

УДК 617.754-072.7

# Современные методы функциональной диагностики и мониторинга глаукомы.

## Часть 1. Периметрия как метод функциональных исследований

**ЕРИЧЕВ В.П.**, д.м.н., профессор, зам. директора по научной работе;  
**ПЕТРОВ С.Ю.**, к.м.н., старший научный сотрудник отдела глаукомы;  
**КОЗЛОВА И.В.**, к.м.н., старший научный сотрудник отдела глаукомы;  
**МАКАРОВА А.С.**, к.м.н., научный сотрудник отдела глаукомы;  
**РЕЩИКОВА В.С.**, научный сотрудник отдела глаукомы.

ФГБНУ «НИИ глазных болезней», 119021, Российская Федерация, Москва, ул. Россолимо, 11А.

Авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи. Конфликт интересов: отсутствует.

### Резюме

Глаукома — хроническая оптическая нейропатия, характеризующаяся потерей ганглиозных клеток с развитием специфических изменений диска зрительного нерва (ДЗН) и слоя нервных волокон сетчатки (СНВС). Раннее выявление заболевания играет важную роль в предотвращении развития структурных нарушений и необратимой потери зрения. Диагностика глаукомы основана на оценке сохранности структур зрительного нерва и зрительных функций. Результаты клинического осмотра ДЗН и СНВС несут субъективный характер и сильно варьируют. В связи с этим исследования последних лет были направлены на разработку дополнительных объективных методов диагностики глаукомы. Была изучена возможность применения конфокальной сканирующей лазерной офтальмоскопии, сканирующей лазерной периметрии и оптической когерентной томографии для оценки состояния ДЗН. С целью обеспечения раннего

выявления дефектов полей зрения в настоящее время рассматриваются варианты замены стандартной автоматической периметрии (standard automated perimetry, SAP) на селективную, которая включает в себя коротковолновую автоматическую периметрию (short-wavelength automated perimetry, SWAP) и периметрию с иллюзией удвоения пространственной частоты (frequency-doubling technology perimetry, FDT). Статья представляет собой обзор современных методов диагностики глаукомы в контексте их применения в клинической практике.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** глаукома, диагностика, периметрия, стандартная автоматическая периметрия, коротковолновая автоматическая периметрия, периметрия с иллюзией удвоения пространственной частоты, стереофотография, конфокальная лазерная сканирующая офтальмоскопия, оптическая когерентная томография, сканирующая лазерная поляриметрия.

### ENGLISH

## Modern methods of functional diagnostics and monitoring of glaucoma.

### Part 1. Perimetry as a functional diagnostics method

**ERICHEV V.P.**, Med.Sc.D., Professor, Deputy director for Science;  
**PETROV S.YU.**, Ph.D, senior research associate of the Glaucoma Department;  
**KOZLOVA I.V.**, Ph.D., Senior research associate of the Glaucoma Department;  
**MAKAROVA A.S.**, Ph.D., Research associate of the Glaucoma Department;  
**RESHNIKOVA V.S.**, Research associate of the Glaucoma Department.

The Scientific Research Institute of Eye Diseases, 11a Rossolimo st., Moscow, Russian Federation, 119021.

Conflicts of Interest and Source of Funding: none declared.

### Для контактов:

Петров Сергей Юрьевич, e-mail: post@glaucomajournal.ru

Поступила в печать: 06.02.2015

Received for publication: February 6, 2015

## Abstract

Glaucoma is a chronic optic neuropathy, characterized by ganglion cell loss and specific changes in the optic nerve head (ONH) and retinal nerve fiber layer (RNFL). Early glaucoma detection plays an important role in preventing permanent structural damage development and irreversible vision loss. Glaucoma diagnostics is based on examination of structural damage to the optic nerve and visual functions evaluation. The results of ONH and RNFL clinical evaluation are subjective and can vary to a great extent. As a result, much recent research has been devoted to developing additional objective diagnostic methods, such as the use of confocal scanning laser ophthalmoscopy, scanning laser polarimetry and optical coherence tomography for evaluating the OHN status. In order to provide early detection of visual field defects some researchers consider the possibility of replacing standard automated perimetry (SAP) with the selective automated perimetry, that includes the short-wavelength automated perimetry (SWAP) and frequency-doubling technology perimetry (FDT). This article presents a review of modern methods available for glaucoma diagnostics with emphasis on their clinical use.

