

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ГЛАЗНЫХ БОЛЕЗНЕЙ

СКАНИРУЮЩАЯ ЛАЗЕРНАЯ ПОЛЯРИМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ОПТИКОНЕЙРОПАТИЙ

Учебно-методическое пособие



Минск БГМУ 2017

УДК 617.735-007.23-073(075.8)

ББК 56.7я73

С42

Рекомендовано Научно-методическим советом университета в качестве
учебно-методического пособия 21.06.2017 г., протокол № 10

Авторы: канд. мед. наук, доц. Т. В. Качан; д-р мед. наук, проф. Л. Н. Марченко;
канд. мед. наук, доц. А. А. Далидович; асп. Усман Абубакар Боссо

Рецензенты: д-р мед. наук, проф. А. С. Федулов; д-р мед. наук, проф.
Е. Л. Трисветова

Сканирующая лазерная поляриметрия в диагностике оптиконеуропатий : учебно-
С42 методическое пособие / Т. В. Качан [и др.]. – Минск : БГМУ, 2017. – 28 с.

ISBN 978-985-567-882-4.

Представлены новые данные в диагностике и дифференциальной диагностике оптиконеуропатий. Предложен способ раннего обнаружения повреждения аксонов ганглионарных клеток сетчатки при отеке зрительного нерва. Приведены собственные данные анализа отчетов результатов сканирующей лазерной поляриметрии при оптиконеуропатиях.

Предназначено для студентов 4–6-го курсов и врачей-интернов, изучающих офтальмологию, нейроофтальмологов, неврологов, терапевтов.

УДК 617.735-007.23-073(075.8)

ББК 56.7я73

ISBN 978-985-567-882-4

© УО «Белорусский государственный
медицинский университет», 2017

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВВННВ — височный-верхний-носовой-нижний-височный
ГОН — глаукомная оптическая нейропатия
ДЗН — диск зрительного нерва
ИНВ — индикатор нервных волокон
ОКТ — оптическая когерентная томография
СЛП — сканирующая лазерная поляриметрия
СНВС — слой нервных волокон сетчатки

МОТИВАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕМЫ

Темы занятий: «Методы обследования органа зрения», «Глаукомы», «Изменения органа зрения при общих заболеваниях организма».

Общее время занятий: 15 ч.

Оптическая когерентная томография (ОКТ) произвела революцию как в клинической офтальмологии, так и в проведении фундаментальных исследований при патологии сетчатки и сосудистой оболочки. Однако такой инструментальный метод, как сканирующая лазерная поляриметрия (СЛП), остается одним из востребованных методов диагностики различных видов оптиконеуропатий, и его использование совместно с ОКТ позволяет повысить эффективность выявления патологии сетчатки и зрительного нерва.

Цель занятия: определить диагностические возможности СЛП при различных видах оптиконеуропатий.

Задачи занятия. В результате занятий студенты должны:

- 1) знать принцип действия и различия инструментальных систем, измеряющих толщину слоя нервных волокон сетчатки;
- 2) изучить особенности оптиконеуропатии при глаукоме, рассеянном склерозе, ишемическом сосудистом поражении зрительного нерва и невритах зрительного нерва;
- 3) ознакомиться с современными принципами диагностики патологии сетчатки, преимуществами и недостатками различных методов.

Требования к исходному уровню знаний. Для полного освоения темы студенту следует повторить из курсов:

- 1) анатомии: строение сетчатки и зрительного нерва, строение зрительного анализатора;
- 2) физиологии: функции зрительного анализатора, аксоплазматический ток в аксонах зрительного нерва;
- 3) патологической анатомии: апоптоз, ишемическое повреждение нервной ткани, воспалительное повреждение нервной ткани;
- 4) неврологии: церебральные расстройства, приводящие к поражению органа зрения, поражение зрительного анализатора при рассеянном склерозе.

Контрольные вопросы из смежных дисциплин:

1. Что такое двойное лучепреломление? Какие структуры глаза обладают этим свойством?

2. Что такое поляризованный луч? От чего зависит задержка его составляющих?

3. Какие периметрические потери характерны для глаукомы, рассеянного склероза, застойных дисков зрительного нерва, передней ишемической оптической нейропатии, невритов зрительного нерва?

Контрольные вопросы по теме занятия:

1. Принцип действия СЛП.

2. Принцип действия ОКТ.

3. Какие ключевые компоненты отчета СЛП вы знаете?

4. В какой зоне измеряется толщина слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) при проведении СЛП?

5. В каких зонах СНВС толще, а в каких — тоньше?

6. Какие изменения в печатном отчете характерны для глаукомной оптической нейропатии (ГОН)?

7. Каким цветом в печатном отчете помечаются наиболее выраженные потери СНВС?

8. Что такое индикатор нервных волокон (ИНВ)? Какова его диагностическая значимость?

9. Как расшифровывается и что означает график ВВННВ?

10. Каким образом можно определить раннюю аксональную потерю при патологии зрительного нерва, и при каком заболевании она наиболее выражена?

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОПТИКОНЕЙРОПАТИЙ

Мощный технологический прорыв последних десятилетий обеспечил возможность инструментальных решений важных проблем в офтальмологии. Появились диагностические аппараты, способные обеспечить визуализацию сетчатки и зрительного нерва. Особенно ценной является возможность комбинации инструментальных систем, работа которых основана на разных физических принципах. Техническое и программное обеспечение этих аппаратов постоянно совершенствуется, что значительно повышает информативность исследования сетчатки и зрительного нерва.

Из доступных на современном рынке приборов для диагностики патологии сетчатки и зрительного нерва можно выделить четыре основных типа: оптический когерентный томограф, сканирующий лазерный поляриметр, последняя версия которого использует переменную компенсацию двойного лучепреломления переднего отрезка глазного яблока (GDx VCC), конфокальный сканирующий лазерный томограф (HRT) и анализатор ретинальной толщины.

Механизм ОКТ основан на принципах интерферометрии Михельсона. Через ткань сетчатки проходит низкокогерентный пучок света, который отражается от ее слоев со степенью, пропорциональной плотности и толщине изучаемого слоя, а также его расстоянию от источника света. Отраженный луч сравнивается с контрольным лучом при помощи соответствующего программного обеспечения, а результат анализа выводится на экран в виде оптического среза сетчатки.

Механизм СЛП, заложенный в основе работы GDx, заключается в том, что направленный лазером на сетчатку поляризованный свет, проходя через аксоны ее ганглионарных клеток, раздваивается в двух перпендикулярных плоскостях из-за эффекта торможения. Задержка лучей относительно друг друга пропорциональна толщине СНВС, через который проходит поляризованный свет.

Механизм гейдельбергской ретинальной лазерной томографии (Heidelberg Retina Tomography — HRT) основан на технологии конфокальной лазерной сканирующей офтальмоскопии, которая базируется на оптическом принципе конфокальности. В соответствии с этим принципом отраженный от заданной плоскости свет проходит через помещенную перед детектором диафрагму и учитывается аппаратом, а свет, отраженный плоскостями, находящимися впереди или позади заданной, — поглощается. Изображения в HRT получают быстрым сканированием диодным лазером с длиной волны 670 нм.

