

И.Л. Симакова, В.В. Волков, Э.В. Бойко,
В.Е. Клавдиев¹, К. Андреа¹, В.П. Сергеев²

Кафедра офтальмологии Военно-медицинской академии,
Санкт-Петербург;

¹ Кафедра прикладной математики Государственного
политехнического университета, Санкт-Петербург;

² Филиал ФГУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени С.Н. Федорова»,
Санкт-Петербург

2,5% от всей популяции ганглионарных клеток сетчатки или 15-25% от популяции клеток Магно-системы. Эти клетки отвечают за нелинейный компонент зрительного пути, обеспечивая восприятие движения и смену контрастов. Магно-система состоит также из более мелких «х-тип» ганглионарных клеток, получивших название Мх-клеток, которые контролируют линейный компо-

СОЗДАНИЕ МЕТОДА ПЕРИМЕТРИИ С УДВОЕННОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ЗА РУБЕЖОМ И В РОССИИ

1. Исследование иллюзии удвоения пространственной частоты за рубежом

Несмотря на совершенство зрительного аппарата человека, его возможности в ряде случаев оказываются весьма ограниченными. Ограничения проявляются чаще всего при работе зрительной системы в искусственно созданных ситуациях, т.е. при наблюдении зрительных сцен, не свойственных природному зрительному миру. В искусственных, экспериментальных условиях зрительная система часто не способна правильно оценивать параметры наблюдаемых сцен или отдельных их фрагментов. Именно в этих условиях и возникает искаженное зрительное восприятие, называемое зрительным иллюзиями [1-4].

В 1966 г. D.H. Kelly открыл существование зрительного феномена, названного иллюзией удвоения частоты (frequency doubling illusion). Иллюзия возникает, если синусоидальную черно-белую решетку с низкой пространственной частотой (< 3 цикл./град) подвергнуть контрафазному мельканию с временной частотой более 7 Гц [18]. При наблюдении такой решетки здоровым глазом кажется, что число полос удваивается (рис. 1).

В 1981 г. D.H. Kelly объяснил возникновение данной иллюзии существованием нелинейного компонента в невральном механизме зрительного восприятия синусоидальной решетки низкой пространственной частоты, предъявленной в условиях высоких временных модуляций [19].

Как выяснилось позже, возникновение этой иллюзии, по мнению большинства ученых, физиологически обусловлено деятельностью Магно-системы зрительно-нервного пути, а именно Му-клеток — «у-тип», которые составляют всего лишь 1,5-

нент зрительного пути. Как показало экспериментальное исследование H.A. Quigley с соавт., выполненное на приматах в 1987 г., Му-клеток гораздо меньше, чем Мх-клеток. Они имеют более крупные размеры, а также реже перекрывающиеся рецептивные поля и поэтому при глаукоме страдают первыми [23]. Полученные H.A. Quigley данные в последующих исследованиях были подтверждены другими зарубежными учеными [12, 13, 16, 20, 21].

Эти знания легли в основу создания метода Frequency Doubling Technology Perimetry — периметрии

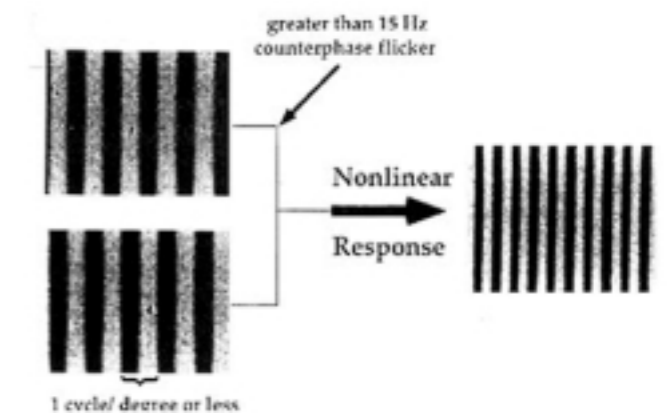


Рис. 1. Схема возникновения зрительной иллюзии удвоения низкой пространственной частоты [16]

с удвоенной пространственной частотой (FDT-периметрии). Автором идеи использования феномена иллюзии удвоения пространственной частоты для ранней диагностики глаукомы является ученый из Австралии T.L. Maddess (United States Patent, 1991) [20]. В 1996 г. T.L. Maddess и A.C. James модифицировали метод (United States Patent, 1996), в котором восприятие зрительной иллюзии удвоения пространственной частоты оценивается паттерном электроретинограммы, а результат исследования в виде относительной световой чувствительности сетчатки отражается на геометрической карте — проекции сетчатки на центральное поле зрения (ЦПЗ), разделенное на 9 зон. В своих клинических исследованиях нового метода на здоровых людях и больных глаукомой авторы выявили максимальное снижение световой чувствительности сетчатки при глаукоме в зонах, проецирующихся в носовой половине поля зрения. Они связали депрессию светочувствительности сетчатки в этих зонах с ухудшением функции Му-клеток вследствие их глаукоматозного повреждения. Кроме того, T.L. Maddess с соавт., используя стимул в виде синусоидальной решетки низкой пространственной частоты, при предъявлении в условиях временной частоты в диапазоне от 10 до 45 Гц, пришли к выводу, что наиболее эффективной является временная частота 22-24 Гц [21].