**KEYWORDS:** glaucoma, diagnostics, standard automated perimetry, short-wavelength automated perimetry, frequency-doubling technology perimetry, confocal scanning laser ophthalmoscopy, optical coherence tomography, scanning laser polarimetry.

Впервые выявленное или прогрессирующее сужение полей зрения по данным стандартной автоматической периметрии (standard automated perimetry, SAP) стало ключевым подходом к диагностике и мониторингу глаукомы [1-5]. Так, исследование Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS) было посвящено изучению эффектов гипотензивной терапии у пациентов с повышенным внутриглазным давлением (ВГД), но без исходных изменений полей зрения по данным SAP и/или видимого повреждения диска зрительного нерва (ДЗН) на т. н. стереофотографиях. Конечная точка была обозначена как сужение полей зрения, подтвержденное тремя последовательно выполненными периметриями, или появление явных признаков глаукомной оптической нейропатии (ГОН) на двух последовательных стереофотографиях ДЗН [2]. Позже результаты этого исследования были подвергнуты ретроспективному анализу с целью определить прогностическую ценность исследуемых параметров [6]. В построенной модели увеличение периметрического показателя PSD (pattern standard deviation, стандартное отклонение паттерна), даже в пределах диапазона нормальных значений, трактовалось в качестве предвестника развития глаукомы. Это наблюдение было впоследствии дважды подтверждено у пациентов с офтальмогипертензией из исследований Diagnostic Innovations in Glaucoma Study (DIGS) и European Glaucoma Prevention Study (EGPS) [7, 8]. В рамках OHTS и EGPS также было обнаружено, что именно сужение полей зрения стало первой конечной точкой, достигнутой соответственно в 35 и 60% случаях, перешедших в глаукому [9, 10]. В результате еще одного исследования, посвященного сравнению эффективности лечения и динамического наблюдения у пациентов с начальной глаукомой (EGMT) и также подвергнутого ретроспективному анализу, было обнаружено, что изменения полей зрения стали первой достигнутой конечной точкой в 86% глаз [11, 12]. Более высокий процент в данном

случае можно объяснить различиями в дизайне EGMT и двумя ранее упомянутыми исследованиями: демография групп, стадии и тяжесть заболевания, диагностические критерии и методы фоторегистрации ДЗН. Однако все три исследования убедительно показали, что периметрия является важным компонентом в диагностике и ведении пациентов с глаукомой [13].

## Стандартная автоматическая периметрия

Хотя до настоящего времени SAP являлась общепринятым стандартом оценки зрительных функций в клинических исследованиях, она обладает рядом недостатков. Во-первых, отсутствие селективности, поскольку для определения дифференциальной светочувствительности применяется небольшой ( $0,47^\circ$ ) белый объект, вспыхивающий на 200 мс на затемненном (31,5 асб) белом фоне и одномоментно возбуждающий все основные типы ганглиозных клеток сетчатки. Во-вторых, вследствие т. н. врожденной избыточности зрительной системы SAP не является в достаточной степени чувствительной к ранним глаукомным изменениям [14]. Так, у ряда пациентов была зафиксирована значительная потеря ганглиозных клеток (25-50%), прежде чем стандартная периметрия смогла выявить их функциональный дефицит [15]. Кроме того, результаты SAP и других функциональных тестов сильно варьируют при повторном исследовании, особенно в тех секторах, где поле сужено, что затрудняет объективную оценку динамических изменений [16, 17]. Например, в исследовании OHTS большая часть исходных изменений полей зрения при повторной периметрии на втором году не подтвердилась, в связи с чем конечная точка была пересмотрена в пользу трех последовательно проведенных тестов вместо двух, запланированных изначально [18]. В исследовании EGMT достижение конечной точки также засчитывалось только при трехкратном подтверждении факта прогрессирования [11].

