глаукомы, а в скрининговом варианте оказалась более чувствительной [37]. Данная технология периметрии прошла апробацию более чем на 1000 пациентов в ВМедА и главных клинических госпиталях четырёх военных округов, Северного и Балтийского флотов, показав высокий уровень чувствительность/специфичность результатов при выявлении начальной глаукомы: 80,5/93,7 % в неотобранном контингенте при массовом осмотре населения и 95,8/96,7 % среди больных с установленной ранее глаукомой [36]. Как показали исследования последних 10 лет, модификация новой технологии периметрии реально претендует на роль эффективного, безопасного, технически простого и недорогого метода для проведения широких скрининговых исследований в группах риска на глаукому в стране.

Сравнение результатов исследования ЦПЗ при глаукоме, полученных с помощью FDT-периметрии, и данных «золотого стандарта» периметрии с помощью HFA II показало, что локализация участков депрессии светочувствительности сетчатки, выявленных по Humphrey и с помощью FDT-периметрии, в большинстве случаев совпадает, но при FDT-периметрии участков депрессии светочувствительности определяется больше [19, 26, 37, 42–45]. Эти данные подтверждают мнение многих авторов о том, что FDT-периметрия благодаря специфичности используемого стимула обнаруживает самые ранние изменения в ЦПЗ при глаукоме, которые ещё не обнаруживает SAP [1, 19, 26, 37, 40, 42, 44–47].

По данным работ J.A. Landers et al. (2003), L.M. Alencar и F.A. Medeiros (2011), в которых сравнивалась эффективность в диагностике глаукомы трёх методов периметрии (SAP, SWAP и FDT), наибольшую чувствительность и специфичность показали результаты FDT-периметрии и, что не менее важно, они были получены при наименьшем времени тестирования [19, 38].

Очень показательным является исследование P. Sample (2008), которая полагает, что в самом

начале развития глаукомы страдают определённые субпопуляции ганглиозных клеток сетчатки, поэтому врачу желательно располагать возможностью выполнять несколько методов исследования ЦПЗ. Автор сравнила четыре метода компьютерной периметрии: SAP, SWAP, FDT-периметрию и HPRP (высокораз разрешающую периметрию). По данным автора, все методы компьютерной периметрии у больных с начальной глаукомой оказались достаточно информативными, но FDT-периметрия выявляла глаукоматозные изменения в ЦПЗ чаще других методов [46].

В 2007 г. на Всемирном конгрессе по глаукоме, проходившем в Сингапуре, известной немецкой фирмой Heidelberg Engineering Company был представлен новый прибор Heidelberg Edge Perimeter (HEP) для выполнения контурной периметрии. В нём используется новый стимул в виде круга — Flicker Defined Form (FDF), создающегося мерцанием в противофазе фоновых изображений его контура в виде чёрных и белых точек с временной частотой 15 Гц. В основе метода лежит тот же принцип, что и при FDT-периметрии — восприятие испытуемым стимула в виде иллюзорно возникающего серого контура по краю круга. Впервые отчёты программы исследования состояния ЦПЗ, полученные при контурной периметрии, и состояния ДЗН, полученные с помощью ретиноматографа HRT-3, были объединены в одну распечатку структурных (топография ДЗН) и функциональных (изменения ЦПЗ) данных [45, 48–51]. По данным В.А. Мачехина (2013), А.В. Сухоруковой и др. (2015), О.Л. Фабрикантова и др. (2015), A.V. Turalba et al. (2010), F. Dannheim et al. (2013), F.K. Horn et al. (2014), метод контурной периметрии обладает значительно большей чувствительностью, чем SAP (HFA II или Octopus-900) (79–92 и 35–60 % соответственно) при выявлении начальной глаукомы. Но, к сожалению, метод контурной периметрии имеет ряд недостатков. Так, 10–15 % пациентов не понимают сути метода и поэтому не могут корректно выполнить исследование. Кроме того, у больных с глаукомой продолжительность тестирования увеличивается в 2 раза (до 7–8 мин в зависимости от стадии заболевания) [41, 48, 50, 52–54].