В 1997 г. T.L. Maddess предложил новый метод (United States Patent, 1999), в котором при показе рассматриваемой зрительной иллюзии оценивается зрительное восприятие в 4 зонах ЦПЗ:

- 1) по всему ЦПЗ в пределах 30°;
- 2) только в верхней половине ЦПЗ, исключая центральную зону в пределах 10°;
- 3) только в нижней половине ЦПЗ, исключая центральную зону в пределах 10°;
- 4) в центральной зоне в пределах 10°.

Автор использовал пространственные частоты в диапазоне от 0,2

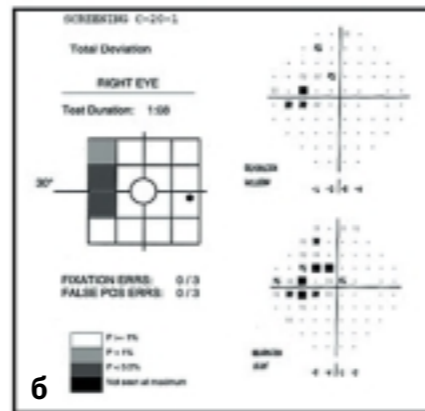


Рис. 2. Первая модель FDT-периметра (а) и результаты периметрии (б) по скрининговой методике FDT (слева) в сравнении с данными стандартной пороговой периметрии по Humphrey (справа) [17]

до 2,0 цикл./град. и нашел, что для тестирования центральной зоны эффективнее использовать 0,5 цикл./град., а для периферии — 0,25 цикл./град. В результате T.L. Maddess с соавт. были получены достаточно высокие уровни специфичности и чувствительности метода в диагностике глаукомы — 82 и 86% соответственно [22].

В широкую клиническую практику за рубежом FDT-периметрия вошла в большой степени благодаря исследовательским работам американского ученого С.А. Johnson [13, 14, 16, 17]. В одной из первых своих работ он с соавт. сравнил результаты 3 вариантов FDT-периметрии у больных глаукомой [15]. В первом варианте стимул, в соответствии с рекомендациями T.L. Maddess с соавт., предъявлялся в виде синусоидальной решетки 0,25 цикл./град. при контрфазном мелькании с частотой 25 Гц сначала на всей площади ЦПЗ (радиусом 17,5°), а затем в его верхней или нижней половине, исключая центральную зону в 5° (чувствительность и специфичность варьировали от 70 до 75%).

Во втором варианте ЦПЗ с тем же радиусом (17,5°) было разделено на 4 равных квадранта, которые оценивались поочередно, исключая центральную зону в 5° (чувствительность и специфичность повысились и составляли от 83 до 85%).

В третьем варианте размер тестируемых участков и, соответствен-

но, стимула сократили еще больше, разделив ЦПЗ с радиусом 20° на 16 квадратов, центральная зона в 5° тоже исключалась (чувствительность возросла до 93%, а специфичность — даже до 100%).

Для получения пороговых значений FDT-периметрии авторами были использованы два метода: а) так называемый метод корректировки и б) метод модифицированного бинарного (двоичного) поиска. Метод корректировки состоит в том, что пациент регулятором доводит уровень контраста до порога видимости три раза для каждого стимула. После этого результат вычисляется как геометрическое среднее трех пороговых значений, полученных в ходе теста. Второй метод основан на алгоритме модифицированного двоичного поиска. Решетка демонстрируется на экране в течение 2 с. Этот метод является более точным, чем предыдущий. Данные, полученные от всех испытуемых, были обработаны с помощью статистического программного пакета STATA. Применяли модель многомерной регрессии. Результаты регрессии были проверены анализом CART (Classification and Regression Tree) [16].

