

На правах рукописи

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт глазных болезней им. М.М.Краснова»

Левицкий Юрий Владимирович

ПЕРИМЕТРИЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЗРЕНИЯ

3.1.5. Офтальмология

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор В.П. Еричев

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	6
Введение	7
ГЛАВА 1. Обзор литературы	17
1.1. История периметрии	20
1.2. Автоматические периметры	24
1.2.1 Методы контроля за направлением взора. Достоверность результатов	33
1.3. Портативные периметры	35
1.4. Методы периметрии при неспособности пациента удерживать взор в точке фиксации	42
ГЛАВА 2. Материал и методы исследования	44
2.1. Структура исследования	44
2.1.1. Этапы исследования	44
2.1.2. Используемые методы исследования	44
2.1.3. Аналитическая обработка результатов	45
2.2. Используемые приборы	46
2.2.1. Портативный периметр	46
2.2.2. Подготовка, проводимая пациентам в зависимости от наличия или отсутствия центрального зрения	51

2.2.3. Обследование на автоматическом статическом периметре HFA-II (группа контроля)	54
2.2.4. Периметрия на кинетическом сферопериметре Goldmann	57
2.3. Общая клиническая характеристика пациентов	59
2.3.1. Формирование клинических групп	59
2.3.2. Клиническая характеристика глаз пациентов 1-ой группы	61
2.3.3. Клиническая характеристика глаз пациентов 2-ой группы	62
2.4. Обследование пациентов	63
2.4.1 Методика формирования виртуальной точки фиксации взора при отсутствии центрального зрения	63
2.4.2. Контроль за центрированным размещением экрана перед глазом пациента	64
2.5. Контроль за направлением взора	65
2.6. Математическая и статистическая обработка результатов	66
ГЛАВА 3. Обоснование возможности проведения скрининг- периметрии при помощи портативного периметра	68
3.1. Портативный периметр на основе устройства виртуальной реальности	68
3.2. Задачи, поставленные на данном этапе исследования	69
3.3. Изучение повторяемости результатов скрининг-периметрии при использовании портативного периметра	69

3.4. Сравнительная характеристика результатов, полученных при помощи портативного периметра и статического автоматического анализатора НФА-II при предъявлении аналогичной диагностической стратегии	72
3.5. Субъективные характеристики работы с новым портативным периметром	74
3.6. Заключение по результатам главы	75
ГЛАВА 4. Результаты. Проведение периметрии на глазах с отсутствием центрального зрения	76
4.1. Клинический материал	79
4.2. Используемые методы обследования пациентов	79
4.3. Автоматическая статическая скрининг-периметрия, проведенная с помощью портативного периметра с фиксацией взора с помощью формирования виртуальной точки фиксации (1-я, основная группа)	80
4.3.1. Портативный периметр и программное обеспечение	80
4.3.2. Проприоцепция и формирование виртуальной точки фиксации взора	81
4.3.3. Методика проведения периметрии с формированием виртуальной точки фиксации направления взора	84
4.3.4. Параметры проведения периметрии	90
4.4. Исследование поля зрения на глазах без центрального зрения на статическом автоматическом периметре	90

4.5. Периметрия с использованием кинетического периметра Goldmann в условиях отсутствия центрального зрения	92
4.6. Критерии достоверности	93
ГЛАВА 5. Сравнительный анализ полученных результатов и их математическая обработка	96
Заключение	107
Выводы	110
Практические рекомендации	112
Список литературы	114

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ПП – Портативный периметр

ЦЗ – Центральное зрение

ЦПЗ – Центральное поле зрения

ЦС – Центральная скотома

ОУГ – Открытоугольная глаукома

ПОУГ – Первичная открытоугольная глаукома

ВГД – Внутриглазное давление

ГОН – Глаукомная оптическая нейропатия

ДЗН – Диск зрительного нерва

ПО – Программное обеспечение

ОКТ – Оптическая когерентная томография

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы и степень ее разработанности

Современный мир характеризует поступательное развитие новых технических возможностей во всех областях науки, в том числе и в медицине. За последние годы выросло количество диагностических методик, позволяющих проводить исследования, выполнение которых ранее не представлялось возможным. К их числу относят методы, позволяющие, например, проводить прижизненные морфометрические исследования ганглиозного слоя нервных волокон сетчатки и зрительного нерва [1, 2].

Появление подобных методов стало основанием для мнения о том, что исследование функциональных возможностей глаза, в том числе периметрические методики, могут терять свою актуальность, поскольку они несут в себе элемент субъективизма, связанного с необходимостью анализировать ответ пациента, его реакцию на предъявленные диагностические стимулы. В отличие от этого при оптической когерентной томографии (ОКТ) врач может получить объективную информацию о толщине нервных волокон в разных отделах сетчатки и с точностью до микрометров отслеживать в процессе мониторинга динамические изменения в ней [3, 4].

Это спорная точка зрения, поскольку практика подсказывает, что линейная зависимость между функциональными возможностями глаза и структурными параметрами прослеживается далеко не всегда [5-7]. Это хорошо видно на примере амблиопии [8, 9].

Кроме того, приборы, подобные ОКТ, достаточно дороги, что ограничивает их применение в широкой офтальмологической практике.

В реальной медицинской практике основной методикой для оценки функционального состояния зрения при глаукоме и при ряде других

заболеваний остается периметрия, что подтверждает высокая востребованность этого исследования на всех этапах оказания офтальмологической помощи [10, 11].

Информативность и доступность метода делает его незаменимым при первичном осмотре, при наблюдении за ходом заболевания, в оценке эффективности лечения [12]. Периметрия является незаменимой при проведении скрининг-диагностики.

Одним из обязательных условий для проведения периметрии и получения корректных результатов является ментальная сохранность пациента, что в большинстве случаев обеспечивает получение адекватной реакции на предъявляемые световые стимулы. Однако не менее важным условием для проведения периметрии является также способность пациента удерживать взор в точке фиксации в ходе исследования. Отклонение взора от точки фиксации в процессе обследования, независимо от того, произошло это из-за неспособности сосредоточить внимание на обследовании или из-за физической невозможности видеть и удерживать взором точку фиксации, резко снижает достоверность полученных результатов, а иногда делает их совершенно неприемлемыми.

В случаях, если пациент неспособен сосредоточиться, провести обследование практически невозможно, поскольку он не может адекватно реагировать на предъявляемые ему диагностические стимулы. Не менее серьезным ограничением или полным препятствием для выполнения периметрии являются ситуации со значительным снижением или отсутствием центрального (предметного) зрения. Существует подход к работе в подобных состояниях путем использования в качестве точки фиксации для обследуемого глаза разнообразных крупных объектов [13, 14].

Значительное снижение и полное отсутствие центрального зрения встречается при таких заболеваниях, как далекозашедшая стадия глаукомы, макулярные дегенерации разного генеза, заболевания зрительного пути, кровоизлияния в центральной зоне сетчатки и др.

Имеется информация о том, что лица старше 60 лет более чем в 10% случаев страдают возрастными дегенеративными поражениями центральной зоны сетчатки [15-17]. Учитывая очевидную тенденцию к увеличению продолжительности жизни, что приводит к росту числа пожилых людей, актуальность проведения периметрии на глазах, неспособных фиксировать взор в центре экрана, становится с каждым годом все более востребованной [18].

Результаты периметрии, полученные при исследовании глаз в условиях снижения или полного отсутствия центрального зрения, препятствующего фиксации взора, как правило, мало достоверны [19]. Это связано с тем, что из-за невозможности удерживать взор в точке фиксации в центре полусферического экрана периметра пациент, даже если он понимает цель исследования, внимательный и неуставший, начинает блуждающие движения глазом из-за неспособности запомнить локализацию точки фиксации без постоянного визуального подкрепления [20, 21].

В таких случаях координатная сетка, к которой привязаны предъявляемые световые диагностические стимулы для обследуемого глаза, теряет соответствие с реальной ситуацией, а полученные результаты становятся недостоверными.

В случае если периметрию выполняют на кинетическом периметре в ручном режиме на глазах, неспособных фиксировать взор, возможен контроль за направлением взора и его корректировка «в ручном режиме». При этом оператор, проводящий обследование, должен постоянно через

специальный окуляр или напрямую, отслеживать сфокусированность взора пациента на точке фиксации в центре экрана. При правильном контроле результаты, которые удается при этом получить, достаточно адекватные. В случае хорошей квалификации исследователя есть возможность достаточно точно определить границы центральной скотомы. Однако такие периметры, работающие в ручном режиме, можно считать морально устаревшими, и в настоящее время они встречаются крайне редко. Стандартом для эффективной оценки зрительных функций в настоящее время стали статические периметры, работающие в автоматическом режиме.

Для проведения автоматической периметрии в ситуациях, когда глаз неспособен к удерживанию точки фиксации, существует несколько различных приемов с попыткой задействовать сохранившиеся участки относительно четкого зрения за пределами центральной скотомы. Это может быть комбинация больших дуг, локализованных парацентрально; большие точки, установленные в вершинах виртуального квадрата на некотором расстоянии от «невидимой» для пациента точки фиксации; диагональное перекрестье с точкой фиксации в центре и лучами, выходящими за пределы проекции центральной зоны и др. [22, 23]. Во всех случаях предполагается, что пациент должен сосредоточиться на этой фигуре и по видимым фрагментам вышеописанных «макроснаков» реконструировать для себя место, в котором находится точка фиксации. Предполагается, что такой способ позволит пациенту удерживать взор в центре экрана периметра в процессе обследования.

В реальности же это дает возможность до некоторой степени оптимизировать процедуру исследования. Однако получаемые при этом результаты нельзя рассматривать как удовлетворительные [24].

Группой российских ученых была предложена и разработана принципиально новая модель компактного периметра, выполненного на базе

шлема виртуальной реальности [25]. Отличительной особенностью этого прибора является то, что традиционный материальный полусферический экран, являющийся неотъемлемой частью стандартного периметра, модернизирован в виртуальную полусферу. Благодаря перерасчёту дисторсионной аберрации и перерасчёту размеров и яркости предъявляемых визуальных диагностических стимулов при помощи компьютера и программных инструментов, материальная сфера переведена в «виртуальный формат». При этом для обследуемого глаза создается иллюзия, что на поверхности виртуальной сферы возникают огоньки-стимулы, аналогичные стимулам на материальном полусферическом экране статического периметра.

В традиционных периметрах используется материальный полусферический экран радиусом около 30см, что обусловлено дистанцией оптимального видения вблизи для эметропического глаза. Создание виртуальной сферы позволило значительно уменьшить размер портативного периметра, делая его компактным и мобильным. Особенность конструкции шлема-периметра позволяет изолировать глаза пациента от внешних световых раздражителей, обеспечивая визуальную депривацию и уровень постоянной темновой адаптации независимо от уровня освещенности в помещении. Адаптивная посадка и фиксация шлема на голове пациента не требует вынужденного положения его тела в ходе обследования, что нивелирует проблему, когда пациент стремится отодвинуться от экрана традиционного периметра.

Таким образом, удастся оптимизировать сам процесс периметрии и, что немаловажно, проводить обследование, не используя специально подготовленное изолированное затемненное помещение.

Применительно к данному прибору была разработана методика по использованию устройства для обследования поля зрения на глазах с

нарушением центрального зрения, неспособных удерживать направление взора на точке фиксации [26]. В основу предложенного метода была положена концепция формирования условной точки фиксации в центре виртуального периметрического экрана. Это становится возможным благодаря задействованию чувства проприоцепции обследуемых пациентов, при помощи которого пациент без грубых поражений центральной нервной системы точно знает местоположение различных частей своего тела в пространстве без визуального контроля [27].

Данная диссертационная работа направлена на подтверждение работоспособности предлагаемого метода периметрии и на подтверждение правомерности его использования при обследовании глаз с отсутствием центрального зрения, неспособных удерживать точку фиксации в процессе периметрии.

Цель исследования

Обосновать принцип и разработать методику проведения автоматической статической периметрии в условиях низкого или отсутствующего центрального зрения и неспособности глаза удерживать точку фиксации, используя новый портативный периметр.

Задачи исследования

1. Разработать на портативном периметре методику оценки зрительных функций, позволяющую получить сопоставимые с сертифицированными приборами результаты.
2. Обосновать корректность использования формирования условной точки фиксации взора на основе феномена проприоцепции при выполнении

периметрии на портативном периметре при низком или отсутствующем центральном зрении (ЦЗ).

3. Разработать методику проведения периметрии на глазах с отсутствием ЦЗ, в том числе для определения границ центральной скотомы (ЦС) при помощи нового портативного периметра.

4. Провести сравнительную оценку результатов, полученных на глазах с отсутствием ЦЗ при использовании различных методов периметрии. Оценить достоверность результатов, получаемых при помощи нового портативного периметра, при обследовании глаз с отсутствием центрального зрения, неспособных удерживать точку фиксации.

Научная новизна

1. Теоретически обоснован и разработан метод исследования поля зрения при помощи нового портативного периметра, позволяющего предъявлять периметрические паттерны на виртуальном периметрическом экране.

2. Подтверждена репрезентативность результатов, получаемых при помощи разработанной методики с использованием нового портативного периметра.

3. Обоснована возможность проведения периметрии с формированием условной точки фиксации взора на глазах с низким центральным зрением или его отсутствием.

4. На основании сравнительного анализа различных методов периметрии подтверждена достоверность результатов, полученных при помощи нового портативного периметра на глазах с низким ЦЗ, препятствующим проведению периметрии.

Теоретическая и практическая значимость

1. Разработан и внедрен в практику метод определения поля зрения при помощи нового портативного периметра. При сравнении результатов обследования, полученных с помощью нового портативного периметра с результатами сертифицированных периметров, выявлена сопоставимость с высоким уровнем достоверности.

2. Разработана и введена в практику методика формирования условной точки фиксации, основанная на чувстве проприоцепции пациента для удерживания правильного направления взора в процессе проведения периметрии на глазах с низким центральным зрением или его отсутствием.

3. Разработан алгоритм, позволяющий проводить оценку сопоставимости результатов, полученных при помощи различных методов периметрии, в том числе сравнительную оценку результатов статической и кинетической периметрии.

Методология и методы диссертационного исследования

Методологической основой диссертационной работы является применение комплекса методов научного познания. Работа выполнена в дизайне проспективного открытого сравнительного исследования с использованием клинических, инструментальных, аналитических и статистических методов.

Положения, выносимые на защиту

1. Новый портативный периметр, выполненный на основе шлема виртуальной реальности, является компактным и удобным диагностическим устройством, результаты которого достоверно сопоставимы с результатами, получаемыми на сертифицированных статических периметрах.

2. Используя чувство проприоцепции пациента, возможно формирование условной точки фиксации, позволяющей устойчиво

удерживать направление взора обследуемого глаза в нужном направлении, что позволяет получать достоверные периметрические данные.

3. Подтверждена репрезентативность результатов обследования, полученных при помощи портативного периметра, для глаз, неспособных удерживать в процессе обследования точку фиксации взора из-за низкого ЦЗ или его отсутствия.

Апробация результатов исследования

Результаты диссертационной работы доложены на XII Республиканской конференции с международным участием «Актуальные вопросы офтальмологии» (Минск 14-15 декабря 2018 г.), на Научно-практической конференции «Актуальные вопросы нейроофтальмологии» (Москва, 25 января 2019г.), на Всероссийском рабочем совещании "Биомеханика-2019" (Санкт-Петербург, 31 января 2019г.), на конференции «XVIII Всероссийская школа офтальмолога» (МО, 14-17 марта 2019г.), на XIV Всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии диагностики и лечения в офтальмологии» (Хабаровск, 24 мая 2019г.), на X Международной конференции по офтальмологии «Восток – Запад» (Уфа, 6-7 июня 2019г.), на «117th Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft Congress Congress» (Берлин, 26 сентября 2019г.), на Научно-практической конференции «Актуальные вопросы нейроофтальмологии» (Москва, 24 января 2020г.), на «118th Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft Congress» (Берлин, 11 октября 2020г.)

Личный вклад автора в проведенное исследование

Автором определены цели и задачи исследования, проведено обследование 50 глаз с нарушением центрального зрения, 50 глаз с сохраненным центральным зрением. Применен в практике метод обследования глаз с нарушением центрального зрения при помощи чувства глубокой

проприоцепции и нового портативного периметра. Проанализированы и обобщены результаты исследований, осуществлена статистическая обработка полученных данных. Выполнена подготовка публикаций и докладов по теме настоящей работы.

Награды

На «Федоровских чтениях 2019» получен диплом Лучший стендовый доклад; на Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft - 2020 (DOG-2020) – Diploma The Best Paper from East Europe Countries.

Реализация результатов работы

Результаты работы внедрены в клиническую практику ФГБНУ «НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования РФ для публикации основных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, из них 3 входят в базу цитирования Scopus.

Получены 2 патента: RU 2682932 С1 от 22.03.2019 «Способ проведения периметрии у пациентов с отсутствием центрального зрения»;

RU 2759239 С1 от 11.11.2021 «Устройство для проведения периметрии у пациентов с отсутствием центрального зрения».

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 125 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, собственных исследований, изложенных в пяти главах, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, включающего 106 источников (30 отечественных и 76 зарубежных). Диссертация иллюстрирована 23 рисунками.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Глаукома – инволюционно зависимое заболевание в популяции старше 40 лет, характеризующееся повышением внутриглазного давления (ВГД) и необратимым снижением зрительных функций. При несвоевременной диагностике, лечении и отсутствии квалифицированного мониторинга возможно прогрессирование заболевания [28-32].

Такие клинические особенности глаукомы, как размытость границ «здоровье-болезнь», практически бессимптомное течение, условность нормативных показателей, делают это заболевание трудным для ранней диагностики. Возникающая глаукомная оптическая нейропатия (ГОН) является прогрессирующим необратимым процессом, требующим проведения высококвалифицированного мониторинга структурных и функциональных изменений глаза, а именно: офтальмоскопии, определения поля зрения, измерения внутриглазного давления, гониоскопии, биомикроскопии. Раннее выявление признаков, указывающих на возможное наличие глаукомы, позволит разработать своевременную тактику лечения и замедлить прогрессирование заболевания [33-39].

По данным ВОЗ в настоящее время число больных глаукомой в мире достигает 80-100 млн человек, а в ближайшие 10 лет этот показатель может увеличиться на 10 млн. По данным литературы, в мире каждую минуту от глаукомы слепнет один больной. Общая численность населения, страдающего от глаукомы, увеличивается с возрастом: глаукома встречается у 0,1% больных в возрасте 40-49 лет, 2,8% – в возрасте 60-69 лет, 14,3% – в возрасте старше 80 лет. Результаты многоцентровых эпидемиологических исследований свидетельствуют о значительном увеличении заболеваемости глаукомой. В нашей стране за последние 10 лет уровень необратимой слепоты вследствие глаукомы возрос почти в 3 раза: с 8 до 22 на тысячу

населения, а среди причин первичной инвалидности роль глаукомы увеличилась более, чем вдвое: с 14% до 29% [40-45].

В СССР с 1964г. проводили массовый скрининг глаукомы среди лиц старше 40 лет. Он касался, в основном, измерения ВГД, что позволило повысить выявляемость больных глаукомой и принять соответствующие меры по проведению дальнейшего лечения. Однако данных лишь только офтальмотонометрии оказалось недостаточно, так как не учитывались структурно-функциональные изменения диска зрительного нерва, специфичные для глаукомы, что делало подобные программы скрининга малоэффективными. Поэтому число больных с продвинутыми стадиями заболевания при первичной диагностике оставалось значительным. Для наиболее полной картины о течении заболевания, помимо измерения ВГД, требуется оценка состояния диска зрительного нерва, определение полей зрения, офтальмоскопия и другие современные исследования [46].

С 1980-х годов широкое распространение оценки состояния диска зрительного нерва получила такая методика, как конфокальная лазерная сканирующая офтальмоскопия или гейдельбергская ретинотомография (HRT), позволяющая при помощи сканирования тканей сфокусированным лазерным лучом получать изображения глазного дна и ДЗН, а компьютерные программы позволяют обрабатывать и анализировать полученные данные. Появились такие методики, как лазерная поляриметрия, с помощью которой стало возможным проводить качественную и количественную оценку толщины слоя нервных волокон в зоне ДЗН в динамике, оптическая когерентная томография (ОКТ), позволяющая оценить структурные особенности сетчатки и зрительного нерва [47].

В офтальмологической практике одной из наиболее информативных методик для оценки функционального состояния зрительного нерва при глаукоме является периметрия. Это исследование заключается в

предъявлении световых стимулов в ограниченном пространстве (периметрическая дуга, сферический экран или плоскость) и реакции испытуемого на видимые или невидимые для него объекты, что позволяет сделать заключение о состоянии поля зрения – видимого человеком пространства при фиксации взгляда в точке и при неподвижности его головы [48].

Периметрия позволяет оценить границы поля зрения, выявить участки его сужения, наличие скотом – зон сетчатки с частично измененными или полностью отсутствующими зрительными функциями. Обязательными условиями для проведения исследования являются способность пациента удерживать взор в точке фиксации и прозрачность оптических сред, так как в ходе обследования пациент должен различать центр исследуемого поля для оценки периферического зрения. Различают кинетический и статический способы периметрии и кампиметрии [49].

При проведении кинетической периметрии оценивают поле зрения с помощью движущегося светового объекта-стимула заданной яркости, цвета и размера в зависимости от исследуемой области и остроты зрения пациента. Стимул перемещается по заданному меридиану от границы поля зрения к центру. Процедура повторяется с использованием того же стимула вдоль других меридианов, обычно расположенных через каждые 15 градусов. Точки, в которых стимул становится видимым или невидимым, отмечаются на бланке. Соединив эти точки, исследователь получает границу между зонами сетчатки с одинаковой световой чувствительностью – изоптеру. При этом специалист обязательно должен контролировать направление взора пациента для достоверности результатов, поскольку пациент имеет тенденцию к потере точки фиксации взором, удержание которой является обязательным условием для проведения обследования [50].

Статическая периметрия позволяет определять светочувствительность участка поля зрения (вертикальную границу зрительного холма). Для этого пациенту демонстрируют неподвижный объект, изменяя его интенсивность, тем самым устанавливая порог световой чувствительности. Может проводиться надпороговая периметрия, которая предполагает использование стимулов с характеристиками, близкими к норме порогового значения в разных точках поля зрения. Полученные отклонения от этих значений дают основание предположить нарушение светочувствительности сетчатки в заданной зоне. Тестируемый объект не перемещают и не меняют в размерах, а предъявляют в заданных, по программе, точках поля зрения с переменной яркостью. Тем самым определяется способность сетчатки выявить контраст между фоновой освещенностью поверхности полусферического экрана и тест-объекта и таким образом выявить порог светоразличающей чувствительности сетчатки [51].

Впервые решение о введении периметрического стандарта было принято в 1929 г. на Международном конгрессе офтальмологов в Амстердаме: были рекомендованы параметры освещенности дуги периметра, коэффициент отражения, а также диаметр объекта в зависимости от цели исследования, но яркость предъявляемого стимула не была стандартизована [52].

1.1. История периметрии

Представления о границах поля зрения в норме и при патологии существовали еще с древних времен: в своих трудах Гиппократ упоминал о сужении периферических границ поля зрения, в 1668 г. французский физик Е. Mariotte впервые описал слепое пятно, а король Франции Людовик XIV развлекался со слепым пятном, наблюдая своих подданных, как будто у них не было голов.

Периметрия была введена в клиническую медицину в 1856 г. A. von Graefe. При помощи мела ученый наносил на экран границы скотом, физиологическое слепое пятно, сужение поля зрения и выявленные гемианопсии. Используя точку фиксации, он описал свой опыт с этим типом кинетической периметрии на плоской поверхности (кампиметрия), в котором пациентов просили ответить, когда они видели появление световой мишени на более тусклом фоне. [53, 54].

Чешский физиолог J. Purkyně (1825) отмечал, что масштаб перемещения объекта по дуге соответствует равным отрезкам в поле зрения, а при перемещении на плоскости они увеличиваются к периферии. На основе его методик H. Aubert и R. Forster (1857) разработали основные принципы кинетической периметрии [55].

Первым промышленно выпускаемым периметром был периметр Forster (1869). Он представлял собой дугу 180° , покрытую изнутри черной матовой краской. На внешней поверхности дуги через каждые 5° были нанесены деления от 0° в центре до 90° на периферии; сзади дуги располагается диск, разделенный на градусы, позволяющий поставить дугу в требуемое положение для исследования любого из меридианов поля зрения. Вращение дуги выполняли рукой или с помощью ручки, расположенной сзади на дуге. Для поддержки и фиксации головы в неподвижном положении, что является одним из главных условий обследования, имелся подбородник; в центре дуги — фиксационный объект, чаще в виде белой точки. Испытательные объекты, белые или цветные, делали из бумаги или картона и укрепляли на деревянных палочках, выкрашенных в черный цвет, чтобы при перемещении по дуге периметра они сливались с фоном и не мешали восприятию испытательных объектов. Белые тесты обычно не имеют вариаций по яркости, а только изменяются по величине. Размеры их обычно достаточно большие, и поэтому невозможно получить изоптеры

в центральных отделах поля зрения. Освещение дуги использовали естественное, поэтому прибор располагали в комнате, где выполняли исследование поля зрения, так чтобы он находился ближе к окну, если только из окна не попадает на дугу периметра прямой солнечный свет. Важно, чтобы освещение всех отделов дуги было по возможности равномерным. Долгое время этот метод был повсеместно единственным. Информативность кинетической периметрии ограничена – с ее помощью можно определять только изменение границ периферического поля зрения и грубые абсолютные скотомы.

J.P. Vjerrum вместе со своим студентом H. Ronne детально изучили связь слепого пятна с дугообразной скотомой – областью в пределах 15° от центра, следующей дугообразно по ходу нервных волокон сетчатки от слепого пятна к носовой части, названной позже его именем. Он подтвердил характерность подобных скотом для глаукомы и показал важность исследования ЦПЗ на плоскости при этом заболевании [56].

При проведении периметрии с использованием стимулов был актуален вопрос о сохранении равнозначной энергетической характеристики при исследовании на разных уровнях светочувствительности. В 1945 г. H. Goldmann создал полусферический периметр, который благодаря высокой для того времени стандартизации световых параметров как стимулов, так и фона, стал «золотым» стандартом периметрии. [57]

На проекционных периметрах типа Goldmann проводили периметрические исследования со стимулами при фотопическом и мезопическом уровнях яркости фона, то есть при высокой освещенности и уровне, имитирующем сумеречное освещение. Результаты равноценны, согласно закону Вебера сила ощущения ρ пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя S : $[\rho = k \ln \frac{S}{S_0}]$, где S – значение интенсивности раздражителя; S_0 - нижнее граничное значение интенсивности раздражителя;

k – константа, зависящая от субъекта ощущения. В соответствии с этим законом, глаз заметит отличие в освещённости 2-х поверхностей (стимула и фона), если разность уровней яркости между ними составит 1%. Нормальные границы поля зрения на белый цвет от электрической лампочки с нейтральным светофильтром составляют: сверху - 55°, сверху-снаружи - 65°, снаружи и снизу-снаружи - 90°, снизу - 70°, снизу-внутри - 55°, сверху-внутри - 50°. Учитывая эти нормы, Goldmann предложил проекционную периметрию белыми стимулами на белом ахроматическом фоне при фотопическом освещении, как самое простое решение. Увеличение площади размеров стимулов выбрано кратным 4-м. Соотношение величины световых стимулов Н. Goldmann распределил по размеру площади «I» – 0.25 мм²; «II» – 1 мм²; «III» – 4 мм²; «IV» – 16 мм² и т. д. Этот размерный ряд I, II, III, IV, V назвали «стандартом» Goldmann. Ряд используют в настоящее время фрагментарно или целиком в современных периметрах. В СССР стандартизованные характеристики по Goldmann были скорректированы под размер диаметров мишеней: $\varnothing = 1$ мм ($S = 0.4$ мм²), $\varnothing = 3$ мм ($S = 1.7$ мм²), $\varnothing = 5$ мм ($S = 4.9$ мм²) и $\varnothing = 10$ мм ($S = 19.6$ мм²) [58, 59].