Механизм действия ретинальных анализаторов основан на сканировании поверхности сетчатки при помощи гелий-неонового лазера с длиной волны 543 нм с последующим формированием топографической карты ее толщины. При ступенчатом прохождении луча лазера через сетчатку специальным образом разграничиваются и фиксируются отражающие пики между витреоретинальной и хориоретинальной поверхностями, что и определяет ретинальную толщину.

Наше учебно-методическое пособие посвящено СЛП, подробному описанию ее сути и возможностей, преимуществу последней версии сканирующих лазерных поляриметров (GDx), использующих методику индивидуальной компенсации двойного лучепреломления переднего отрезка глазного яблока, перспективах комбинированного использования СЛП и ОКТ при диагностике и мониторинге оптиконеуропатий различного генеза.

ДИАГНОСТИКА ОПТИКОНЕУРОПАТИЙ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗА

Оптикоретинальная патология характеризуется клиническим полиморфизмом и включает в себя большую группу заболеваний зрительного нерва и сетчатки, являющихся наиболее распространенными причинами слепоты и слабовидения (J. M. Petrash, Y. Yao, 2013). Повреждение зрительного

нерва и сетчатки приводит к значительному снижению зрительных функций и качества жизни пациентов.

В основе поражений зрительного нерва и сетчатки лежат дегенеративные, сосудистые и воспалительные процессы, которые приводят к прогрессирующей потере ганглионарных клеток и аксонов сетчатки, поэтому оценка волокон зрительного нерва важна для их раннего выявления и мониторинга.

Наиболее распространенной оптиконейропатией является ГОН. В основе ее развития лежат дегенеративные изменения СНВС, соответствующего аксонам ее ганглионарных клеток, а также нейронов, являющихся морфологической основой сетчатки в области макулярной зоны. СЛП изначально разрабатывалась с целью диагностики ГОН и ее последующего мониторинга.

Дегенеративные изменения сетчатки характерны и для ряда других патологических процессов, при которых первично поражается либо орган зрения, либо центральная нервная система с вторичным поражением сетчатки и зрительного нерва. Эти изменения могут изначально носить дегенеративный характер либо развиваться в результате отека диска зрительного нерва (ДЗН) и сетчатки различного генеза.

МЕХАНИЗМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ПОЛЯРИМЕТРИИ

Морфологической основой СНВС являются аксоны ее ганглионарных клеток. Аксоны имеют микротрубочки, цилиндрические внутриклеточные органеллы диаметром меньше длины световой волны. Таким образом, двойное лучепреломление СНВС определяется, главным образом, расположенными интрааксонально и организованными определенным образом микротрубулами и нейрофиламентами.

Двойное лучепреломление — это расщепление световой волны на две поляризованные части, расположенные перпендикулярно друг другу. Эти части движутся с разными скоростями, в результате чего создается относительный сдвиг по фазе, который называется задержкой. Величина сдвига по фазе, или задержки, пропорциональна толщине СНВС.

Базовые принципы СЛП представлены на рис. 1. Поляризованный свет, который состоит из двух ортогональных частей, проходит через глаз и отражается от сетчатки. При прохождении через СНВС, который является источником двойного лучепреломления, две части поляризованного света сдвигаются по фазе относительно друг друга (происходит задержка одной фазы). Величина задержки определяется детектором (в нанометрах) и преобразуется в толщину (в микронах) с коэффициентом 0,67 нм/мкм [8]. Величина задержки в СНВС прямо пропорциональна его толщине.

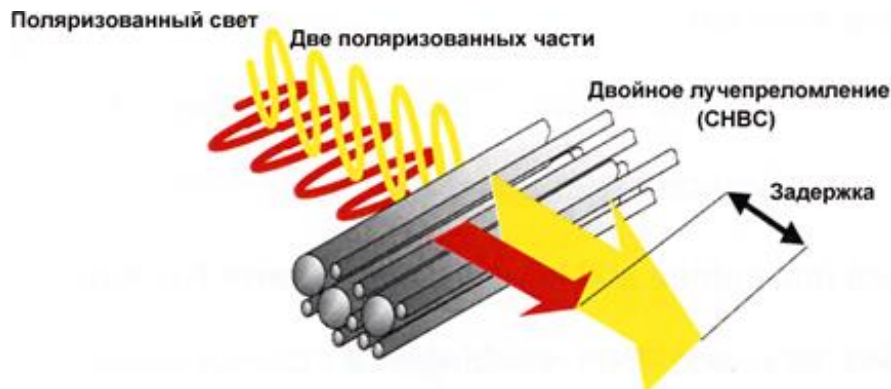


Рис. 1. Базовые принципы сканирующей лазерной поляриметрии

Для каждого измерения GDx VCC создает два изображения: отражательное и задержки. Отражательное изображение формируется с использованием света, отраженного непосредственно от поверхности сетчатки (рис. 2).

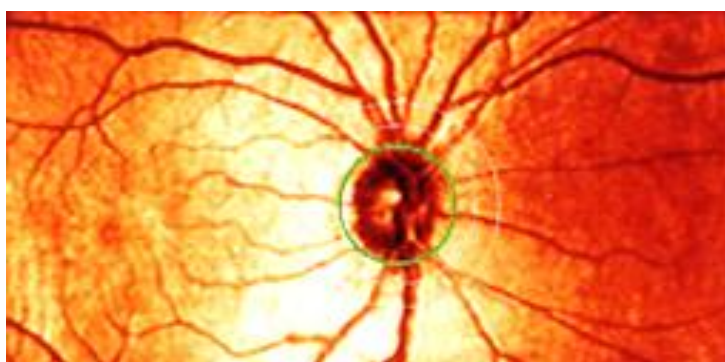


Рис. 2. Отражательное изображение глазного дна

Изображение задержки — это схема величин задержки, преобразующаяся в толщину СНВС с использованием коэффициента $0,67 \text{ нм/мкм}$ (рис. 3). Толщина СНВС на схеме задержки представляется в виде цветовых кодов, где более тонкие участки изображаются синим цветом, более толстые — зеленым цветом, еще более толстые — желтым цветом, и красным цветом кодируются самые толстые участки.

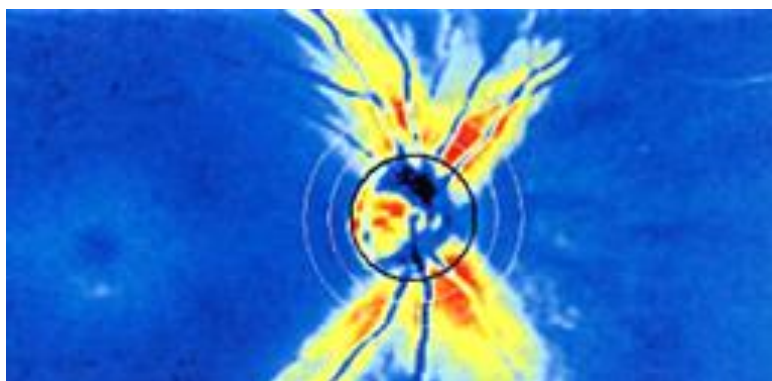


Рис. 3. Изображение задержки

Особенно широкое распространение методика поляриметрии получила после того, как удалось нейтрализовать двойное лучепреломление роговицы и хрусталика, приводившего к погрешности во время измерения. Общая задержка поляризованных составляющих для глаза человека равна сумме двойного лучепреломления в роговице, хрусталике и СНВС. Для выделения двойного лучепреломления в СНВС необходимо компенсировать лучепреломление в переднем сегменте.