На основе приведенных выше исследований в 1997 г. в США появился первый FDT-периметр — «the original FDT Perimeter», который быстро завоевал признание в мировой офтальмологической практике в качестве скринингового на глаукому

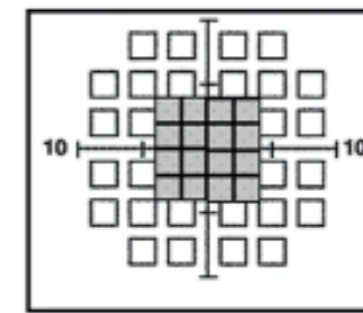
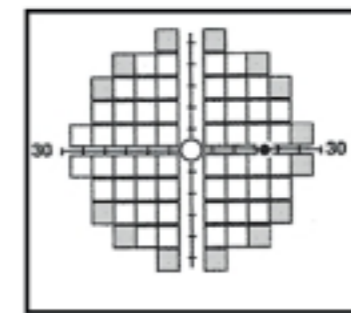
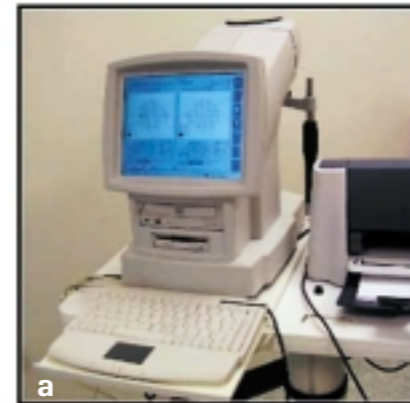


Рис. 3. Вторая (новейшая) модель FDT-периметра — Humphrey Matrix Perimeter (а) и схемы его тестовых программ: б — 30-2, 24-2; в — 10-2, «макула» [17]

[24]. В FDT-периметре в пределах 40° исследуется ЦПЗ, разделенное на 16 квадратов, каждый из которых размером 10 × 10°, и особо выделенный центральный круг в 5° (программа С-20) (рис. 2).

Существует также программа С-30, в которой исследуются 18 квадратов ЦПЗ: 2 дополнительных квадрата (назальный выступ) располагаются сверху и снизу от носовой горизонтальной линии. Для всех 16-18 квадратов стимулом является синусоидальная решетка 0,25 цикл./град., удваивающаяся в процессе контрфазного мелькания с частотой 25 Гц при размере стимула 10°. Для центрального круга (в 5°) в качестве стимула используется пространственная частота 0,5 цикл./град. Обе программы могут выполняться как в скрининговом (длительность процедуры 45-90 с для каждого глаза), так и в пороговом (длительность исследования 4-5 мин. для каждого глаза) варианте. В скрининговом варианте контраст стимула постоянный и составляет 95%. В пороговом варианте уровень контраста меняется автоматически посредством ступенчатого (по принципу дихотомии) алгоритма для извлечения пороговых значений. Если пациент увидел стимул, уровень контраста уменьшается, в противном случае — увеличивается. Полученные данные классифицируются в соответствии с базой данных на четыре группы: норма, слабое, умеренное и тяжелое повреждение ЦПЗ. Прибор имеет устрой-

ство для печати результатов на бумажном носителе.

Степень пересечения кривых вероятностных функций распределения между группой здоровых людей и больных, страдающих глаукомой, оценивается с помощью кривых «чувствительность — специфичность». Эти кривые являются также средством оценки качества классификации. Специфичность и чувствительность принимают одновременно значение 100% только в том случае, если вероятностные функции распределения для двух групп не пересекаются или, другими словами, когда классификатор совершенно точно определяет, к какому классу принадлежит каждый объект. В результате проведенных в разных странах исследований FDT-периметрии в роли скрининга на глаукому были получены следующие оценки качества классификации. Для выявления тяжелого повреждения поля зрения специфичность и чувствительность составили 100%, для выявления его умеренного повреждения специфичность и чувствительность составили 96%, для выявления же слабого (начального) повреждения поля зрения специфичность — 90-93%, а чувствительность — 85% [12, 13, 16, 17, 21, 24].

По многочисленным публикациям, в ранней диагностике глаукомы FDT-периметрия по сравнению с первоначальным стандартом — периметрией по «Humphrey» при компьютерном анализе ЦПЗ является

более чувствительной и специфичной, а также менее вариабельной при повторных исследованиях [14, 17, 22, 24]. Последнее преимущество FDT-периметрии вселяет оптимизм в плане использования ее для мониторинга поля зрения глаукомных больных.

По мере распространения FDT-периметрии в клинической практике появились публикации, в которых авторы сообщали о возможностях нового метода в диагностике оптических нейропатий не только глаукомной природы, а также при некоторой ретикулярной патологии [15, 25]. Ограничением в подобной диагностике являлись слишком большие размеры стимула. В связи с этим в 2003 г. появился новый FDT-периметр, названный Humphrey Matrix Perimeter. В новом приборе имеются все тестовые программы, что и в оригинальном FDT-периметре, а, кроме того, 4 дополнительных, а именно: 30-2 (69 точек), 24-2 (55 точек), 10-2 (44 точки) и «макула» (16 точек) (рис. 3).