Следует упомянуть ещё один метод компьютерной периметрии, который называется микропериметрией, а точнее микрофундуспериметрией. Этот метод позволяет исследовать светочувствительность сетчатки в нескольких меридианах перипапиллярной, парамакулярной и макулярной

зон глазного дна, оценивая результат по его цветному цифровому изображению. Данная функция стала доступной благодаря совмещению компьютерной периметрии и фундус-камеры. Отличие от традиционных автоматизированных периметров заключается в том, что результаты микропериметрии представляются инвертированными относительно горизонтальной оси, поэтому для сравнения с результатами других методов периметрии необходима их реверсия [55].

Итальянской компанией CenterVue производится автоматизированный периметр, совмещённый со сканирующим лазерным офтальмоскопом Compass. При исследовании ЦПЗ используются такие же параметры, как и в периметре HFA II: фоновое освещение 31,4 asb, стимул III по Гольдману, длительность стимула 200 мс, пороговые тесты «24-2» и «10-2». Но этот компьютерный периметр отличает наличие функции трекинга контроля фиксации взгляда через встроенную в прибор фундус-камеру аналогично микропериметру с точностью до 0,1°, но в отличие от последнего тестируемое ЦПЗ в глаукомной программе расширено до 30°. По мнению L. Rossetti et al. (2015), результат Compass меньше зависит от степени помутнений хрусталика и неустойчивой фиксации взгляда испытуемого по сравнению с периметрией, выполненной по Humphrey. Но тестирование на периметре Compass занимает в два раза больше времени (10–12 мин), чем на анализаторе поля зрения HFA II (5–7 мин). Авторы сообщают, что большинству пациентов был понятен принцип выполнения тестирования, но около 5 % отметили возникновение слезотечения во время исследования [56].

В литературе работ по изучению эффективности микрофундуспериметрии при глаукоме представлено очень мало. По данным исследований А.А. Шпак и др. (2009), результаты тестирования на микропериметре и периметрии по Humphrey плохо согласуются между собой. Авторы не рекомендуют использовать микропериметрию для диагностики глаукомы в качестве аналога традиционной компьютерной периметрии [55].

По нашим данным, при сравнительном анализе эффективности компьютерного анализатора HFA II и микропериметра (MP-1) последний показал достаточно высокий уровень чувствительности (88 %) результатов исследований ЦПЗ всех больных с ПОУГ (I–III стадий). Но уровень специфичности (по данным здоровых лиц из контрольной группы) оказался очень низким, всего лишь 54 %, а это значит, что 46 %, то есть почти поло-

вина всех здоровых испытуемых, по результатам исследования ЦПЗ на микропериметре будут отнесены к категории больных. Кроме того, к недостаткам микропериметрии следует отнести большую продолжительность исследования, которая в среднем составила $13,5 \pm 7,1$ мин для одного глаза, причём минимальное время тестирования было 3 мин 30 с, а максимальное время выполнения теста равнялось 68 мин 36 с [47].

При Motion-Detection Perimetry (периметрии, обнаруживающей движение) предъявляются стимулы, которые совершают быстрое движение вокруг неподвижных объектов. Впервые тест был разработан F.W. Fitzke в 80-х гг. прошлого века [19]. Стимул по форме может быть циркулярным или линейным. Линейный стимул используется в Moorfield Motion Detection Test, разработанном в 2007 г. Исследования показали, что определение данных стимулов вызывает затруднения у пациентов с глаукомой. По данным M. Wall (2004), Motion-Detection Perimetry достаточно чувствительна к выявлению ГОН, но всё же менее чувствительна, чем FDT-периметрия и SWAP [18, 45].

К объективным методам компьютерной периметрии относится периметрия с помощью мультифокальных зрительных вызванных потенциалов (мфЗВП). Н.А. Baseler et al. (1994) предложили метод объективного исследования поля зрения с помощью зрительных вызванных потенциалов, основанный на оценке мультифокальной электроретинографии. По мнению некоторых авторов, этот метод в качестве объективной периметрии наиболее перспективен. Так, B. Fortune et al. (2007) показали, что тестирование ЦПЗ при ПОУГ с помощью-mfЗВП и SAP имеет одинаковую чувствительность и специфичность, но всё же-mfЗВП и SAP в 20 % случаев давали различный результат. Авторы считают, что данные методы в сложных диагностических случаях могут дополнять друг друга [57]. Но отсутствие единого подхода к выполнению метода периметрии с помощью-mfЗВП, высокая индивидуальная вариабельность амплитуды ЗВП, вследствие чего некоторые локальные дефекты в ЦПЗ могут быть пропущены, усложняет распространение метода-mfЗВП в широкой офтальмологической практике [53, 58].