Двойное лучепреломление в переднем сегменте характеризуют ось преломления и величина задержки. Если эти параметры известны, лучепреломление в переднем сегменте может быть точно компенсировано.

Ранние сканирующие поляриметры (например, GDx NFA и GDx Access) использовали для компенсации преломления в переднем сегменте фиксированные значения оси и амплитуды, выведенные для усредненного глаза. Последний имел ось преломления, смещенную на 15° в носовую область, величиной 60 мм. Реальное распределение показало, что многие глаза имели ось и величину, отличные от фиксированных значений компенсации.

GDx VCC является технологическим прорывом в СЛП благодаря возможности индивидуальной компенсации преломления в переднем сегменте. Для этого необходимо знать специфические ось и величину преломления в переднем сегменте. Чтобы их определить, вначале формируют изображение глаза без компенсации. На некомпенсированном изображении представляется суммарная задержка в роговице, в хрусталике и в СНВС (рис. 4, а). Затем анализируется макулярная область этого изображения. Двойное лучепреломление в макулярной области однородно и симметрично благодаря радиальному распределению слоя волокон Henle (слой волокон Henle состоит из параллельных фоторецепторных нейронных отростков, расположенных радиально в центре макулы, горизонтально к поверхности сетчатки). На некомпенсированных сканограммах в области макулы имеется неоднородная структура задержки, обусловленная двойным лучепреломлением в переднем сегменте. Анализируя неоднородное сечение задержки вокруг макулы, можно рассчитать ось и величину преломления в переднем сегменте. После определения оси и величины преломления в переднем сегменте можно компенсировать сигнал задержки. Переменный компенсатор роговицы состоит из двух линейных замедлителей на вращающихся опорах, благодаря чему и величину, и ось преломления можно изменять соответственно компенсации данного глаза. После успешной компенсации переднего сегмента на изображении СНВС вокруг макулы появляется однородное сечение задержки (толщины) (рис. 4, б).

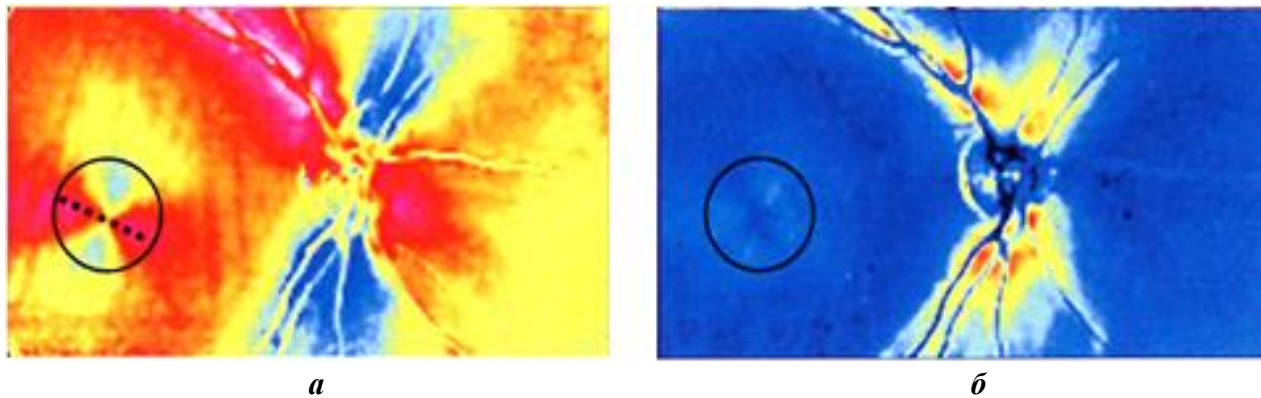


Рис. 4. Сканограмма:

a — некомпенсированная (ось преломления обозначена пунктирной линией); *б* — компенсированная (сечение задержки на макуле однородно)

Помимо макулярного метода расчета преломления в переднем сегменте GDx VCC использует альтернативный метод, не зависящий от данных для здоровой макулы. Это метод анализа данных двойного лучепреломления по большой области с центром в фовеоле (квадратная область $6^\circ \times 6^\circ$). Предполагается, что двойное лучепреломление в этой макулярной области содержит преломление от переднего сегмента. При усреднении сигнала в большой области влияние локальных нарушений преломления сетчатки значительно ослабевает, и можно получить преломление роговицы. Этот метод расчета точен даже для глаз с макулярной патологией, где первый метод некорректен из-за неопределенной структуры (рис. 5).

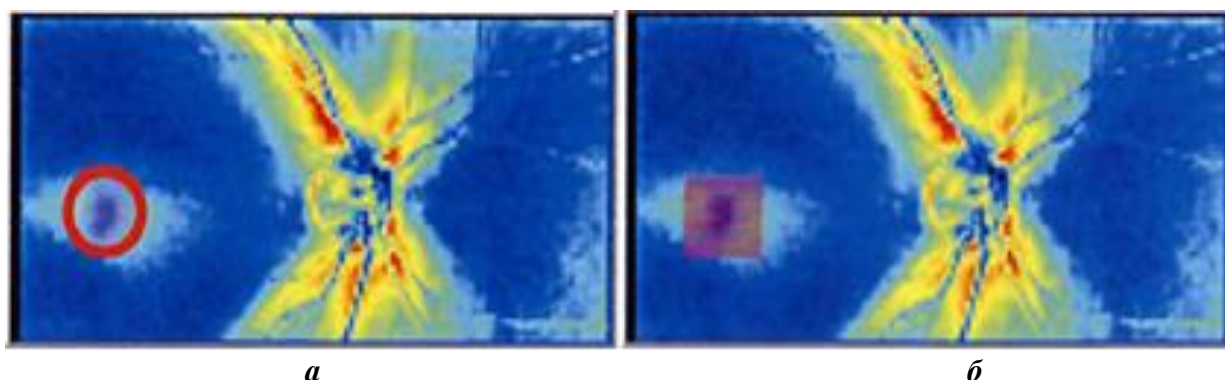


Рис. 5. Расчет двойного лучепреломления переднего отрезка глазного яблока:
a — без макулярной патологии (область для расчета обозначена красной окружностью);
б — с патологией (область для расчета обозначена красным квадратом)

В GDx VCC используются оба метода расчета преломления в переднем сегменте. По умолчанию используется первый метод, его следует применять в нормальных условиях. При макулярных патологиях или в случае неопределенной макулярной структуры «галстука-бабочки» следует использовать альтернативный метод.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СКАНИРУЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ПОЛЯРИМЕТРИИ

Для быстрого и эффективного анализа получаемых при сканировании СНВС результатов необходима нормативная база данных. В нормативной базе данных содержатся значения толщины СНВС в перипапиллярной зоне у пациентов без патологии сетчатки и зрительного нерва, а также у пациентов с глаукомой.