В этих дополнительных программах размер каждого из 16-18 квадратов ЦПЗ был уменьшен до 5 × 5°, соответственно уменьшился размер стимула. Пространственная и временная частоты также были несколько изменены соответственно для каждой программы, а время исследования увеличилось. Имеющиеся в литературе сообщения положительно характеризуют Humphrey Matrix Perimeter [11, 17].

2. Исследование иллюзии удвоения пространственной частоты в России

На базе кафедры офтальмологии ВМедА совместно с учеными кафедры прикладной математики Санкт-Петербургского Государственного политехнического университета впервые в России в 2003 г. воспроизведен модифицированный метод периметрии с удвоенной пространственной частотой [2, 4-6].

Создана отечественная технология ранней диагностики глаукомы с помощью периметрии с удвоенной пространственной частотой. Поэтапно решались следующие задачи.

1. Математиками создавались программные средства для реализации на видеомониторе зрительной иллюзии удвоения пространственной частоты.

2. Офтальмологами производились экспериментально-клинические испытания создаваемых вариантов устройств.

Отечественный метод периметрии с удвоенной пространственной частотой — FDT-периметрия выполнен в виде программного продукта, поэтому он значительно дешевле зарубежного. Тестирование центрального поля зрения производится на экране видеомонитора (яркость фона 42 кд/м²) с расстояния 30 см (расстояние можно варьировать) в пределах 40° путем разделения его на 16 равных квадратов (каждый 10 × 10°): четыре парацентральных и двенадцать периферических, расположенных вокруг ярко зеленой точки фиксации. Исследование проводится в стандартных мезопических условиях после 5-минутной адаптации пациента в очках для чтения, корригирующих пресбиопию соответственно возрасту и рефракции испытуемого. В каждый исследуемый квадрат в случайном порядке подается стимул, представленный синусоидальной решеткой с низкой пространственной частотой 0,25 цикл./град., подвергаемой контрфазному мельканию с высокой временной частотой 30 Гц (рис. 4).

В отличие от американского метода FDT-периметрии, стимул подается с плавным нарастанием контраста в течение 40 с, скорость нарастания контраста можно варьировать. Кроме того, в созданной нами программе можно наращивать временную частоту от 10 до 75 Гц, в то время как зарубежные авторы исследовали диапазон от 10 до 50 Гц [4, 20]. С целью исключения ложноположительных ответов решетки подаются не только в случайном порядке, но и при переменной (вертикальной либо горизонтальной) ориентации. Пациент должен подтвердить свое видение стимула указанием на направление его полос. Для контроля неподвижности взора врачом с помощью стрелки на клавиатуре отделяется копия точки фиксации и перемещается в зону слепого пятна испытуемого. В случае видения этой второй точки (копии) в процессе исследования испытуемый по инструкции должен улучшить фиксацию взгляда на центральной точке. Таким образом, испытуемым осуществляется самоконтроль фиксации взора.

Контрольная группа (здоровые лица) для определения возрастной нормы светочувствительности сетчатки в каждом из 16 тестируемых при FDT-периметрии квадратов была разделена на две подгруппы. В первую подгруппу вошли испытуемые в возрасте от 20 до 35 лет — 20 человек (40 глаз). Во вторую подгруппу вошли здоровые лица от 36 до 70 лет — 22 человека (44 глаза) (рис. 5).

Состояние светочувствительности сетчатки обозначается в каждом квадрате не в dB, а в относительных единицах (R). Они были выведены разработчиками программы по формуле $R = (T-t)/T$, где T — время, необходимое для достижения максимума контраста стимула, t — время различения пациентом стимула в поданной ориентации.

Перед началом основного клинического исследования следовало убедиться, что выбор зрительной иллюзии удвоения низкой про-

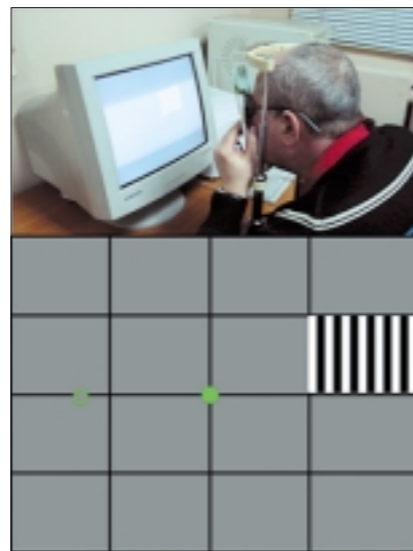


Рис. 4. Представлены процесс отечественной FDT-периметрии (на фото сверху) и схема тестируемого центрального поля зрения с указанием проекции слепого пятна для левого глаза (снизу)

странственной частоты в качестве раннего диагностического критерия открытоугольной глаукомы (ОУГ) отличается достаточно высокой специфичностью. Для этого было отобрано 10 здоровых добровольцев (10 глаз) и 10 больных (10 глаз) с начальной ОУГ приблизительно одного возраста (от 45 до 65 лет). Острота центрального зрения была полной (1,0). В начале в обеих группах синусоидальная решетка 0,25 цикл./град. предъявлялась в каждом квадрате только с нарастанием контраста и без временной модуляции. Результаты в обеих группах совпали, были в пределах возрастной нормы.