Кинетическую кампиметрию выполняли на плоском черном экране (кампиметре). Человек, которому проводится обследование, как и при периметрии, должен зафиксировать голову перед экраном и удерживать взор в точке фиксации в центре кампиметра. Расстояние от экрана — чаще 1 м, иногда 2 м. Врач проводил исследование в черном халате и перчатках, чтобы не нарушать однообразие фона, который видит пациент. Для определения локализации слепого пятна использовали белый объект в виде круга, который плавно передвигали по поверхности кампиметра. Все пункты на кампиметре, где исчезал или вновь появлялся объект, характеризуют величину физиологических или патологических скотом, обязательно отмечались на кампиметре, а затем наносились на схему. Их размеры

выражались в угловых градусах, так же как и их расстояние от точки фиксации. Чтобы сделать исследование на кампиметре более чувствительным, можно применять разные уровни освещенности экрана: от обычной, равной 75 лк, до 30 лк и даже менее. Освещенность экрана прямо пропорциональна силе источника света. Так, при удалении источника от поверхности, ее освещенность уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния: $[E_v = \frac{I_v}{r^2} \cos i]$, где I_v – сила света; r – расстояние до источника света; i – угол падения лучей. Можно также применять разные по величине или по контрасту с фоном тесты: например, 5, 3, 1 мм с коэффициентами отражения 0,8—0,6—0,4 [61, 62].

1.2. Автоматические периметры

Внедрение компьютеров и автоматизации ознаменовало новую эру в исследовании поля зрения. Статическое тестирование может быть выполнено объективным и стандартизированным способом с минимальной погрешностью результатов. По сравнению с кинетической периметрией, статическая позволяет более точно выявлять участки функциональных нарушений сетчатки. Однако, в ряде случаев, может возникать определенная погрешность, например, при наличии у пациента неврологических заболеваний, при которых пациент способен замечать только движущиеся стимулы. Компьютер позволяет предъявлять стимулы псевдослучайным, непредсказуемым образом. Пациенты не знают, где появится следующий стимул, поэтому фиксация улучшается, тем самым повышается достоверность теста. Случайные предъявления стимулов также увеличивают скорость, с которой периметрия может быть выполнена, обходя проблему местной адаптации сетчатки, которая требует 2-хсекундного интервала между стимулами, если соседние точки протестированы [63].

В 1958 году F. Fankhauser начал свои исследования по разработке принципа стандартной автоматической периметрии (SAP – Standart

Automated Perimetry), основывающегося на методике Н. Goldmann для созданного им сферопериметра (1945). В соответствии с данными стандартами яркость поверхности полусферы, служащей фоном для предъявления тестовых объектов была принята за 31,5 апостильб ($1 \text{ асб} = 0,3183 \text{ нит} = 1 \text{ кд/м}^2$), яркость тестового объекта (стимула) – изменяться в диапазоне от 0,08 до 10000 апостильбов, а его размер (диаметр) – от 1 до 5 мм (I-V) [64].

Швейцарская компания INTERZEAG в 1974 году, основываясь на работах F. Fankhauser, разработала первый автоматический периметр Ostorpus-201, который позволил проводить статическую периметрию и анализ полученных данных при помощи компьютерной программы. А в 1985 году А. Heijl и С. Krakau создали периметр и программу для анализатора поля зрения Humphrey Visual Field Analyzer (HFA) при поддержке компании-производителя ZEISS. Для контроля удерживания взора обследуемого глаза в точке фиксации авторы предложили оригинальную методику, названную их именами (Heijl-Krakau) и использующуюся во многих автоматических периметрах в наши дни [65].

В клинической практике визуальная информация должна быть легко интерпретируемой и непосредственно соответствовать клинической ситуации. Для этой цели в периметрии используется специальная шкала, единицей измерения которой является децибел (дБ). Аналогично закону Вебера, функциональное состояние сетчатки (чувствительность) обратно пропорционально силе источника света, поступающего на нее. Диапазон децибел зависит от типа периметра и обычно колеблется от 0 дБ до приблизительно 32 дБ в fovea. Порог чувствительности 0 дБ означает, что пациент не может видеть наиболее интенсивный периметрический стимул, который может отображать устройство, тогда как значения, близкие к 32 дБ, представляют нормальное фовеальное зрение для 20-летнего человека [66].

J. Flammer (1983) было разработано новое программное обеспечение для автоматического периметра Octopus-2000 – «G-1». Программа позволяла исследовать 59 точек центрального поля зрения в области 30° от точки фиксации. В 1993 году появилась следующая версия программы — «G-2», предъявляющая дополнительные 14 точек, добавленные в зону периферии от 30 до 60° от центра. Компания INTERZEAG в 1987 году также создала для анализатора поля зрения Humphrey аналогичные программы, охватывающие 30 и 24° от центра и предъявляющие 76 и 54 точки соответственно [67].

Важным условием при проведении периметрии является продолжительность исследования. Длительность тестов, основанных на ранних алгоритмах исследования, составляла в среднем 20 минут для одного глаза и была слишком высока, что приводило к утомлению пациентов и, как следствие, недостоверности результатов. А. Heijl и В. Bengtsson в анализатор поля зрения HFA-II были добавлены новые алгоритмы исследования Swedish Interactive Threshold Algorithm (SITA): SITA-Standard (SS) и SITA-Fast (SF), позволяющие предъявлять меньшее количество стимулов и, благодаря этому, существенно сокращая время исследования, в среднем до 7 минут для одного глаза. Программой SITA было предусмотрено предъявление стимулов до границы нормы чувствительности, принятой для возраста конкретного пациента. Предъявление стимулов происходит по системе 4-2: интенсивность стимула уменьшается на каждые 4 дБ до тех пор, пока пациент не перестанет воспринимать стимул – после этого интенсивность возрастает на 2 дБ от последнего значения. На основе ответа пациента можно получить наиболее точное значение пороговой чувствительности [68].

Компания INTERZEAG как альтернативу для периметра Octopus разработала ускоренный алгоритм исследования центрального поля зрения Dynamic. Время исследования для одного глаза составляет 6-7 минут, за счет аналогичной «ступенчатой» стратегии. Помимо этого, была введена

стратегия TOP (Tendency Oriented Perimetry) – тенденциозно-ориентированная периметрия, сокращающая время теста до 2-4 минут: для выявления чувствительности в исследуемой точке используется усредненная чувствительность соседних точек. Однако данный метод может быть малоэффективен при диагностике небольших скотом [69].

Несмотря на большое разнообразие предлагаемых на современном рынке компьютерных периметров, к периметрам экспертного класса относят лишь анализатор поля зрения Humphrey Field Analyzer II (Германия-США) и периметр Octopus (Швейцария). Такая приверженность офтальмологов всего мира к этим «периметрам-первенцам» объясняется их высокой стандартизацией и надежной базой данных средней нормы, которая позволяет контролировать результаты тестирования с учетом возраста и состояния оптических сред глаза испытуемого [70].

Е. Marre et al. (1978) разработали новый метод периметрии, в котором предложили использовать цветные стимулы на цветном фоне по цветооппонентному принципу – синее на желтом. В дальнейшем этот метод нестандартной компьютерной периметрии получил название Short-Wavelength Automated Perimetry (SWAP) – коротковолновая автоматическая или сине-желтая периметрия. Принцип данной методики заключается в использовании фона желтого цвета и предъявлении стимулов синего цвета. Ряд авторов полагает, что приобретенная сине-желтая дисхроматопсия может служить одним из дифференциально-диагностических признаков между офтальмогипертензией и начальной стадией глаукомы, а чувствительность данного теста определяется особенностью строения коротковолновых S-колбочек [71, 72].

По мнению многих авторов, SWAP является более чувствительной по сравнению с SAP к раннему выявлению патологических изменений в центральном поле зрения (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 ее результатов у пациентов с нередким сочетанием глаукомы и катаракты. Отступление от естественного ахроматического фона полусферы, при котором работают все рецепторы сетчатки глаза (белого, серого или чёрного), делает «сине-жёлтую» периметрию трудно выполнимым исследованием для пациентов, особенно старшего возраста, пациентов с изменением прозрачности оптических сред глаза, пациентов с психоэмоциональными, когнитивными и иными особенностями [73-76].

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. С созданием укороченного алгоритма SITA для SWAP 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 Y. Barkana et al., позволяет рекомендовать шире использовать SWAP для ранней диагностики глаукомы. Но для мониторинга глаукомного процесса использование SWAP нецелесообразно из-за выраженного влияния помутнений в хрусталике на результаты исследования, так как катаракта нередко сопутствует глаукоме и носит прогрессирующий характер [77, 78].

Используют и другие компьютерные периметры: AP 901 («APPA Autoperimeter», Индия); APS-6000B, APS-6000C («BER», КНР); MD-820 (КНР); KGW-6000C (КНР). Все эти периметры созданы аналогично Humphrey и Octopus, но имеют меньший спектр диагностических программ и большую доступность, поэтому их используют в основном в странах-производителях [79].

Периметры фирмы «Томеу» представлены рядом моделей: AP-1000, AP-2000, AP-3000. Контроль фиксации глаза пациента во всех моделях схож с

таковым у периметров Humphrey: видеокамера и метод Heijl-Krakau. Фоновое освещение составляет 10 asb, но может регулироваться пользователем. Диапазон яркости предъявляемых стимулов составляет 0,03-1000 asb, а размер соответствует III по Goldmann. В список программ AP-1000 входят стандартные методы диагностики поля зрения в пределах 50° от центра, а также различные варианты обследования ЦПЗ и водительский тест. Прибор совместим с персональным компьютером, где сохраняются архивы результатов периметрии. В модель AP-2000 помимо этого добавлена методика сине-желтой периметрии с использованием стимулов размера V по Goldmann. Прибор более компактен по сравнению с предыдущей моделью, благодаря встроенному компьютеру, однако данная конструкция существенно увеличила массу (20 кг). Модель AP-3000 позволяет проводить как статическую, так и кинетическую периметрию с возможностью изменения цвета и размера стимулов. Также появилась возможность предъявлять на экране периметра дополнительные фиксационные метки в случае нарушения у пациента центрального зрения. Отличительной особенностью периметров Tomeu является редактор программ исследования, позволяющий изменять такие параметры, как область исследования, время, яркость фона и стимулов и т.д. Результаты периметрии могут быть представлены в различных форматах: цветной или монохромной шкале, объемном изображении холма поля зрения. Кроме того, состояние светочувствительности сетчатки тестируемого глаза пациента может быть оценено графически в виде кривой Бебье – сводного графика из алгебраических кривых, наглядно отражающего функциональное состояние сетчатки и позволяющего сравнить показатели с возрастной нормой [80].

Немецкая компания «Oculus» производит периметры моделей Twinfield и Centerfield. Особенностью этих приборов является программа CLIP (Continuous Light Increment Perimetry), благодаря которой в процессе исследования яркость стимулов непрерывно увеличивается в зависимости от

времени реакции пациента, что позволяет существенно сократить время тестирования. Программа GSP (Glaucoma Staging and Progression) используется для верификации результатов тестов исследования с результатами из базы данных прибора, что позволяет проводить сортировку результатов по локализации скотом и обеспечивать более эффективную раннюю диагностику глаукомы за счет измерения пороговых значений до возможных периметрических проявлений. Также для ранней диагностики может быть использована программа TNT (Threshold Noiseless Trend), проводящая объективную оценку изменений результатов периметрии с течением времени. Программа предоставляет отчет о прогрессии изменений с учетом основных параметров (MD, p-value) и проводит анализ характера диффузных или очаговых изменений при помощи FI (Focality Index) [81].

Японской фирмой KOWA была выпущена модель автоматического периметра KOWA AP-5000C, отличительной особенностью которого была возможность сочетать технологии Goldman и автоматической периметрии. Прибор позволяет проводить исследование чувствительности сетчатки в определенных тестовых точках для диагностики и построения диаграммы. С помощью программы «Perimetry on fundus» можно объединять исследование поля зрения с изображением глазного дна [82].

Другой японской компанией Takagi была представлена модель периметра MT-325. На данном периметре возможно проведение исследований любого типа: кинетической, статической и критической частоты слияния мельканий. Благодаря 10 встроенным нейтрально-серым фильтрам, можно изменять яркость фиксационной мишени в 60 различных комбинациях. Полученные изображения можно разбить на секции для более детального изучения. С помощью дополнительной приставки путем бинокулярного слияния можно добиться лучшего удержания взора в точке

фиксации в том случае, когда у пациента имеется нарушение центрального зрения.

Автоматический периметр PTS-1000 компании Optopol (Польша) также обладает функциями для исследования КЧСМ и проведения кинетической периметрии, используя цветные стимулы разных размеров. Список программ исследования включает в себя: центральное поле зрения 30° , полное поле зрения 50° , а также бинокулярный водительский тест (80° по горизонтали, 50° по вертикали). Ко всему прочему, присутствует функция, позволяющая сравнивать два результата.

Китайская компания Kagiwi производит периметр KGW-6000C, программа исследования которого включает в себя несколько режимов тестирования: стандартное исследование (60° от центра), исследование в 30° от центра, исследование периферии (от 60° до 90°) и исследование ЦПЗ (10°) с возможностью предъявления стимулов желтого или красного цвета [83].

За рубежом к числу современных методов исследования ЦПЗ относят окулокинетическую периметрию, которую в 1985 г. в простом варианте разработал В. Damato, а в 1993 г. в компьютеризированном – Е. Multukan. В этом методе на белом фоне предъявляют 26 черных стимулов в фиксированной локализации. Точка же фиксации меняет свое положение по спирали для исследования все новых участков сетчатки. Стимулы могут быть трех размеров и четырех уровней контрастности с фоном за счет увеличения черноты стимула [84, 85].

Существуют комбинации автоматических периметров со сканирующим лазерным офтальмоскопом. Одним из них является периметр Compass, производящийся компанией «CenterVue». Прибор позволяет исследовать поле зрения в пределах 30° от центра. Уровень яркости фона составляет 31,4 asb, размер стимулов III по Goldmann. Контроль фиксации взора

пациента осуществляется посредством встроенной фундус-камеры, что обеспечивает более точное определение уровня светочувствительности сетчатки в соответствии с участками глазного дна. Особенностью данного прибора является использование белого сканирующего луча, что позволяет получать не только черно-белые и инфракрасные, но и цветные изображения глазного дна. По данным авторов, такой способ значительно увеличивает время исследования, что приводит к утомляемости пациента, однако, благодаря встроенной фундус-камере, появляется возможность минимизировать погрешности результата, связанные с нарушением прозрачности хрусталика и отклонениями взора от точки фиксации [86].

В России с 1996-ого года компанией «Оптимед» в серийное производство запущен первый автоматический статический периграф Периком. Прибор предназначен для надпорогового исследования поля зрения. При исследовании пациенту предъявляются световые стимулы в области зеленого светового спектра (540-570 нм) на темно-сером фоне (0,5-1,5 кд/м²). Позже была выпущена более компактная версия периметра – Периком «Классика-мини». Прибор обладает меньшей зоной обследования поля зрения (40° от центра) – для «расширения» области исследования были введены дополнительные группы точек фиксации, расположенные в 2° и 4° от центра. По данным литературы такое решение может затруднить определение локализации слепого пятна и увеличить время исследования [87, 88].

Компанией «Медприбор» выпускается надпороговый периметр Перитест-300. Диапазон обследуемого поля зрения составляет 80° от точки фиксации. Программа периметрии допускает ручное изменение параметров исследования (яркость фона и стимулов, длительность предъявляемых стимулов и др.). Также прибор предоставляет возможность проведения «сине-желтой» периметрии. Отдельно устанавливаются программы для персонального компьютера: «Перитест РС» - для исследования поля зрения в

пределах 30° от центра на мониторе персонального компьютера с помощью методов цветной кампиметрии; определение КЧСМ; исследование сенсомоторной реакции и «Мускултренер» - комплекс программ для укрепления глазных мышц и улучшения глазодвигательных функций [83].

1.2.1 Методы контроля за направлением взора. Достоверность результатов

Обязательным условием для выполнения периметрии является удержание взора в точке фиксации, так как для адекватной оценки состояния поля зрения от пациента требуется непрерывно смотреть на специальную метку в центре экрана периметра в ходе всего исследования. Существует несколько методик по контролю за положением глаза пациента. Сферопериметр Goldmann оснащен окуляром со стороны специалиста и специальной ручкой для перемещения подбородника пациента, что позволяет специалисту направлять пациента и регулировать положение его головы и направления взора в ходе исследования.

Для большинства автоматических периметров используется методика Heijl-Кракау: метод основан на определении положения слепого пятна за счет случайной стимуляции каждой из 11 точек, расположенных в поле от 11° до 19° от центра и соответствующих слепому пятну, с высокой яркостью во время тестирования. Результаты основаны на анатомии глаза и положении слепого пятна на поверхности сетчатки. Во время первой фазы теста положение слепого пятна проверяется поочередно по четырем ориентировочным желтым точкам калибровки. В случае теста с определением чувствительности калибровочных точек, тестирование начинается с проверки всех 11 точек слепого пятна. Программа будет использовать только те из 11 точек, которые не были видны во время первой фазы проверки. Если за время проверки пациент видит более 6 точек из 11,

программа пошлет сообщение о возможном неправильном положении пациента. Если число возрастет до 8 видимых точек, программа проинформирует, что положение пациента выбрано неверно. В обоих этих случаях будет активирована опция 'Remap' (англ. «переназначение»), которая перепроверит положение слепого пятна после корректировки положения пациента. Опция 'Remap' также останется в действии во время теста, если число невидимых точек в области слепого пятна станет менее 3-х.

Вторым способом контроля за положением глаза пациентов является встроенная видеочкамера, позволяющая специалисту наблюдать на экране увеличенное изображение глаза пациента. Многие приборы оснащены специальными курсорами, с помощью которых специалист может отрегулировать положение пациента и центрировать его взор, используя ориентировочную метку, представленную на мониторе прибора.

Для достоверности результатов исследования в программе используются ложноположительные и ложноотрицательные стимулы. Ложноположительные стимулы могут осуществляться звуковыми сигналами прибора. Если стимул не был показан, пациент может по невнимательности нажать на кнопку регистрации ответов, ориентируясь на звук, что свидетельствует об ошибке. В ряде случаев пациенты стремятся отметить как можно больше стимулов, даже если не видят их – в такой ситуации индекс ложноположительных ответов выше 10-15% может говорить о низкой достоверности результата.

Ложноотрицательные стимулы предъявляются повторно в зонах, где пациент ранее наблюдал и отметил стимул. Если при повторном предъявлении пациент не отмечает данный стимул, можно сделать вывод о его невнимательности или утомляемости. Индекс ложноотрицательных ответов так же не должен превышать 10-15%, в противном случае исследование следует повторить. Однако стоит учитывать, что длительная

зрительная нагрузка, особенно у пожилых пациентов, существенно снижает достоверность результата.

На распечатках результатов периметра Humphrey предоставляется график достоверности, который демонстрирует отклонение взора пациента от точки фиксации во время исследования. Отклонения от центральной оси на диаграмме вверх характеризуют отклонения взора пациента от точки фиксации, вниз – мигательные движения. При высоком уровне отклонений взора результат исследования считается недостоверным [89-92].

1.3. Портативные периметры

Большинство периметров, используемых на данный момент в клинической практике, представляют собой дорогостоящие приборы, требующие обслуживания подготовленным специалистом. Такие периметры, чаще всего, имеют крупные лечебные учреждения, частные центры и научно-исследовательские институты. В связи с уменьшением размеров электроники, необходимой для работы прибора, в последнее время все большую востребованность приобретают портативные периметры. Такое решение обеспечивает большую доступность проведения исследования и может быть использовано для проведения скрининга в поликлиниках и многопрофильных больницах.

В 1996 году Kasha Jr. et al. предложили способ исследования поля зрения с использованием очков виртуальной реальности, компьютера, принтера и компьютерной мыши. Преимуществами такой системы являются цена, портативность и комфорт пациента во время исследования. Очки виртуальной реальности, содержащие независимый дисплей для каждого глаза, позволяют одновременно тестировать оба глаза. Они также позволяют использовать один глаз для фиксации, в то время как другой глаз тестируется. Контроль фиксации осуществляется путем мониторинга слепых зон обоих глаз или путем мониторинга реакции на изменение направления

движущейся точки фиксации. Результаты в числовом формате или в оттенках серого могут быть отправлены на экран компьютера или принтера. Программное обеспечение, которое работает на платформе Windows 95, позволяет предъявлять 52 стимула в зоне 24° от центра. Пациент может использовать свои собственные очки под гарнитурой в течение исследования для коррекции рефракции. Система периметрии использует 2 ЖК-дисплея 0.7 дюймов × 0.7 дюймов. При помощи кнопки мыши фиксируются ответы пациента на предъявленные стимулы [93].

Murray I.C. et al. проводили сравнение результатов НФА с результатами, полученными при помощи SVOP (Saccadic Vector Optokinetic Perimetry) – системы, включающей в себя персональный компьютер, дисплей и eye-tracker для отслеживания положения взгляда, когда стимулы представлены в поле зрения. В исследование были включены 29 испытуемых, составивших 4 группы: 12 взрослых с нормальными полями, 4 ребенка в возрасте до 10 лет с нормальными полями, 8 взрослых с дефектами поля зрения и 5 детей в возрасте до 10 лет с подозрением на дефекты поля зрения. Испытуемые выполняли 3 теста: 40-точечный бинокулярный тест и два 41-точечных теста для каждого глаза. Тесты были основаны на Central-40 - скрининговом тесте НФА с размером стимула Goldmann III и интенсивностью 14 децибел (дБ). При сравнении с результатами НФА системой SVOP было правильно идентифицировано 99,1% (взрослые) и 99,2% (дети) результатов с нормой и 89,8% (взрослые) результатов с дефектами. Результаты также были правильно идентифицированы системой у детей с подозрением на дефекты поля зрения, но исследования на НФА в этой группе не проводилось [94].

В 2014 году американской компанией BioFormatix, Inc. разработана модель автоматического портативного периметра VirtualEye, состоящего из шлема-визора, системного блока, компьютера и кнопки для регистрации ответов. Шлем-визор представляет собой, надевающуюся на голову маску-

щиток, оснащенную двумя отдельными дисплеями, держателем линзы для коррекции рефракции и eye-tracker – системой для контроля направления взгляда пациента. Общий вес устройства составляет примерно 200г. Программное обеспечение позволяет исследовать поле зрения пациента по алгоритму 24-2, диапазон чувствительности 0-40дБ. Если пациент видит предъявляемый стимул, он нажимает на кнопку для регистрации ответов. Результаты исследования передаются на компьютер [95].

О.А. Румянцева и А.П. Нестеров (2011) разработали оригинальную модель портативного периметра ПСП-01. Устройство представляет собой сферический корпус с ручкой и смотровым окном, соединенный с компьютером. В ходе исследования пациент прижимает глаз к смотровому устройству и фиксирует взор в центре экрана, находящегося внутри сферического корпуса. С помощью блока управления на экране портативного периметра в случайном порядке предъявляются световые стимулы. В случае, когда пациент видит световой стимул, он нажимает на кнопку, расположенную на ручке портативного периметра. Результаты исследования регистрируются в компьютере. По мнению авторов, эргономичность формы позволяет произвести коррекцию границ, суженных влиянием выступающих отделов носа и глазницы, а портативность (вес 300- 500 г.) делает прибор общедоступным и удобным в повседневном использовании в практике офтальмолога лечебных и профилактических учреждений, а также для проведения скрининговых обследований [96].

В 2016 г. Бетин В.Н. и соавт. предложили переносной офтальмологический периметр для предварительной диагностики состояния зрительного пути. Прибор представляет собой конструкцию, фиксирующуюся при помощи специальных кронштейнов, оснащенную портативным окуляром, экраном для предъявления стимулов и встроенной камерой для контроля за положением глаза пациента. Конструкция

подразумевает крепление прибора к столу и позволяет проводить исследование в любом положении пациента, в том числе лежа. Прибор подключается к компьютеру, общий вес снаряжения составляет 4-7 кг. Несмотря на оригинальность метода решения проблемы, вопрос о выпуске прибора на тот момент не был решен, а сейчас данный прибор представляется нам морально устаревшим [97].

Японская компания CREWT Medical Systems (2016) создала портативный анализатор поля зрения ИМО. Прибор состоит из шлема-периметра, планшетного компьютера и кнопки регистрации ответов пациента. Компьютер и литий-ионный аккумулятор встроены в корпус шлема-периметра. При помощи планшета, подключенного по Wi-Fi к шлему, специалист управляет ходом исследования. Ответы пациента фиксируются при помощи беспроводной кнопки, подключенной по Bluetooth. Правая и левая оптические системы периметра полностью отделены, предъявление стимулов и контроль за направлением взора независимо выполняется для каждого глаза. Оптическая система представляет широкоугольный объектив, который позволяет исследовать поле зрения в пределах 35° от центра. С помощью функции коррекции искажений и кривизны поля стимулы могут быть точно сгенерированы и представлены. Во время теста используются 2 жидкокристаллических экрана высокого разрешения. Яркость светового стимула составляет $0,032-3183$ кд/м² ($0,1-10000$ asb) с фоновой яркостью 10 кд/м² ($31,4$ asb), а длительность стимула составляла 200 мс. Вес прибора составляет 1.8 кг. В случае, когда пациент неспособен удерживать на голове столь габаритный прибор, может быть использована специальная подставка. Тестовые программы, используемые для ИМО, совместимы с тестовыми программами НФА 30-2, 24-2, 10-2 и 24+ с дополнительными точками тестирования в пределах 10° от центра. Сравнение результатов портативного периметра с результатами НФА показало высокую сопоставимость ($R: r =$

0.96). Общее время исследования при помощи ИМО оказалось на 30,8% меньше, чем на HFA. Авторы считают, что периметр ИМО – может быть использован в любых ситуациях, благодаря своей портативности, он надежен и в отношении клинических данных. Высокую клиническую значимость представляет программа 24+(1-2), которая позволяет исследовать периферическое и центральное поле зрения одновременно и в более короткие сроки, чем при обычной тестовой программе. ИМО может проводить отдельное обследование поля зрения для каждого глаза в условиях отсутствия окклюзии, причем пациент не знает, какой глаз исследуется. Измерение в среде, отличной от обычного исследования поля зрения, было возможно в 85% случаев. В будущем ожидается дальнейшая оценка клинического потенциала ИМО [98, 99].

В 2020г. Т. Sircar et al. была разработана модель портативного периметра GearVision. Устройство представляет собой шлем виртуальной реальности с использованием смартфона Samsung. По мнению авторов, данный прибор может обеспечить доступный и эффективный способ тестирования поля зрения с минимальной зависимостью от обученных специалистов. Особенности системы GearVision включают в себя новый пороговый алгоритм для сокращения продолжительности теста, адаптивный метод точного измерения потери фиксации и более подробный отчет о результатах исследования. Авторы считают, что прочие портативные периметры (ИМО, VirtualEye, Kasha) являются узкоспециализированными приборами, предназначенными исключительно для периметрии, что приводит к высокой стоимости и требует участия опытных специалистов. GearVision позволяет проводить исследования поля зрения в отдаленных районах и в домашних условиях. В более ранней версии прибора определение локализации слепого пятна происходило в области на 15° в височную сторону и на 3° ниже от центра. Однако данные показали, что слепое пятно может располагаться за

пределами указанных значений. Для этого было предложено использовать перед исследованием надпороговый тест, при котором представлено 30 стимулов, из них 15 предъявляется в область потенциального расположения слепого пятна, а остальные распределены случайным образом по всему полю зрения – слепое пятно определяется в том месте, где было наименьшее количество ответов пациента на предъявляемый стимул. Начальная интенсивность стимулов равна 18дБ и, если стимул обнаружен в зоне слепого пятна, последовательно уменьшается на 1дБ до минимальной яркости – 22дБ. При исследовании поля зрения используются пороговые тесты 30-2 и 24-2, аналогичные программам HFA. В ходе исследования пациенту предъявляются стимулы с длительностью 200мс и случайным интервалом между ними 1200-1800мс. Пациент использует кнопку для регистрации ответов, а результаты исследования сохраняются в базе смартфона, откуда могут быть отправлены специалисту для диагностики. Для сокращения продолжительности теста используется программа CNT (Correlated Neighborhood Thresholding), которая вычисляет пороговые показатели в 8 точках, по одной в каждом квадранте – полученное значение используется в качестве начального порогового показателя для каждой из соседних точек. Данный метод сокращает время исследования на 25%. Авторы провели исследование поля зрения, в ходе которого каждый пациент в один день проходил тест на HFA и GearVision (24-2, CNT) - среднее время тестирования на каждый глаз с учетом пауз составило 11,45 минут. При сравнении с HFA, GearVision удалось правильно идентифицировать 81,94% дефектов и 86,4 % нормальных областей. Авторы планируют использовать GearVision для быстрого скрининга в клиниках и в тех ситуациях, когда более сложная и дорогостоящая аппаратура недоступна [100].