Базы данных важны для любой диагностики, так как сравнивают полученный результат с диапазоном нормы, на основании чего можно сделать вывод о попадании результата в этот диапазон. При этом база данных должна быть характерной для нормального распределения. Этого можно достичь только рассмотрением большого количества случаев с одинаковыми критериями включения (например, возраст или раса), пропорционально их распределению. GDx VCC имеет самую большую базу данных из всех подобных устройств, с включением характерной пропорции меньшинств. Анализ СНВС на основе сравнения с базой данных позволяет точно обнаруживать потери СНВС, обусловленные заболеванием.

Сравнение полученных данных пациентов выполняется с данными из нормативной базы с учетом возраста. Подсчитано, что потери ганглионарных клеток здоровых глаз составляют около 5000 клеток в год, поэтому такое сравнение является важным аспектом анализа.

КЛИНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В нормативную базу данных, которой располагает GDx VCC, включены результаты исследования здоровых глаз и глаз пациентов с ГОН. Данные пациентов с глаукомой использовались для создания ИНВ-классификатора для обнаружения и распознавания структур с глобальными потерями СНВС. Результаты исследования пациентов с ГОН использовались для определения, какие из параметров являются лучшими дискриминаторами, отделяющими их от нормы. Эти данные также выявляют, как СНВС и параметры изменяются в зависимости от тяжести заболевания.

Для оценки СНВС используются пять ключевых компонентов отчета (рис. 6): изображение глазного дна, схема толщины, схема отклонений, график ВВННВ и таблица параметров

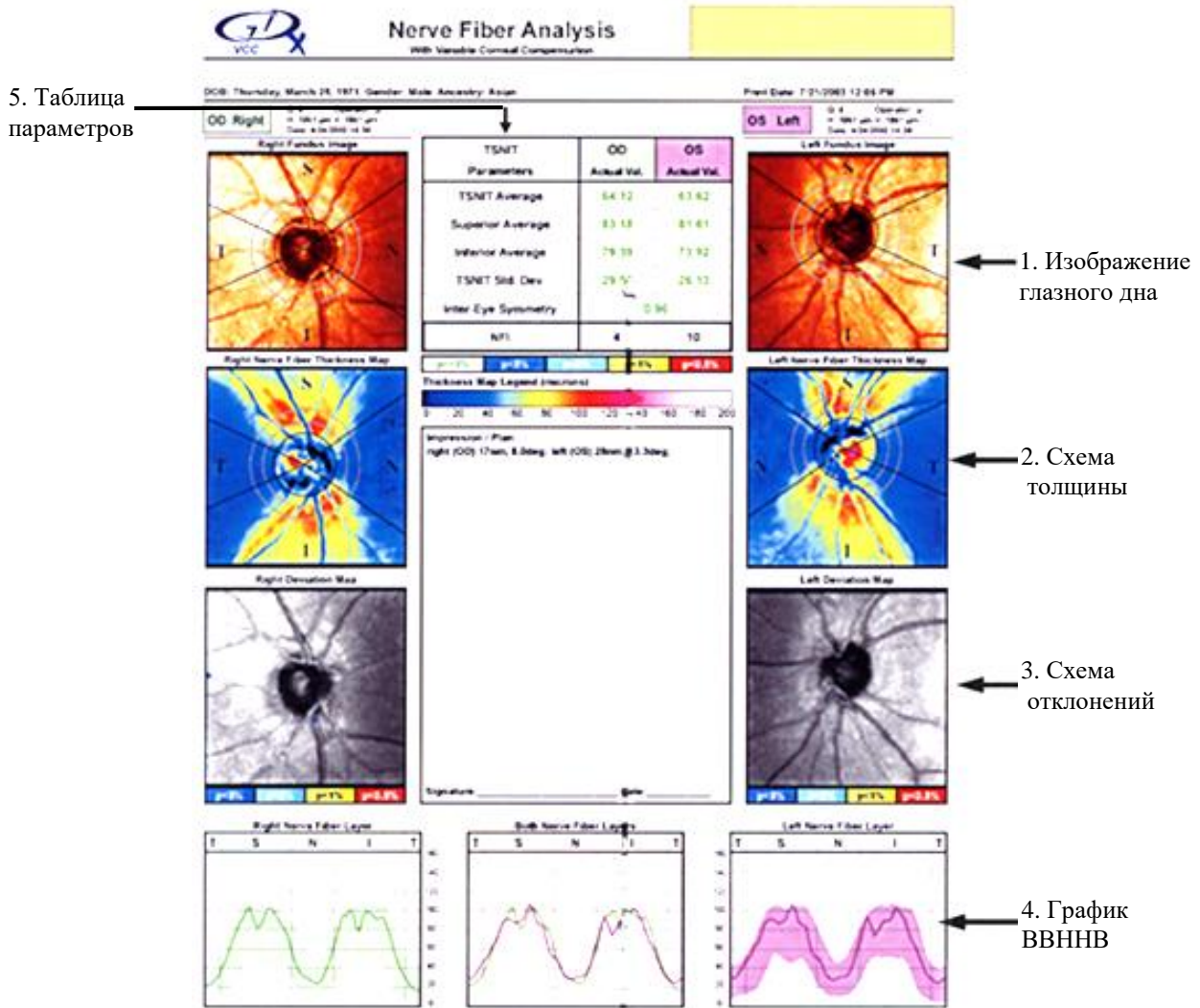


Рис. 6. Печатный отчет результатов сканирующей лазерной поляриметрии для GDx VCC (норма)

Остановимся подробно на каждом из них.

Изображение глазного дна необходимо для оценки качества полученного изображения. По нему оценивают корректность фокусировки, равномерность освещения, центровку ДЗН, корректность расположения эллипса вокруг ДЗН (рис. 7).

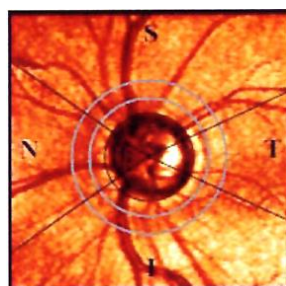


Рис. 7. Изображение глазного дна (высокого качества, хорошо сфокусировано, на нем отчетливо видны равномерно освещенные кровеносные сосуды, диск зрительного нерва корректно центрован)

Схема толщины. На этой схеме толщина СНВС представлена в цветовом формате. Используется шкала от синего до красного цвета в соответствии с увеличением толщины (рис. 8). Толстые участки обозначаются желтым, оранжевым и красным цветом, тонкие участки — темно-синим, светло-синим и зеленым цветом.



Рис. 8. Цветовая шкала для измерения толщины СНВС

В здоровых глазах верхняя и нижняя области, представляющие толстые участки СНВС, окрашены в желтые и красные цвета, носовая и височная области, представляющие тонкие участки, окрашены в синие и зеленые цвета (рис. 9, а). При оптиконеуропатиях, в частности ГОН, наблюдаются выраженные потери СНВС в верхнем и нижнем отделах, что приводит к более равномерной синей окраске, при этом нередко верхние и нижние сегменты имеют такую же толщину (окраску), как темпоральные и назальные отделы (рис. 9, б).