Затем та же решетка предъявлялась уже в условиях мелькания для воспроизводства эффекта удвоения. По мере нарастания контраста оценивали быстроту восприятия испытуемыми зрительной иллюзии удвоения низкой пространственной частоты в условиях мелькания стимула. В 1-й группе все результаты остались нормальными, а во 2-й группе все без исключения пациенты замечали данную иллюзию позже, т.е. при более сильном контрасте.

ВНСОК	0,91	0,92	0,93	0,92	НОС	0,88	0,91	0,91	0,9	ВНСОК
	0,93	0,95	0,94	0,94		0,91	0,94	0,94	0,9	
	0,94	0,94	0,94	0,94		0,91	0,94	0,94	0,91	
	0,93	0,94	0,94	0,93		0,9	0,92	0,92	0,9	

Рис. 5. Возрастная норма светочувствительности сетчатки в относительных единицах: а — от 20 до 35 лет; б — от 36 до 70 лет

вторым промежуточным этапом нашей работы было стремление оценить варианты восприятия зрительной иллюзии удвоения низкой пространственной частоты больными ОУГ. Встречались следующие варианты ответов испытуемых:

а) ощущение замедления скорости мерцания стимула;

б) временная остановка («зависание») стимула, часто сопровождающаяся ухудшением различения черных и белых полос вплоть до слияния их в серый единый фон различной продолжительности и частоты;

в) расширение черных полос с одновременным уменьшением их количества;

г) временное исчезновение стимула;

д) отсутствие стимула, вместо него — черный фон.

При анализе этих изменений, свидетельствовавших, по нашему мнению, о различной степени нарушений восприятия зрительной иллюзии удвоения низкой пространственной частоты, выявлена определенная закономерность. Изменения по типу а, б, в были характерны для начальной глаукомы, изменения же по типу г, д определялись у больных с более продвинутыми стадиями заболевания.

Кроме того, оказалось, что у большинства больных начальные нарушения возникали в периферических носовых квадратах [5].

Для сравнения полученных результатов исследования центрального поля зрения с помощью FDT-периметрии мы, как и зарубежные ученые, в качестве «золотого» стан-

дарта использовали данные компьютерного анализа поля зрения по Humphrey, выбрав пороговую программу 24-2. До приобретения кафедрой компьютерного анализатора поля зрения Humphrey компьютерная периметрия пациентам, включенным в данное исследование, выполнялась в диагностическом отделении СПб филиала ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза» (Сергеев В.П.). Локализации участков депрессии светочувствительности сетчатки в области Бьеррума, выявленная по Humphrey и с помощью FDT-периметрии, у преобладающего большинства больных совпадали. Всем больным выполняли морфофтальмоскопии, фундус-камеры, в сложных случаях — HRT II. В случае необходимости проводили исследование электрической чувствительности зрительного нерва, зрительных вызванных корковых потенциалов, вакуум-периметрическую пробу.

К настоящему времени в базе данных содержится информация о более 200 больных ОУГ в возрасте от 25 до 78 лет, которым выполняли FDT-периметрию.