В Великобритании был предложен новый способ выявления пациентов с глаукомой, наиболее подверженных риску развития потери зрения, при

помощи планшетного компьютера Eyecatcher для самостоятельного использования в зонах ожидания в клиниках. Для теста не требуется никаких прочих устройств (шлем, подголовник, кнопка) – результаты фиксируются при помощи технологии eye-tracker. Перед началом исследования пациенту проводят краткий инструктаж, второй глаз закрывали повязкой и разрешалось использовать личные средства коррекции зрения, если это необходимо. В процессе исследования пациенты наблюдали предъявляемые стимулы на экране планшета, при этом не было строго фиксированного расстояния от глаза до экрана. Программа тестирования EyeCatcher аналогична программе SAP (SITA Fast). В исследовании участвовали 77 человек, каждому из которых обследовали только один глаз, среднее время теста составило 2,5 минуты, сопоставимость с результатами SAP – 78%. Участники оценили Eyecatcher как более комфортный, более легкий в исполнении, менее утомительный и менее трудный для концентрации, чем SAP. Однако семь пациентов (9%) не смогли завершить тест из-за того, что аппаратное обеспечение не могло надежно отслеживать их глаза. В пяти случаях трудности, вероятно, были вызваны недавними офтальмологическими вмешательствами (например, хирургией катаракты). Такие пациенты уже будут "в системе" и не будут теми новыми потенциальными испытуемыми, на которых в первую очередь будет нацелен экспресс-тест сортировки, такой как Eyecatcher. В двух других случаях причина проблемы была либо неизвестна, либо, по-видимому, вызвана побочным эффектом лекарства (сухость глаз). Авторы рассчитывают, что надежность недорогих технологий слежения за глазами со временем улучшится. В то же время такие люди могут продолжать проходить тестирование на SAP (как они делают в настоящее время) или выполнять тест на версии Eyecatcher для нажатия кнопок. Авторы отмечают, что это исследование было задумано только как первоначальная оценка осуществимости проекта. Его не следует воспринимать как формальную

оценку точности диагностики, для чего потребуется стандартизированный протокол и гораздо более крупная многоцентровая проспективная выборка [101].

1.4. Методы периметрии при неспособности пациента удерживать взор в точке фиксации

Одним из главных условий для исследования поля зрения является способность пациента удерживать взор в точке фиксации. Однако при таких заболеваниях, как далекозашедшая стадия глаукомы, макулярная дистрофия, кровоизлияния сетчатки и др., центральное зрение пациента может быть нарушено, что приводит к потере фиксации в ходе исследования и недостоверности полученных результатов. Для решения данной проблемы во многих периметрах используются различные ориентиры и дополнительные точки фиксации, предназначенные для снижения количества поисковых движений глаза.

В периметрах Humphrey имеется возможность регулировки параметров точки фиксации. Помимо центральной точки, при нарушении центрального зрения можно выбрать функцию «small diamond», характеризующуюся 4-мя парацентральноми точками, или «large diamond» в случае обширной скотомы [102, 103].

В периметрах AP-3000 (Tomey) предусмотрены 2 фиксационные «звезды», предназначенные для проведения исследования при нарушении центрального зрения. В AP-5000C (Kowa) расположены 4 точки под центральной точкой фиксации, позволяющие пациенту ориентироваться в области экрана периметра при центральной скотоме.

Периметр Перитест позволяет переключаться между двумя режимами центральной точки фиксации: «центр» - горит только центральная точка; и

«квадрат» - 4 парацентральные точки при наличии у пациента центральной скотомы.

Во многих периметрах (Tomey, Ortopol, Периком и др.) присутствуют дополнительные точки фиксации, предназначенные для расширения обследуемой области поля зрения при проведении «водительского теста» или по причине малых размеров прибора - программа подразумевает переключение между этими точками в качестве центральной точки фиксации в процессе исследования. Однако в литературе отсутствуют данные о возможности использования этих точек в качестве ориентиров при нарушении центрального зрения [83].

Вышеперечисленные методы немного улучшают ситуацию, однако получаемые результаты нельзя рассматривать как удовлетворительные. Это связано с тем, что при периметрии обязательным условием исследования является постоянное удерживание взора в точке фиксации, расположенной в центре экрана периметра. Только при соблюдении этого условия световые стимулы, предъявляемые обследуемому глазу, будут адекватно восприняты, а ответы пациента на их предъявление будут соответствовать реальной картине состояния поля зрения. При «блуждающем» взоре корректное проведение периметрии невозможно.

Из-за невозможности полноценного проведения периметрии, глаза с отсутствием центрального зрения являются особо уязвимой группой при выявлении глаукомы. Учитывая выше перечисленные проблемы, было предпринято настоящее исследование.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2. Материалы исследования

Данная работа выполнена на клинической базе ФГБНУ «НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова». Исследование проводили в соответствии с Решением локального этического комитета ФГБНУ «НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова» от 18 сентября 2017 г.

Все пациенты подтвердили свое участие в исследовании, подписав информированное согласие.

2.1. Структура исследования

2.1.1. Этапы исследования

Исследование было разделено на 2 этапа. Оба этапа касались проведения обследования на новом портативном периметре, однако задачи у 2-х этапов были разными:

Задачей 1-го этапа было подтверждение эффективности и достоверности результатов скрининг-периметрии, получаемых при помощи портативного периметра при обследовании глаз с сохранным центральным (предметным) зрением, что позволяло уверенно удерживать взором точку фиксации в процессе исследования.

Задача 2-ого этапа касалась непосредственно заявленной темы исследования: используя портативный периметр проводили скрининг-периметрию на глазах с низким центральным зрением (ЦЗ) или с его полным отсутствием, неспособных в процессе обследования удерживать взором точку фиксации.

2.1.2. Используемые методы исследования

На 1-ом этапе, проводившемся для верификации результатов, получаемых при помощи портативного периметра, обследовали глаза с сохранным ЦЗ. В качестве контрольного метода для проверки достоверности результатов использовали статическую автоматическую периметрию (анализатор поля зрения HFA-II). В обоих случаях, при использовании ПП и

автоматического статического периметра, обследование проводили по одной и той же периметрической стратегии – скрининг-периметрия С-76 с предъявлением 76 точек. Важно отметить, что только получив подтверждение достоверности данного метода, мы считали возможным переходить ко второму этапу.

При проведении 2-го этапа исследования, направленного на изучение возможности проведения периметрии на глазах с отсутствием ЦЗ и с наличием центральных скотом (ЦС), неспособных удерживать точку фиксации взора, дополнительно к двум вышеназванным методам, в качестве контрольного, была добавлена кинетическая периметрия на сферопериметре Goldmann.

Выбор периметра Goldmann для сравнения с результатами автоматической статической периметрии на первый взгляд может показаться недостаточно обоснованным, поскольку используются разные виды периметрии – статический и кинетический. Кроме того, некоторые считают периметр Goldmann морально устаревшим. Однако, по нашему мнению, наш выбор полностью оправдан. Это связано с тем, что периметр Goldmann – единственный доступный в настоящее время периметр, на котором можно проводить постоянный прямой контроль в режиме реального времени за направлением взора обследуемого глаза, а при необходимости – проводить по ходу обследования коррекцию отклонения взора. А для решения вопросов сопоставимости результатов статической и кинетической периметрии нами был разработан алгоритмический подход, позволивший проводить сравнение результатов

2.1.3. Аналитическая обработка результатов

После получения результатов периметрии на всех вышеназванных приборах проводили сопоставление результатов, их математическую и статистическую обработку по оригинальной программе, описанной в соответствующем разделе. Обработку материалов проводили при

поддержке профессора К. Kotliar, руководителя отдела Биоинжиниринга и Техноматематики Университета прикладных наук, Аахен, Германия (Prof. Dr.-Ing. Dr. habil. Konstantin Kotliar, Head of Department of Medical Engineering and Technomathematics, FH Aachen University of Applied Sciences).

2.2. Используемые приборы

2.2.1. Портативный периметр, выполненный на основе устройства виртуальной реальности

Ключевым прибором в нашем исследовании был новый диагностический аппарат, разработанный группой российских ученых под руководством д.м.н. Ермолаева А.П. – автоматический портативный статический периметр (патент РФ №2634682, 2017), выполненный на основе устройства виртуальной реальности (англ., virtual reality device). Прибор далее по тексту будет именоваться «портативный периметр». Рабочий прототип портативного периметра (ПП) реализован компанией Total Vision (резидент Сколково, Россия).

Прибор представляет собой программно-аппаратный комплекс, включающий:

- шлем виртуальной реальности со специально созданным программным обеспечением (ПО) на основе операционной системы Android;
- терминал для введения параметров и получения online сводки о ходе обследования, функцию которого выполняет цифровой планшет, осуществляющий контакт со шлемом через Wi-Fi соединение;
- устройство обратной связи для регистрации ответов пациента (кнопка «вижу»).

Полученные результаты отправляются в облачное хранилище для архивации.



Рис.1 Портативный периметр на основе устройства виртуальной реальности.

В рамках настоящего исследования проводили скрининг-периметрию, ПО для которой было специально разработано по нашим рекомендациям и под нашим контролем для ПП и основано на периметрической стратегии С-76 (76 точек).

Отличительной особенностью ПП от традиционно используемых периметрических устройств является то, что материальный полусферический экран, на котором происходит предъявление визуальных диагностических стимулов и который является неотъемлемой частью всех известных периметров, в данном устройстве заменен на виртуальную полусферу, предъявляемую на экране портативного периметра.

Полусферический периметрический экран, используемый для традиционной периметрии на стационарных устройствах, имеет радиус, близкий к 30 см, что связано с дистанцией для зрения вблизи (для эметропических глаз), оптимальной для предъявления световых стимулов. С этим связаны большие размеры периметров, делающие эти инструменты достаточно громоздкими. Использование виртуальной сферы для проецирования периметрических стимулов позволяет ограничить размеры прибора размерами шлема. В результате новый прибор компактен, удобен в

использовании и легко размещается в небольшой бокс.

Для предъявления визуальных периметрических стимулов на виртуальной полусфере на экране прибора использована виртуальная сетка с линиями, идущими вертикально и горизонтально с шагом в 6° по обоим направлениям. Для программного переноса данной сетки на виртуальную полусферу в координаты точек внесены поправки с учетом дисторсионной аберрации, а в размеры предъявляемых световых стимулов и их яркость также внесены корректирующие поправки для адекватности их параметров реальным периметрическим параметрам.

Использование для формирования виртуального пространства межплатформенной среды разработки Unity позволило создать виртуальную сферу, визуально аналогичную материальному полусферическому экрану радиусом 30 сантиметров. Для компенсации искажений использован комплексный подход (изменение оптических параметров линз шлема, в частности использование асферических линз и компенсирующие коэффициенты программы генератора стимулов). В итоге стало возможным создание виртуальной сферы, максимально близкой по параметрам к сферическому экрану, используемому в современных стационарных автоматических периметрах. Использование в работе периметра виртуальной сферы позволило предложить новый термин для данного вида периметрии - «виртуальная периметрия».

Благодаря этому обеспечивается адекватность используемой периметрической программы и сопоставимость ее параметров с диагностической стратегией С-76, предъявляемой на стационарном статическом периметре.

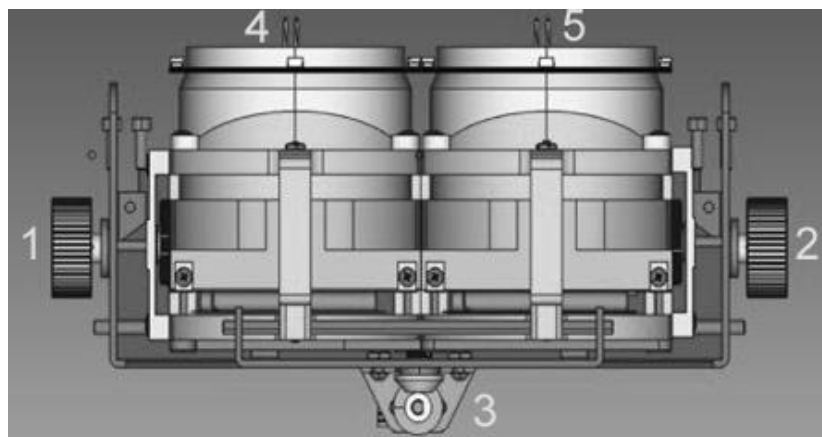


Рис.2 Схема устройства портативного периметра. 1,2 - Регуляторы механизма настройки «на резкость» левого и правого оптических каналов; 3 - Механизм настройки межзрачкового расстояния; 4,5 – левый и правый оптические каналы (линза + дисплей).

При подготовке к обследованию шлем ПП надевают на голову пациента и адаптируют при помощи регулируемого наголовника к параметрам головы пациента. В руку пациенту дают кнопку обратной связи для регистрации ответов на увиденные световые стимулы и проводят необходимый инструктаж.

Отличительной особенностью шлема ПП является физическая изолированность отсеков для правого и левого глаз, благодаря чему исключена возможность «подглядывания» в зону парного глаза. Обследование, как и при классической периметрии, проводили монокулярно, но благодаря изолированности глаз друг от друга, закрывать парный глаз не требовалось. Благодаря тому, что оба глаза были открыты, у пациентов складывалась иллюзия, что они видят точку фиксации двумя глазами.

Пациента перед обследованием просили занять удобное положение головы и тела. Поскольку прибор плотно фиксирован на голове пациента, движения его головы не вызывают помех для обследования, и пациент может сидеть на стуле у стола или в обычном кресле. Это выгодно отличает проведение периметрии при помощи ПП от традиционных видов

периметрии, при которых пациент находится в вынужденной, достаточно напряженной позе, что быстрее приводит к его утомлению.



Рис.3 Обследование при помощи ПП вне стационара (в домашних условиях).

Яркость фонового свечения жидкокристаллического экрана, на котором предъявлялись световые стимулы, соответствовала 31,5 апостильб. По желанию исследователя основные параметры программы тестирования можно было регулировать до начала обследования.

В рамках данной работы, по умолчанию, выставлялись следующие параметры: цвет фона белый (по шкале RGB – R255G255B255), точка фиксации взора соответствовала размеру III по Goldmann (цвет R255G204B0). Выбран случайный порядок предъявления световых стимулов. Длительность каждого стимула составляла 200 мс, пауза между стимулами – 3 с, размер стимула соответствовал размеру III для периметрии по Goldmann (0,43 угловых градуса) с учетом перерасчета размера и яркости стимулов для виртуальной сферы. Стимулы предъявлялись в зоне 30° от точки фиксации взора. Предъявлялось 76 точек. Использовали трехзонный алгоритм, при котором на основе ответов пациента компьютер определяет локализацию

относительных и абсолютных скотом обследуемого глаза.

Важным условием для проведения обследования была правильная центрация глаза пациента, что описано ниже, в соответствующем разделе. Особенное значение мы этому придавали потому, что при надетом на голову шлеме ПП, исчезает возможность прямого визуального контроля правильности положения шлема на голове.

2.2.2 Подготовка, проводимая пациентам в зависимости от наличия или отсутствия центрального зрения

Инструктаж, который проводили пациентам при проведении 1-го этапа (при обследовании глаз с сохранным ЦЗ) и при проведении 2-го этапа (при отсутствии ЦЗ), имел значительные отличия.

При наличии ЦЗ и способности уверенно удерживать взором точку фиксации, пациента просили все время смотреть в центр экрана ПП на точку фиксации (как при стандартном проведении периметрии) и удерживать там взор в ходе всего исследования. При появлении световых диагностических стимулов на экране прибора пациент должен был реагировать нажатием кнопки обратной связи «вижу» на каждый стимул.

Об инструктаже для пациента при обследовании глаза с отсутствием ЦЗ и наличием ЦС, неспособного удерживать точку фиксации, будет сказано ниже, в соответствующем разделе.

После завершения подготовки пациента запускали программу обследования. Продолжительность обследования одного глаза составляла 5-8 минут и зависела от состояния светочувствительности сетчатки и необходимости повторного предъявления стимулов в точках, где они не были им увидены.

Результаты, полученные при обследовании на обоих приборах, были представлены врачу для визуального просмотра и анализа в виде распечатки, а для дальнейшей математической обработки - в виде цифрового файла в формате JSON.

A

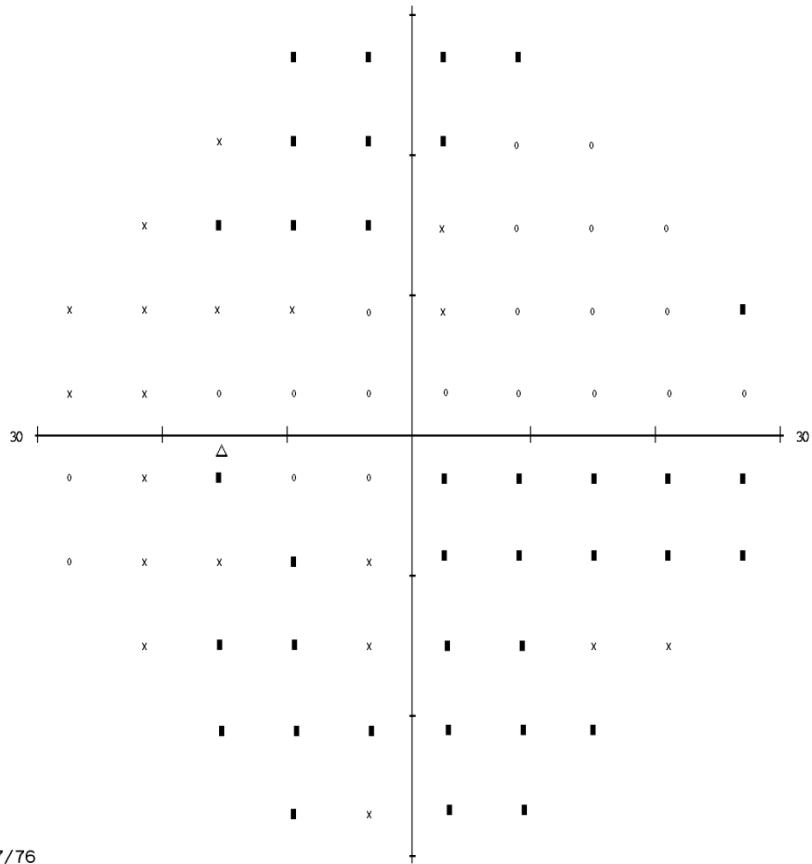
Eye: Left

Name:	DOB
ID:	

Central 76 Point Screening Test

Fixation Monitor: Gaze/Blind Spot	Stimulus: Ill, White	Pupil Diameter: 4.7 mm	Date: 13-03-2019
Fixation Target: Central	Background: 31.5 ASB	Visual Acuity:	Time: 15:35
Fixation Losses: 0/15	Strategy: Three Zone	RX: DS DC X	Age: 78
False POS Errors: 0/17	Test Mode: Age Corrected		
False NEG Errors: 5/16			
Test Duration: 08:19			

Central Reference: 31 dB
Peripheral Reference:



o Seen 17/76
x Defect 25/76
■ Not Seen 34/76
△ Blind Spot



Отчет: Скрининг тест

Б

Пациент

Исследование

Правый глаз (OD)

Пол: Муж

СТИМУЛЫ

Предъявлено: 76

Увидено: 60

Пропущено: 16

ДИАМЕТР ЗРАЧКА

Правый глаз: Не измерялось

Левый глаз: Не измерялось

КОНТРОЛЬНЫЕ СТИМУЛЫ

Предъявлено: 9

Пропущено: 4

ПАРАМЕТРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Размер стимула: 0,43 градуса

Время появления стимула: 300 мс

Пауза: 3000 мс (вариабельна)

Область исследования: 60 градусов

Шаг сетки: 6 градусов

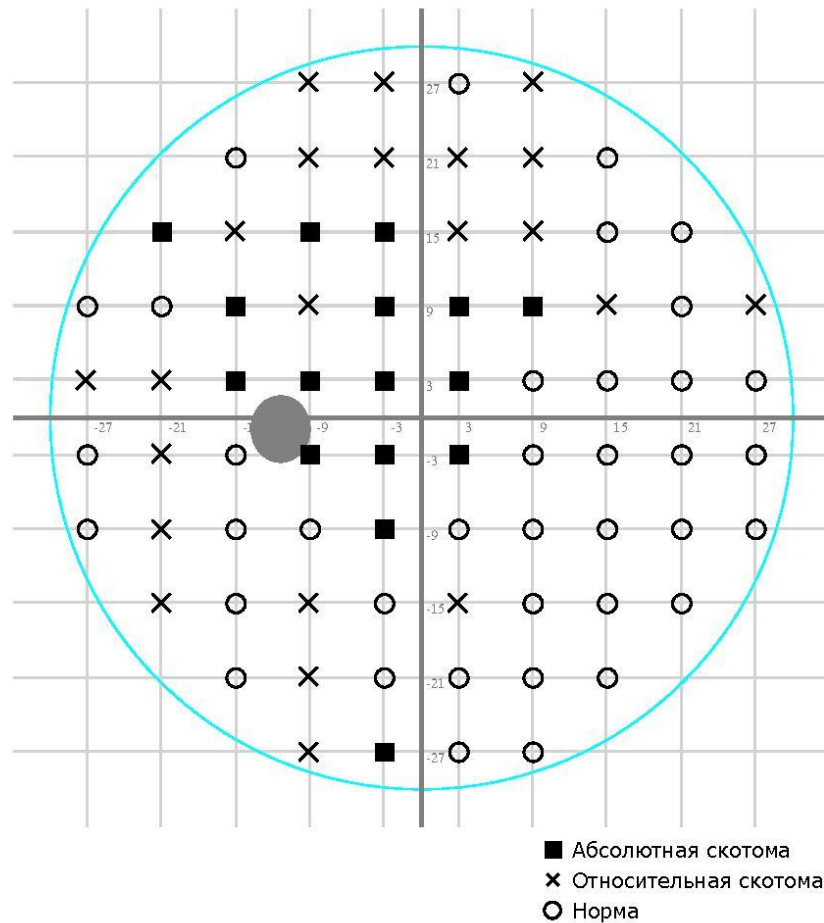


Рис.4 Примеры распечатки результата периметрии при помощи автоматического статического анализатора HFA-II (А) и ПП (Б).

2.2.3. Обследование на автоматическом статическом периметре НФА-II (группа контроля)

Автоматический статический периметр НФА-II широко используется в исследовательской и клинической медицинской практике на территории России и поэтому не нуждается в специальном описании (см. рис.5).



Рис.5 Автоматический статический анализатор поля зрения НФА II (Carl Zeiss Meditec, Германия-США).

Для тестирования была выбрана программа С-76 скрининговой стратегии НФА-II (аналогично которой была построена периметрическая программа для ПП), исследующая поле зрения в 76 точках в 30° от точки фиксации взора при помощи трехзонного алгоритма.

Контроль за точностью фиксации взора обследуемого глаза в данном приборе осуществляется двумя способами. Первый способ – на экране на

задней панели прибора исследователь выполняет визуальный контроль положения глаза больного, полученный с помощью специальной камеры. Данное экранное изображение используется, в первую очередь, для правильности установки глаза относительно экрана. Вторым способом – это использование принципа Heijl-Krakau, который заключается в том, что в ходе тестирования несколько раз предъявляются стимулы надпороговой яркости в проекцию зоны слепого пятна. Если пациент хорошо фиксирует взгляд, то он не замечает этот стимул и не отвечает нажатием кнопки на его появление. При нарушении фиксации пациент нажатием кнопки реагирует на увиденный стимул и прибор фиксирует нарушение фиксации направления взора. Если количество ошибок фиксации более 20%, то результат теста следует признать недостоверным, а сам тест повторить.

Помимо вышеперечисленных методов, для оценки достоверности полученных результатов используются ложноположительные и ложноотрицательные стимулы. Ложноположительные стимулы осуществляются посредством звуковых сигналов и служат для пациента отвлекающим фактором, возникающим без предъявления светового стимула. Практика показывает, что в процессе обследования пациент «входит в ритм», нажимая на кнопку регистрации ответов, тем самым отмечая стимулы каждый раз, когда слышит звуковой сигнал. Нажатие кнопки в момент предъявления ложноположительного стимула свидетельствует о невнимательности пациента или попытке зависеть результат обследования. Индекс ложноположительных ответов выше 15% говорит о низкой достоверности результата и необходимости повтора обследования.

Ложноотрицательные стимулы служат той же цели, но имеют обратный принцип. Световые стимулы повторно предъявляются в тех зонах, где пациент ранее отметил стимул и нажал на кнопку регистрации ответов. Если при повторном предъявлении пациент не отметил ложноотрицательный стимул, можно судить о невнимательности или утомляемости пациента.

Индекс ложноотрицательных ответов не должен превышать 15%.

Результаты исследования при помощи автоматического статического периметра HFA II были представлены для визуального контроля в виде распечатки, а для машинного анализа в виде файла JSON.

Функциональное состояние зон сетчатки обследуемого глаза визуализируется тремя символами: норма (O), относительная скотома (X) и абсолютная скотома (■). В нижней части распечатки представлен график достоверности исследования, основанный на отклонении взора пациента от точки фиксации.

Для контроля правильности направления взора использовали принцип Heijl-Krakau, при котором в зону слепого пятна периодически подается световой стимул. Получение положительных ответов на ложные стимулы указывает на отклонение линии взора и позволяет составить представление о достоверности результатов. Сводка о положительных ответах на ложные стимулы отражается на экране компьютера online, а затем выносится на распечатку.

Помимо этого, видеокамера прибора выполняет функцию айтрекера и контролирует отклонение взора от точки фиксации. Результат этого процесса представляется в виде графика достоверности. График достоверности (см. рис.6) показывает отклонения направления взора: отклонения от оси графика вверх характеризуются отведением глаза от точки фиксации, вниз – мигательные движения глаза.

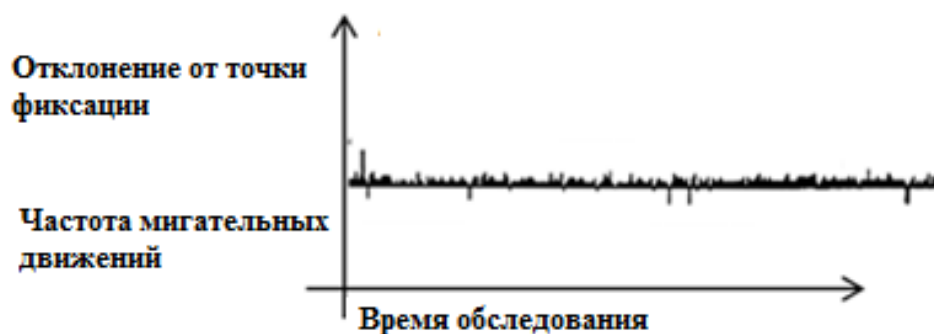


Рис.6 График достоверности результата исследования. Удовлетворительная фиксация взора.