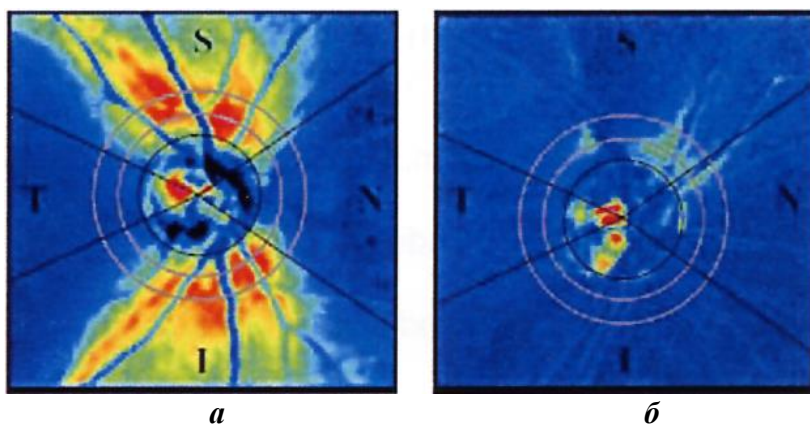


Рис. 9. Схема толщины:
а — здоровый глаз; б — глаз с глаукомой

Схема отклонений (рис. 10) показывает наличие дефектов СНВС, их локализацию и степень выраженности для схемы толщины СНВС.

Для каждой сканограммы толщина СНВС на каждом суперпикселе сравнивается с нормативной базой данных, при этом пиксели, не попадающие в нормальный диапазон, окрашиваются соответственно вероятности нормы. Темно-синие квадраты представляют участки, на которых толщина СНВС ниже 5-го перцентиля нормативной базы данных. Это означает, что вероятность попадания данного участка в нормальный диапазон составляет только 5 %. Светло-синие квадраты представляют отклонение ниже 2%-ного уровня, желтые квадраты — отклонение ниже 1%-ного уровня, красные квадраты — отклонение ниже 0,5%-ного уровня. В качестве фона используется черно-белое изображение глазного дна, на которое наносятся цветные квадраты в соответствии с имеющимися нарушениями.

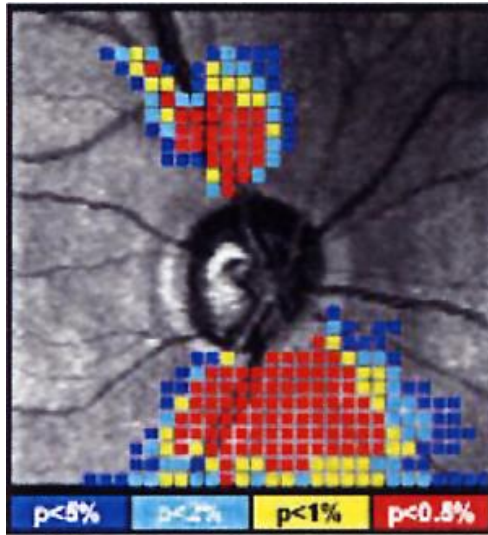


Рис. 10. Схема отклонений

График ВВННВ располагается в нижней части печатного отчета. На график наносятся значения толщины СНВС вдоль расчетной окружности, начиная с височной области и перемещаясь от нее по верхней, носовой, нижней и, наконец, возвращаясь вновь к височной области. Для здорового глаза график ВВННВ имеет типичный «двойной горб», с расположением толстых участков СНВС в верхней и нижней области и тонких участков СНВС — в носовой и височной области (рис. 11).

При наличии потерь СНВС график ВВННВ не попадает в этот диапазон, особенно в верхней и нижней области. В отчет выводится график для каждого глаза (рис. 11 а, в), а также сравниваются графики правого и левого глаза на предмет их асимметрии (рис. 11, б).

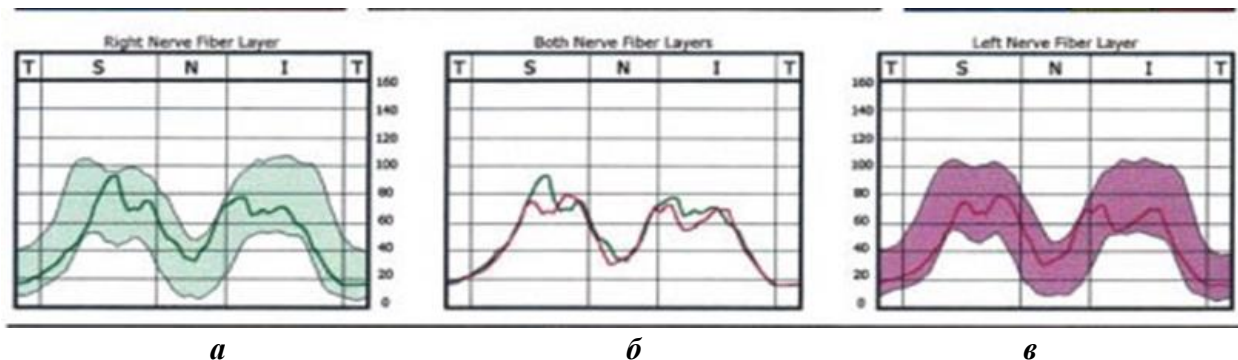


Рис. 11. Графики ВВННВ для здоровых глаз (заштрихованная область показывает нормальный диапазон (95 %) для данного возраста)

При ГОН один глаз часто имеет большие потери СНВС, чем второй глаз, поэтому графики перекрываются в меньшей степени. Отклонение графика одного глаза от графика второго глаза показывает потерю СНВС (рис. 12).

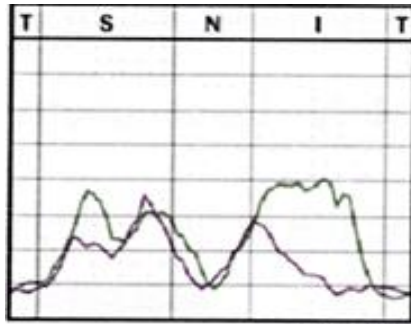


Рис. 12. График ВВННВ для глаз пациента с глаукомой

Таблица параметров. Параметры выводятся в виде таблицы в центре печатного отчета (рис. 13). Рассматриваются шесть параметров: среднее ВВННВ, среднее верхней области, среднее нижней области, стандартное отклонение ВВННВ, межглазная симметрия, индикатор нервных волокон (ИНВ). Значения параметров, кроме ИНВ, печатаются зеленым цветом, если они попадают в нормальный диапазон. Патологические значения имеют цвет, соответствующий вероятности, подобно суперпикселям на схеме отклонений. Патологические значения ИНВ не имеют цветовой кодировки.

TSNIT Parameters		OD Actual Val.	OS Actual Val.
Среднее ВВННВ	TSNIT Average	64,13	63,62
Среднее верхней области	Superior Average	83,24	81,61
Среднее нижней области	Inferior Average	79,37	73,95
Стандартное отклонение ВВННВ	TSNIT Std. Dev.	29,54	26,13
Межглазная симметрия	Inter-Eye Symmetry	0,96	
ИНВ	NFI	4	10

Рис. 13. Таблица параметров здорового пациента

Параметры ВВННВ определяются по значениям толщины СНВС вдоль расчетной окружности. Эти параметры автоматически сравниваются с нормативной базой данных, при этом определяется вероятность их соответствия норме. Цветовая кодировка значений вероятности совпадает с кодировкой схемы отклонения: темно-синий цвет представляет 5%-ную вероятность соответствия норме, светло-синий цвет представляет 2%-ную вероятность, желтый цвет — 1%-ную вероятность и красный цвет — 0,5%-ную вероятность. Красный цвет соответствует более серьезному дефекту СНВС.