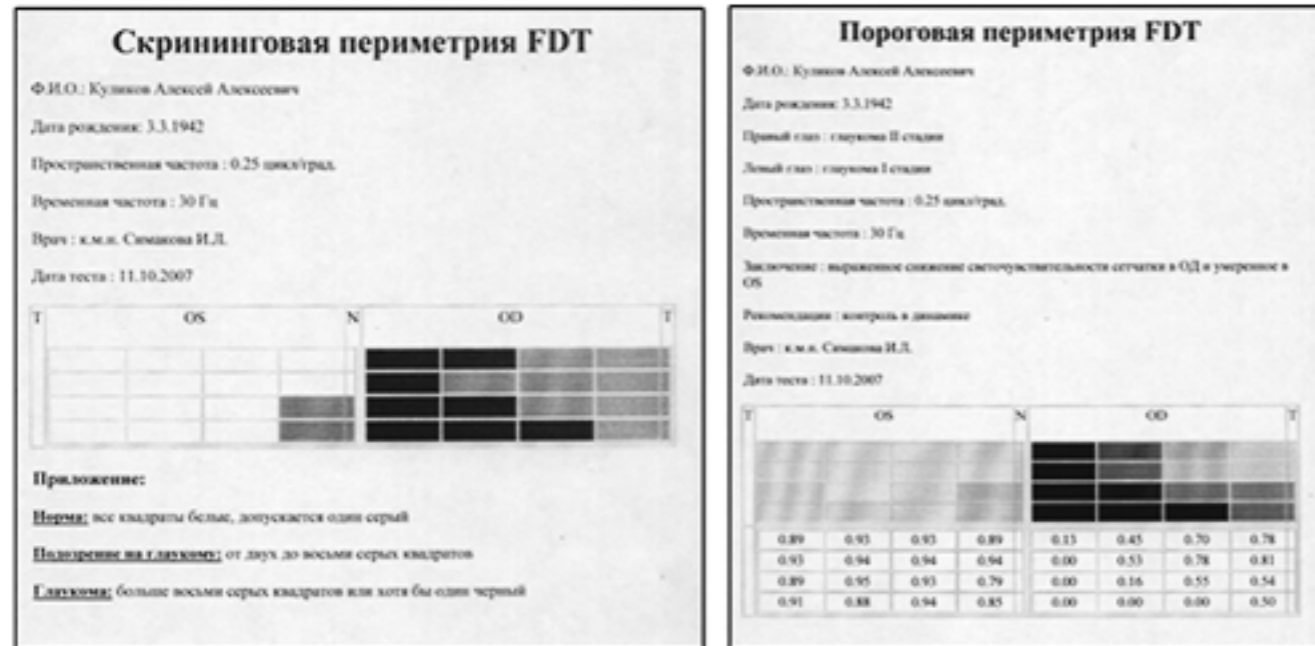
Для определения чувствительности и специфичности FDT-периметрии в диагностике ОУГ мы использовали различные статистические методы. К имеющимся данным применяли методы, в основе которых лежит Байесовский подход к решению задач классификации. Данные были исследованы такими параметрическими методами, как квадратный дискриминантный анализ, линейный дискриминантный

анализ и классификатор ближайшего среднего. Из непараметрических классификационных методов был выбран простой Байесовский классификатор. К непараметрическим методам можно также отнести использованный в работе метод древообразных классификаторов. Кроме того, были применены такие полупараметрические методы, как классификатор ближайшей моды. Все методы показали высокую чувствительность (76-89%) и специфичность (86-92%) нашего варианта FDT-периметрии в ранней диагностике глаукомы [6, 9].

FDT-периметрия может выполняться в двух вариантах: скрининговым и пороговым. Вначале был создан пороговый. Скрининговый вариант¹ предназначен для массовых профилактических осмотров населения в группах риска на глаукому, а именно у лиц с офтальмогипертензией, с отягощенной наследственностью по глаукоме со стороны кровных родственников, с миопией, с артериальной гипотензией. Этот вариант максимально упрощен и реализуется в пределах 1-2 мин для каждого глаза без ущерба для информативности. Предполагается его выполнять в основном на поликлиническом уровне. Пороговый вариант² предполагается использовать в глаукомном диспансере, глазном стационаре для более глубокого и

¹заявка № 2007137293/14 (040794) от 08.10.2007 г., положительное решение о выдаче патента на изобретение от 14.11.2008 г.

²заявка № 2007137305/14 (040806) от 08.10.2007 г., положительное решение о выдаче патента на изобретение от 14.11.2008 г.