Воспроизводимость результатов периметрии зависит от исполнительности пациента (правильное понимание задачи), количества потерь фиксации, усталости, обучения, размера зрачка, неадекватной оптической коррекции. Blumenthal на примере многофакторной модели показал, что наибольший вклад в субъективность данных SAP и SWAP вносят глубина и локализация дефекта, а также стадия глаукомной нейропатии [19]. Однако даже совместным действием этих трех факторов можно объяснить только одну треть обнаруженной суммарной вариабельности. Некоторое повышение воспроизводимости результата, а также сокращение времени исследования (до 4-5 мин) без ущерба его точности было достигнуто благодаря внедрению так называемого шведского интерактивного алгоритма ускорения тестирования (Swedish interactive thresholding algorithm, SITA) [20]. Данный протокол вошел в программное обеспечение периметра Humphrey Visual Field Analyzer (HFA, «Carl Zeiss Meditec», Inc.) и широко применяется в клинической практике. Кроме того, из всех периметрических исследований только SAP позволяет автоматически анализировать динамические изменения в области выявленного дефекта. В программном обеспечении периметра Humphrey данная функция фигурирует как GPA (guided progression analysis, прицельный анализ прогрессирования). Данный метод основан на принципах анализа прогрессирования, разработанных для исследования EMGT, и также реализован в периметре Octopus (Haag-Streit, «Koeniz», Switzerland) [11].

Для более глубокого понимания принципов эффективной работы зрительной системы и функциональных изменений, происходящих в ганглиозных клетках при глаукоме, были предложены психофизические тесты, которые в отличие от неселективной SAP предполагают оценку отдельных зрительных функций, находящихся в компетенции строго определенных субпопуляций ганглиозных клеток [21].

### Коротковолновая автоматическая периметрия

При проведении коротковолновой автоматической периметрии (short-wavelength automated perimetry, SWAP) специфический стимул воспринимается коротковолновыми колбочками и обрабатывается ганглиозными клетками, ответственными за сине-желтое восприятие, чьи аксоны направляются к интерламинарным слоям латерального колоччатого тела [22-24]. Данная технология реализована в серийных периметрах Humphrey и Octopus и была применена в ряде вышеупомянутых клинических исследований. Тестирование проводят мелким (ширина 1,8°) голубым объектом (длина волны 440 нм), вспыхивающим на ярком желтом

фоне (100 кд/м<sup>2</sup>) на 200 мс. Благодаря адаптации алгоритма SITA, методика определения порога светочувствительности и расположение тестовых точек при SWAP идентичны стандартной периметрии [25, 26]. Исследование SWAP-SITA занимает в среднем около 4 минут.

В отличие от других методик селективной периметрии для SWAP характерна степень функциональной изоляции: около 15 дБ. Таким образом, другие типы ганглиозных клеток смогут принять участие в обработке стимула только в том случае, если светочувствительность сине-желтых колбочек снизится более чем на 15 дБ [27].

Следует отметить, что для SWAP также характерен ряд недостатков. Было показано, что вариабельность данных при повторном тестировании у SWAP даже выше, чем у SAP [19, 28]. Применение алгоритма SITA позволяет несколько повысить объективность и сократить время исследования, тем не менее повышение эффективности диагностики при помощи SWAP-SITA требует дальнейшего совершенствования [29]. Важно описать пациенту внешний вид объекта и дать потренироваться перед первым тестированием. Еще одним недостатком метода является бóльшая по сравнению с SAP зависимость результата от степени прозрачности сред, что затрудняет постановку диагноза, особенно у пожилых пациентов [30].

Вместе с тем результаты первых исследований показали, что, несмотря на недостатки, полное пороговое тестирование SWAP (SWAP-FT, SWAP-full threshold) более чувствительно к ранним проявлениям глаукомы, чем SAP, и способно на 3-5 лет раньше выявить дефекты поля зрения [27, 31, 32]. Так, Johnson в своем исследовании на 479 глазах со сроком наблюдения несколько лет сопоставлял структурные изменения, связанные с глаукомой, с результатами функциональных тестов (SAP и SWAP) [33]. Все пациенты имели исходно нормальные поля зрения по данным SAP, но при динамическом наблюдении у 17,5% из них были выявлены достоверные глаукомные изменения. Из этих 17,5% глаз в 75-80% случаев в начале исследования имелось глаукомное повреждение ДЗН. У 12% в то же время были достоверно выявлены дефекты полей по данным SWAP. Еще у 8% изменения по данным SWAP были обнаружены позже. В исследовании OHTS у всех пациентов исходно нормальными были не только поля зрения SAP, но и параметры ДЗН, тем не менее SWAP удалось обнаружить изменения у 21% из них [34]. В ходе другого исследования каждому пациенту с признаками начальной ГОН были проведены SAP-FT, SWAP-FT, FDT-N30 и кинетическая автоматическая периметрия (motion automated perimetry, MAP). В результате SAP выявила изменения лишь у 46% пациентов, в то время как FDT — у 70%, SWAP — у 61%, а MAP — у 52% [35]. Кроме того, было показано, что при снижении

зрительных функций по данным всех видов периметрических исследований выявленные изменения локализируются в одной и той же области сетчатки и что вовлечение в процесс различных типов ганглиозных клеток может происходить в любом порядке, свидетельствуя о неселективности глаукомного поражения. Последнее было подтверждено в работах, посвященных изучению латерального колеччатого тела, психофизическим методам исследования, а также сравнению эффективности различных методов оценки функциональных нарушений [36-40].