Расчетная окружность представляет собой пояс фиксированного размера с центром на диске зрительного нерва. Пояс имеет ширину 0,4 мм, внешний диаметр 3,2 мм и внутренний диаметр 2,4 мм. В печатном отчете этот пояс накладывается на изображение глазного дна и на схему толщины (рис. 14).

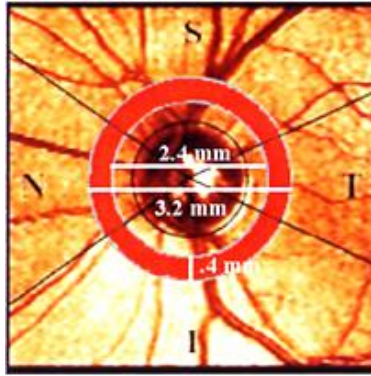


Рис. 14. Расчетная окружность

Остановимся подробнее на каждом из шести рассматриваемых параметров.

Среднее ВВННВ (TSNIT Average) — это средняя толщина СНВС вдоль всей расчетной окружности (рис. 14).

Среднее верхней области (Superior Average) — средняя толщина СНВС в верхней 120°-ной области расчетной окружности (рис. 15).

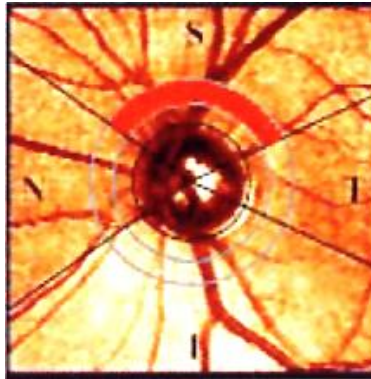


Рис. 15. Верхняя 120°-ная область расчетной окружности

Среднее нижней области (Inferior Average) — средняя толщина СНВС в нижней 120°-ной области расчетной окружности (рис. 16).

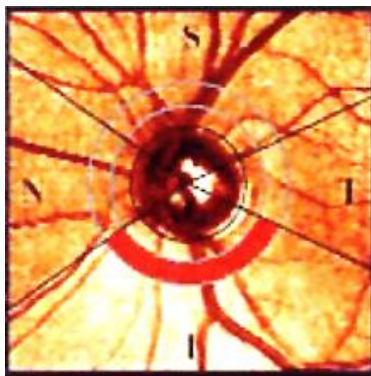


Рис. 16. Нижняя 120°-ная область расчетной окружности

Стандартное отклонение ВВННВ (TSNIT Std. Dev.) — параметр определения модуляции (разница пика и впадины) графика с двойным горбом. График здорового глаза имеет высокую модуляцию (рис. 17, а), глаз с ГОН имеет потери СНВС в верхней и нижней области, приводящие к снижению модуляции и стандартного отклонения ВВННВ (рис. 17, б). Высокой модуляции соответствует большое значение стандартного отклонения ВВННВ, низкой — маленькое значение стандартного отклонения ВВННВ.

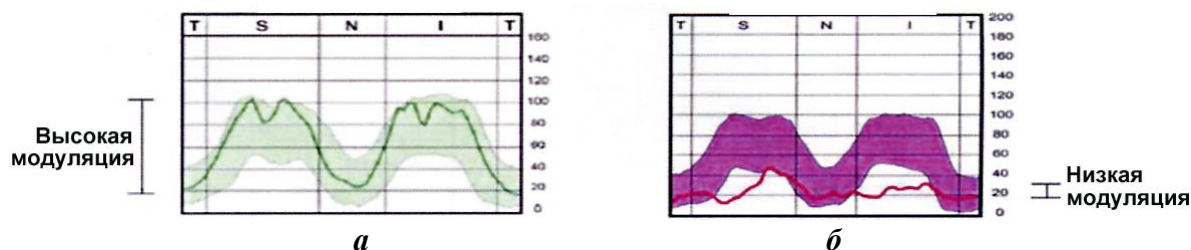


Рис. 17. Стандартные отклонения ВВННВ:
а — норма; б — глаукома

Межглазная симметрия (Inter-Eye Symmetry) — измеряет степень симметрии между правым и левым глазом соотношением функций ВВННВ для двух глаз. Степень симметрии изменяется от -1 до 1 ; значения, близкие к 1 , означают хорошую симметрию. Здоровые глаза имеют хорошую симметрию около $0,9$ (рис. 18, а). При ГОН симметрия между глазами снижается (рис. 18, б). Этот параметр очень полезен, так как при ГОН изменения одного глаза часто отличаются от изменений парного глаза. Для измерения используется коэффициент корреляции (r), получаемый при соотношении графиков ВВННВ для двух глаз.

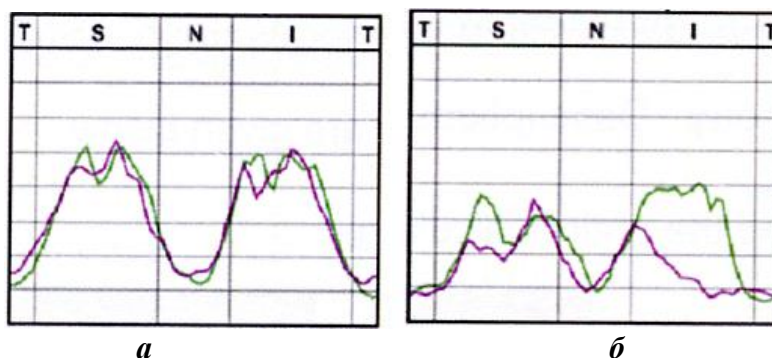


Рис. 18. Межглазная симметрия:
а — норма; б — глаукома

Индикатор нервных волокон (ИНВ, NFI) — параметр, измеряемый по всей схеме СНВС. Он рассчитывается с помощью нейронной сети, называемой вспомогательной векторной машиной. Для его выведения использовалась большая репрезентативная группа здоровых и глаукоматозных глаз. ИНВ анализирует всю информацию схемы СНВС для оптимизации распо-

знавания нормы и ГОН. ИНВ имеет диапазон изменения 1–100 и показывает целостность СНВС. ИНВ не имеет цветовой кодировки, но имеет абсолютную шкалу:

- 1–30 — норма;
- 31–50 — граница;
- 51+ — патология.

Клинические исследования показали, что ИНВ является лучшим параметром дифференциации нормы и патологии. Была отмечена очень высокая чувствительность и специфичность ИНВ — соответственно 89 и 98 %.

ПРИМЕРЫ ПЕЧАТНОГО ОТЧЕТА ДЛЯ ГЛАЗ С ГЛАУКОМНОЙ ОПТИКОНЕЙРОПАТИЕЙ

Рассмотрим результаты СЛП у пациента с начальными периметрическими потерями (рис. 19).



Рис. 19. Поля зрения с верхней дугообразной скотомой обоих глаз

На рис. 20 представлен печатный отчет СЛП того же пациента. Рассмотрим его результаты:

1. *Изображение глазного дна* корректно сфокусировано и центровано, равномерно освещено ($Q = 8$).

2. На *схеме толщины* наблюдается истончение СНВС верхней области в левом глазу и клиновидные дефекты нижней области в обоих глазах.