а

б

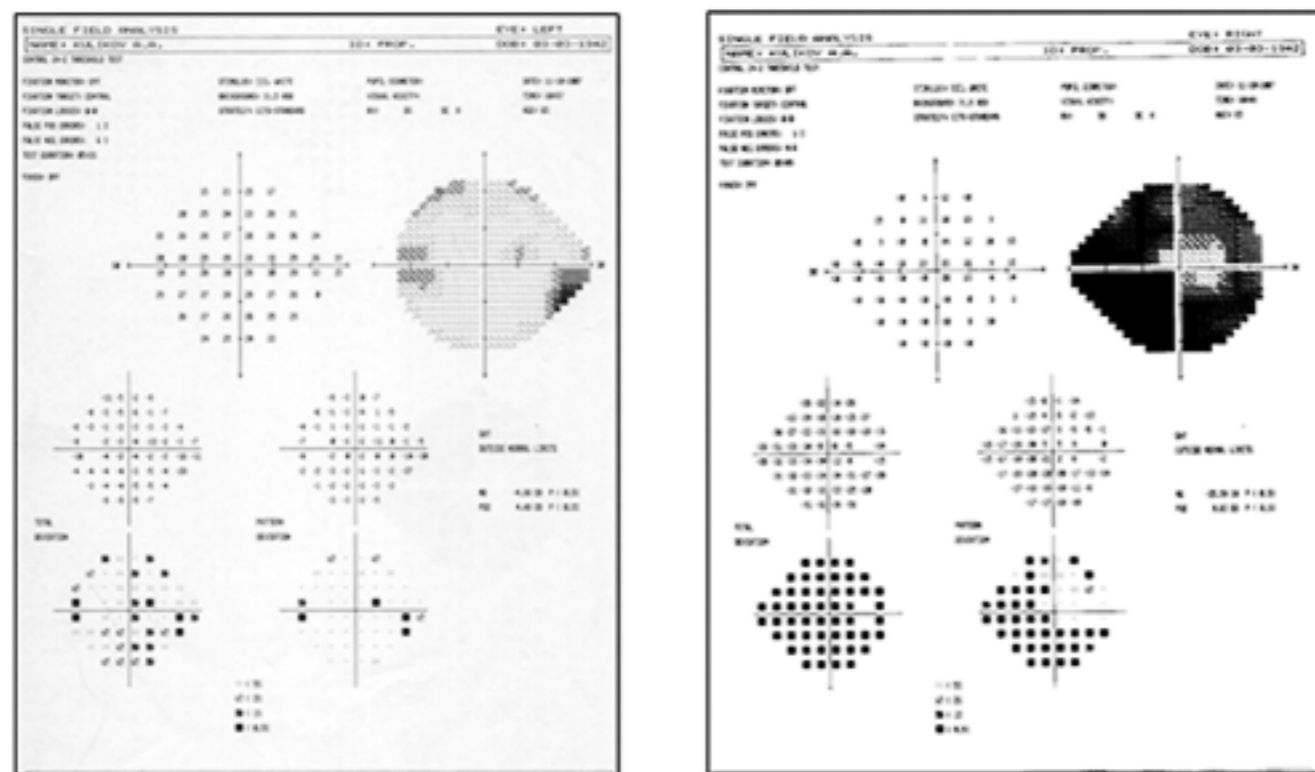


Рис. 6. Результаты скринингового (а) и порогового (б) вариантов FDT-периметрии в сравнении с данными стандартной пороговой периметрии по Humphrey (в, г)

детального обследования пациента на глаукому в комплексе с другими структурными и функциональными

методами исследования состояния диска зрительного нерва и центрального поля зрения (рис. 6).

Как показали наши предварительные исследования, пороговую FDT-периметрию можно применять

для оценки глаукоматозного процесса в динамике и на этой основе уточнять стадию процесса и темпы его прогрессирования [7, 8].

Литература

1. Волков В.В. Центральное поле зрения (ахроматическая составляющая) // В кн.: «Клиническая физиология органа зрения». – М., 2002. – С. 172-190.
2. Волков В.В. Глаукома открытоугольная – М.: МИА, 2008. – 348 с.
3. Подвигин Н.Ф., Шелепин Ю.Е. О зрительных иллюзиях, возникающих при восприятии движущихся объектов // Физиол. журн. СССР. – 1981. – Т. 67. – № 2. – С. 223-227.
4. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В., Клавдиев В.Е. Первый опыт использования в России периметрии с удвоенной частотой в ранней диагностике глаукомы // Научно-практ. конф., посвящ. 185-летию основания первой в России кафедры офтальмологии: Материалы. – СПб., 2003. – С. 160-161.
5. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В. и др. Роль периметрии с удвоенной частотой в ранней диагностике глаукомы // Глаукома: проблемы и решения: Всерос. научно-практ. конф.: Материалы. – М., 2004. – С. 117-120.
6. Симакова И.Л., Волков В.В., Вильчевская О.В. Периметрия с удвоенной пространственной частотой как новый метод в ранней диагностике глаукомы // Съезд офтальмологов России, 8-й: Тез. докл. – М., 2005. – С. 216.
7. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В. Возможности метода периметрии с удвоенной частотой в ранней диагностике глаукомы и в оценке стабилизации глаукоматозного процесса // Всерос. школа офтальмологов, 6-ая: Материалы. – М., 2007. – С. 54-58.
8. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В. Профилактика глаукомы и оценка глаукоматозного процесса в динамике с помощью периметрии с удвоенной пространственной частотой // Съезд офтальмологов Республики Беларусь, 7-й. – Минск, 2007. – С. 532-535.
9. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В. и др. Два варианта метода периметрии с удвоенной пространственной частотой и их роль в ранней диагностике глаукомы // Юбил. научн. конф., посвящ. 190-летию основания кафедры офтальмологии Военно-мед. академии: Материалы – СПб., 2008. – С. 151.
10. Симакова И.Л., Волков В.В., Бойко Э.В., Андреа К. Перспектива функциональ-

ного скрининга в ранней диагностике глаукомы // Глаукома: реальность и перспективы: Научно-практ. конф.: Сб. научн. ст. – М., 2008. – С. 181-185.