F.N. Kanadani et al. (2014) провели сравнительную оценку результатов метода периметрии с помощью-mfЗВП и НМ FDT-периметрии у пациентов с глаукомой, в результате которой оказалось, что уровни чувствительности и специфичности

данных НМ FDT-периметрии значительно превысили аналогичные уровни данных-mfЗВП, составив 92 и 84; 64,9 и 69,6 % соответственно [59].

На базе кафедры офтальмологии ВМедА была разработана модификация исследования поля зрения с помощью-mfЗВП [60]. По нашим данным, по сравнению с периметрией по Humphrey метод-mfЗВП обладает более низкой чувствительностью (81 и 78 % соответственно), но почти одинаковой специфичностью (79 и 81 % соответственно) результатов. Однако мы полагаем, что из-за сложности, длительности и трудоёмкости проведения исследования ЦПЗ с помощью-mfЗВП, включая и обработку полученных данных, этот метод предпочтительней использовать в экспертной практике [47].

Таким образом, при выполнении современной статической периметрии с применением компьютерных периметров разных производителей можно получить данные ЦПЗ одного и того же испытуемого, отличающиеся в различной степени от результата «золотого стандарта» периметрии по Humphrey. Практикующие врачи часто не располагают сведениями о сопоставимости технических возможностей различных компьютерных периметров, особенностях оценки уровня светочувствительности сетчатки, сравнительной оценки «порогового» и «надпорогового» уровней светочувствительности сетчатки, оценки вариабельности и достоверности результатов исследований. Поэтому при отсутствии анализаторов поля зрения экспертного класса следует прежде всего хорошо изучить инструкцию и технические возможности имеющегося в эксплуатации компьютерного периметра. Для уточнения диагноза «подозрение глаукомы» или стадии уже подтверждённой глаукомы, а также мониторинга глаукоматозного процесса международные эксперты рекомендуют при возможности использовать различные методы компьютерной периметрии, в противном случае — несколько раз повторять имеющийся в наличии периметрический тест с целью уменьшения вариабельности и повышения достоверности периметрических данных, обязательно сопоставляя результаты исследования ЦПЗ с состоянием ДЗН [1–4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Weinreb R, Greve E, editors. Glaucoma diagnosis: structure and function: the 1th consensus report of the world glaucoma association. Hague: Kugler Publications; 2004.
2. Weinreb R, Greve E, editors. Progression of Glaucoma: the 8th consensus report of the world glaucoma association. Amsterdam: Kugler Publications; 2011.