3. На *схеме отклонений* виден обширный участок потерь СНВС в верхней области в левом глазу, клиновидные дефекты в нижней области в обоих глазах

4. *График ВВННВ* выходит за пределы заштрихованной зоны в нижней области в обоих глазах, ниже предела заштрихованной зоны в верхней области в левом глазу. Выявляется плохая симметрия.

5. В *таблице параметров* за пределами нормы: среднее ВВННВ и среднее нижней области в обоих глазах, среднее верхней области и стандартное отклонение ВВННВ в левом глазу, а также степень межглазной асимметрии обоих глаз и ИНВ левого глаза.

5. Таблица параметров

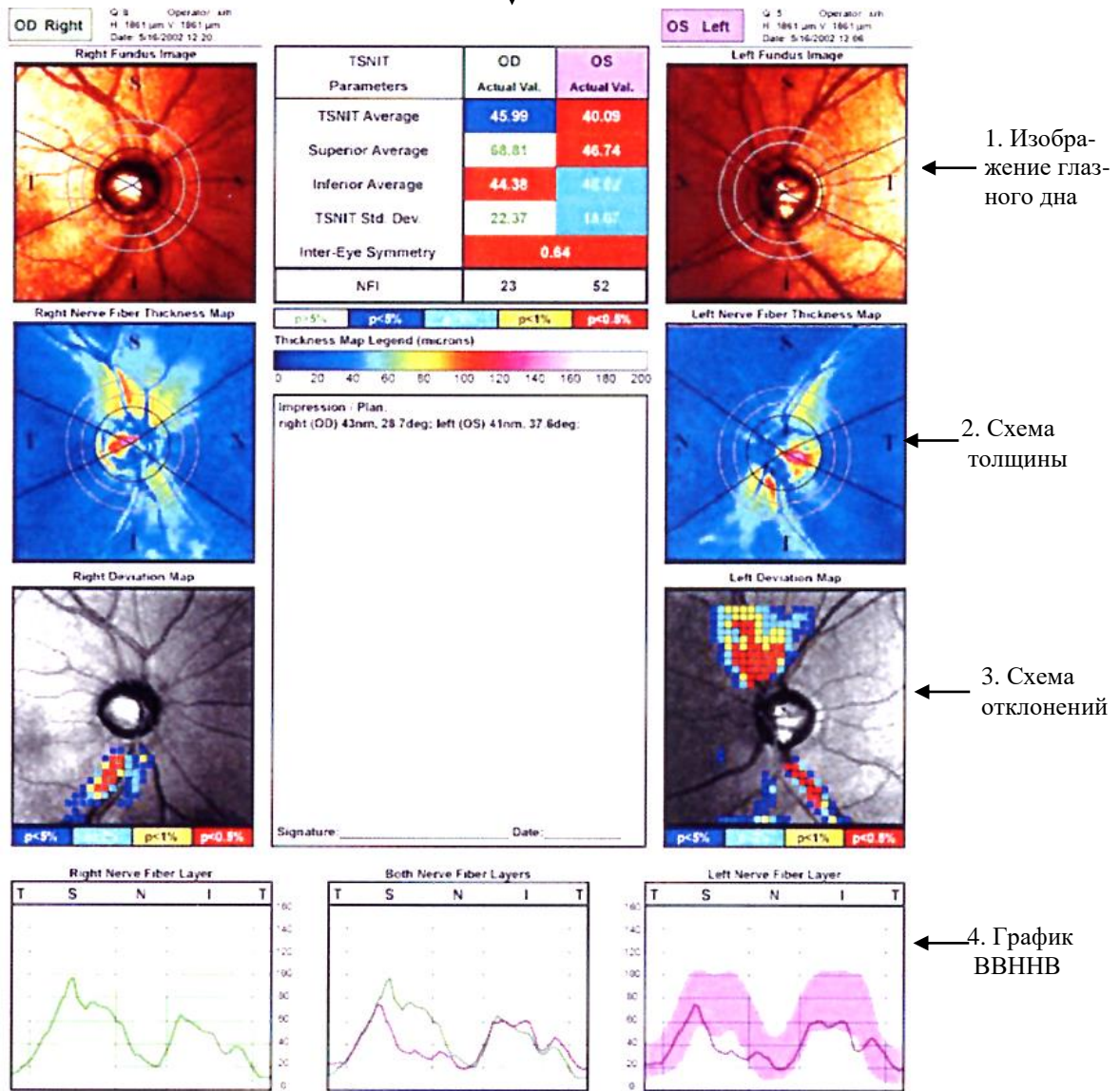


Рис. 20. Печатный отчет СЛП у пациента с глаукомной оптиконеуропатией и начальными периметрическими потерями

Следующий пример демонстрирует результаты СЛП у пациента с выраженными периметрическими потерями (рис. 21).



Рис. 21. Поля зрения с выраженными периметрическими потерями в верхней области правого и левого глаза и в нижней области левого глаза

На рис. 22 представлен печатный отчет СЛП того же пациента. Рассмотрим его результаты:

1. Изображение глазного дна корректно сфокусировано и центровано, равномерно освещено ($Q = 8$).

2. На схеме толщины выявляется выраженное истончение СНВС верхней и нижней области в обоих глазах.

3. На схеме отклонений наблюдается обширный участок потерь СНВС в верхней и нижней области в обоих глазах с $p < 0,5 \%$.

4. График ВВННВ выходит за пределы заштрихованной зоны в верхней и нижней области в обоих глазах. Выявляется плохая симметрия.

5. В таблице параметров все параметры обоих глаз за пределами нормы, а ИНВ существенно превышает значение 50 по абсолютной шкале.