11. Anderson A.J., Johnson C.A., Fingeret M. et al. Characteristics of the normative database for the Humphrey matrix perimeter // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2005. – Vol. 46. – P. 1540-1548.
12. Burnstein Y., Elish N., Magbalon M. et al. Comparison of Frequency Doubling Perimetry with Humphrey Visual Field Analysis in a glaucoma practice // Am. J. Ophthalmol. – 2000. – Vol. 129. – No. 3. – P. 328-333.
13. 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. – Vol. 129. – No. 3. – P. 314-322.
14. Chauhan B.C., Johnson C.A. Test-retest variability of Frequency Doubling Perimetry and Conventional Perimetry in glaucoma patients and normal subjects // Invest. Ophthalmol. – 1999. – Vol. 40. – No. 3. – P. 648-656.
15. Giricin C.A., McGwin G.Ir., DeLeon-Ortega J. Frequency Doubling Technology Perimetry in non-arteritic ischaemic optic neuropathy with altitudinal defects // Br. J. Ophthalmol. – 2004. – Vol. 88. – P. 1274-1279.
16. Johnson C.A., Samuels S.J. Screening for glaucomatous visual field loss with Frequency Doubling Perimetry // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 1997. – Vol. 38. – No. 2. – P. 413-424.
17. Johnson C.A., Fingeret M., Iwase A. Frequency doubling technology (FDT) perimetry // Glaucoma Diagnosis / Ed. by Weinreb R., Greve E. – Hague, 2004. – P. 109-117.
18. Kelly D.H. Frequency doubling in visual responses // J. Opt. Soc. Am. – 1966. – Vol. 56. – No. 11. – P. 1628-1633.
19. Kelly D.H. Nonlinear visual responses to flickering sinusoidal gratings // J. Opt. Soc. Am. – 1981. – Vol. 71. – P. 1051-1055.
20. Maddess T., Henry J. Performance of nonlinear visual units in ocular hypertension and glaucoma // Clin. Vis. Sci. – 1992. – Vol. 7. – P. 371-387.
21. Maddess T., James A.C., Goldberg I. et al. A spatial frequency-doubling-illusion-based pattern electroretinogram for glaucoma // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2000. – Vol. 41. – No. 12. – P. 3818-3825.
22. Maddess T., James A.C., Goldberg I. et al. Comparing a parallel PERG, automated perimetry and frequency-doubling threshold // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2000. – Vol. 41. – No. 12. – P. 3827-3832.

23. Quigley H.A., Sanchez R.M., Dunkelberger G.R. et al. Chronic glaucoma selectively damages large optic nerve fibers // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 1987. – Vol. 28. – P. 913-918.
24. Quigley H.A. Identification of glaucoma-related visual field abnormality with the screening protocol of frequency doubling technology // Am. J. Ophthalmol. – 1998. – Vol. 125. – No. 6. – P. 819-829.
25. Sheu S.J., Chen Y.Y., Chen H.L. et al. Frequency-doubling technology perimetry in retinal diseases – preliminary report // Kachsiung J. Med. Sci. – 2001. – Vol. 17. – No. 1. – P. 25-28.

Abstract

I.L. Simakova, V.V. Volkov, E.V. Boiko, V.E. Klavdiev, K. Andrea, V.P. Sergeev

Creation of the method of frequency-doubling technology perimetry: an international and Russian experience

Article is devoted to history of creation of newer clinical method for early diagnostic of glaucoma. This method is called frequency doubling technology perimetry (FDT-perimetry). D.H. Kelly discovered frequency doubling illusion in 1966. T.L. Maddess, scientist from Australia, suggested to use this illusion in diagnostic of glaucoma in 1991. The first FDT-perimeter was made in USA in 1997. The most scientists from different countries, who approved FDT-perimetry, obtained high sensitivity and specificity of it in early diagnostic of glaucoma.

For the first time in Russia FDT-perimetry was recreated as a computer programme at the Ophthalmology Department of the Military Medical Academy together with specialists from the Mathematics Department of State Polytechnical University in St. Petersburg in 2003. Our version of FDT-perimetry showed high sensitivity and specificity in early diagnostic of glaucoma. In comparison with existent method of FDT-perimetry our method could have used for glaucoma screening of population due to its simplicity, speed and low prices.

Поступила в печать 11.12.2008