Указанные результаты позволяют предположить, что в ряде случаев проведение SWAP, возможно, позволило бы раньше выявить заболевание. Однако первые сравнительные исследования эффективности применения селективных функциональных методов (SWAP и FDT) столкнулись с определенными трудностями, что будет проанализировано в 3 части статьи.

### Периметрия с иллюзией удвоения пространственной частоты

Периметрия с удвоенной частотой, или, что может быть корректнее, с иллюзией удвоения пространственной частоты (frequency-doubling technology perimetry, FDT) основана на феномене мнимого удвоения исходно низкой пространственной частоты синусоидальной решетки при ее предъявлении в условиях противофазного мелькания с высокой временной частотой. Считается, что таким образом исследуют функцию т. н. магноцеллюлярных ганглиозных клеток сетчатки, которые составляют около 10% всей популяции. Технология реализована в не представленном в России серийном периметре Matrix («Welch-Allyn», Skaneateles, Нью-Йорк), распространяемом компанией «Carl Zeiss Meditec». В программном обеспечении устройства доступно 2 алгоритма тестирования: С-20 и N-30. Они отличаются по числу исследуемых квадратов (17 и 19 соответственно) [41, 42]. Ширина полос составляет 10°, частота противофазного мелькания — 25 Гц. Порог светочувствительности определяют методом т. н. модифицированного бинарного поиска. Время тестирования составляет около 5 мин.

Последний разработанный алгоритм 24-2 на основе технологии скоростной оценки последовательного тестирования (zippy estimation of sequential testing, ZEST) направлен на исследование центрального поля зрения в пределах 24°, разделенного на 54 основных квадрата плюс один фовеолярный [43-45]. Полосы шириной 5° составляют синусоидальные решетки с пространственной частотой 0,5 циклов/градус, которые подвергают противофазному мельканию с временной частотой 18 Гц. Исследование также занимает в среднем 5 мин.

Преимуществом FDT является меньшая вариабельность при повторном исследовании по сравнению с SAP и SWAP [46]. К недостаткам можно отнести снижение достоверности результатов у пациентов с возрастной и задней субкапсулярной катарактой [47]. Первые исследования показали, что FDT, возможно, более чувствительна к ранним глаукомным изменениям, чем стандартная периметрия [35, 48-52]. В настоящее время для скрининга глаукомы ряд исследователей рекомендует применять именно FDT [53, 54]. Сравнительное исследование периметрии Matrix и FDT-N30 показало высокую корреляцию их результатов, т. е. периметрия Matrix может применяться для ранней диагностики глаукомы, так же как и FDT-N30 [55].

При проведении сравнительной оценки двух и более видов периметрии не рекомендуется использовать поля зрения в качестве критерия разделения пациентов на группы. Распространенной проблемой сравнительных исследований функциональных нарушений при глаукоме является то, что данные SAP становятся основанием для формирования групп или же принимаются за эталон, с которым в дальнейшем сравнивают результаты других тестов. Таким образом, SAP по умолчанию признается лучшей методикой и возникает впечатление, что ни один другой тест не может с ней конкурировать. Но происходит и обратное: репутация SAP серьезно страдает, когда у части пациентов, определенных ею как «норма», более селективные методы выявляют отклонения. Дополнительную трудность представляет быстрое развитие технологий. По данным литературы, число публикаций, посвященных сравнению последних модификаций основных видов периметрии, т. е. SAP-SITA, SWAP-SITA и FDT Matrix 24-2, невелико [55, 56].