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. – С. 62–66. [Volkov VV. About the standards for an assessment of existence, a course and glaucoma treatment according to recommendations of experts of the International association of glaucoma societies (part I). *Russian journal of glaucoma*. 2012;(2):62-66. (In Russ.)]
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. – С. 48–52. [Volkov VV. About 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). *Russian journal of glaucoma*. 2012;(3):48-52. (In Russ.)]
5. Еричев В.П., Петров С.Ю., Козлова И.В., и др. Современные методы функциональной диагностики и мониторинга глаукомы. Часть 1. Периметрия как метод функциональных исследований // Национальный журнал глаукома. – 2015. – Т. 14 – № 2. – С. 75–81. [Erichiev VP, Petrov SY, Kozlova IV, et al. Modern methods of functional diagnostics and monitoring of glaucoma. Part 1. Perimetry as a functional diagnostics method. *Russian journal of glaucoma*. 2015;14(2):75-81. (In Russ.)]
6. Курышева Н.И. Периметрия в диагностике глаукомной оптической нейропатии. – М., 2015. [Kuryшева NI. Perimetry in the diagnosis of glaucoma optic neuropathy. Moscow; 2015. (In Russ.)]
7. Gloor BP. Franz Fankhauser: the father of the automated perimeter. *Surv Ophthalmol*. 2009;54(3):417-425. doi: 10.1016/j.survophthal.2009.02.007.
8. Heijl A, Patella VM, Bengtsson B. The Field Analyzer Primer: Effective Perimetry. Dublin: Carl Zeiss Meditec Inc; 2012.
9. Heijl A, Krakau CET. An Automatic Static Perimeter, Design and Pilot Study. *Acta Ophthalmol*. 2009;53(3):293-310. doi: 10.1111/j.1755-3768.1975.tb01161.x.
10. Балашевич Л.И. Методы исследования поля зрения. – М.: Офтальмология, 2009. [Balashevich LI. Methods of investigating the visual field. Moscow: Oftal'mologiya; 2009. (In Russ.)]
11. Волков В.В., Сухинина Л.Б., Устинова Е.И. Глаукома, преглаукома, офтальмогипертензия. – Л.: Медицина, 1985. [Volkov VV, Sukhinina LB, Ustinova EI. Glaucoma, preglaucoma, ophthalmic hypertension. Leningrad: Meditsina; 1985. (In Russ.)]
12. Волков В.В. Глаукома открытоугольная. – М.: Медицинское информационное агентство, 2008. [Volkov VV. Open-angle glaucoma. Moscow: Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo; 2008. (In Russ.)]
13. Касимов Э.М., Ибрагимова С.Н., Эфендиева М.Э., Агаева М.А. Преимущества периметра Humphrey в диагностике и мониторинге глаукомы (обзор литературы) // Oftalmologiya. Elmi-praktik jurnal. – 2015. – № 3. – С. 130–136. [Qasimov EM, Ibragimova SN, Efendiyeva ME, Agayeva MA. Advantages of Humphrey perimeter in the diagnosis and monitoring of glaucoma (literature review). *Oftalmologiya. Elmi-praktik jurnal* 2015;(3):130-136. (In Russ.)]
14. Bengtsson B, Heijl A. Inter-subject variability and normal limits of the SITA Standard, SITA Fast, and the Humphrey Full Threshold computerized perimetry strategies, SITA STATPAC. *Acta Ophthalmol Scand*. 1999;77(2):125-129. doi: 10.1034/j.1600-0420.1999.770201.x.