2.2.4 Периметрия на кинетическом сферопериметре Goldmann

Кинетическую периметрию выполняли на проекционном периметре с полусферическим экраном (периметр Goldmann, см. рис.7) в 8 меридианах с использованием стандартного тест-объекта: III по диаметру (4 мм) и 4 по яркости – 320 кд/м².

Со стороны специалиста, проводящего обследование, периметр оснащен специальным окуляром, линза которого, выходящая на полусферический экран, одновременно выполняет роль точки фиксации взора. Периметр снабжен устройством, позволяющим корректировать положение головы пациента для установки обследуемого глаза в центр экрана.

Данный метод был выбран для исследования, так как он позволяет осуществлять прямой контроль в режиме реального времени за направлением взора пациента, что особенно важно при нарушении ЦЗ. В ситуациях, когда глаз пациента неспособен видеть точку фиксации, кинетическая периметрия имеет преимущество перед автоматической, что в результате позволяет определять размер и форму центральной скотомы.

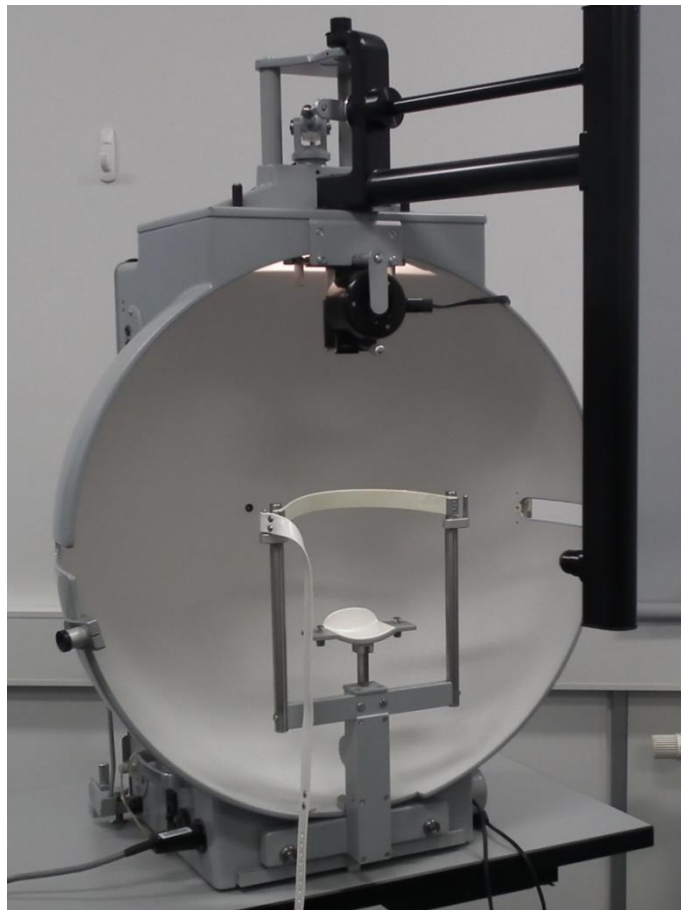
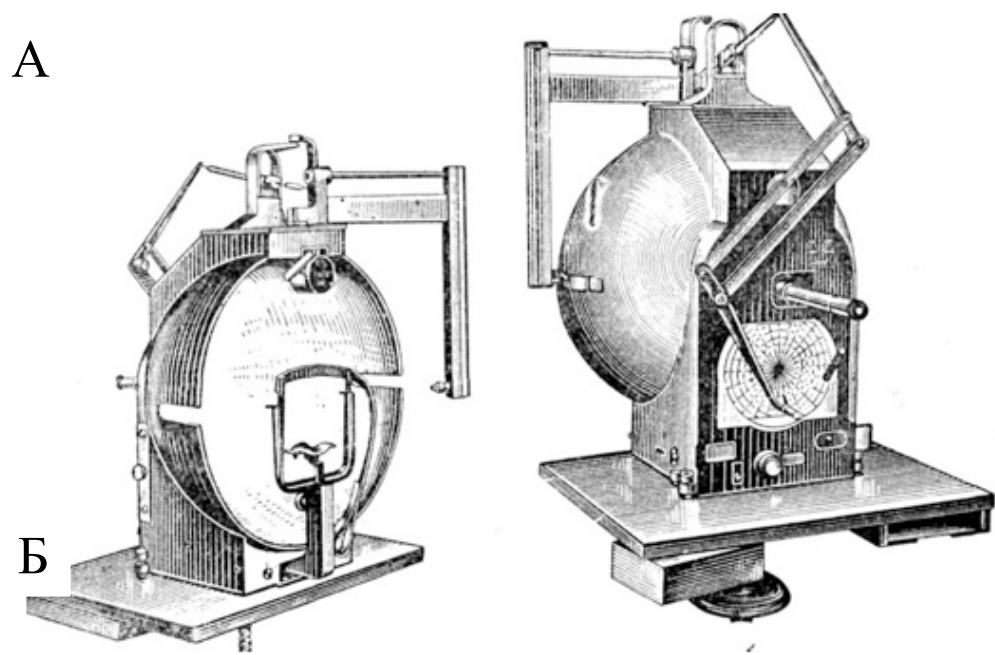


Рис.7 Кинетический сферопериметр Goldmann.

А. Схема: экран периметра для обследования пациента (слева) и окуляр, позволяющий врачу контролировать положение взора пациента (справа).

Б. Фото периметра, на котором проводилось обследование.

Результаты обследования на сферопериметре Goldmann записывали на бланке, где отмечали видимые и невидимые для пациента зоны (см. рис.8).

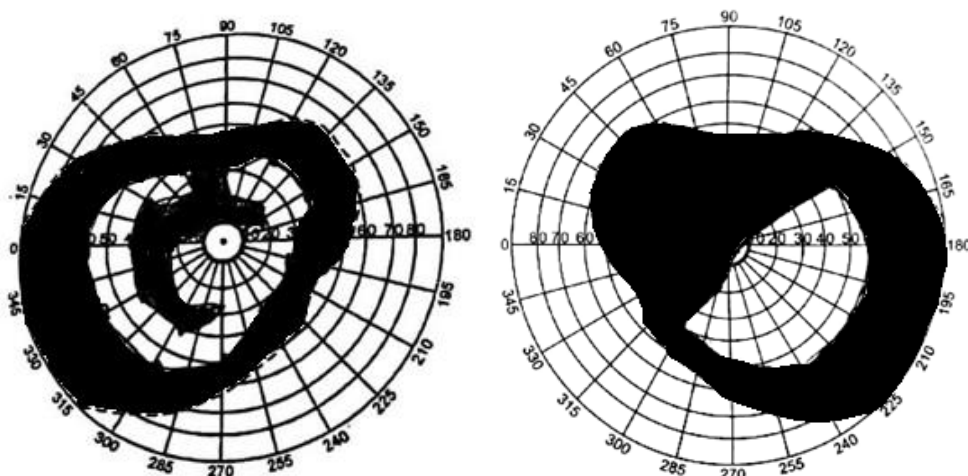


Рис.8 Примеры результатов исследования на сферопериметре Goldmann. Глаукома III ст. с сохранным ЦЗ (слева) и его отсутствием (справа).

2.3 Общая клиническая характеристика пациентов

2.3.1 Формирование клинических групп

Все исследования были выполнены в соответствии с существующими Российскими и международными законами, а также нормативно-правовыми актами по биомедицинским исследованиям с участием пациентов. Исследование проводилось в соответствии с Решением Локального этического комитета ФГБНУ «НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова» от 18 сентября 2017 г.

Предварительно проводилась субъективная оценка ментальной адекватности пациента и его способности участвовать в исследовании. Испытуемым было выполнено полное офтальмологическое обследование, включавшее сбор жалоб и анамнеза, а также необходимые инструментальные методы офтальмологического обследования. Осмотр пациентов начинали с

определения остроты зрения при помощи таблицы Головина-Сивцева с расстояния 5 м, с полной коррекцией аметропии вдаль. ВГД измеряли при помощи тонометра Маклакова (масса груза = 10г) и автоматического пневмотонометра.

Критерием разделения пациентов на группы было наличие или отсутствие способности обследуемого глаза уверенно удерживать взором точку фиксации в процессе периметрии. Проведение сортировки опиралось не только на определяемую максимальную остроту зрения, но в пограничных случаях – на предварительно (до периметрии) проведенный тест на субъективное удерживание взором объекта необходимого размера.

Для исследования были отобраны 78 пациентов (100 глаз). В зависимости от характера дефектов поля зрения пациентов разделили на 2 группы: 1-ая группа – 34 пациента (50 глаз) с сохранным ЦЗ, 2-ая группа – 44 пациента (50 глаз) с серьезным нарушением или отсутствием ЦЗ.



Таб. 1 Схема распределения обследуемых глаз на подгруппы.

2.3.2 Клиническая характеристика глаз пациентов 1-ой группы

В эту группу вошли 34 пациента (50 глаз) с дефектами поля зрения в пределах 30° от центра, но с сохранным ЦЗ, что позволяло им уверенно удерживать взор в точке фиксации в ходе периметрического обследования. Среди пациентов 1 группы было 16 пациентов (19 глаз) с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) Пст. и 18 пациентов (31 глаз) с Шст. На всех обследуемых глазах ВГД было компенсировано.

В соответствии с международными стандартами, при всех клинических формах глаукомы осуществляется единый диагностический подход,

основанный, прежде всего, на выявлении структурных и функциональных изменений ДЗН, характерных для ГОН. Кроме того, больные ПОУГ наиболее соответствовали критериям включения в исследование. В эту группу были включены 10 мужчин (29,4%) и 24 женщины (70,6%), средний возраст составил 74,5 в диапазоне от 54 до 86 лет. Диагноз глаукомы подтверждали на основании комплексного обследования.

Для подтверждения достоверности исследования поля зрения при помощи ПП, 1-ая группа обследуемых глаз была разделена на 2 подгруппы: 1-А (экспериментальная), где автоматическая статическая периметрия выполнялась на новом ПП, и 1-Б (контрольная), где проводилась статическая автоматическая периметрия на периметре НФА-II. В обоих случаях обследование проводили по аналогичным программам скрининг-периметрии С-76 с предъявлением 76 точек.

Стратегией на 1-ом этапе исследования являлось: сравнить результаты скрининг-периметрии, проведенной на ПП и на НФА-II на одних и тех же глазах с сохранным ЦЗ, и провести анализ полученных результатов.

Так как НФА-II является сертифицированным прибором для офтальмологической диагностики и позиционируется в качестве «золотого» стандарта периметрии, результаты данного исследования мы рассматривали как априорно достоверные, с которыми может быть проведено сравнение результатов, полученных на ПП. В случае получения высокого коэффициента соответствия (К) при сравнении (см. в соответствующем разделе) результаты, полученные на ПП, можно считать достоверными.

Помимо этого, на 1-м этапе было проведено дополнительное исследование с целью проверки повторяемости результатов, полученных при помощи ПП. С этой целью обследование на ПП проводили с соблюдением унифицированности методики, дважды на каждом глазу в этой группе, с интервалом между обследованиями, достаточным для отдыха пациента,

после чего проводили сравнение полученных результатов.

2.3.3 Клиническая характеристика глаз пациентов 2-ой группы

Во 2-ую группу были включены пациенты (44 пациента, 50 глаз) с нарушениями ЦЗ. Среди пациентов было 14 мужчин (31,8%) и 30 женщин (62,2%), средний возраст которых составил 70,2 лет в диапазоне от 47 до 88 лет. Причинами нарушения ЦЗ во 2-ой группе были: дегенеративные изменения в макуле – 35 пациентов (41 глаз), далекозашедшая стадия ОУГ с потерей ЦЗ – 5 пациентов (5 глаз), субретинальные кровоизлияния – 4 пациента (4 глаза). Критериями включения глаз для участия в исследовании в данную группу были острота зрения ниже 0.06 и неспособность уверенно видеть точку фиксации или удерживать на ней взор.

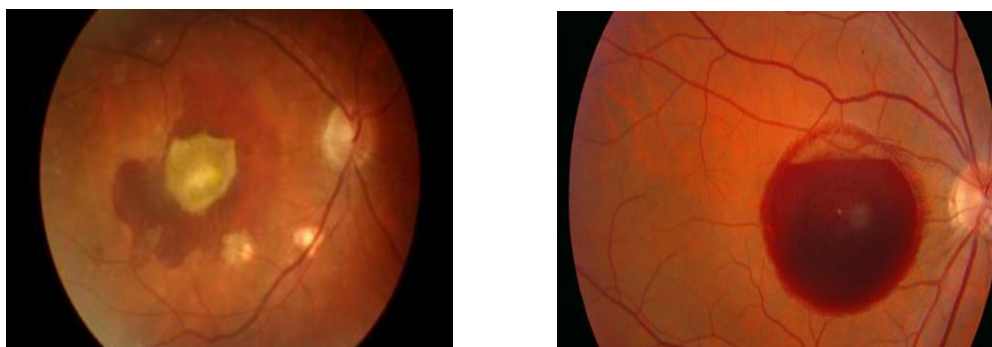


Рис.9 Фотографии глазного дна пациентов из 2-ой группы. Возрастная макулодистрофия (слева) и кровоизлияние в макулярной зоне (справа).

Все глаза на данном этапе были обследованы с использованием 3-х разных методик и, соответственно, разделены на 3 подгруппы:

Первая подгруппа 2-А: обследование на автоматическом статическом ПП (экспериментальная);

Вторая подгруппа 2-Б: обследование на автоматическом статическом периметре НФА-П (1-ая контрольная);

Третья подгруппа 2-В: обследование на сферопериметре Goldmann (2-ая контрольная).

Отличительной характеристикой глаз, обследованных в процессе 2-го

этапа исследования, было значительное снижение или отсутствие ЦЗ, что препятствовало возможности удерживать точку фиксации взора в процессе периметрии. Причина нарушения ЦЗ (в рамках нашего исследования) не имела принципиального значения – ключевым фактором являлось наличие центральной скотомы (ЦС), препятствующей уверенному удерживанию взора в точке фиксации.

В экспериментальной подгруппе обследование пациентов проводили с использованием оригинальной методики с формированием виртуальной точки фиксации (Патент RU 2682932 С1).

2.4 Обследование пациентов

Настоящее исследование состоит из 2 этапов. 1-ый этап был направлен на подтверждение того, что результаты, получаемые при помощи ПП, являются достоверными. 2-ой этап включал в себя основной фрагмент исследования, заявленный в качестве темы диссертации.

2.4.1 Методика формирования виртуальной точки фиксации взора при отсутствии центрального зрения

Для глаз с отсутствием ЦЗ в процессе обследования на ПП нами была разработана методика формирования виртуальной точки фиксации, опирающаяся на чувство проприоцепции. Методика формирования виртуальной точки фиксации позволяет стойко удерживать взор в выбранной точке фиксации взора в процессе обследования, что позволяет минимизировать подвижность глаза и стабилизировать направление взора, и как искомый результат - достичь большей достоверности результатов при периметрии, а также определить границы центральной скотомы. Данная методика будет представлена ниже, в соответствующем разделе.

2.4.2 Контроль за центрированным размещением экрана перед глазом пациента

Для контроля правильной локализации экрана шлема перед глазом

пациента перед началом обследования было предложено использовать оригинальную пробу, позволяющую установить глаз пациента напротив центра экран ПП, ориентируясь на его визуальные ощущения. Для центрации шлема ПП до начала обследования на экране прибора загоралось тонкое светящееся кольцо-обруч радиусом 30 угловых градусов, центр которого находится в центре виртуальной сетки, на которой будет производиться проецирование диагностических стимулов. Данная методика использовалась для всех глаз, обследованных на ПП - как с наличием, так и с отсутствием ЦЗ.

Перед началом обследования, пациента просили руками перемещать шлем ПП относительно своей головы до того момента, когда он сможет уверенно видеть светящееся кольцо целиком или с зонами выпадения (в случае значительного выпадения центрального и парацентрального зрения) и таким образом правильно локализовать шлем на голове пациента. После завершения центрации шлем ПП фиксировали на голове пациента.

Использование данной методики было связано с тем, что под своим собственным весом шлем ПП немного провисает и при этом слегка отклоняется своим верхним краем от головы пациента (рис. 10). Соответствующим образом меняется положение экрана относительно лица пациента, и нижний периферический край экрана немного уходит из зоны обзора.

В результате смещения экрана, в начале нашей работы с ПП мы обратили внимание на выявление тонкой месяцеобразной скотомы в нижней части поля зрения, что изначально восприняли как артефакт. После начала использования методики центрации экрана эффект месяцеобразной скотомы исчез. Эти результаты не были включены в исследование.

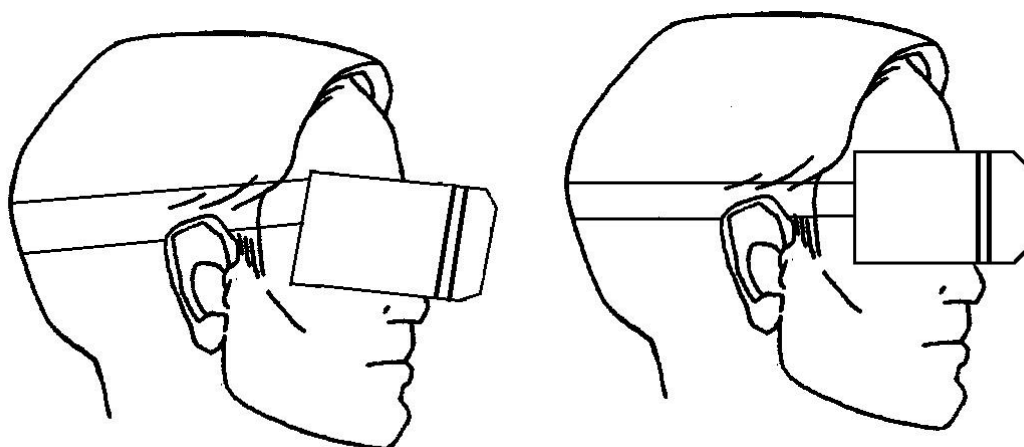


Рис.10 Схема положения прибора на голове: слева - неправильное, прибор «провисает», это может привести к дислокации экрана; справа – правильное положение прибора.

2.5 Контроль за направлением взора

При разных методах проведения периметрии использовали разные способы контроля за направлением взора.

В группе 1-А с ПП нами был использован метод Heijl-Krakau, представляющий собой периодическое предъявление светового стимула в зону проекции слепого пятна. В случае нарушения фиксации взора, пациент замечает предъявляемый стимул и нажимает на кнопку для регистрации ответа, а программа при этом фиксирует ошибку. Мы считали результат недостоверным при количестве ошибок фиксации свыше 20%.

В группе 1-Б, где обследование проводили на статическом автоматическом периметре HFA-II, контроль за направлением взора осуществляли 2-мя методами: Heijl-Krakau и при помощи айтрекера – встроенной видеокамеры, автоматически отслеживающей направление взора пациента. Данные о фиксации взора отмечаются на распечатке после завершения обследования и характеризуются графиком достоверности, который компьютер выстраивает на основании полученной информации, и который помогает сделать вывод о стабильности удерживания взора в точке фиксации.

При периметрии при помощи сферопериметра Goldmann производили прямой контроль за направлением взора пациента через специально предназначенный для этого штатный окуляр прибора. Поскольку в ходе обследования глаз с отсутствием ЦЗ отклонение взора от точки фиксации происходило достаточно часто, благодаря наличию окуляра была возможность производить корректировку направления взора в режиме реального времени.

2.6 Математическая и статистическая обработка результатов

Для оценки сопоставимости полученных результатов, описание которого подробно представлено в соответствующей главе, был разработан специальный алгоритм, совместно с проф. К. Kotliar, сотрудником Аахенского университета (Германия).

При анализе результатов всех представленных групп оценивали их достоверность. В первой части обследования, когда поставленной задачей было подтвердить работоспособность и оценить новую предлагаемую методику с использованием ПП, на глазах с сохранным ЦЗ проверяли:

- повторяемость результатов, сделанных на каждом из глаз с наличием ЦЗ с точным повторением протокола обследования (по 2 обследования на каждом глазу);
- сопоставимость результатов, полученных на новом ПП с результатами, полученными при обследовании тех же самых глаз на периметре HFA-II.

Для оценки методики периметрии на глазах с отсутствием ЦЗ, (что является предметом данной диссертации), результаты, полученные при помощи ПП оценивали в сравнении с результатами, полученными на тех же глазах с использованием других методов периметрии.

ГЛАВА 3. ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ СКРИНИНГ-ПЕРИМЕТРИИ ПРИ ПОМОЩИ ПОРТАТИВНОГО ПЕРИМЕТРА

3.1. Портативный периметр на основе устройства виртуальной реальности (обследование глаз с сохранным ЦЗ).

Портативный периметр, с использованием которого было проведено данное исследование, представляет собой прибор, выполненный на основе устройства виртуальной реальности. Прибор разработан группой под руководством д.м.н. Ермолаева А.П. в которую входили офтальмологи из ФГБНУ «НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова», инженеры и программисты из российской компании Total Vision (резидент технопарка Сколково).

Устройство представляет собой шлем, используемый для достижения эффекта виртуальной реальности. Шлем надевается и фиксируется на голове пациента. Основные технические характеристики устройства представлены в разделе Материалы и методы.

Отличительной особенностью данного прибора является то, что взамен полусферического экрана с радиусом около 30 см (такие параметры полусферы связаны с тем, что для эметропического глаза это оптимальная дистанция для зрения вблизи), являющегося обязательным составным компонентом традиционных периметрических устройств, в новом портативном периметре диагностические стимулы предъявляются пациенту на жидкокристаллическом экране, на котором операционная система устройства генерирует изображение, воспринимаемое пациентом как виртуальная полусфера.

3.2. Задачи, поставленные на данном этапе исследования

Основной задачей на этом этапе исследования было обосновать возможность проведения скрининг-периметрии на новом портативном устройстве, выполненном на основе устройства виртуальной реальности, и подтвердить репрезентативность получаемых результатов.

Данная задача выступает в роли предварительной, для решения основной задачи – проведение периметрии на глазах с отсутствием ЦЗ.

Для решения настоящей задачи проводилось обследование состояния поля зрения на глазах с сохранным ЦЗ, способных нормально видеть точку фиксации и удерживать ее взором.

Решение этой задачи проводилось в 2 этапа:

1. Проверить возможность повторной воспроизводимости результатов при проведении исследования на одном и том же глазу при помощи ПП в рамках одного и того же протокола (скрининг периметрия С-76, 76 точек);

2. Сравнить результаты, полученные при обследовании на новом ПП с результатами, полученными на статическом автоматическом анализаторе поля зрения НФА-II при использовании аналогичной стратегии (С-76, 76 точек)

3.3 Изучение повторяемости результатов скрининг-периметрии при использовании портативного периметра

Важным критерием, с которого мы посчитали необходимым начать оценку достоверности результатов, получаемых на новом приборе, является повторяемость результатов, полученных при обследовании одного и того же глаза с использованием одного и того же прибора и протокола исследования.

Для этого на глазах с сохранным ЦЗ было проведено исследование, при котором скрининг-периметрию С-76 проводили дважды, с интервалом в 1-3 дня.

Ход исследования

Перед началом обследования во всех случаях проводилась проверка центрирования правильной посадки прибора на голове пациента с использованием методики периферического кольца, описанной выше (см. стр. 60). При выявлении смещения устройства на голове пациента, проводилась корректировка его положения.

В центре экрана ПП загорается точка фиксации взора, параметры которой устанавливаются по умолчанию (пятно желтого цвета R255G204B0 по шкале RGB). Как и при проведении любой периметрии, пациент должен в течение всего времени обследования неотрывно смотреть на эту точку, а увидев периметрический стимул - нажимать кнопку «вижу».

Было обследовано 20 глаз с сохранным ЦЗ, которые хорошо видели точку фиксации в процессе всего времени обследования. На рис.11 в качестве образца полученных результатов представлены пары периметрических протоколов исследования, сделанных на одном и том же глазу.

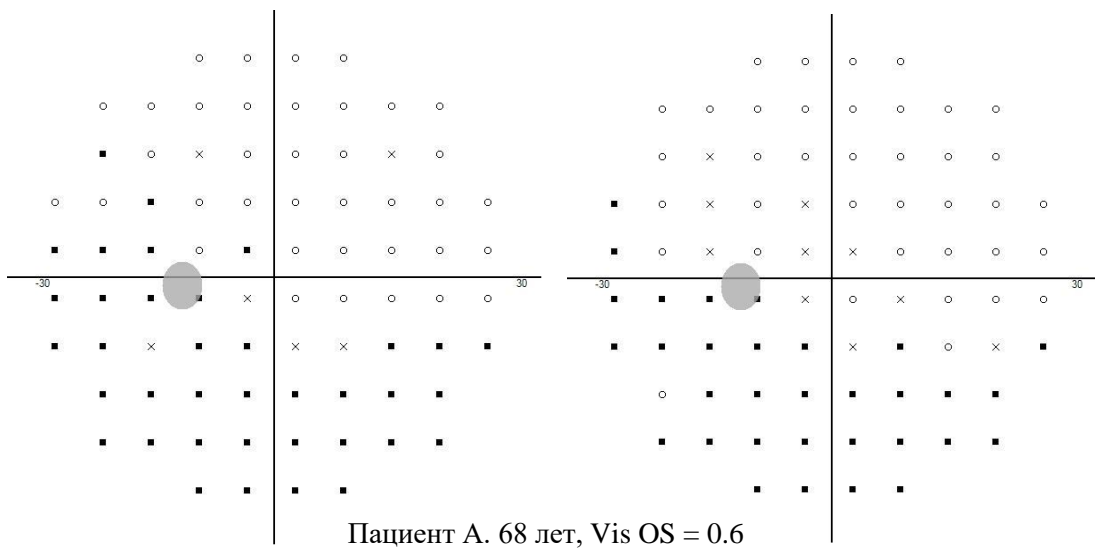
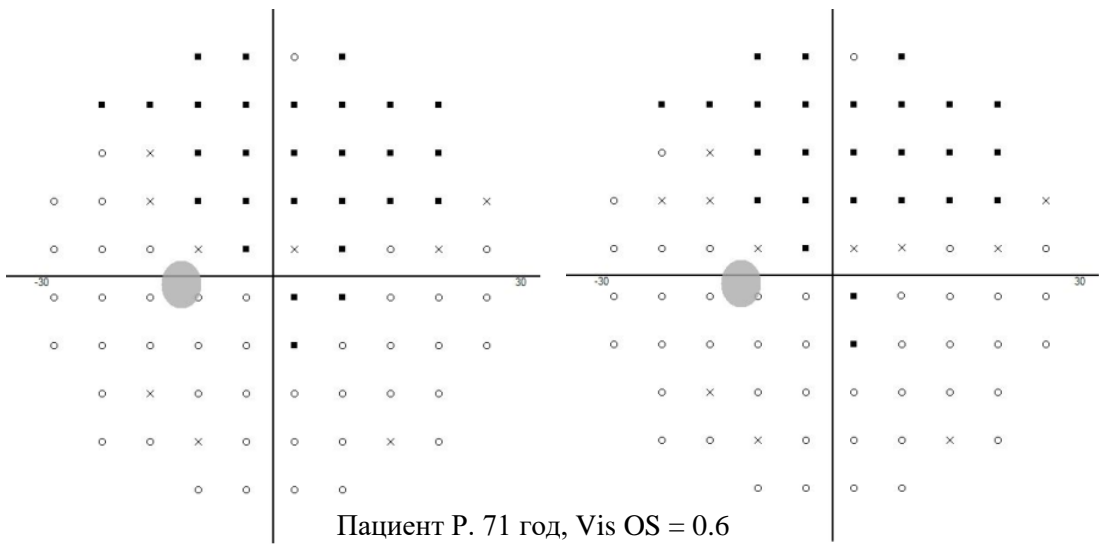
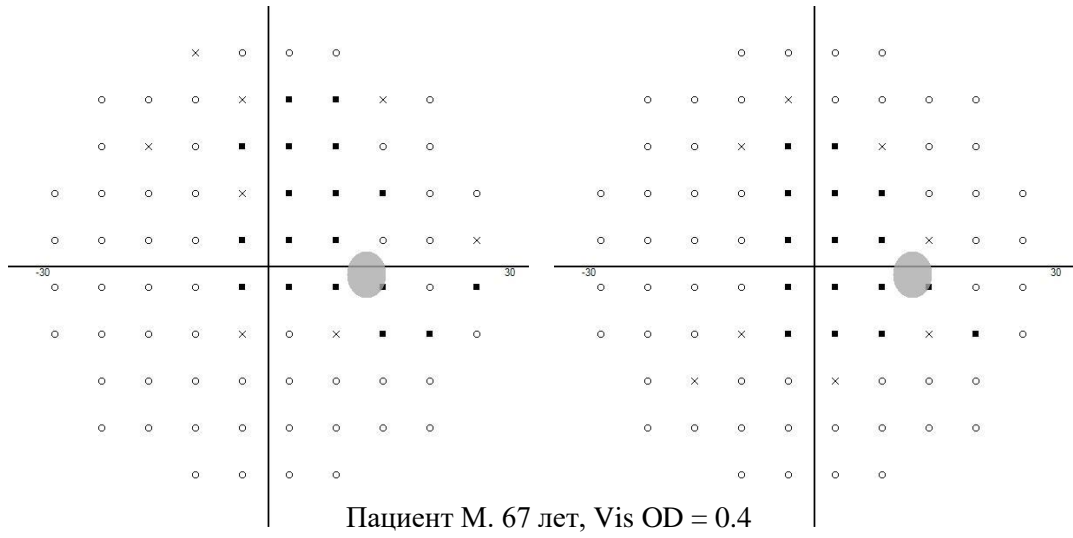


Рис.11 Сопоставление пар результатов, полученных при помощи ПП на одних и тех же глазах с сохранным ЦЗ с временным интервалом.