Число работ, в которых в роли стандарта выступал бы нефункциональный признак, в настоящее время также ограничено. Sample et al. в сравнительном исследовании SAP-SITA, SWAP-FT, FDT-N30 и периметрии с быстрым изменением величины разрешения (high-pass resolution perimetry) применили сразу два нефункциональных стандарта диагностики, а именно наличие глаукомной оптической и прогрессирующей нейропатии [37]. Результаты подтвердили, что поражение ганглиозных клеток при глаукоме неселективно, и что при вовлечении в патологический процесс нескольких видов ганглиозных клеток изменения локализируются в одной и той же области сетчатки. Существенных отличий в параметрах ROC-кривых (кривые ошибок) SAP, SWAP и FDT обнаружено не было. С этими данными согласуются результаты большинства других исследований, в которых основанием для деления пациентов на группы также являлось наличие или отсутствие ГОН [46, 56]. В исследовании Racette, однако, периметрия Matrix FDT 24-2 показала несколько большую, чем SAP-SITA,

дискриминационную способность в отношении глаукомных и здоровых глаз [55]. Наконец, еще в одном исследовании эффективность FDT Matrix 24-2 на прототипе и SWAP-FT оказалась одинаково высокой, сравнение с SAP не проводилось [57].

В другой работе к проблеме подошли иначе [37]. Оценку параметров функциональных (SWAP-FT и FDT-N30) и структурных (ОСТ и SLP) тестов проводили отдельно с использованием двух разных стандартов. Первый основывался на вынесенном «вслепую» экспертном мнении о состоянии ДЗН по данным стереофотографии, второй — на периметрии SAP. В результате наиболее чувствительные параметры FDT продемонстрировали более высокую чувствительность при заданной специфичности, чем аналогичные параметры SWAP. При использовании в качестве стандарта диагностики внешней оценки ДЗН площадь под ROC-кривой для FDT и SWAP составила 0,88 и 0,78 соответственно, а при сопоставлении результатов с данными с SAP — 0,87 и 0,76. Структурные показатели, рассчитанные по данным ОСТ, имели большую чувствительность, чем параметры SWAP [37].

Было также установлено, что комбинированная функциональная диагностика имеет более высокую чувствительность к ранним патологическим изменениям, чем любой из методов в отдельности, и не теряет при этом в специфичности. Такие комбинации, как, например, SAP-SITA с SWAP-FT или FDT-N30, а также SAP-SITA с Matrix 24-2, FDT и SWAP во всех случаях оказались более эффективны, чем указанные методы в отдельности [37, 56, 58].

## Заключение

Таким образом, новые модификации периметрических тестов должны пройти дополнительные исследования, прежде чем будет понятна их клиническая значимость для диагностики и ведения глаукомы. Однако уже на этом этапе можно сделать важные выводы. Глаукома приводит к потере ганглиозных клеток сетчатки трех типов: парвоцеллюлярных, магноцеллюлярных и малых бистратифицированных. Существуют индивидуальные различия в том, какой диагностический тест первым выявит патологические изменения у конкретного пациента, причем это в равной степени касается как методов функциональной диагностики, так и комбинированного структурно-функционального обследования. Глаукомные изменения, выявляемые двумя и более периметрическими тестами, локализуются в одной и той же области сетчатки. Новые алгоритмы ускорения порогового тестирования позволяют за более короткое время получить данные, сопоставимые со старой версией соответствующего теста, и, кроме того, способствуют некоторому повышению воспроизводимости результатов. Только повторно выявленные изменения полей

зрения могут служить подтверждением диагноза глаукома, причем это могут быть результаты как одного и того же, так и разных периметрических тестов. В последнем случае диагноз основывается на выявлении множественных функциональных нарушений в одной и той же области сетчатки.