15. Bengtsson B, Heijl A. Diagnostic sensitivity of fast blue-yellow and standard automated perimetry in early glaucoma: a comparison between different test programs. *Ophthalmology*. 2006;113(7):1092-1097. doi: 10.1016/j.ophtha.2005.12.028.
16. Capris P, Autuori S, Capris E, Papadia M. Evaluation of Threshold Estimation and Learning Effect of two Perimetric Strategies, Sita Fast and Clip, in Damaged Visual Fields. *Eur J Ophthalmol*. 2018;18(2):182-190. doi: 10.1177/112067210801800204.
17. Heijl A, Buchholz P, Norrgren G, Bengtsson B. Rates of visual field progression in clinical glaucoma care. *Acta Ophthalmol*. 2013;91(5):406-412. doi: 10.1111/j.1755-3768.2012.02492.x.
18. Schimiti RB, Avelino RR, Kara-José N, Costa VP. Full-threshold versus Swedish Interactive Threshold Algorithm (SITA) in normal individuals undergoing automated perimetry for the first time. *Ophthalmology*. 2002;109(11):2084-2092. doi: 10.1016/s0161-6420(02)01253-8.
19. Alencar LM, Medeiros FA. The role of standard automated perimetry and newer functional methods for glaucoma diagnosis and follow-up. *Indian J Ophthalmol*. 2011;59 Suppl: S53-58. doi: 10.4103/0301-4738.73694.
20. Gonzalez de la Rosa M, Gonzalez-Hernandez M. Pulsar perimetry. A review and new results. *Ophthalmologie*. 2013;110(2):107-115. doi: 10.1007/s00347-012-2690-0.
21. Zeppieri M, Brusini P, Parisi L, et al. Pulsar perimetry in the diagnosis of early glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2010;149(1): 102-112. doi: 10.1016/j.ajo.2009.07.020.
22. Будник В.М. Статический автоматический периграф «Периком». Некоторые аспекты перспективной стандартизации периметрических исследований // Вестник офтальмологии. – 1997. – Т. 113. – № 2. – С. 37–39. [Budnik VM. Static automatic perigraph "Pericom". Some aspects of standardization perimeter promising research. *Annals of ophthalmology*. 1997;113(2):37-39. (In Russ.)]
23. СКТБ Офтальмологического приборостроения «ОПТИМЕД». Периметры. Краткий обзор состояния, развития, методических вопросов, характеристик, цен, особенностей эксплуатации. 2015. [SKTB Ophthalmology "Optimed" Instrumentation. Apparatus for the study of the field of view. Perimeters. A brief overview of the state, development, methodological issues, performance, price, features of operation. 2015. (In Russ.)]
24. Давыдова Н.Г., Коломойцева Е.М., Малинина С.Л. Опыт клинического использования отечественного автоматического статического периграфа «Периком» // Вестник офтальмологии. – 1997. – Т. 113. – № 6. – С. 42–43. [Davydova NG, Kolomoitseva EM, Malinina SL. Experience in the clinical use of the domestic automatic static perigraph "Perikom". *Annals of Ophthalmology*. 1997;113(6):42-43. (In Russ.)]