При визуальном анализе пар протоколов карт повторных обследований, результаты, полученные на одном и том же глазу у всех пациентов были схожими. Для более точного сопоставления проводили статистико-математический анализ (подробности методики представлены в соответствующем разделе). Выявлено, что коэффициент соответствия в среднем составил $K=97,2\%$, что свидетельствует о высокой степени повторяемости результата.

3.4. Сравнительная характеристика результатов, полученных при помощи портативного периметра и статического автоматического анализатора НФА-II при предъявлении аналогичной диагностической стратегии

На всех глазах, включённых в эту группу с сохранным ЦЗ помимо обследования, проведенного на ПП, для сравнения была проведена скрининг-периметрия на статическом автоматическом анализаторе НФА-II. В обоих случаях была использована скрининг-стратегия С-76 с предъявлением 76 точек.

На рис. 12 представлены пары протоколов исследования, полученных при обследовании одних и тех же глаз (с сохранным ЦЗ) с помощью НФА II (слева) и ПП (справа).

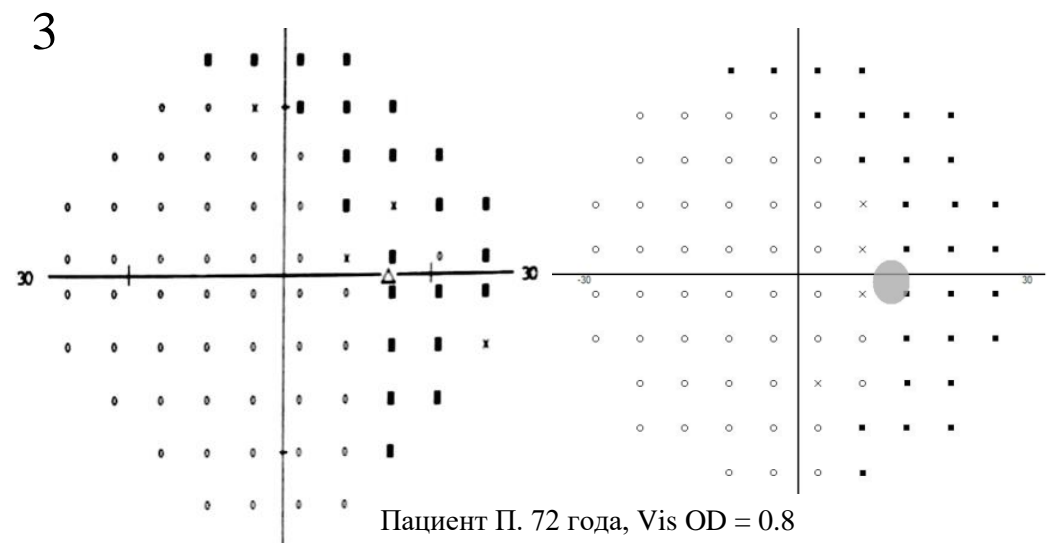
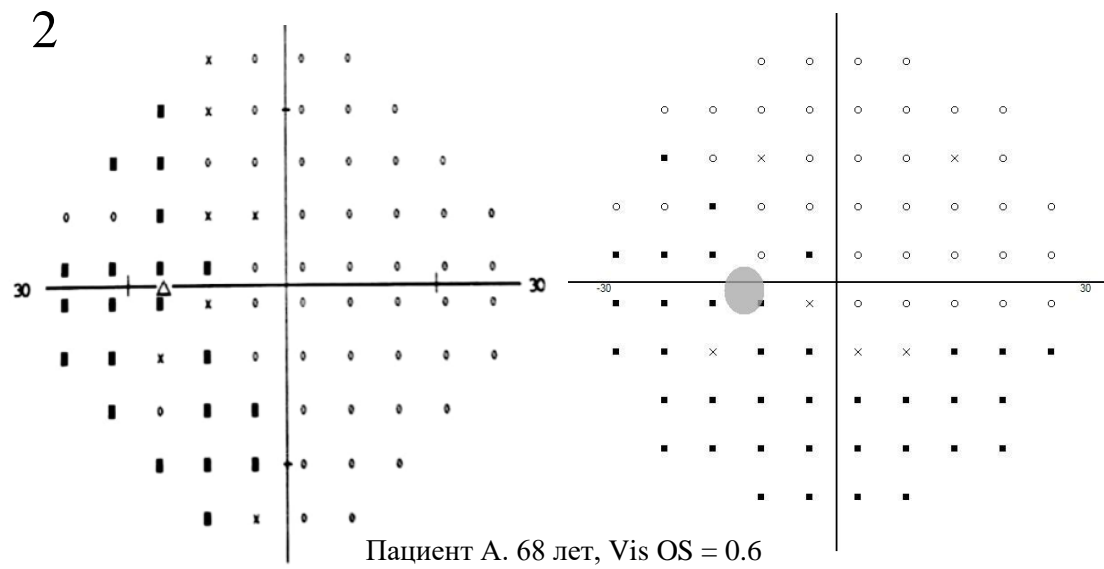
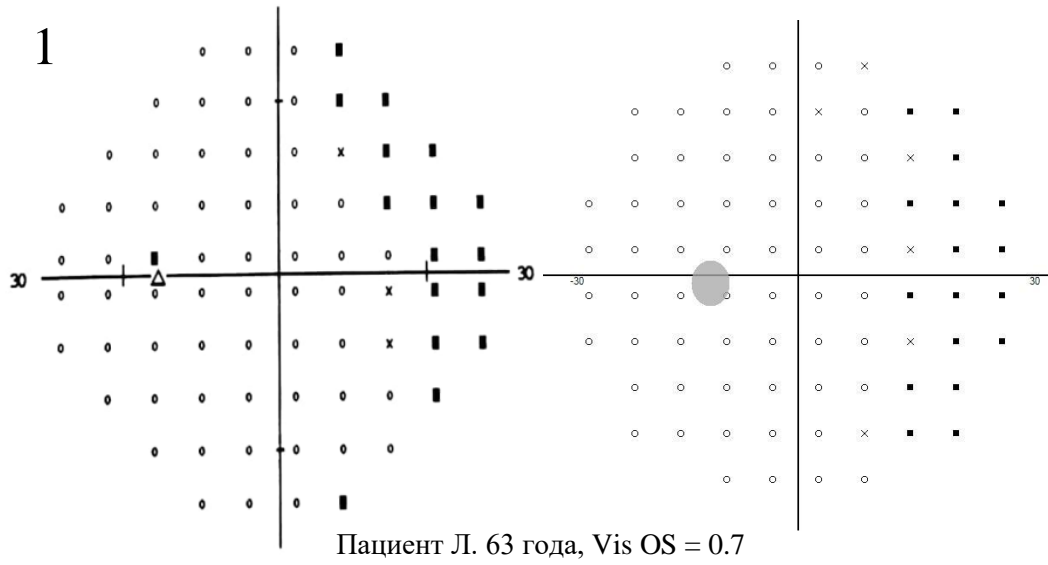


Рис.12 Сопоставление результатов, полученных при помощи анализатора поля зрения НФА II (слева) и ПП (справа) на одних и тех же глазах с сохранным ЦЗ том же обследованном глазу (стратегия С-76).

Для анализа сопоставимости периметрических карт проведен математический анализ, подробно описанный в соответствующем разделе.

3.5. Субъективные характеристики работы с новым портативным периметром

После завершения обследования каждого пациента просили высказать его мнение, насколько ему было удобно при работе с ПП, и как он может это сравнить с проведением периметрии на традиционных стационарных приборах с фиксацией лица на лицевом установе. Пациенты отметили, что ПП является более удобным методом по сравнению с ... , так как обследование не требует вынужденного положения тела и головы. Тем самым снижается нагрузка на шейные отделы позвоночника и не накапливается напряжение в теле, что для людей старшего возраста дискомфортно, а в ряде случаев очень неудобно.

Регулярно возникающая проблема при обследовании на стационарных периметрах – постепенное отодвигание пациента от лобового упора, при использовании ПП не возникает по определению.

Помимо этого следует отметить, что при обследовании на ПП нет необходимости закрывать второй глаз. Пациент в процессе всего обследования держит оба глаза открытыми, что не мешает обследованию. При этом у пациента создается иллюзия, что он видит точку фиксации двумя глазами. Использование традиционного для периметрии окклюдера, по мнению пациентов, является фактором, приводящим к более быстрой утомляемости в ходе теста.

3.6 Заключение по результатам главы

При сравнении результатов скрининг периметрии, проведенной дважды на каждом глазе при помощи ПП с соблюдением аналогичного протокола обследования, выявлена сопоставимость результатов $K=97,2\%$. Это дает нам основание говорить, что повторяемость результатов высокая.

Необходимо подчеркнуть, что очень важным фактором является правильная посадка шлема на голове пациента. Именно ее нарушение может быть причиной нестабильности получаемых результатов.

При сопоставлении результатов, полученных при обследовании с помощью ПП на основе устройства виртуальной реальности с результатами, полученными на статическом автоматическом периметре Humphrey, по одному и тому же протоколу (скрининг периметрия С-76, 76 точек), коэффициент соответствия составил ($K=93,7\%$), этот результат мы расцениваем как хороший.

Помимо этого, по при анализе результатов использования ПП на основе устройства виртуальной реальности, было отмечено следующее:

- Замкнутый шлем в роли периметра позволяет обеспечить для пациента постоянный уровень темновой адаптации одновременно для обоих глаз, что должно позитивно влиять на результаты обследования. По этой причине при помощи ПП можно проводить обследование пациентов без использования специально подготовленного затемнённого помещения;

- Благодаря замкнутому объему шлема, для пациента достигается полная визуальная депривация – пациент не отвлекается на происходящее в комнате. Это дает ему лучше сосредоточиться на процессе обследования;

- Компактность и портативность прибора и его плотная фиксация на голове пациента (при условиях правильной подгонки ПП к голове пациента) делает процесс обследования более удобным для большинства пациентов;

- Фиксация шлема-периметра на голове пациента устраняет традиционную для периметрии проблему, связанную с отодвиганием пациента от прибора в процессе обследования.

Таким образом, результаты, получаемые на новом портативном периметре, при проведении скрининг-периметрии по стратегии С-76 являются сопоставимыми с результатами, получаемыми на анализаторе НФА-П, и могут быть использованы для дальнейших этапов исследования.

Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ. ПРОВЕДЕНИЕ ПЕРИМЕТРИИ НА ГЛАЗАХ С ОТСУТСТВИЕМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЗРЕНИЯ

Несмотря на появление новых высокотехнологичных методов оценки состояния ганглиозных клеток и нервных волокон сетчатки, в реальной медицинской практике основным методом для оценки функционального состояния зрительного нерва остается периметрия. Диагностические возможности современных автоматических периметров серьезно ограничены низким ЦЗ на обследуемом глазу или его отсутствием, поскольку уверенное удерживание взором точки фиксации в течение всего периода обследования является обязательным условием для получения репрезентативных результатов. При снижении остроты зрения до уровня, при котором глаз неспособен уверенно удерживать в процессе обследования точку фиксации, возникает блуждающий взор, что приводит к тому, что условная координатная сетка, соответствующая направлению взору пациента, перестает соответствовать координационной сетке диагностических стимулов, предъявляемых на экране периметра. Причем из-за

непрогнозируемости изменения направления взора при его блуждании это несоответствие носит нерегулярный характер и не может быть учтено и исправлено путем введения каких-либо поправочных коэффициентов. Вследствие этого мы имеем низкую достоверность результатов, получаемых при периметрии на глазах с отсутствием ЦЗ.

Среди популяции старше 60 лет поражения макулярной области (в первую очередь в результате синильной макулодистрофии) встречаются более чем в 10% случаев [18]. Помимо этого, причинами отсутствия ЦЗ могут быть: синдромные поражения макулы, ишемические поражения в заднем отрезке глаза, кровоизлияния в макулярной области, а также в некоторых вариантах далекозашедшей стадии глаукомы. Для таких глаз характерно наличие ЦС, характеристики которой зависят от клинических особенностей поражения.

В рамках данной работы анализ причин потери ЦЗ для нас не имел существенного значения, поскольку предлагаемое нами решение является унифицированным, независимо от патогенеза макулярной проблемы. Поэтому мы не делали подробный анализ причин возникновения данных состояний, ограничившись лишь только их констатацией.

Результаты периметрии на таких глазах недостоверны из-за невозможности удерживать взор на точке фиксации. В современных статических автоматических периметрах для минимизации ошибки производится постоянный контроль за направлением взора пациента в процессе обследования. Для этого наиболее распространенным является использование принципа Heijl-Кракау, а также окулографа (eye-tracker), контролирующего направление взора.

При использовании окулографа операционная система прибора создает диаграмму, характеризующую достоверность полученных результатов (как

это происходит на анализаторе НФА-II, рис. 13). Другой вариант использования окулографа - непрерывный контроль фиксации и приостановка исследования (предъявления стимулов) при потере взором точки фиксации (периметры Octopus).



Рис.13 Диаграмма фиксации взора (статический автоматический анализатор поля зрения НФА-II)

При обоих подходах имеются недостатки. В первой ситуации, в случае получения графика достоверности, не удовлетворяющего исследователя, результаты обследования отправляются в корзину, а время, потраченное на обследование, является бессмысленно потерянным. Во втором случае процесс обследования удлиняется на неопределенное время, что приводит к дополнительному утомлению пациента, а соответственно и к возникновению ошибок, связанных с утомлением.

При проведении периметрии на глазах с отсутствием ЦЗ, неспособных удерживать взор на точке фиксации, существуют разнообразные приемы с попыткой задействовать сохранившиеся участки периферического зрения за пределами ЦС. Например, комбинация дуг, больших точек или массивного перекрестья, выходящих за пределы проекции центральной зоны и др. (рис.14). В этих случаях предполагается, что глаз с отсутствием ЦЗ при помощи сохранившихся светочувствительных участков сетчатки вокруг ЦС сможет фиксировать фрагменты этой мишени и реконструировать это изображение в зрительном анализаторе головного мозга. Это должно давать пациенту представление, где находился центр этой мишени и, соответственно, где локализуется центр экрана. Использование этих приемов

улучшает ситуацию, однако получаемые результаты нельзя рассматривать как удовлетворительные.

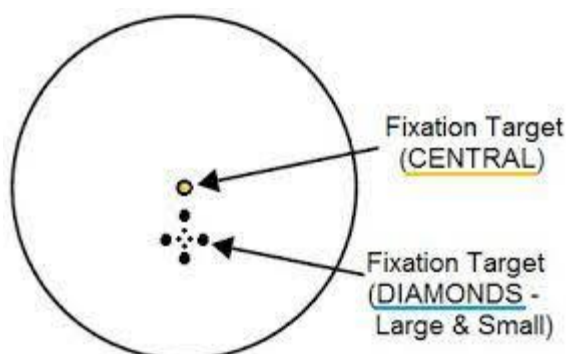


Рис.14 Схема локализации центральной точки фиксации и дополнительных точек (*diamonds*) в периметре HFA-II.

4.1. Клинический материал

В рамках настоящего исследования обследовано 50 глаз со снижением ЦЗ до такой степени, что это не позволяет глазу уверенно удерживать точку фиксации (44 пациента). Максимальная острота зрения на обследуемых глазах находилась в интервале от правильной боковой светопроекции до 0,06 н/кор. Причиной снижения ЦЗ в 4 случаях было субретинальное макулярное кровоизлияние, в 41 случае – различные формы дегенеративных изменений в макулярной области, в 5 случаях – далекозашедшая стадия глаукомы с потерей ЦЗ. Из исследования были исключены глаза, в которых причиной низкого зрения могло быть помутнение оптических сред.

4.2. Используемые методы обследования пациентов

На каждом из глаз состояние поля зрения было обследовано 3-мя различными способами, что позволило составить 3 группы анализируемых данных.

- 1-я группа (основная): автоматическая статическая скрининг-периметрия, проведенная с помощью ПП по стратегии С-76 с фиксацией

взора с помощью предложенного способа формирования виртуальной точки фиксации, и с использованием в качестве контроля метода Heijl-Krakau;

•2-я группа (контрольная): результаты периметрии, выполненной на автоматическом статическом анализаторе HFA-II с использованием скрининговой стратегии С-76 с использованием штатных «large diamonds» в качестве точки фиксации и с использованием в качестве контроля диаграммы достоверности (созданной при помощи окулографа), а так же метода Heijl-Krakau;

•3-я группа (контрольная): результаты кинетической периметрии, выполненной в ручном режиме на сферопериметре Goldmann с использованием объекта III-3, с прямым визуальным контролем за направлением взора и с его перманентной корректировкой в ручном режиме.

4.3. Автоматическая статическая скрининг-периметрия, проведенная с помощью портативного периметра с фиксацией взора с помощью формирования виртуальной точки фиксации (1-я, основная группа)

Исследование проведено с использованием тестового образца ПП в ФГБНУ «НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова» в соответствии с Решением локального этического комитета от 18 сентября 2017 года (протокол №47).

4.3.1. Портативный периметр и программное обеспечение

Группой российских ученых под руководством д.м.н. Ермолаева А.П. была предложена и разработана принципиально новая модель периметра (Патент РФ № 2634682), которая представляет собой аппаратно-приборный комплекс, состоящий из компьютера и рабочего терминала и соединенных с ним шлема виртуальной реальности и устройства обратной связи (кнопка «вижу») для фиксации ответов пациента. В рамках нашего исследования использовалась стратегия скрининговой периметрии, позволяющая

исследовать поле зрения в зоне 30° от центра экрана (точки фиксации). Для возможности объективно сравнивать результаты, полученные с помощью ПП с результатами, полученными при помощи автоматического статического периметра, в ПП использовалась диагностическая стратегия, аналогичная программе С-76 для анализатора НФА-II (с предъявлением 76 точек).

Отличительной особенностью работы ПП является то, что для обследования не используется материальный полусферический экран. Взамен него, в процессе обследования, с помощью программно-аппаратного комплекса ПП, перед обследуемым глазом формируется виртуальный полусферический экран, на котором предъявляются световые диагностические стимулы аналогично тому, как это происходит на полусферическом экране статического автоматического периметра. В параметры световых стимулов (размер, яркость и зоны локализации стимулов) внесены поправки с учетом дисторсии, что обеспечивает сопоставимость полученных результатов с результатами периметрии, проведенной традиционным способом с использованием материального полусферического экрана.

В предыдущей главе описаны исследования, направленные на подтверждение сопоставимости результатов, получаемых при использовании ПП при проведении скрининг-периметрии по стратегии С-76, с результатами аналогичного исследования на анализаторе НФА-II на глазах с наличием ЦЗ, сохраняющих способность нормально удерживать точку фиксации в процессе периметрии.

Полученные данные показали хорошую повторяемость ($K=97,2$) и сопоставимость ($K=93,7$) результатов, получаемых при помощи ПП, что дало нам основание перейти к следующему этапу нашего исследования, целью которого являлась разработка методики статической периметрии для глаз с нарушенным ЦЗ, неспособных удерживать точку фиксации. Для

подтверждения репрезентативности получаемых при этом результатов, проводили сравнительную характеристику полученных результатов с результатами периметрии, полученными на других приборах аналогичного назначения.

4.3.2. Проприоцепция и формирование виртуальной точки фиксации взора

Для глаз с отсутствием ЦЗ в процессе исследования на ПП была разработана специальная методика периметрии с фиксацией направления взора на условной точке, что позволило минимизировать поисковые движения глаза и достичь большей объективности исследования. Для того, чтобы этого достигнуть, было задействовано чувство проприоцепции обследуемого.

Чувство проприоцепции является важнейшей характеристикой здорового организма, благодаря которому пациент знает о пространственной локализации частей собственного тела без прямого визуального контроля. Сознательное восприятие движения и положения суставов обусловлено одновременным действием различных механорецепторов: суставных и кожных рецепторов, мышечных веретен, сухожильных органов. Соматосенсорное ядро таламуса и соматосенсорная кора SI получают информацию от всех перечисленных выше их типов. Аfferентные сигналы от мышечных веретен, сухожильных органов, суставных и кожных рецепторов интегрируются, что приводит к сложному восприятию движения тела. Даже с закрытыми глазами человек осознает углы между костями в суставах, а значит, и относительное положение частей тела. Если конечности на одной стороне тела пассивно или активно придано определенное положение (рука согнута в локте), то испытуемый с легкостью способен воспроизвести его конечностью на другой стороне. Если попросить испытуемого показать на себе определенный участок тела, он сможет это

сделать с очень небольшой ошибкой.

Благодаря проприоцепции, человек без прямого визуального контроля может выполнять различные действия, от попадания ложкой в рот при приеме пищи в темноте до сложных движений, необходимых для спортсмена или танцора. Простейшими неврологическими тестами, говорящими о состоянии проприоцепции, являются пальценосовая и пяточно-коленная пробы [104] и сохранение устойчивости в позе Ромберга [105].

Чувство проприоцепции уже более столетия используется офтальмологами в процессе измерения внутриглазного давления для того, чтобы пациент мог удерживать правильное направление взора, необходимое для полноценного правильного контакта площадки тонометра с поверхностью глаза [106]. При проведении контактной тонометрии от пациента требуется сконцентрировать свое внимание на пальце выставленной вперед руки, что позволяет достичь необходимого для обследования, стабильного направления взора (рис. 16).



Рис.16 Использование чувства проприоцепции при проведении офтальмотонометрии по Маклакову. В любой момент пациент знает местоположение своего пальца, что позволяет контролировать его направление взора.

Перемещая руку пациента с выставленным пальцем, на котором сфокусировано внимание пациента, врач может очень конкретно вывести направление взора пациента в необходимую для обследования точку, что является облигатным условием для корректного проведения тонометрии.

Необходимо подчеркнуть, что этот метод с использованием проприоцепции продолжает успешно работать в тех ситуациях, когда у пациента имеется только единственный видящий глаз, на котором проводится тонометрия, и обзор которого полностью закрывается площадкой тонометра в процессе обследования.

4.3.3. Методика проведения периметрии с формированием виртуальной точки фиксации направления взора

Методика формирования виртуальной точки фиксации позволяет стойко удерживать взор в выбранной точке фиксации взора в процессе обследования, что позволяет минимизировать подвижность глаза и стабилизировать направление взора, и как искомый результат - достичь большей достоверности результатов при периметрии, а также определить границы центральной скотомы.

Препятствием проведения обследования с использованием виртуальной точки фиксации взора могут быть разнообразные неврологические нарушения, сопровождающиеся снижением чувства проприоцепции (атаксия, отосклероз, черепно-мозговые травмы, рассеянный склероз и др.). Для исключения возможных неврологических заболеваний, которые могут стать препятствием для проведения обследования, испытуемому перед обследованием проводили пальце-носовую пробу, которую рассматривали, как экспресс-тест на наличие у пациента чувства проприоцепции. Испытуемый должен при открытых глазах развести руки в стороны, после чего, уже с закрытыми глазами, постараться дотронуться указательными пальцами до кончика носа. В случае неврологических нарушений с нарушением проприоцепции, пациент будет промахиваться мимо кончика носа, либо совершать беспорядочных движений, препятствующих выполнению задачи, что является противопоказанием к выполнению исследования, так как пациент будет неспособен полноценно удерживать внимание на своем пальце, и соответственно, удерживать взор в условной точке фиксации. При отрицательных результатах пальце-носовой пробы пациента исключали из обследования, а после положительного результата пробы - включали его в исследуемую группу.

Пациенту в положении сидя размещают перед глазами и закрепляют на голове шлем-периметр и приводят прибор в рабочее состояние. Пациента просят поднять перед собой одну руку таким образом, чтобы при мысленной концентрации взора обследуемого глаза на кончике поднятого пальца линия взора проходила через центр экрана (см. рис.17).

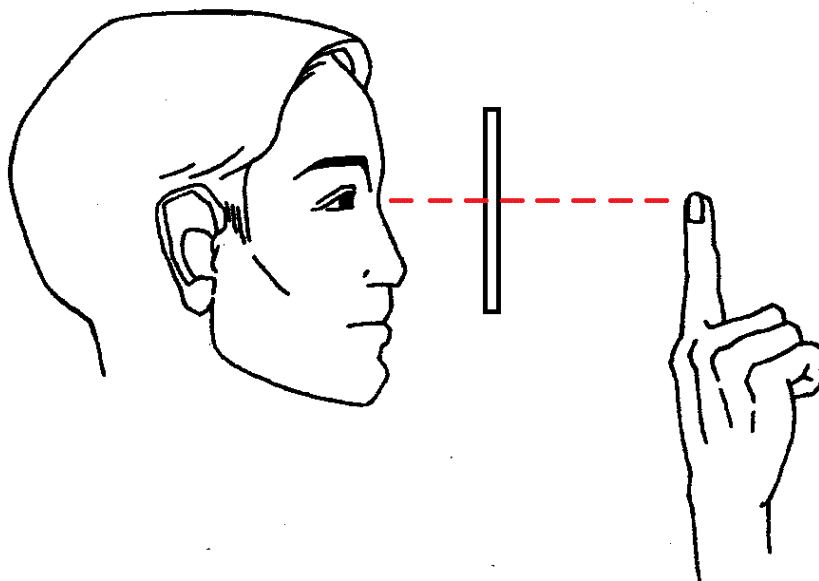


Рис.17 Схема формирования виртуальной точки фиксации. Пациента просят сконцентрировать внимание на пальце выставленной вперед руки, удерживать там мысленное направление взора, что позволяет одновременно удерживать на этой точке стабильное направление взора.

Прибор приводили в рабочее состояние при помощи планшета используемого в качестве контрольного терминала. Перед началом теста требуется ввести персональные данные пациента (ФИО, дата рождения, пол), выбрать программу исследования и обследуемый глаз. Также можно указать дополнительную информацию.

TTK 19:18

Perimeter enabled

Ta 79% SU 100%

PERSONAL INFORMATION

Family name* Doe

Name* John

Middle name

Date of Birth* 10/12/1982

Gender Male Fem

Medical insurance* 0
(16 digits for Russian medical insurance) If medical insurance is missing enter 0.

ADDITIONAL INFORMATION

TEST SETTINGS

Select test Screening-test S30-76

Eye Right eye (OD) Left eye (OS)

Test archive Clear fields **START TEST**

Рис.18 Интерфейс. Снимок экрана планшета, используемого в качестве удаленного терминала ПП: меню ввода данных о пациенте.