## Литература/References

1. The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS): 7. The relationship between control of intraocular pressure and visual field deterioration. The AGIS Investigators. *Am J Ophthalmol* 2000; 130(4):429-440.
2. Gordon M.O., Kass M.A. The Ocular Hypertension Treatment Study: design and baseline description of the participants. *Arch Ophthalmol* 1999; 117(5):573-583.
3. Leske M.C., Heijl A., Hyman L., Bengtsson B. Early Manifest Glaucoma Trial: design and baseline data. *Ophthalmology* 1999; 106(11):2144-2153.
4. Miglior S., Zeyen T., Pfeiffer N., Cunha-Vaz J. et al. The European glaucoma prevention study design and baseline description of the participants. *Ophthalmology* 2002; 109(9): 1612-1621.
5. Musch D.C., Lichter P.R., Guire K.E., Standardi C.L. The Collaborative Initial Glaucoma Treatment Study: study design, methods, and baseline characteristics of enrolled patients. *Ophthalmology* 1999; 106(4):653-662.
6. Gordon M.O., Beiser J.A., Brandt J.D., Heuer D.K. et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(6):714-720; discussion 829-730.
7. Medeiros F.A., Weinreb R.N., Sample P.A., Gomi C.F. et al. Validation of a predictive model to estimate the risk of conversion from ocular hypertension to glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2005; 123(10):1351-1360. doi:10.1001/archophth.123.10.1351.
8. Ocular Hypertension Treatment Study G., European Glaucoma Prevention Study G., Gordon M.O., Torri V. et al. Validated prediction model for the development of primary open-angle glaucoma in individuals with ocular hypertension. *Ophthalmology* 2007; 114(1):10-19. doi:10.1016/j.ophtha.2006.08.031.
9. European Glaucoma Prevention Study G., Miglior S., Pfeiffer N., Torri V., et al. Predictive factors for open-angle glaucoma among patients with ocular hypertension in the European Glaucoma Prevention Study. *Ophthalmology* 2007; 114(1):3-9. doi:10.1016/j.ophtha.2006.05.075.
10. Kass M.A., Heuer D.K., Higginbotham E.J., Johnson C.A. et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: a randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(6):701-713; discussion 829-730.
11. Heijl A., Leske M.C., Bengtsson B., Bengtsson B., Hussein M., Early Manifest Glaucoma Trial G. Measuring visual field progression in the Early Manifest Glaucoma Trial. *Acta Ophthalmol Scand* 2003; 81(3):286-293.
12. Heijl A., Leske M.C., Bengtsson B., Hyman L. et al. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: results from the Early Manifest Glaucoma Trial. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(10):1268-1279.
13. Higginbotham E.J., Gordon M.O., Beiser J.A., Drake M.V. et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: topical medication delays or prevents primary open-angle glaucoma in African American individuals. *Arch Ophthalmol* 2004; 122(6):813-820. doi:10.1001/archophth.122.6.813.