25. Стоянова Г.С., Егоров Е.Л., Гуров А.С. Сравнительная характеристика кинетической и статической периметрии в стационарной и амбулаторной практике у больных глаукомой // РМЖ. Клиническая офтальмология. — 2002. — Т. 3. — № 2. — С. 65–67. [Stoyanova GS, Yegorov YA, Gurov AS. Comparative characterization of kinetic and static perimetry for clinic and dispensary glaucoma patients. *RMZh. Klinicheskaya oftalmologiya*. 2002;3(2):65-67. (In Russ.)]
26. Симакова И.Л., Сердюкова С.А. Некоторые аспекты сравнительной характеристики разных методов компьютерной периметрии // Офтальмологические ведомости. — 2015. — Т. 8. — № 2. — С. 5–9. [Simakova IL, Serdukova SA. Some aspects of the comparative characteristics of different computerized perimetry methods. *Oftalmologicheskie ведомosti*. 2015;8(2):5-9. (In Russ.)]
27. Астахов Ю.С., Акопов Е.Л., Руховец А.Г. Первый опыт применения периграфа Периком «Классика-мини» и универсального «задатчика» вакуум-компрессионных проб // Офтальмологические ведомости. — 2012. — Т. 5 — № 2. — С. 91–93. [Astakhov YS, Akopov EL, Rukhovets AG. First clinical use of Pericom "Classic-mini" perigraph and universal vacuum-compression "setting device". *Oftalmologicheskie ведомosti*. 2012;5(2):91-93. (In Russ.)]
28. Никитина О.Г., Кочорова Л.В. Современные проблемы организации амбулаторной офтальмологической медицинской помощи в крупном городе // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 3. [Nikitina OG, Kochorova LV. Contemporary issues facing ambulance ocular health care in large cities. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015;(3). (In Russ.)]
29. Johnson CA. Psychophysical Measurement of Glaucomatous Damage. *Surv Ophthalmol*. 2001;45:S313-S318. doi: 10.1016/s0039-6257(01)00201-6.
30. Marre M, Marre E. Different types of acquired colour vision deficiencies on the base of CVM patterns in dependence upon the fixation mode of the diseased eye. *Mod Probl Ophthalmol*. 1978;19:248-252.
31. Johnson CA. Blue-on-Yellow Perimetry Can Predict the Development of Glaucomatous Visual Field Loss. *Arch Ophthalmol*. 1993;111(5):645. doi: 10.1001/archophth.1993.01090050079034.
32. Митрофанова Н.В., Анкудинова С.В., Даутова З.А., и др. Некоторые аспекты применения в клинической практике коротковолновой периметрии для диагностики глаукомы // Медицинский вестник Башкортостана. — 2014 — Т. 9. — № 2. — С. 66–71. [Mitrofanova NV, Ankudinova SV, Dautova ZA, et al. Some aspects of SW perimetry use in clinical practice for glaucoma diagnostics. *Bashkortostan medical newsletter*. 2014;9(2):66-71. (In Russ.)]
33. Худонов А.А. Функциональные методы исследования в ранней диагностике первичной открытоугольной глаукомы // Сибирский медицинский журнал. — 2012. — Т. 108. — № 1. — С. 21–23. [Khudonogov AA. Functional methods of study in the early diagnosis of primary open-angle glaucoma. *Siberian Medical Journal*. 2012;108(1):21-23. (In Russ.)]
34. Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии. — М.: Медицина, 1999. [Shamshinova AM, Volkov VV. Functional methods of research in ophthalmology. Moscow: Meditsina; 1999. (In Russ.)]
35. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В., и др. Создание метода периметрии с удвоенной пространственной частотой за рубежом и в России // Глаукома. — 2009. — Т. 8. — № 2. — С. 5–21. [Simakova IL, Volkov VV, Boiko EV, et al. Creation of the method of frequency-doubling technology perimetry: an international and Russian experience. *Glaukoma*. 2009;8(2):15-21. (In Russ.)]
36. Бойко Э.В., Симакова И.Л., Кузьмичева О.В., и др. Высокотехнологичный скрининг на глаукому // Военно-медицинский журнал. — 2010. — Т. 331. — № 2. — С. 23–26. [Boiko EV, Simakova IL, Kuzmicheva OV, et al. High-technological screening for glaucoma. *Voen Med Zh*. 2010;331(2):23-26 (In Russ.)]
37. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В. Сравнение результатов разработанного метода периметрии с удвоенной пространственной частотой и оригинального метода FDT-периметрии // Глаукома. — 2010. — № 1. — С. 5–11. [Simakova IL, Volkov VV, Boiko EV. The results of developed method of frequency-doubling technology (FDT) perimetry in comparison with the results of the original FDT-perimetry. *Glaukoma*. 2010;(1):5-11. (In Russ.)]
38. Landers J, Sharma A, Goldberg I, Graham S. Topography of the frequency doubling perimetry visual field compared with that of short wavelength and achromatic automated perimetry visual fields. *Br J Ophthalmol*. 2006;90(1):70-74. doi: 10.1136/bjo.2005.071266.
39. Horn FK, Mardin CY, Bendschneider D, et al. Frequency doubling technique perimetry and spectral domain optical coherence tomography in patients with early glaucoma. *Eye (Lond)*. 2011;25(1):17-29. doi: 10.1038/eye.2010.155.
40. Pinilla I, Ferreras A, Idoipe M, et al. Changes in frequency-doubling perimetry in patients with type I diabetes prior to retinopathy. *Biomed Res Int*. 2013;2013:341269. doi: 10.1155/2013/341269.
41. Horn FK, Tornow RP, Junemann AG, et al. Perimetric measurements with flicker-defined form stimulation in comparison with conventional perimetry and retinal nerve fiber measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014;55(4):2317-2323. doi: 10.1167/iovs.13-12469.
42. Jampel HD, Singh K, Lin SC, et al. Assessment of visual function in glaucoma: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology*. 2011;118(5):986-1002. doi: 10.1016/j.optha.2011.03.019.
43. Quigley HA. Identification of glaucoma-related visual field abnormality with the screening protocol of frequency doubling technology11Welch-Allyn, Inc, Skaneateles, New York, provided an instrument on loan and an unrestricted donation. *Am J Ophthalmol*. 1998;125(6):819-829. doi: 10.1016/s0002-9394(98)00046-4.
44. 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. — Т. 15. — № 1. —