Особое внимание уделяли тому, чтобы посадка шлема ПП была правильной и глаз пациента был строго напротив центра жидкокристаллического экрана шлема. Это достигалось следующим образом: в качестве стартового момента обследования на экране прибора загоралось кольцо, отображающее по периметру обследуемую зону в 30° от центра, от пациента требовалось перемещать корпус ПП так, чтобы он мог наблюдать кольцо целиком. После этого шлем ПП фиксировали на голове пациента в заданном положении. После того, как мы убеждались, что положение шлема ПП правильное, переходили к самому процессу скрининг-периметрии.

В процессе данного исследования нами был разработан более совершенный метод точной локализации центра экрана при формировании виртуальной точки фиксации и получены 2 патента РФ (RU 2682932 C1 от 22.03.2019, RU 2759239 C1 от 11.11.2021). Использование данного устройства может быть предметом наших дальнейших исследований.

Во второй руке пациент удерживал кнопку обратной связи (кнопка «вижу»), на которую должен был нажимать в тот момент, когда он видит диагностический стимул, так же как и в случае классической автоматической периметрии. Для достижения большей устойчивости и меньшего утомления пациента, ему разрешали опереть локоть о поверхность стола.

Далее пациента просили сосредоточить внимание на кончике пальца и в процессе обследования стараться не ослаблять внимание и не отрывать от него мысленного взора. Несмотря на то, что шлем ПП полностью перекрывает обзор, благодаря своему чувству проприоцепции, пациент имеет точное представление о положении кончика своего пальца (рис. 19).



Рис.19 Исследование поля зрения при помощи портативного периметра у пациентки с отсутствием ЦЗ и с неспособностью удерживать взор на точке фиксации. Формирование виртуальной точки фиксации на основе чувства проприоцепции.

После того, как пациент сообщал о готовности, производили запуск программы обследования. При отсутствии тактильного раздражения, через некоторое время после начала обследования, пациент начинает отвлекаться от ощущений в собственном пальце и начинает терять чувство его локализации. В случае, если не реактивировать его проприоцептивное внимание, произойдет потеря виртуальной точки фиксации и соответственно, снизится репрезентативность результатов обследования. Во избежание этого, через каждые 30-40 секунд врач, производивший обследование, активировал сенсорные ощущения пациента, производя касания кончика пальца пациента, что позволяло тому сохранять внимание на виртуальной точке фиксации.

Продолжительность обследования для одного глаза составляла 5-8 минут. Длительность зависела от состояния светочувствительности сетчатки и от необходимости повторений предъявляемых световых стимулов в тех случаях, когда пациент сразу не видел стимул (3-х зонная стратегия).

В ходе обследования специалист может в режиме online наблюдать область предъявления световых стимулов и реакцию на них пациента, что отражается на удаленном терминале. При помощи программы ведется автоматический подсчет количества участков с нормальной чувствительностью, относительной и абсолютной скотомами.

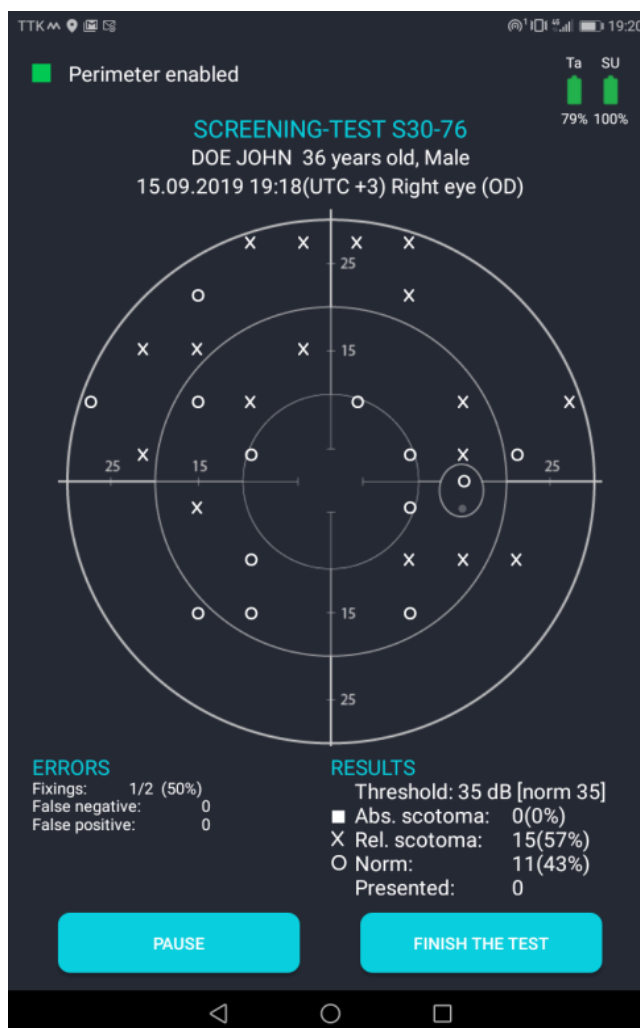


Рис.20 Пользовательский интерфейс. Экран планшета в момент проведения теста. На экран вынесена информация о локализации предъявляемых световых стимулов и реакции на них пациента.

4.3.4. Параметры проведения периметрии

В группе 2-А скрининг-периметрию проводили со следующими параметрами: 3-х зонная стратегия, исследовали поле зрения в зоне 30° от точки фиксации с представлением световых стимулов в случайном порядке в 76 точках с шагом между точками по вертикальной и горизонтальной осям 6° . Яркость фонового свечения экрана 31,5 апостильб. По умолчанию выставлялись параметры: цвет фона белый (по шкале RGB - R255G255B255); порядок предъявления стимулов случайный, с длительностью по 200 мс и паузой между ними – 3 с. Размер стимула соответствовал размеру III для

периметрии по Goldmann (0,43 угловых градуса). Для контроля за направлением взора в процессе исследования пациенту в случайном порядке предъявлялись ложные стимулы в зону слепого пятна по методу Heijl-Krakau (примерно 1 ложный стимул на 8-9 диагностических). Результат коэффициента достоверности записывали в виде простой дроби с количеством предъявленных ложных стимулов в знаменателе и увиденных ложных стимулов в числителе.

Интервал между исследованиями одного и того же глаза различными методами составлял от 2 часов до трех дней, в зависимости от степени усталости пациента в процессе исследования и других факторов.

4.4. Исследование поля зрения на глазах без центрального зрения на статическом автоматическом периметре (2-Б группа)

Обследование глаз без ЦЗ на автоматическом анализаторе поля зрения HFA-II проводили, как и в 2-А группе, используя скрининг-стратегию С-76 с предъявлением 76 точек.

После завершения обследования, в первую очередь акцентировали внимание на диаграмме достоверности, которая учитывает отклонение направления взора от точки фиксации и строится по данным, приходящим с окулографа.

Для проведения обследования использовали группу дополнительных точек фиксации «large diamonds», которая представляется в ПО производителями статических автоматических периметров для обследования глаз без ЦЗ и характеризуется 4-мя парацентральными точками фиксации в случае наличия обширной скотомы.

При анализе диаграмм достоверности было отмечено, что часть пациентов, не видя точку фиксации в процессе периметрии, в течение некоторого времени пытаются сохранить направление взора на центре периметрического поля, однако через короткое время глаз начинал

«блуждать». Это хорошо отслеживается на графике достоверности, который прибор выдает в конце обследования (см. рис. 21А).

У другой части пациентов с самого начала обследования не получалось удерживать взор на точке фиксации. Сразу же начиналось беспорядочное блуждание взора, что делало результаты периметрии полностью нерепрезентативными (см. рис. 21Б)

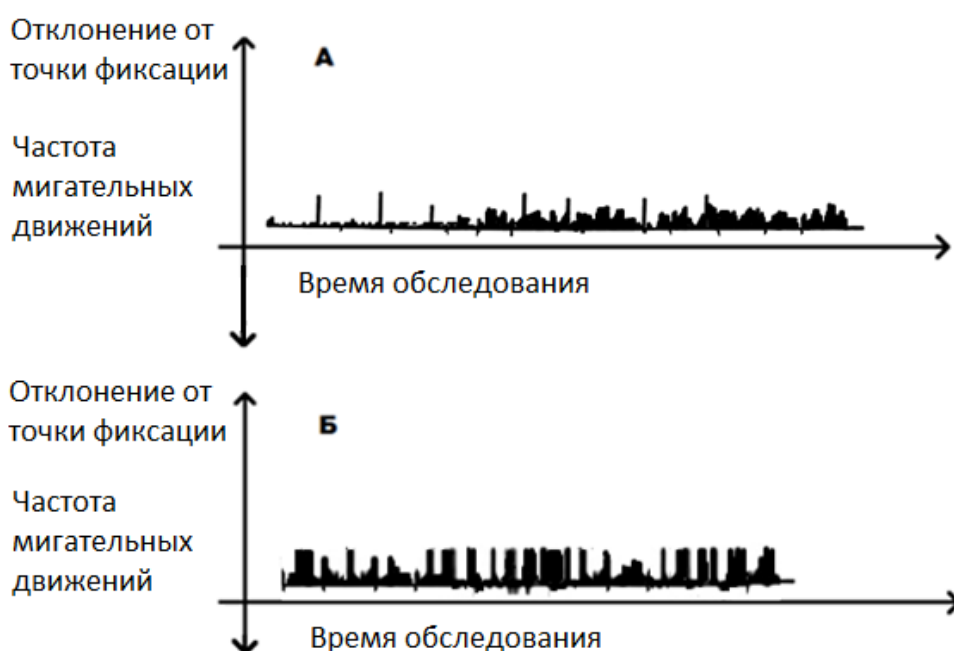


Рис.21 Диаграмма фиксации взора при обследовании глаз с патологией ЦЗ (статический автоматический анализатор поля зрения).

А. Глаз начинает «блуждать» через некоторое время после начала обследования.

Б. Глаз не способен удерживать точку фиксации с самого начала обследования.

Параллельно с этим осуществляли контроль за направлением взора по методу Heijl-Кракау. В единичных случаях показатель этого параметра был в пределах 4-5, что указывало на низкую достоверность результатов.

Анализируя вышесказанное, мы пришли к выводу, что для глаз с отсутствием ЦЗ использование статической автоматической периметрии

является малоэффективным из-за низкой достоверности получаемых результатов. Данная методика малопригодна для обследования глаз с низким ЦЗ или его отсутствием, поскольку только в единичных случаях, когда размер ЦС недостаточно большой, данная методика дает более или менее удовлетворительные результаты.

Учитывая это, результаты, полученные во 2-Б группе при помощи автоматического статического периметра при обследовании глаз, неспособных удерживать взором точку фиксации, были исключены из группы сравнения 3-х вышеназванных методов.

4.5. Периметрия с использованием кинетического периметра Goldmann в условиях отсутствия центрального зрения

Кинетическую периметрию на сферопериметре Goldmann проводили в ручном режиме. Выбор данного метода, на первый взгляд, может показаться неоправданным, поскольку статическая и кинетическая периметрия – это исследования, предполагающие разные принципы обследования.

Причина выбора данного метода для нашего исследования связана с тем, что периметр Goldmann – единственный прибор, при обследовании на котором можно осуществлять прямой визуальный контроль за направлением взора пациента через контрольный окуляр. А в случае обнаружения отклонения взора от точки фиксации (что при работе с глазами без ЦЗ происходит довольно часто), обследование тут же может быть приостановлено для проведения корректировки направления взора. Это несколько увеличивает продолжительность обследования, однако делает получаемые результаты более достоверными.

Учитывая некоторые различия в получаемых результатах статической и кинетической периметрии, и различие кинетических карт, нами, совместно с коллегами из Аахенского университета, была разработана методика математической обработки, позволившая провести корректное сравнение

результатов, полученных при использовании методов в 2-А и 2-В групп, которая подробно описана ниже.

При анализе результатов, полученных на периметре Goldmann, можно было выделить три основных варианта выявленных периметрических дефектов:

1. центральная скотома;
2. дефект в центральной зоне, распространяющийся на периферию, находящийся в пределах от секторального выпадения до гемианопсии;
3. изолированный фрагмент сохранившегося периферического поля зрения в каком-либо из секторов при полном отсутствии центра.

При анализе достоверности результатов, полученных в 2-В группе при помощи периметра Goldmann, мы исходили из того, что направление взора пациента в процессе периметрии постоянно контролировалось через специальный окуляр, а в случае выявления отклонения взора от точки фиксации, проводилась его незамедлительная корректировка. Это позволяет нам рассматривать достоверность результатов в данной группе, как высокую.

4.6. Критерии достоверности

При переходе к этапу сравнительного исследования результатов, полученных 3 разными способами на глазах, неспособных удерживать взором точку фиксации: при помощи автоматической статической периметрии, проведенной на ПП с использованием формирования виртуальной точки фиксации (2-А группа); при помощи стационарного автоматического периметра, с использованием в качестве точки фиксации «large diamonds» (2-Б группа); при использовании кинетической периметрии в ручном режиме по Goldmann, с прямым визуальным контролем за направлением взора обследуемого глаза (2-В группа) - мы пришли к следующим заключениям:

Результаты, полученные при помощи современных приборов для автоматической статической периметрии, несмотря на использование методики «large diamonds», являются малодостоверными. Пациент при этом должен сам, путем логической интерполяции, представить точку фиксации взора в середине, между периферическими фиксационными знаками, а потом стойко удерживать на этой точке внимание, что является слишком сложной задачей. Глаз в процессе обследования, большую часть времени блуждал, не имея возможности стойко удерживать точку фиксации, на что указывали результаты диаграммы достоверности.

Исходя из этого, было принято решение, что данные, во 2-Б группе, полученные при помощи статического автоматического периметра, будут исключены из групп наблюдения и выведены из дальнейшей аналитической обработки.

О достоверности результатов, полученных при периметрии по Goldmann, у нас не возникало сомнений, поскольку обследование проводили в ручном режиме под постоянным прямым контролем врача.

При анализе результатов, полученных при использовании ПП, мы ориентировались на данные о достоверности, полученные при помощи метода Heijl-Krakau. Показатели достоверности были в пределах 80-85%, что позволило нам рассматривать их как удовлетворительные.

После исключения из анализа результатов группы 2-Б на следующем этапе мы производили сравнение результатов, полученных при помощи кинетической периметрии Goldmann и при помощи ПП с использованием виртуальной точки фиксации взора.

ГЛАВА 5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ИХ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Для дальнейшей обработки материалов обследования возникла необходимость проведения сравнения результатов периметрии, полученных при помощи двух вышеназванных методов – автоматической статической периметрии, проведенной при помощи ПП из исследуемой группы, и кинетической периметрии, проведенной в ручном режиме при помощи периметра Goldmann (контрольная группа).

Как было сказано выше, периметрию по Goldmann мы взяли в качестве контрольной группы по той причине, что этот метод позволяет проводить периметрию с использованием постоянного прямого контроля обследования с возможностью незамедлительно корректировать направление взора при его отклонениях.

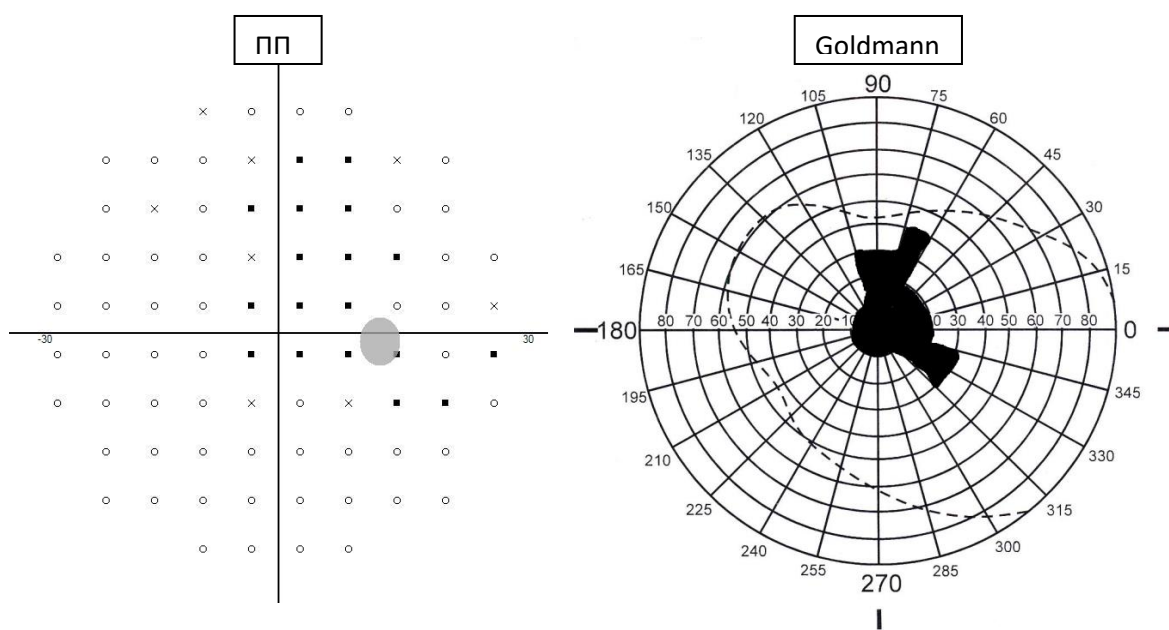
Учитывая то, что карты периметрических результатов при этих исследованиях отличаются, возникла необходимость найти метод проведения сравнения пар протоколов, проведенных разными методами.

Математический анализ пар протоколов обследования полей зрения производили на основе оригинального алгоритма, разработанного для данного исследования профессором К. Kotliar (University of Applied Sciences, Aachen, Germany).

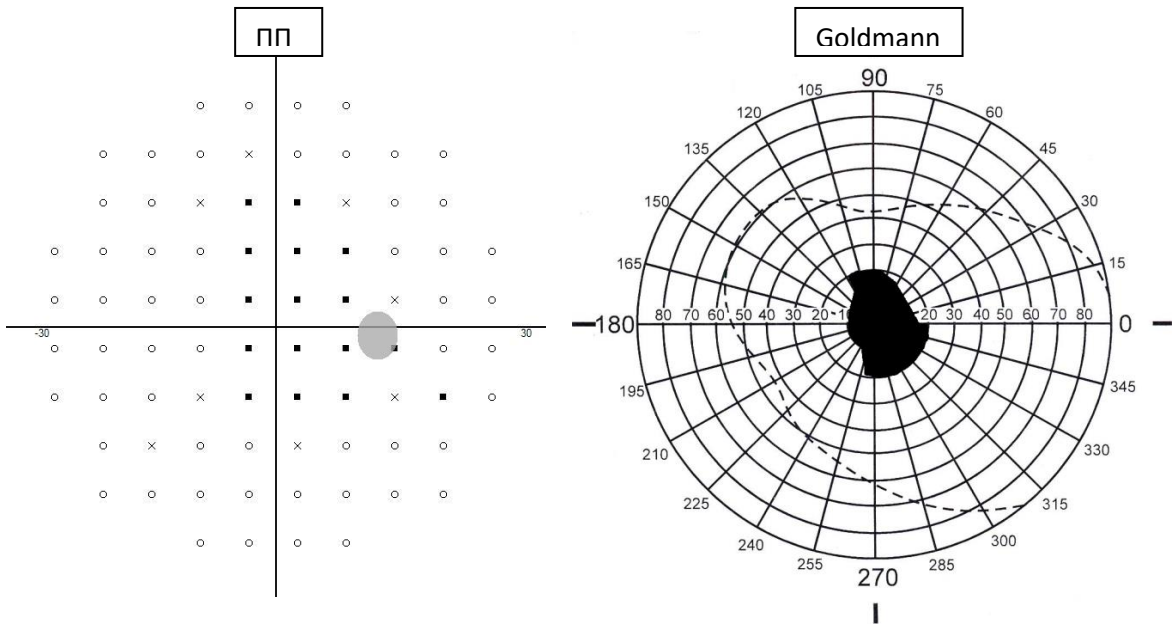
Контроль за направлением взора при обследовании на ПП проводили с использованием теста Heijl-Krakau. В зону слепого пятна в случайной последовательности подавали дополнительные световые стимулы. В случае, если пациент на них реагировал, это рассматривали как косвенный признак изменения направления взора. Компьютер прибора при этом делал соответствующую пометку. Отношение положительных ответов на такие

стимулы к их общему количеству использовали для определения качества фиксации взора. В начале нашего исследования мы предположили, что в тех случаях, когда пациент чаще реагирует на эти ложные дополнительные стимулы, сенсорное раздражение кончика пальца было недостаточным и пациент «забывал» про местоположение кончика своего пальца. Учитывая это, при проведении дальнейшей работы у всех последующих пациентов мы проводили периодическое сенсорное раздражение для того, чтобы активировать чувство проприоцепции у пациента, чтобы помочь ему правильно удерживать направление взора на виртуальной точке фиксации.

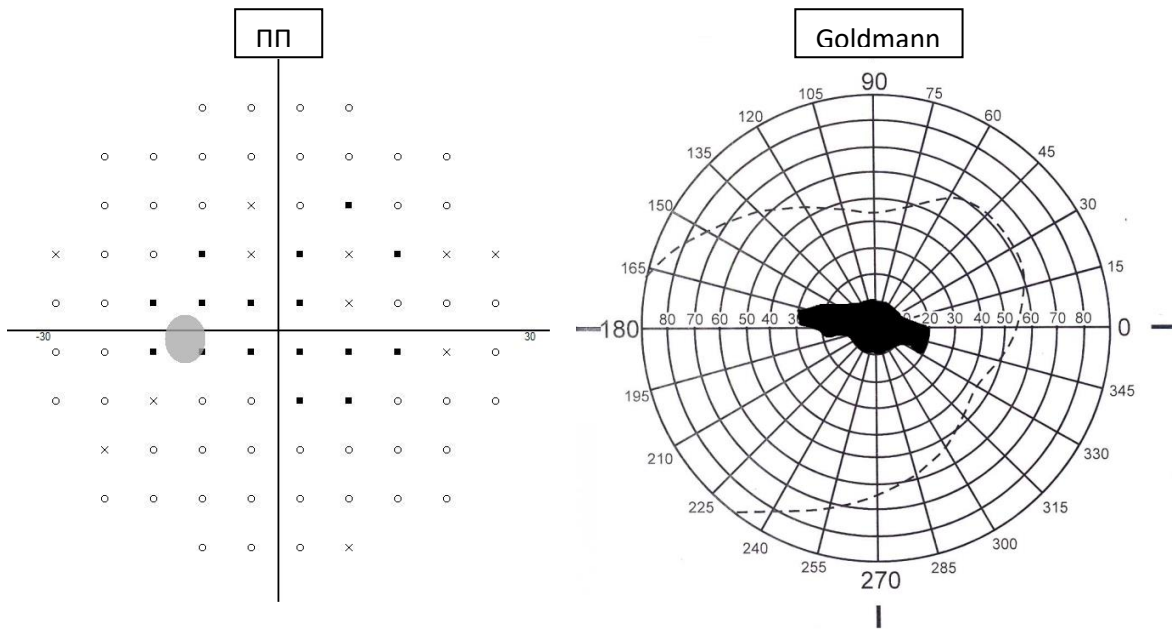
При сопоставлении результатов периметрии обеих сравниваемых групп, полученных на одних и тех же глазах разными методами, определено, что выявленные ЦС визуально имели схожие очертания (Рис. 22).