14. Quigley H.A., Dunkelberger G.R., Green W.R. Retinal ganglion cell atrophy correlated with automated perimetry in human eyes with glaucoma. *Am J Ophthalmol* 1989; 107(5):453-464.
15. Kerrigan-Baumrind L.A., Quigley H.A., Pease M.E., Kerrigan D.F., Mitchell R.S. Number of ganglion cells in glaucoma eyes compared with threshold visual field tests in the same persons. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000; 41(3):741-748.
16. Artes P.H., Iwase A., Ohno Y., Kitazawa Y., Chauhan B.C. Properties of perimetric threshold estimates from Full Threshold, SITA Standard, and SITA Fast strategies. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002; 43(8):2654-2659.
17. Keltner J.L., Johnson C.A., Levine R.A., Fan J. et al. Normal visual field test results following glaucomatous visual field and points in the Ocular Hypertension Treatment Study. *Arch Ophthalmol* 2005; 123(9):1201-1206. doi:10.1001/archophth.123.9.1201.
18. Keltner J.L., Johnson C.A., Anderson D.R., Levine R.A. et al. The association between glaucomatous visual fields and optic nerve head features in the Ocular Hypertension Treatment Study. *Ophthalmology* 2006; 113(9):1603-1612. doi:10.1016/j.ophtha.2006.05.061.
19. Blumenthal E.Z., Sample P.A., Berry C.C., Lee A.C. et al. Evaluating several sources of variability for standard and SWAP visual fields in glaucoma patients, suspects, and normals. *Ophthalmology* 2003; 110(10):1895-1902. doi:10.1016/S0161-6420(03)00541-4.
20. Bengtsson B., Heijl A. Evaluation of a new perimetric threshold strategy, SITA, in patients with manifest and suspect glaucoma. *Acta Ophthalmol Scand* 1998; 76(3):268-272.
21. Weinreb R.N., Greve E.L. Glaucoma diagnosis, structure and function: reports and consensus statements of the 1st global AIGS Consensus meeting on «structure and function in the management of glaucoma». The Hague: Kugler Publications; 2004.
22. Dacey D.M., Lee B.B. The 'blue-on' opponent pathway in primate retina originates from a distinct bistratified ganglion cell type. *Nature* 1994; 367(6465):731-735. doi:10.1038/367731a0.
23. Dacey D.M., Packer O.S. Colour coding in the primate retina: diverse cell types and cone-specific circuitry. *Curr Opin Neurobiology* 2003; 13(4):421-427.
24. Martin P.R., White A.J., Goodchild A.K., Wilder H.D., Sefton A.E. Evidence that blue-on cells are part of the third geniculocortical pathway in primates. *Europ J Neuroscience* 1997; 9(7):1536-1541.
25. Bengtsson B. A new rapid threshold algorithm for short-wavelength automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003; 44(3):1388-1394.
26. Bengtsson B., Heijl A. Normal intersubject threshold variability and normal limits of the SITA SWAP and full threshold SWAP perimetric programs. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003; 44(11):5029-5034.
27. Sample P.A., Taylor J.D., Martinez G.A., Lusky M., Weinreb R.N. Short-wavelength color visual fields in glaucoma suspects at risk. *Am J Ophthalmol* 1993; 115(2):225-233.
28. Wild J.M., Cubbage R.P., Pacey I.E., Robinson R. Statistical aspects of the normal visual field in short-wavelength automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998; 39(1):54-63.
29. 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.
30. Sample P.A., Weinreb R.N. Progressive color visual field loss in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1992; 33(6):2068-2071.
31. Johnson C.A., Adams A.J., Casson E.J., Brandt J.D. Blue-on-yellow perimetry can predict the development of glaucomatous visual field loss. *Arch Ophthalmol* 1993; 111(5):645-650.
32. Johnson C.A., Adams A.J., Casson E.J., Brandt J.D. Progression of early glaucomatous visual field loss as detected by blue-on-yellow and standard white-on-white automated perimetry. *Arch Ophthalmol* 1993; 111(5):651-656.
33. Johnson C.A., Sample P.A., Zangwill L.M., Vasile C.G. et al. Structure and function evaluation (SAFE): II. Comparison of optic disk and visual field characteristics. *Am J Ophthalmol* 2003; 135(2):148-154.
34. Keltner J.L., Johnson C.A., Cello K.E., Bandermann S.E. et al. Visual field quality control in the Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS). *J Glaucoma* 2007; 16(8):665-669. doi:10.1097/IJG.0b013e318057526d.
35. Sample P.A., Bosworth C.F., Blumenthal E.Z., Girkin C., Weinreb R.N. Visual function-specific perimetry for indirect comparison of different ganglion cell populations in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000; 41(7):1783-1790.
36. McKendrick A.M., Badcock D.R., Morgan W.H. Psychophysical measurement of neural adaptation abnormalities in magnocellular and parvocellular pathways in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; 45(6):1846-1853.
37. Sample P.A., Medeiros F.A., Racette L., Pascual J.P. et al. Identifying glaucomatous vision loss with visual-function-specific perimetry in the diagnostic innovations in glaucoma study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006; 47(8):3381-3389. doi:10.1167/iovs.05-1546.
38. Yucel Y.H., Zhang Q., Gupta N., Kaufman P.L., Weinreb R.N. Loss of neurons in magnocellular and parvocellular layers of the lateral geniculate nucleus in glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2000; 118(3):378-384.
39. Yucel Y.H., Zhang Q., Weinreb R.N., Kaufman P.L., Gupta N. Atrophy of relay neurons in magnocellular and parvocellular layers in the lateral geniculate nucleus in experimental glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001; 42(13):3216-3222.
40. Yucel Y.H., Zhang Q., Weinreb R.N., Kaufman P.L., Gupta N. Effects of retinal ganglion cell loss on magnocellular, parvocellular pathways in the lateral geniculate nucleus and visual cortex in glaucoma. *Progress in Retinal and Eye Research* 2003; 22(4):465-481.
41. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В. Создание метода периметрии с удвоенной пространственной частотой за рубежом и в России. *Глаукома* 2009; 8(2):15. [Simakova I.L., Volkov V.V., Boiko E.V. Creation of the method of frequency-doubling technology perimetry: an international and Russian experience. *Glaucoma* 2009; 8(2):15. (In Russ.)].
42. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В. Значение периметрии с удвоенной пространственной частотой в профилактике слепоты и инвалидности от глаукомы. *Глаукома* 2009; 8(3):11. [Simakova I.L., Volkov V.V., Boiko E.V. Significance of frequency-doubling technology perimetry in prophylaxis of blindness and disablement from glaucoma. *Glaucoma* 2009; 8(3):11. (In Russ.)].
43. Johnson C.A., Cioffi G.A., Van Buskirk E.M. Frequency doubling technology perimetry using a 24-2 stimulus presentation pattern. *Optometry Vis Sci* 1999; 76(8):571-581.
44. Turpin A., McKendrick A.M., Johnson C.A., Vingrys A.J. Performance of efficient test procedures for frequency-doubling technology perimetry in normal and glaucomatous eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002; 43(3):709-715.
45. Turpin A., McKendrick A.M., Johnson C.A., Vingrys A.J. Development of efficient threshold strategies for frequency doubling technology perimetry using computer simulation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002; 43(2):322-331.
46. Burgansky-Eliash Z., Wollstein G., Patel A., Bilonick R.A., et al. Glaucoma detection with matrix and standard achromatic perimetry. *Brit J Ophthalmol* 2007; 91(7):933-938. doi:10.1136/bjo.2006.110437.