- C. 25–36. [Simakova IL, Sukhinin MV, Serdukova SA. The effectiveness of various methods of computerized perimetry in primary open-angle glaucoma. Part 1. *Russian journal of glaucoma*. 2016;15(1):25-36. (In Russ.)]
45. Wall M. What's New in Perimetry. *J Neuro-Ophthalmol*. 2004;24(1):46-55. doi: 10.1097/00041327-200403000-00011.
 46. Sample PA. Should SWAP and FDT be used to monitor glaucoma suspects with normal SAP? *International glaucoma review*. 2008;10(2, suppl.):3.
 47. 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. — Т. 15. — № 2. — С. 44–53. [Simakova IL, Sukhinin MV, Sobolev AF, Serdukova SA. The effectiveness of various methods of computerized perimetry in primary open-angle glaucoma. Part 2. *Russian journal of glaucoma*. 2016;15(2):44-53. (In Russ.)]
 48. Мачехин В.А. Гейдельбергская контурная периметрия — новый психофизический тест при глаукоме // Национальный журнал глаукома. — 2013. — № 2. — С. 10–15. [Machekhin VA. Heidelberg perimetry — a new psychophysical test for glaucoma. *Russian journal of glaucoma*. 2013;(2):10-15. (In Russ.)]
 49. Lin SR, Fijalkowski N, Lin BR, et al. Parallel rarebits: a novel, large-scale visual field screening method. *Clin Exp Optom*. 2014;97(6):528-533. doi: 10.1111/cxo.12221.
 50. Сухорукова А.В., Шутова С.В. Сравнительная оценка современных методов периметрии в диагностике начальной стадии открытоугольной глаукомы // Вестник Тамбовского университета. Серия: «Естественные и технические науки». — 2015. — Т. 20. — № 3. — С. 689–693. [Sukhorukova AV, Shutova SV. Comparative estimation of the modern perimetry methods in the diagnosis of primary open-angle glaucoma. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2015;20(3):689-693. (In Russ.)]
 51. Kaczorowski K, Mulak M, Szumny D, Misiuk-Hojlo M. Heidelberg Edge Perimeter: The New Method of Perimetry. *Adv Clin Exp Med*. 2015;24(6):1105-1112. doi: 10.17219/acem/43834.
 52. Dannheim F. Flicker and conventional perimetry in comparison with structural changes in glaucoma. *Ophthalmologie*. 2013;110(2):131-140. doi: 10.1007/s00347-012-2692-y.
 53. Turalba AV, Grosskreutz C. A review of current technology used in evaluating visual function in glaucoma. *Semin Ophthalmol*. 2010;25(5-6):309-316. doi: 10.3109/08820538.2010.518898.
 54. Фабрикантов О.Л., Шутова С.В., Сухорукова А.В. Сравнительная характеристика методов стандартной компьютерной и контурной периметрии в диагностике начальной глаукомы // Офтальмохирургия. — 2015. — № 4. — С. 24–29. [Fabrikantov OL, Shutova SV, Sukhorukova AV. Comparative characteristics of the standard automated perimetry and contour perimetry methods in diagnosis the initial stage of glaucoma. *Ophthalmosurgery*. 2015;(4):24-29. (In Russ.)]
 55. Шпак А.А., Качалина Г.Ф., Педанова Е.К. Сравнительный анализ результатов микропериметрии и традиционной периметрии в норме // Вестник офтальмологии. — 2009. — Т. 125. — № 3. — С. 31–33. [Shpak AA, Kachalina GF, Pedanova YK. Comparative analysis of the results of microperimetry and conventional computed perimetry in health. *Annals of ophthalmology*. 2009;125(3):31-33. (In Russ.)]
 56. Rossetti L, Digiuni M, Rosso A, et al. Compass: clinical evaluation of a new instrument for the diagnosis of glaucoma. *PLoS One*. 2015;10(3):e0122157. doi: 10.1371/journal.pone.0122157.
 57. Vaegan, Hollows FC. Visual-evoked response, pattern electroretinogram, and psychophysical magnocellular thresholds in glaucoma, optic atrophy, and dyslexia. *Optom Vis Sci*. 2006;83(7):486-98. doi: 10.1097/O1.opx.0000225920.97380.62.
 58. Fortune B, Demirel S, Zhang X, et al. Comparing multifocal VEP and standard automated perimetry in high-risk ocular hypertension and early glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48(3):1173-1180. doi: 10.1167/iops.06-0561.
 59. Kanadani FN, Mello PA, Dorairaj SK, Kanadani TC. Frequency-doubling technology perimetry and multifocal visual evoked potential in glaucoma, suspected glaucoma, and control patients. *Clin Ophthalmol*. 2014;8:1323-1330. doi: 10.2147/OPHT. S64684.
 60. Соболев А.Ф. Зрительные вызванные потенциалы при оценке полей зрения в клинической практике: Дис. ... канд. мед. наук. — СПб., 2010. [Sobolev AF. Visual evoked potentials in the assessment of visual fields in a clinical practice. [dissertation] Saint Petersburg; 2010. (In Russ.)]

Сведения об авторах

Светлана Анатольевна Сердюкова — врач-офтальмолог. ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург. E-mail: Serdyukova.ophtal@gmail.com.

Ирина Леонидовна Симакова — д-р мед. наук, доцент. ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург. E-mail: Irina.l.simakova@gmail.com.

Information about the authors

Svetlana A. Serdyukova — ophthalmologist. S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Serdyukova.ophtal@gmail.com.

Irina L. Simakova — MD, PhD, DSc, assistant professor. S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia. E-mail: Irina.l.simakova@gmail.com.