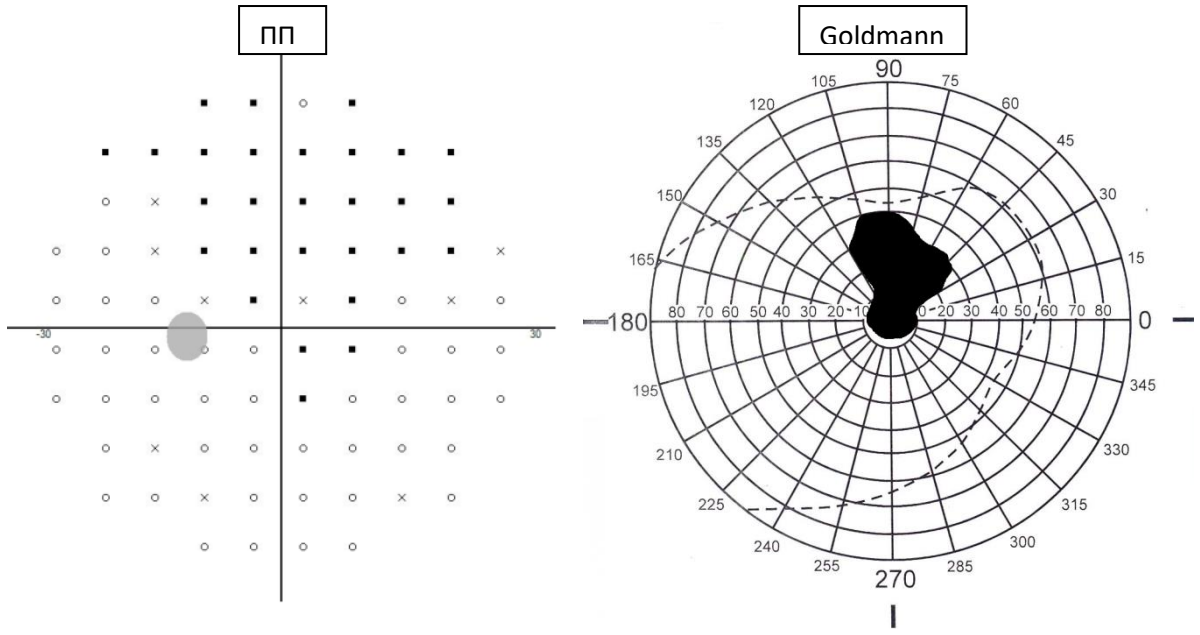
Пациент К. 68 лет. Vis OD = 0.02



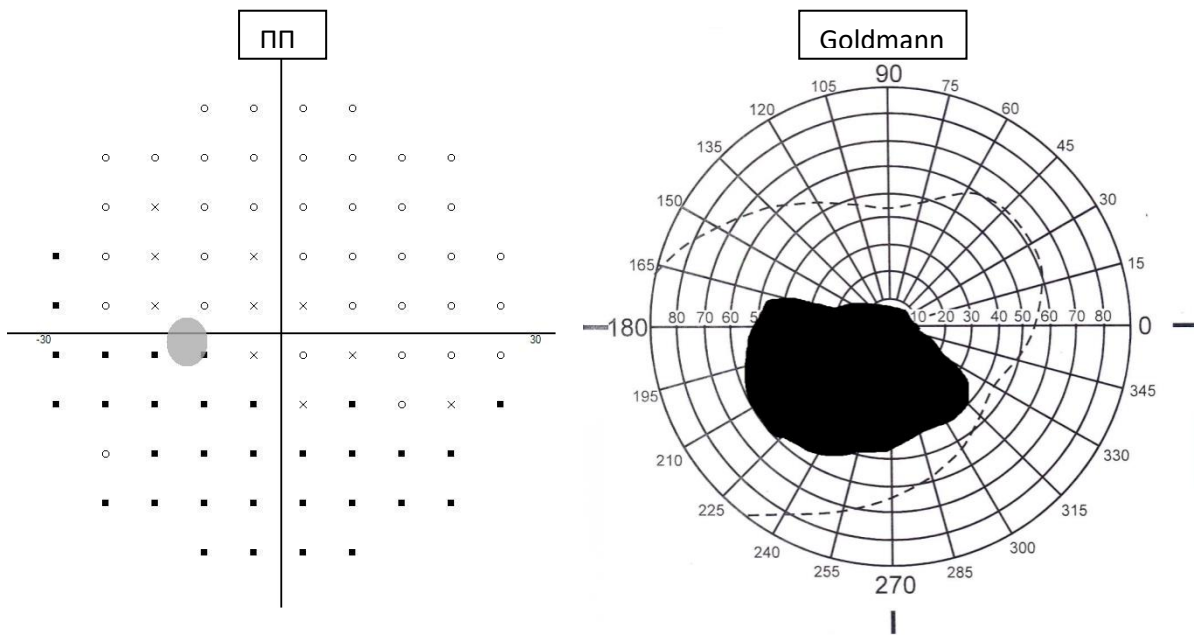
Пациент Д. 65 лет. Vis OD = 0.04



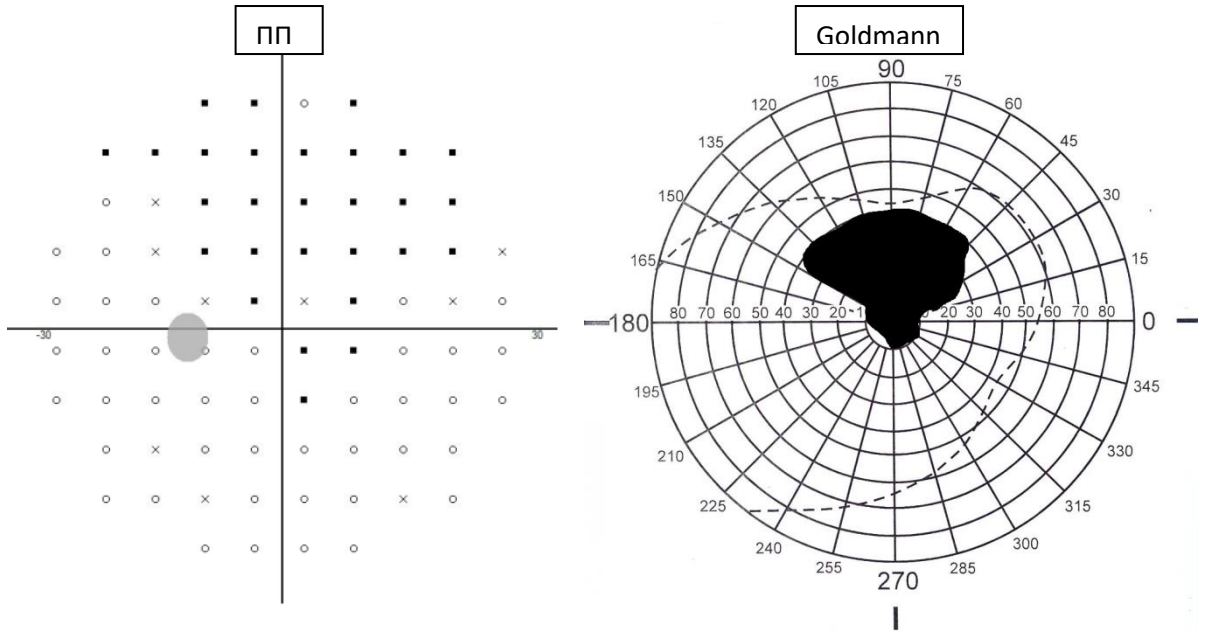
Пациент П. 60 лет. Vis OS = 0.02



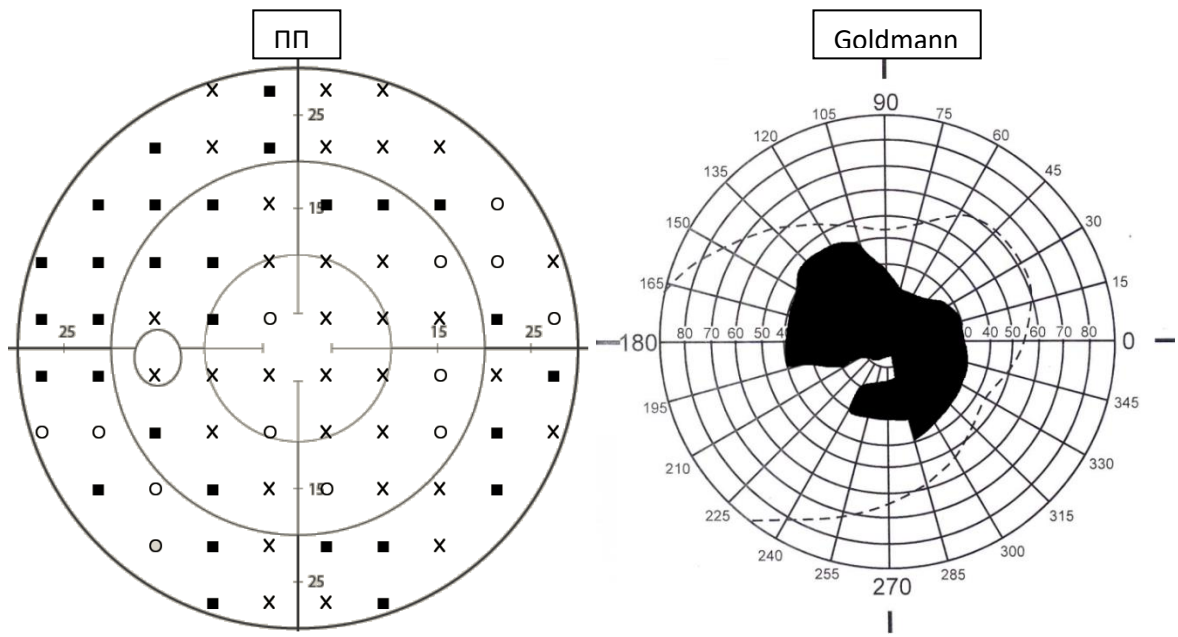
Пациент Т. 72 года. Vis OS = 0.05



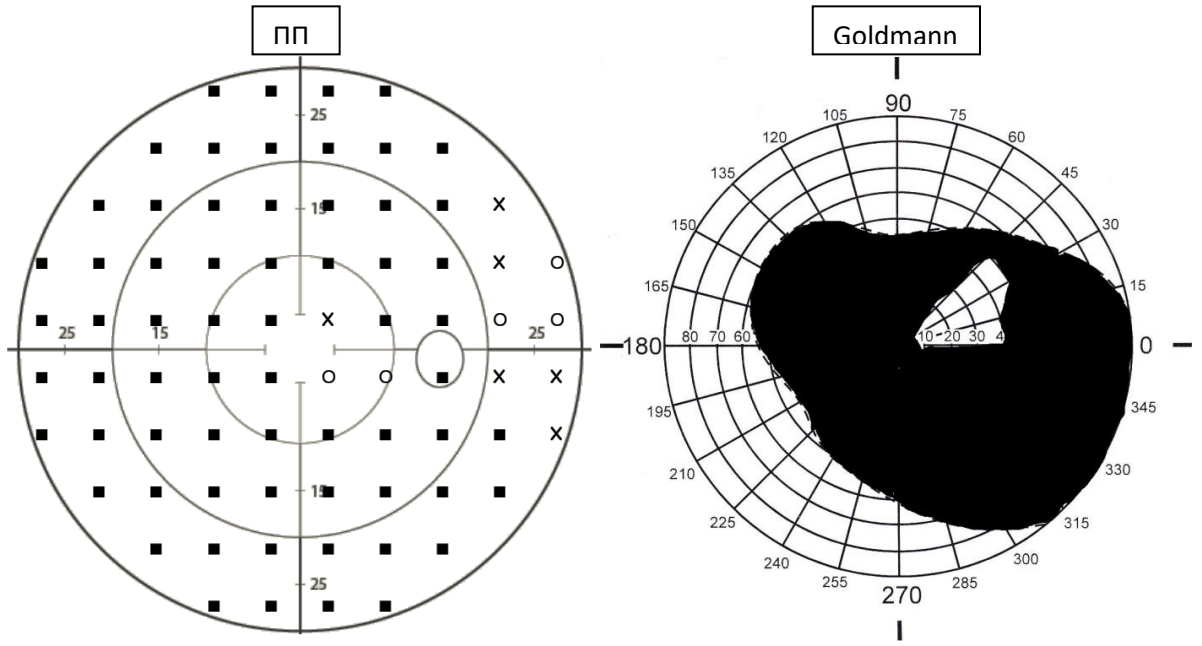
Пациент М. 70 лет. Vis OS = 0.05



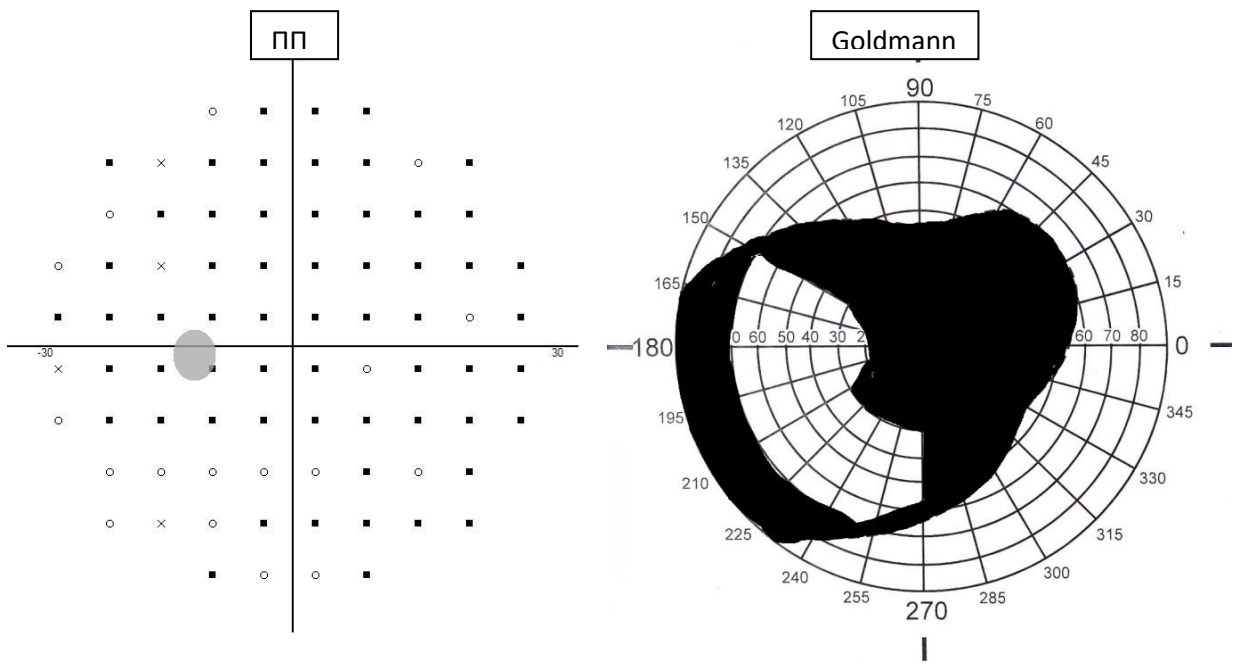
Пациент А. 75 лет. Vis OS = 0.04



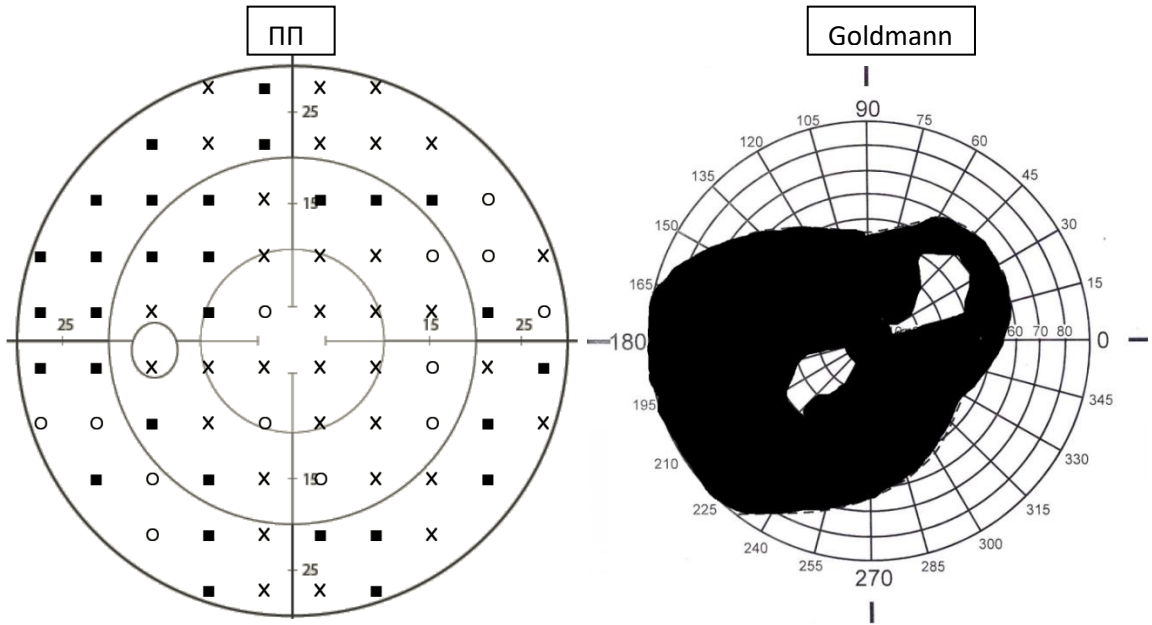
Пациент Н. 78 лет. Vis OS = 0.04



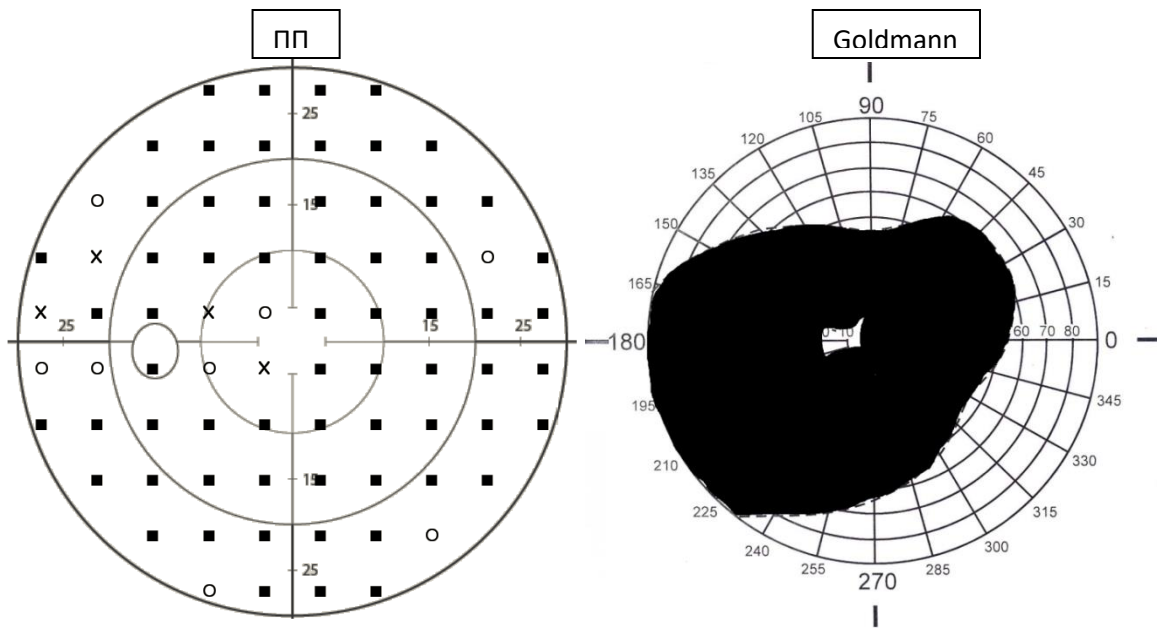
Пациент К. 82 года. Vis OD = 0.05



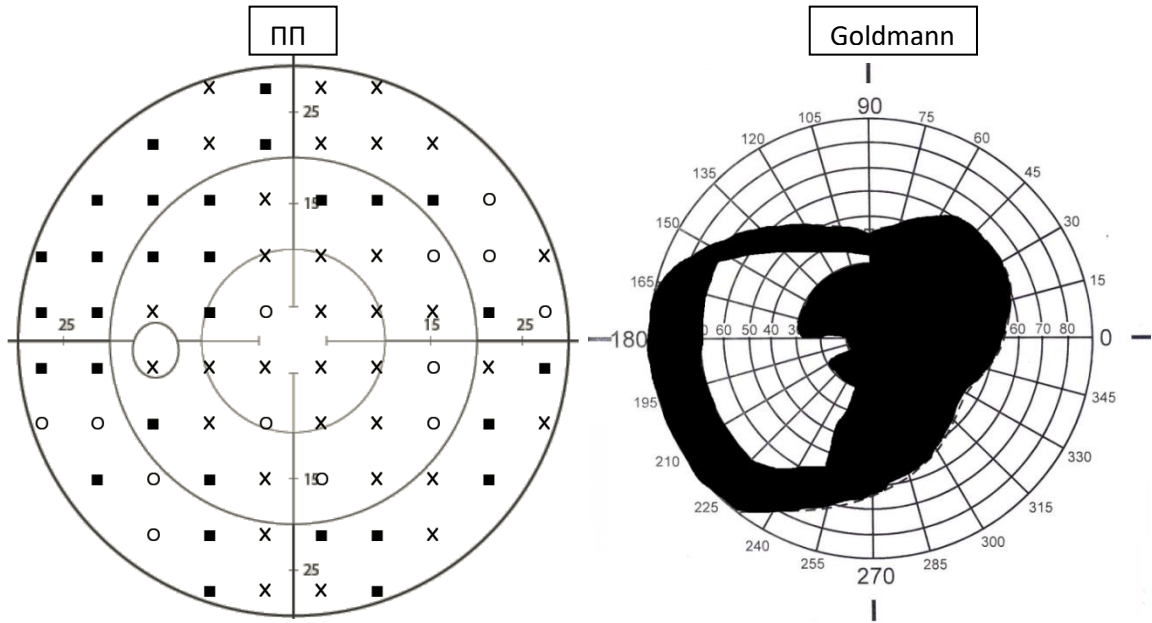
Пациент К. 82 года. Vis OS = правильная боковая светопроекция



Пациент М. 64 года. Vis OS = 0.02



Пациент В. 69 лет. Vis OS = 0.05



Пациент С. 74 года. Vis OS = 0.02

Рис.22 Примеры пар результатов ПП (слева) и сферопериметра Goldmann (справа). Дизайн периметрических карт ПП изменялся в течение периода работы в связи с обновлением ПО прибора.

Обработку пар графических результатов сравнительной проверки полей зрения производили на основе собственного разработанного алгоритма сравнительного анализа изображений с помощью программ MS Excel и MS PowerPoint. Для этого карту результатов ПП располагали на экране компьютера в окне стандартных размеров (Рис. 23.2). Карту периметра Goldmann при необходимости корректировали на предмет геометрических искажений, затем из этой полной карты программными инструментами вырезали круглый сегмент, соответствующий полю зрения 30° , (с угловым размером, аналогичным при обследовании С-76 на ПП). (Рис. 23.1,3). Этот сегмент делали полупрозрачным, растягивали и центрировали в окне поверх карты результатов ПП так, чтобы горизонтальный и вертикальный диаметр сегмента как можно более точно совпадали с соответствующими осями карты результатов ПП (Рис. 23.4). При необходимости круглый сегмент

поворачивали вокруг своего центра для лучшего сопоставления. После этого проводили подсчет различных точек, соответствующих норме, абсолютным или относительным скотомам на карте, выполненной на ПП внутри и за пределами скотом карты, выполненной на периметре Goldmann (Рис. 23.4).

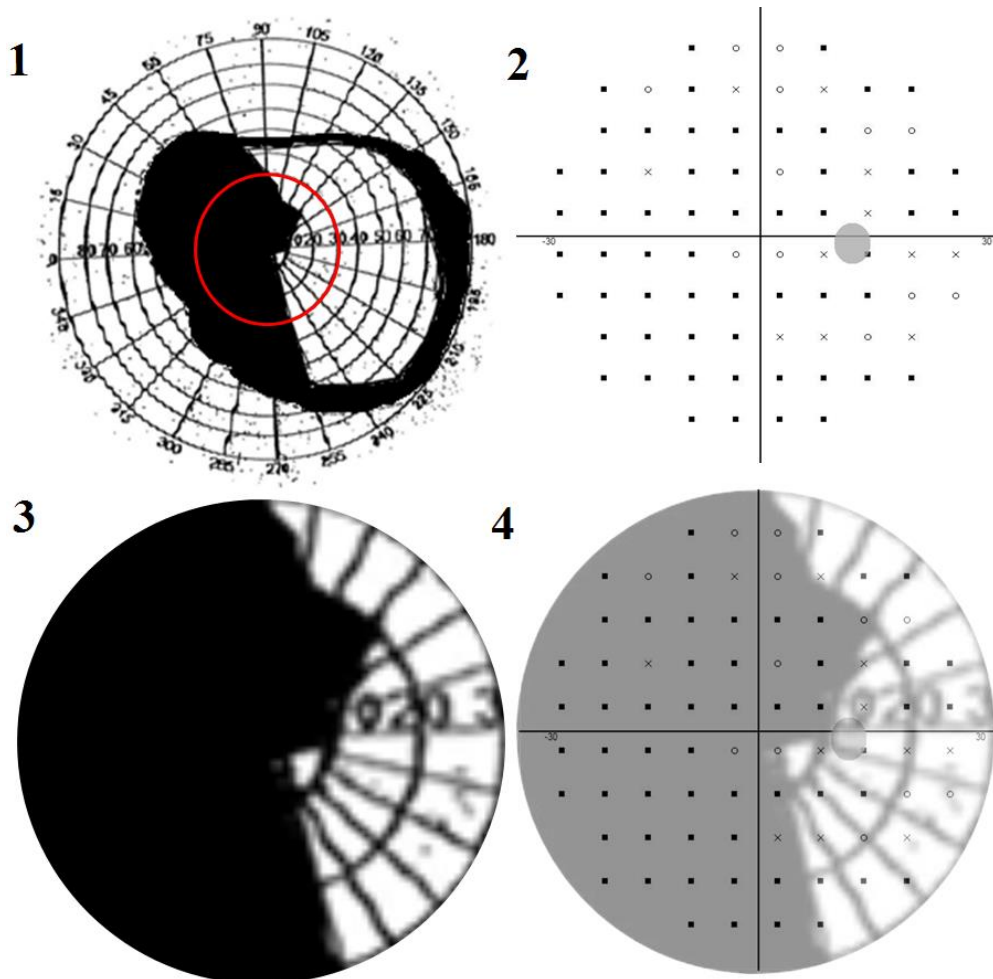


Рис.23 Сравнительный анализ результатов Goldmann (1, 3) и ПП (2, 4). Выделенная зона соответствует 30° от центра.

Для количественного сравнения полей зрения были введены следующие параметры и обозначения:

$K_{\text{вну}}$: 0 - 100%. Подсчитывали количество точек периметрии ПП, которые располагались внутри наложенного поверх контура периметра Goldmann: $N_{\text{вну}}$ (Рис. 23.4). При идеальном совпадении все эти точки должны быть обозначены как: ■. Таким образом, рассчитывали соотношение количества

точек ■ и половины количества точек ×, лежащих внутри контура к общему количеству точек внутри контура:

$$K_{\text{вну}} = (\blacksquare_{\text{вну}} + 0.5 \cdot \times_{\text{вну}}) \cdot 100\% / N_{\text{вну}}$$

$K_{\text{нар}}$: 0 - 100%. Подсчитывали количество точек периметрии ПП, которые находятся за пределами наложенного контура периметра Goldman: $N_{\text{нар}}$. При идеальном совпадении, все эти точки должны быть обозначены как: ○. Таким образом, рассчитывали соотношение количества точек ○ и половины количества точек ×, лежащих за пределами контура к общему количеству точек за пределами контура:

$$K_{\text{нар}} = (\bigcirc_{\text{нар}} + 0.5 \cdot \times_{\text{нар}}) \cdot 100\% / N_{\text{нар}}$$

$K_{\text{сме}}$: смешанный коэффициент: 0 - 100%. Рассчитывали нормированную сумму соотношений, обеспечивающих, в идеале, максимальное совпадение. При идеальном совпадении все точки, обозначенные как ■ и × должны были находиться внутри наложенного контура периметра Goldman, а все ○ - снаружи:

$$K_{\text{сме}} = (\blacksquare_{\text{вну}} / \blacksquare_{\text{все}} + \times_{\text{вну}} / \times_{\text{все}} + \bigcirc_{\text{нар}} / \bigcirc_{\text{все}}) \cdot 100\% / 3$$

Результирующий коэффициент соответствия K представлял собой среднее значение $K_{\text{вну}}$, $K_{\text{нар}}$ и $K_{\text{сме}}$: 0 - 100%:

$$K = (K_{\text{вну}} + K_{\text{нар}} + K_{\text{сме}}) / 3$$

Для оценки качества измерения на ПП использовали информацию о реакции на ложные стимулы и ввели безразмерный коэффициент Q (quality): 0 – 1:

$Q = 1 - (\text{количество реакций на ложные стимулы/количество ложных стимулов})$

В результате проведенного анализа, удалось выявить, что коэффициент сопоставимости результатов данных методов обследования поля зрения при обследовании парацентральной зоны в 30° от центра периметрического поля, составил $K=73,7\%$.

Мы рассматриваем данное значение результирующего коэффициента соответствия как удовлетворительное, и это позволяет нам рассматривать результаты нашей работы как репрезентативные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве основного диагностического инструмента, взятого для выполнения данной работы, был использован новый портативный периметр на основе шлема виртуальной реальности, разработанный группой российских офтальмологов и физиков под руководством д.м.н. Ермолаева А.П. и выполненный российской компанией «Тотал-вижен».

Нами была разработана базовая методика по проведению периметрии при помощи вышеназванного прибора. В качестве первого этапа обследования была проведена оценка достоверности результатов, получаемых при помощи оригинальной разработанной методики, реализуемой на новом ПП. Вторым этапом были проведены исследования по возможности проведения периметрии, на глазах с центральной скотомой и отсутствием центрального зрения, неспособных удерживать взором точку фиксации.

Портативный периметр, выполненный на основе шлема виртуальной реальности, принципиально отличается от приборов аналогичного назначения тем, что для проведения периметрии материальная полусфера экрана в нем заменена на виртуальную полусферу, математически рассчитанную с учетом дисторсионных искажений. Виртуальная сфера создается на экране шлема портативного периметра при помощи программных инструментов прибора.

В качестве периметрической методики была использована стратегия автоматической статической скрининг-периметрии С-76 с предъявлением 76 стимулов в зоне 30° от центральной точки фиксации. На первом этапе нашего исследования, для подтверждения достоверности результатов, получаемых при помощи ПП, обследовали глаза с сохранным центральным зрением, для которых не являлось проблемой стойко удерживать взором точку фиксации в

процессе проведения периметрии. В начале была проверена повторяемость результатов периметрии при обследовании одного и того же глаза с интервалом, достаточным для отдыха пациента.

Следующим этапом было проведено сравнение результатов, полученных при помощи ПП с результатами обследования, проведенного на этих же глазах по аналогичной методике, но на автоматическом статическом периметре НФА II. При сравнительном анализе пар периметрических результатов выявлена хорошая сопоставимость полученных результатов (коэффициент соответствия $K=97,2\%$).

Данный фрагмент исследования мы рассматривали в качестве предварительного этапа работы, на результатах которого была построена дальнейшая стратегия основного исследования пациентов с центральными скотомами.

Для работы с глазами с отсутствием центрального зрения нами была разработана оригинальная методика, основанная на чувстве проприоцепции пациента. Проприоцепция для здорового человека является имманентным физиологическим чувством, позволяющим ему, без визуального контроля, осознанно и неосознанно знать о месте расположения собственных конечностей в любой момент времени, что является важнейшим условием для выживания в окружающей среде. Проприоцепция уже более века используется офтальмологами при проведении тонометрии по Маклакову для того, чтобы вывести направление взора пациента в нужном для доктора направлении. Особенно актуально это в случаях, когда имеется единственный глаз, а площадка тонометра полностью перекрывает ему обзор и не дает видеть точку фиксации взора.