47. Casson R.J., James B. Effect of cataract on frequency doubling perimetry in the screening mode. *J Glaucoma* 2006; 15(1): 23-25.
48. Brusini P., Salvetat M.L., Zeppieri M., Parisi L. Frequency doubling technology perimetry with the Humphrey Matrix 30-2 test. *J Glaucoma* 2006; 15(2):77-83.
49. Burnstein Y., Elish N.J., Magbalon M., Higginbotham E.J. Comparison of frequency doubling perimetry with Humphrey visual field analysis in a glaucoma practice. *Am J Ophthalmol* 2000; 129(3):328-333.
50. Cello K.E., Nelson-Quigg J.M., Johnson C.A. Frequency doubling technology perimetry for detection of glaucomatous visual field loss. *Am J Ophthalmol* 2000; 129(3):314-322.
51. Iester M., Sangermani C., De Feo F., Ungaro N., et al. Sector-based analysis of frequency doubling technology sensitivity and optic nerve head shape parameters. *Eur J Ophthalmol* 2007; 17(2):223-229.
52. Wu L.L., Suzuki Y., Kunitatsu S., Araie M., Iwase A., Tomita G. Frequency doubling technology and confocal scanning ophthalmoscopic optic disc analysis in open-angle glaucoma with hemifield defects. *J Glaucoma* 2001; 10(4):256-260.
53. Iwase A., Tomidokoro A., Araie M., Shirato S. et al. Performance of frequency-doubling technology perimetry in a population-based prevalence survey of glaucoma: the Tajimi study. *Ophthalmology* 2007; 114(1):27-32. doi:10.1016/j.ophtha.2006.06.041.
54. Mansberger S.L., Edmunds B., Johnson C.A., Kent K.J., Cioffi G.A. Community visual field screening: prevalence of follow-up and factors associated with follow-up of participants with abnormal frequency doubling perimetry technology results. *Ophthalmic epidemiology* 2007; 14(3): 134-140. doi:10.1080/09286580601174060.
55. Racette L., Medeiros F.A., Zangwill L.M., Ng D., Weinreb R.N., Sample P.A. Diagnostic accuracy of the Matrix 24-2 and original N-30 frequency-doubling technology tests compared with standard automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008; 49(3):954-960. doi:10.1167/iovs.07-0493.
56. Sakata L.M., Deleon-Ortega J., Arthur S.N., Monheit B.E., Girkin C.A. Detecting visual function abnormalities using the Swedish interactive threshold algorithm and matrix perimetry in eyes with glaucomatous appearance of the optic disc. *Arch Ophthalmol* 2007; 125(3):340-345. doi:10.1001/archophth.125.3.340.
57. Spry P.G., Hussin H.M., Sparrow J.M. Clinical evaluation of frequency doubling technology perimetry using the Humphrey Matrix 24-2 threshold strategy. *Brit J Ophthalmol* 2005; 89(8):1031-1035. doi:10.1136/bjo.2004.057778.
58. Horn F.K., Brenning A., Junemann A.G., Lausen B. Glaucoma detection with frequency doubling perimetry and short-wavelength perimetry. *J Glaucoma* 2007; 16(4):363-371. doi:10.1097/IJG.0b013e318032e4c2.

Поступила 06.02.2015



**Stormoff®**  
group of companies  
+7 (495) 780 07 92

**OCTOPUS 600**  
**PULSAR периметрия**

Информативный и быстрый метод для ранней диагностики глаукомы  
Топография пространственной контрастной чувствительности  
Чередование черно-белых стимулов с переменным контрастом и разрешением