Использование данного подхода возможно только при использовании портативного периметра, поскольку благодаря его компактным размерам

пациент может без труда поставить свою руку в такую позицию, что экран периметра оказывается между обследуемым глазом и рукой пациента. Пациента просят вытянуть палец, поднять его на уровень глаз и сосредоточить на нем мысленный взор и внимание. При этом врач, перемещая палец пациента, выставляет его в такую точку, чтобы воображаемая линия между кончиком пальца и глазом проходила через центр экрана портативного периметра (на котором предъявляется виртуальная полусфера). При этом, несмотря на то, что пациент не видит свой палец, он четко знает его местоположение.

В результате фиксации внимания на пальце удается достичь того, что глаз с центральной скотомой, неспособный видеть точку фиксации, может уверенно удерживать нужное направление взора в процессе обследования. Для того чтобы пациент не терял ощущение локализации своего пальца по мере ослабления проприоцептивных ощущений, врач периодически производит его сенсорное раздражение.

Проведено сравнение полученных результатов периметрии у пациентов с отсутствием центрального зрения, полученных при помощи вышеописанного способа, с результатами, полученными на тех же глазах при помощи других периметрических устройств.

В качестве прибора для контрольной группы нами был выбран кинетический сферопериметр Goldmann по той причине, что в этом приборе возможен не только прямой визуальный контроль (через специально предназначенный для этого окуляр), но и то, что врач может мгновенно корректировать направление взора пациента при его отклонении от точки фиксации.

Для анализа сравнительного исследования данных, полученных при помощи автоматической статической периметрии, проведенной на

портативном периметре и данных кинетической периметрии, проведенной на периметре Goldmann, был разработан оригинальный алгоритм, позволивший рассчитать коэффициент соответствия результатов. Величина коэффициента соответствия ($K=73,7$) указала на существование хорошей сопоставимости между получаемыми результатами.

Полученные результаты работы позволили нам прийти к следующим выводам:

ВЫВОДЫ

1. На основании клинических исследований на статистически значимом материале (50 глаз) с сохранным центральным зрением доказана репрезентативность результатов, полученных при помощи нового портативного периметра, разработанного на базе устройства виртуальной реальности. Была получена высокая повторяемость результатов, составившая $K=97,2$. При сравнении результатов скрининг-периметрии, проведенной на новом портативном периметре и при помощи сертифицированного анализатора поля зрения, выявлена высокая сопоставимость результатов ($K=93,7$).
2. Разработана методика для работы на новом портативном периметре, позволяющая пациенту без грубой неврологической патологии удерживать правильное направление взора в процессе проведения периметрии. Методика опирается на чувство проприоцепции пациента, благодаря которому он в любой момент времени может оценить пространственное положение своей руки. Это дает возможность формировать условную точку фиксации взора и удерживать ее в процессе периметрии в нужной для обследования точке наведения. Использование данного подхода позволяет проводить периметрию на глазах с отсутствием центрального зрения, неспособных удерживать

взором точку фиксации в процессе периметрии, а также определять границы центральной скотомы.

3. Разработан оригинальный алгоритм, позволяющий оценивать сопоставимость результатов периметрии, полученных при помощи портативного периметра и других лицензированных периметрических приборов, в том числе статической и кинетической периметрии, используя предложенный коэффициент сопоставимости.
4. При сравнении результатов обследования глаз с отсутствием центрального зрения, полученных в двух группах: при помощи нового портативного периметра и кинетического сферопериметра Goldmann, выявлена хорошая сопоставимость результатов ($K=73,7\%$). Полученные результаты могут быть основой для практического применения портативного периметра и разработанной методики периметрии.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для проведения периметрии на глазах с сохранным центральным зрением, в качестве альтернативы существующим устройствам, может быть использован новый портативный периметр. Прибор не требует для обследования специально подготовленного помещения, благодаря компактным размерам он может быть использован не только в лечебных учреждениях, но и при работе на дому, что существенно увеличивает возможности скринингового обследования пациентов и раннего выявления глаукомы.

2. На глазах с нарушением ЦЗ, неспособных удерживать точку фиксации, возможно проведение периметрии и определение границ центральной скотомы при помощи портативного периметра с формированием условной точки фиксации взора, получаемой благодаря чувству проприоцепции пациента. Данный метод может быть осуществлен благодаря конструктивным особенностям портативного периметра.

3. При неправильном надевании шлема портативного периметра на голову возможно его «провисание» под влиянием собственного веса, что приводит к формированию месяцеобразных скотом в нижней части поля зрения. Перед проведением обследования необходимо проверить, насколько правильно шлем прибора надет на голову.

4. Перед обследованием глаз с отсутствием ЦЗ при помощи портативного периметра всем пациентам рекомендуется проводить простые неврологические пробы (пальце-носовая проба) для уточнения сохранности у них чувства проприоцепции (поскольку в случае нарушения проприоцепции, формирование условной точки фиксации будет затруднено, а проведение периметрии будет невозможным).

5. Важно помнить, что при отсутствии тактильного раздражения через некоторое время пациент теряет чувство локализации своего

пальца, на котором сосредоточено его внимание. Это приводит к потере условной точки фиксации, что снижает репрезентативность результатов обследования. Во избежание этого, через каждые 30-40 секунд врачу, производившему обследование, следует касаться кончика пальца пациента, что приводит к активации сенсорных ощущений и позволяет сохранять внимание на условной точке фиксации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Harwerth R.S., Wheat J.L., Rangaswamy N.V. Age-Related Losses of Retinal Ganglion Cells and Axons. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2008;49(10):4437-4443. doi:10.1167/iovs.08-1753
2. Liu Z., Kurokawa K., Zhang F., Lee J.J., Miller D.T. Imaging ganglion cells in the living human retina. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2017;14(48):12803-12808. doi:10.1073/pnas.1711734114
3. Alamouti B., Funk J. Retinal thickness decreases with age: an OCT study. *British Journal of Ophthalmology* 2003;87:899-901. doi:10.1136/bjo.87.7.899
4. Budenz D.L., Anderson D.R., Varma R., Schuman J. et. al. Determinants of Normal Retinal Nerve Fiber Layer Thickness Measured by Stratus OCT. *Ophthalmology.* 2007;6(114):1046-1052. doi:10.1016/j.ophtha.2006.08.046
5. Harwerth R.S. Visual field defects and retinal ganglion cell losses in patients with glaucoma. *Arch. Ophthalmol.* 2006;6(124):853–859.
6. Волков В.В. Дополнительное обоснование предлагаемой для обсуждения классификации открытоугольной глаукомы на основе представлений о патогенезе ее прогрессирования. *Вестник офтальмологии.* 2007;4(123):40–45.
7. Gardiner S.K. Evaluation of the Structure-Function Relationship in Glaucoma. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2005(46):3712–3717.
8. Miller N.P., Aldred B., Schmitt M.A., Rokers B. Impact of Amblyopia on the Central Nervous System. *Journal of Binocular Vision and Ocular Motility.* 2020;4(70):182-192. doi:10.1080/08820538.2019.1620810
9. Al-Haddad C.E., Mollayess G.M.E.L., Cherfan C.G., et al. Retinal nerve fibre layer and macular thickness in amblyopia as measured by spectral-

domain optical coherence tomography. *British Journal of*

Ophthalmology. 2011(95):1696-1699. doi:10.1136/bjo.2010.195081

10. Brusini P., Busatto P. Frequency doubling perimetry in glaucoma early diagnosis. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 1998(76): 23-24. doi:10.1111/j.1600-0420.1998.tb00869.x

11. Сердюкова С.А., Симакова И.Л. Компьютерная периметрия в диагностике первичной открытоугольной глаукомы. *Офтальмологические ведомости*. 2018;1(11):54-65. doi:10.17816/OV11154-65

12. Heijl A., Bengtsson B. The Effect of Perimetric Experience in Patients With Glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 1996;114(1):19–22. doi:10.1001/archophth.1996.01100130017003

13. Sunness J.S., & Applegate C.A. Long-Term Follow-up of Fixation Patterns in Eyes With Central Scotomas From Geographic Atrophy That Is Associated With Age-Related Macular Degeneration. *American Journal of Ophthalmology*. 2005;6(140):1085–1093. doi:10.1016/j.ajo.2005.07.040

14. Bellmann C., Feely M., Crossland M.D., Kabanarou S.A., & Rubin G.S. (2004). Fixation stability using central and pericentral fixation targets in patients with age-related macular degeneration. *Ophthalmology*. 2004;12(111): 2265–2270. doi:10.1016/j.opthta.2004.06.019

15. Mitchell P., Liew G., Gopinath B., Wong T.Y. Age-related macular degeneration. *The Lancet*. 2018;10153(392):1147-1159. doi:10.1016/S0140-6736(18)31550-2

16. Chakravarthy U., Bailey C.C., Scanlon P.H., McKibbin M. et. al. Progression from Early/Intermediate to Advanced Forms of Age-Related Macular Degeneration in a Large UK Cohort: Rates and Risk Factors. *Ophthalmology Retina*. 2020;4(7):662-672. doi:10.1016/j.oret.2020.01.012

17. Будзинская М.В., Воробьева М.В., Киселева Т.Н., Лагутина Ю.М., Полунин Г.С. Современные подходы к лечению и профилактике

возрастной макулярной дегенерации. *Клиническая офтальмология*. 2007;2(8):78–82.

18. Kontis V., Bennett J.E., Mathers C.D., Li G. et.al. Future life expectancy in 35 industrialised countries: projections with a Bayesian model ensemble. *The Lancet*. 2017;10076(389):1323-1335. doi: 10.1016/S0140-6736(16)32381-9

19. Kanimatsu S., Suzuki Y., Shirato S., Araie M. [Usefulness of gaze tracking during perimetry in glaucomatous eyes]. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*. 1999;103(10):748-753.

20. Verezen C.A., Hoyng C.B., Meulendijks C.F. M., Keunen J.E.E., Klevering B.J. (2011). Eccentric Gaze Direction in Patients with Central Field Loss. *Optometry and Vision Science*. 2011;88(10):1164–1171. doi:10.1097/oxp.0b013e31822891e0

21. Whittaker S.G., Budd J., Cummings R.W. Eccentric fixation with macular scotoma. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 1988;29(2):268-278.

22. Cohen S. Guide pratique de r ducation des basses visions / S. Cohen. Paris : Editions Scientifiques et M dicales Elsevier: Encyclop die M dico Chirurgicale, 2000

23. Bellmann C., Feely M., Crossland M. D., Kabanarou S. A., Rubin G. S. Fixation stability using central and pericentral fixation targets in patients with age-related macular degeneration. *Ophthalmology*. 2004;111(12):2265–2270. doi: 10.1016/j.ophtha.2004.06.019

24. Nowomiejska K., Oleszczuk A., Zubilewicz A., et al. Assessment of the macula function by static perimetry, microperimetry and rarebit perimetry in patients suffering from dry age related macular degeneration. *Klinika Oczna*. 2007;109(4-6):131-134.

25. Еричев В.П., Ермолаев А.П., Антонов А.А., Григорян Г.Л., Косова Д.В. Новые возможности исследования поля зрения (предварительное

сообщение). *Вестник офтальмологии*. 2018;2(134):66-71. doi: 10.17116/oftalma2018134266-72

26. Ермолаев А.П., Еричев В.П., Антонов А.А., Григорян Г.Л., Котляр К., Левицкий Ю.В., Хдери Х., Мазурова Ю.В. Исследование светочувствительности сетчатки у пациентов с патологией центрального зрения с помощью портативного периметра, созданного на базе шлема виртуальной реальности (предварительное сообщение). *Вестник офтальмологии*. 2019;135(3):46-64. doi:10.17116/oftalma201913503146

27. Stillman B.C. *Making Sense of Proprioception. Physiotherapy*. 2002;88(11):667–676. doi:10.1016/s0031-9406(05)60109-5

28. Fitzpatrick R., McCloskey D.I. Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans. *The Journal of Physiology*. 1994;478(1):173–186. doi:10.1113/jphysiol.1994.sp020240

29. Егоров Е. А. Патогенез и лечение первичной открытоугольной глаукомы: Руководство для врачей / Е. А. Егоров, В. Н. Алексеев. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью Издательская группа "ГЭОТАР-Медиа", 2017. – 224 с. – ISBN 978-5-9704-4204-3

30. Арутюнян Л.Л., Морозова Ю.С., Анисимова С.Ю., Анисимов С.И. Оценка морфометрических параметров диска зрительного нерва у пациентов с различными формами открытоугольной глаукомы. *Российский офтальмологический журнал*. 2022;15(S2):24-30. doi:10.21516/2072-0076-2022-15-2-supplement-24-30

31. Chauhan B.C. Practical recommendations for measuring rates of visual field change in glaucoma. *Br. J. Ophthalmol*. 2008;4(92):569–573.

32. Kirstein E.M. Structure and function relationship in glaucoma historical perspective to a practical approach. Chapter 10: Structure and Function Relationship in Glaucoma-Historical Perspective to a Practical Approach. In: *Ophthalmology - Current Clinical and Research Update* / E.M. Kirstein // InTech, Chapters published, 2014. – P. 225–247.

33. Лоскутов И.А., Ибатулин Р.А. Раннее выявление глаукомы в оптометрической практике. *Глаукома*. 2006;(2):60-62.
34. Ramulu P.Y., Van Landingham S.W., Massof R.W., Chan E.S., Ferrucci L., Friedman D.S. (2012): Fear of falling and visual field loss from glaucoma. *Ophthalmology*. 2012;119:1352– 8.
35. Thomas R., Sekhar G.C., Parikh R. Primary angle closure glaucoma: a developing world perspective. *Clin Exp Ophthalmol*. 2007;35:374–378
36. Nouri-Mahdavi K., Hoffman D., Coleman A.L. et al. Predictive factors for glaucomatous visual field progression in the Advanced Glaucoma Intervention Study. *Ophthalmology*. 2004;111:1627–1635
37. Klein B.E., Klein R., Sponsel W.E. et al. Prevalence of glaucoma. The Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology*. 1992;99:1499–1504.
38. The Advanced Glaucoma Intervention Study (AGIS): 12. Baseline risk factors for sustained loss of visual field and visual acuity in patients with advanced glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2002;134(4):499–512.
39. Heijl A., Leske M.C., Bengtsson B., et al. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: results from the Early Manifest Glaucoma Trial. *Arch Ophthalmol*. 2002;120(10):1268–1279.
40. Camp A.S. Will Perimetry Be Performed to Monitor Glaucoma in 2025? *Ophthalmology*. 2017;12(124):71–75.
41. Zhang N., Wang J., Li Y. et al. Prevalence of primary open angle glaucoma in the last 20 years: a meta-analysis and systematic review. *Sci Rep*. 2021;11(13762). doi: 10.1038/s41598-021-92971-w
42. Harasymowycz P., Birt C., Gooi P., et al. Medical Management of Glaucoma in the 21st Century from a Canadian Perspective. *Journal of Ophthalmology*. 2016;6509809. doi: 10.1155/2016/6509809
43. Flaxman S.R. et al. Global causes of blindness and distance vision impairment 1990–2020: A systematic review and meta-analysis. *Lancet Glob. Health*. 2017;5(12):1221–1234. doi: 10.1016/S2214-109X(17)30393-5

44. Allison K., Patel D., Alabi O. Epidemiology of Glaucoma: The Past, Present, and Predictions for the Future. *Cureus*. 2020;12(11). doi: 10.7759/cureus.11686
45. Либман Е.С. Эпидемиологическая характеристика глаукомы. *Глаукома*. 2009. – № 1; прилож. – С. 2–3.
46. Нестеров А.П. Мониторинг поля зрения основное звено диспансеризации больных глаукомой. *Материалы V Всерос. школы офтальмолога*. – М., 2006. – С. 178–189.
47. Куроедов А.В. Компьютерная ретиноматография (HRT): диагностика, динамика, достоверность / А.В. Куроедов, В.В. Городничий. – М. : дом печати «Столичный бизнес», 2007. – 231 с.
48. Новохатский А.С. Клиническая периметрия / А.С. Новохатский. – М. : Медицина, 1973. – 129 с.
49. Мухамадеев Р.А. Современная автоматическая периметрия. *Вестник офтальмологии*. 2002;4(118):50–52.
50. Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей / под ред. Е.А. Егорова, Ю.С. Астахова, В.П. Еричева. – 3-е изд. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 456 с.
51. Dannheim F. Flimmer- und konventionelle Perimetrie im Vergleich zu Strukturveränderungen beim Glaukom (in German). *Der Ophthalmologe*. 2013;2(110):131–140.
52. Балашевич Л.И. Методы исследования поля зрения : учеб. пособие / Л.И. Балашевич. – СПб. : изд. дом СПбМАПО, 2004. – 54 с
53. Johnson C.A., Wall M., Thompson, H.S. A History of Perimetry and Visual Field Testing. *Optometry and Vision Science*. 2011;1(88):8-15.
54. Lascaratos J., Marketos S. A historical outline of Greek ophthalmology from the Hellenistic period up to the establishment of the first universities. *Doc Ophthalmol*. 1988;68:157–69

55. Johnson C.A., Wall M., Thompson H.S. A history of perimetry and visual field testing. *Optom Vis Sci.* 2011;88(1):8-15. doi:10.1097/OPX.0b013e3182004c3b
56. Atchison D.A. History of Visual Field Measurement. *The Australian Journal of Optometry.* 1979;62: 345-354
57. Goldmann H. Optometry and Vision Science: August 1999 - Volume 76 - Issue 8 - p 599-604
58. Gardiner S.K., Demirel S., Goren D., Mansberger S.L., Swanson W.H. The Effect of Stimulus Size on the Reliable Stimulus Range of Perimetry. *Transl Vis Sci Technol.* 2015;4(2):10. doi:10.1167/tvst.4.2.10
59. Wall M., Doyle C.K., Zamba K.D., Artes P., Johnson C.A. The repeatability of mean defect with size III and size V standard automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013;54(2):1345-1351. Published 2013 Feb 15. doi:10.1167/iovs.12-10299
60. Устинова Е.И. Кинетическая кампиметрия как альтернативный метод выявления ранних дефектов поля зрения при глаукоме в учреждениях практического здравоохранения / Е.И. Устинова // Глаукома на рубеже тысячелетий: итоги и перспективы : материалы Всерос. научно-практ. конф. – М., 1999. – С. 75–78.
61. Борисова С.А. Современная компьютерная кампиметрия: новые тенденции / С.А. Борисова // Вестн. офтальмологии. – 1997. – Т 113, № 5. – С. 44–47.
62. Стоянова Г.С. Сравнительная характеристика кинетической и статической периметрии в стационарной и амбулаторной практике у больных глаукомой / С.Г. Стоянова, Е.Л. Егорова, А.С. Гуров // Клини. Офтальмология. – 2002. – Т. 3, № 2. – С. 65–67.
63. Fankhauser F., Koch P., Roulier A. On automation of perimetry. *Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol.* 1972;184(2):126-150. doi:10.1007/BF02390260

64. Gloor B.P. Franz Fankhauser: the father of the automated perimeter. *Surv Ophthalmol.* 2009;54(3):417-425. doi:10.1016/j.survophthal.2009.02.007
65. Heijl A. Studies on computerized perimetry. *Acta Ophthalmol Suppl.* 1977;132:1-42.
66. Еричев В.П. Современные методы функциональной диагностики и мониторинга глаукомы. Часть 1. Периметрия как метод функциональных исследований / В.П. Еричев, С.Ю. Петров, И.В. Козлов, А.С. Макарова, В.С. Решикова // Национальный журнал глаукома. – 2015. – Т. 14, № 2. – С. 75–81.
67. Jenni A., Flammer J., Funkhouser A., Fankhauser F. (1983) Special Octopus Software for Clinical Investigation. In: Greve E.L., Heijl A. (eds) Fifth International Visual Field Symposium. Documenta Ophthalmologica Proceedings Series, vol 35. Springer, Dordrecht
68. Bengtsson B., Heijl A., Olsson J. Evaluation of a new threshold visual field strategy, SITA, in normal subjects. Swedish Interactive Thresholding Algorithm. *Acta Ophthalmol Scand.* 1998;76(2):165-169. doi:10.1034/j.1600-0420.1998.760208.x
69. Lachkar Y., Barrault O., Lefrançois A., Demailly P. Stratégie rapide "TOP" en périmétrie automatisée Octopus [Rapid Tendency Oriented Perimeter (TOP) with the Octopus visual field analyzer]. *J Fr Ophthalmol.* 1998;21(3):180-184.
70. Касимов Э.М. Преимущества периметра Humphrey в диагностике и мониторинге глаукомы (обзор литературы). *Офтальмология.* 2015;19(3):130–136.
71. Sample P.A. Short-wavelength automated perimetry: it's role in the clinic and for understanding ganglion cell function. *Prog Retin Eye Res.* 2000;19(4):369-383. doi:10.1016/s1350-9462(00)00001-x

72. Мачехин В.А. Сине-желтая периметрия в ранней диагностике глаукомы / В.А. Мачехин, Г.Е. Манаенкова, И.В. Михина // Глаукома: реальность и перспективы : материалы научно-практ. конф. – М., 2008. – С. 175–178.
73. Волков В.В. Глаукома открытоугольная / В.В. Волков. – М.: МИА, 2008 – 347 с.
74. Худоногов А.А. Функциональные методы исследования в ранней диагностике первичной открытоугольной глаукомы /А.А. Худоногов // Сибирский медицинский журнал. – 2012. – Т. 108, № 1. – С. 21–23.
75. Митрофанова Н.В. Некоторые аспекты применения в клинической практике коротковолновой периметрии для диагностики глаукомы / Н.В. Митрофанова, С.В. Анкудинова, З.А. Даутова, В.М. Хокканен // Медицинский вестник Башкортостана. – 2014. – Т. 9, № 2. – С. 66–71.
76. 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. doi:10.1001/archopht.1993.01090050079034
77. Barkana Y., Gerber Y., Mora R., Liebmann J.M., Ritch R. Effect of eye testing order on automated perimetry results using the Swedish Interactive Threshold Algorithm standard 24-2. *Arch Ophthalmol.* 2006;124(6):781-784. doi:10.1001/archopht.124.6.781
78. Havvas I., Papaconstantinou D., Moschos M.M. et al. Comparison of SWAP and SAP on the point of glaucoma conversion. *Clin Ophthalmol.* 2013;7:1805-1810. doi:10.2147/OPTH.S50231
79. Wall M. What's new in perimetry. *J Neuroophthalmol.* 2004;24(1):46-55. doi:10.1097/00041327-200403000-00011
80. Еричев В.П., Антонов А.А. Клиническая периметрия в диагностике и мониторинге глаукомы. М.: Апрель, 2016.

81. Semes L. Optometry and Vision Science: December 2002 - Volume 79 - Issue 12 - p 12.
82. Sawada T., Murata T., Nishida Y., Kani K. An experimental automatic perimeter that displays the fundus images on a monitor. *Perimetry Update* 2000/2001. pp 89-96.
83. Приборы для исследования поля зрения. Периметры. Краткий обзор состояния, развития, методических вопросов, характеристик, цен, особенностей эксплуатации. СКТБ Офтальмологического приборостроения «ОПТИМЕД», 2015. – 64 с.
84. Damato V.E. Oculokinetic perimetry: a simple visual field test for use in the community. *Br J Ophthalmol.* 1985;69(12):927-931. doi:10.1136/bjo.69.12.927
85. Симакова И.Л., Бойко Э.В., Сухинин М.В., Соболев А.Ф. Сравнительное исследование различных методов компьютерной периметрии у здоровых лиц и больных глаукомой с целью диагностики и врачебной экспертизы: метод. рекоменд. / Науч. руков. Э.В. Бойко; отв. исполн. И.Л. Симакова; Воен.-мед. акад. – СПб., 2013. – 31 л.
86. 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. Published 2015 Mar 25. doi:10.1371/journal.pone.0122157
87. Прибор для исследования поля зрения «Периграф Периком». Руководство по эксплуатации, АФИН. 94 1222.001, 2006.
88. Астахов Ю.С., Акопов Е.Л., Руховец А.Г. «Первый опыт применения периграфа Периком «Классика-мини» и универсального «Задатчика» вакуум-компрессионных проб». *Офтальмологические ведомости*, vol. 5, №2, 2012, 91-93.
89. Heijl A., Krakau C.E. An automatic static perimeter, design and pilot study. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1975;53(3):293-310. doi:10.1111/j.1755-3768.1975.tb01161.x

90. Heijl A., Asman P. Pitfalls of automated perimetry in glaucoma diagnosis. *Curr Opin Ophthalmol.* 1995;6(2):46-51. doi:10.1097/00055735-199504000-00008
91. 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
92. Heijl A. The Field Analyzer Primer: Effective Perimetry / A. Heijl, V.M. Patella, B. Bengtsson. – Carl Zeiss Meditec, Dublin, 2012. – 160 p.
93. Tsapakis S., Papaconstantinou D., Diagourtas A. et al. Visual field examination method using virtual reality glasses compared with the Humphrey perimeter. *Clin Ophthalmol.* 2017;11:1431-1443. Published 2017 Aug 7. doi:10.2147/OPTH.S131160
94. Murray I.C., Fleck B.W., Brash H.M., Macrae M.E., Tan L.L., Minns R.A. Feasibility of saccadic vector optokinetic perimetry: a method of automated static perimetry for children using eye tracking. *Ophthalmology.* 2009;116(10):2017-2026. doi:10.1016/j.ophtha.2009.03.015
95. Wroblewski D., Francis B.A., Chopra V., Quiros P., Massengill R.K. Numerical Modeling of Visual Field Test Data for Glaucoma Detection and Evaluation. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2007;48(13):1642.
96. Нестеров А.П., Румянцева О.А., Егоров Е.А., Виноградова Е.П., Грибов А.И., Петрова И.А. Инновационная технология периметрии в оценке функционального состояния зрительного нерва. *Российская детская офтальмология*, 2014 (1), 38-42.
97. Бетин В.Н. Патент № 2648202 С2 Российская Федерация, МПК А61В 3/024. Способ офтальмологического исследования поля зрения : № 2016114209 : заявл. 12.04.2016 : опубл. 22.03.2018 /; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Рязанские инновационные технологии".

98. Matsumoto C., Yamao S., Nomoto H., et al. Visual Field Testing with Head-Mounted Perimeter 'imo'. *PLoS One*. 2016;11(8):e0161974. Published 2016 Aug 26. doi:10.1371/journal.pone.0161974
99. Goukon H., Hirasawa K., Kasahara M., Matsumura K., Shoji N. Comparison of Humphrey Field Analyzer and imo visual field test results in patients with glaucoma and pseudo-fixation loss. *PLoS One*. 2019;14(11):e0224711. Published 2019 Nov 7. doi:10.1371/journal.pone.0224711
100. Sircar T., Mishra A., Bopardikar A., Tiwari V.N.. GearVision: Smartphone Based Head Mounted Perimeter For Detection Of Visual Field Defects. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2018;2018:5402-5405. doi:10.1109/EMBC.2018.8513574
101. Jones P.R., Lindfield D., Crabb D.P. Using an open-source tablet perimeter (Eyecatcher) as a rapid triage measure for glaucoma clinic waiting areas. *Br J Ophthalmol*. 2021;105(5):681-686. doi:10.1136/bjophthalmol-2020-316018
102. Ishiyama Y., Murata H., Hirasawa H., Asaoka R. Estimating the Usefulness of Humphrey Perimetry Gaze Tracking for Evaluating Structure-Function Relationship in Glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2015;56(13):7801-7805. doi:10.1167/iovs.15-17988
103. Heijl A., Rossetti L, Goni F. *Save Sight Years II Program, Module III. Proceedings of Aurora Program, SSY II, Allergan Ophthalmology, Prague*. 2012
104. Gagnon C., Mathieu J., Desrosiers J. Standardized finger-nose test validity for coordination assessment in an ataxic disorder. *Can J Neurol Sci*. 2004;31(4):484-489. doi:10.1017/s031716710000367x
105. Njiokiktjien C., de Rijke W. The recording of Romberg' test and its application in neurology. *Agressologie*. 1972;13:1-7.
106. Kniestedt C., Punjabi O., Lin S., Stamper R.L. Tonometry through the ages. *Surv Ophthalmol*. 2008;53(6):568-591. doi:10.1016/j.survophthal.2008.08.024