5. Таблица параметров

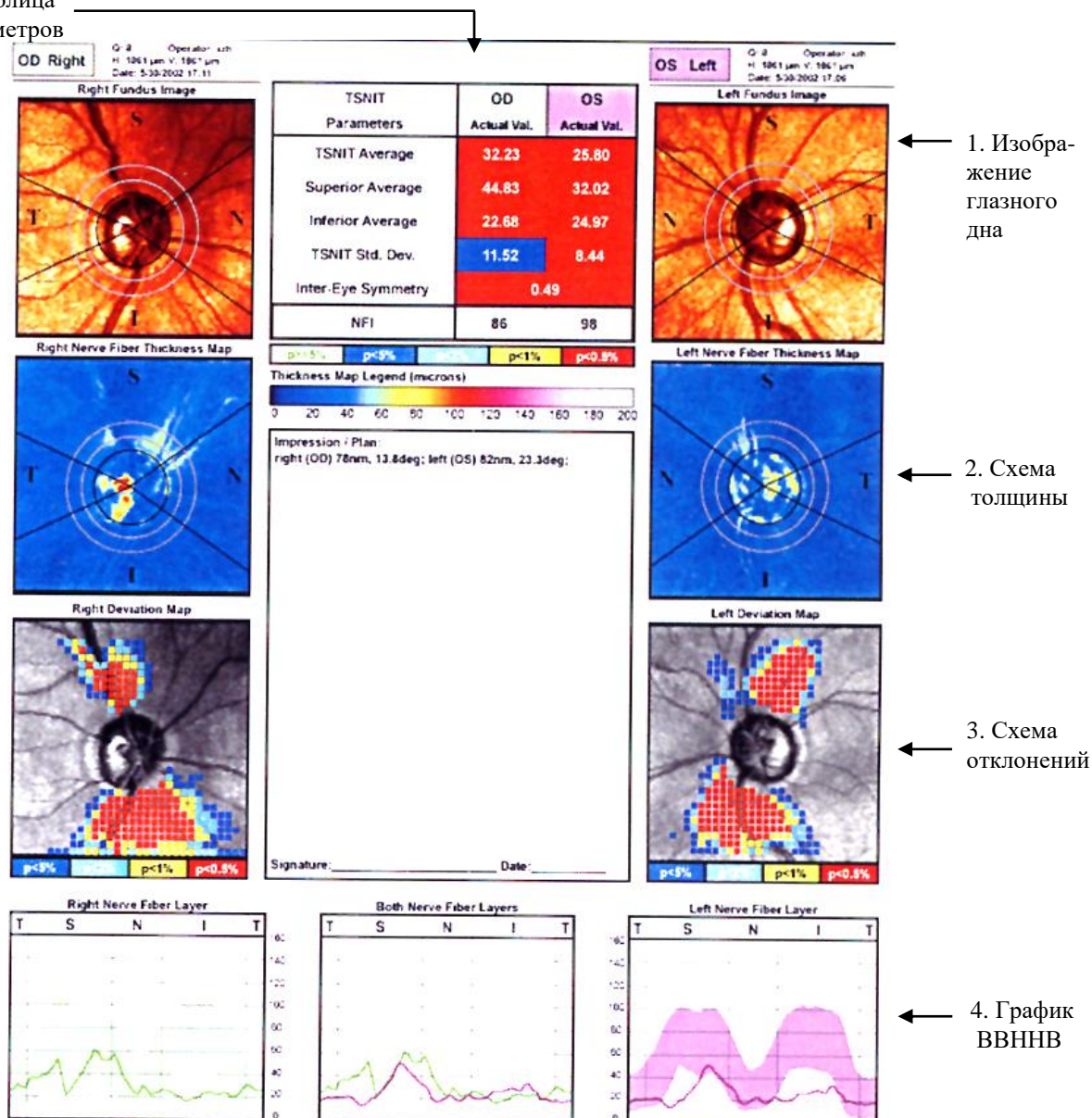


Рис. 22. Печатный отчет СЛП у пациента с глаукомной оптиконейропатией и выраженными периметрическими потерями

Таким образом, СЛП и ее наиболее удачное на данный момент техническое воплощение — GDx VCC являются инструментом диагностики и мониторинга ГОН с разработанными важными диагностическими критериями. Остаются менее изученными оптиконейропатии другого генеза, не имеющие встроенной в GDx VCC нормативной базы данных. Нет четко отработанных критериев показателей ИНВ у пациентов с оптиконейропатиями, встречающимися в молодом возрасте, например, у пациентов с рассеянным склерозом, с невритами зрительного нерва, застойными дисками зрительного нерва. Особенно интересными представляются исследования пациентов с отеком зрительного нерва, когда «отечная» составляющая не должна оказывать влияния на свойство двойного лучепреломления аксонов ганглионарных клеток сетчатки и, соответственно, результаты исследования, а их дегенеративные изменения, напротив, могут менять свойство двойного лучепреломления аксонов еще до выявления истончения СНВС.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ И СКАНИРУЮЩЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ПОЛЯРИМЕТРИИ ПРИ ОПТИКОНЕЙРОПАТИЯХ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗА

На кафедре глазных болезней УО «Белорусский государственный медицинский университет» изучены характерные особенности изменения СНВС при оптиконейропатиях различного генеза. При проведении сравнительного анализа показателей толщины СНВС у пациентов с дегенеративными формами оптиконейропатий (глаукомная и оптиконейропатия при рассеянном склерозе) по данным ОКТ и СЛП было выявлено, что эти показатели достоверно различались во всех исследуемых группах (пациенты с глаукомой, рассеянным склерозом и здоровые лица контрольной группы). Мы объяснили это двумя причинами: 1) разными физическими принципами работы данных диагностических систем: ОКТ измеряет поперечные срезы сетчатки на микроскопическом уровне, полученные с использованием света ближнего инфракрасного диапазона; СЛП измеряет задержку составляющих поляризованного света при его прохождении сквозь перипапиллярный СНВС; 2) измерение толщины СНВС проводится на разном расстоянии от ДЗН: при ОКТ — по краю круга диаметром 3,4 мм, центр которого совпадает с центром ДЗН (рис. 23, а), при СЛП — в расчетной окружности вокруг ДЗН, шириной 0,4 мм, внешним диаметром 3,2 мм, внутренним диаметром 2,4 мм (рис. 23, б).

Есть доказательства изменения (ослабления) двойного лучепреломления аксонов ганглионарных клеток сетчатки в начальной стадии дегенеративного процесса еще до их истончения. Таким образом, эффективность диагностики дегенеративных оптиконейропатий значительно выше при совместном применении методов СЛП и ОКТ, чем при использовании какого-либо одного из них.

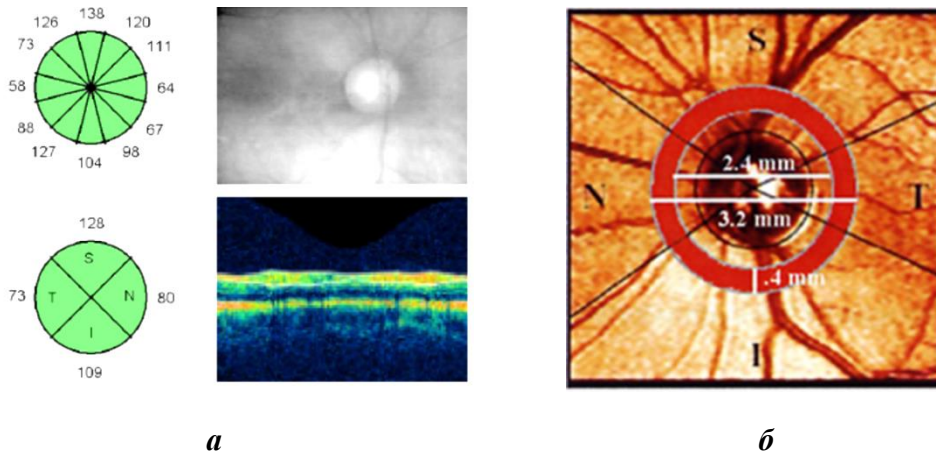


Рис. 23. Протоколы оптической когерентной томографии (а) и сканирующей лазерной поляриметрии (б)

Выявлена статистически значимая прямая сильная корреляционная связь между параметрами толщины СНВС, по данным ОКТ и СЛП, у пациентов с I и II стадией первичной открытоугольной глаукомы, у пациентов с рассеянным склерозом и у лиц контрольной группы (здоровые люди). По мере прогрессирования ГОН данная корреляция «терялась», и у пациентов с III стадией первичной открытоугольной глаукомы значимой корреляционной связи по исследуемым параметрам не установлено. По-видимому, в этой стадии дегенеративные изменения в СНВС выражены столь сильно, что, наряду с его значительным истончением, теряется и корреляционная связь показателей толщины СНВС по данным ОКТ и СЛП (рис. 24).

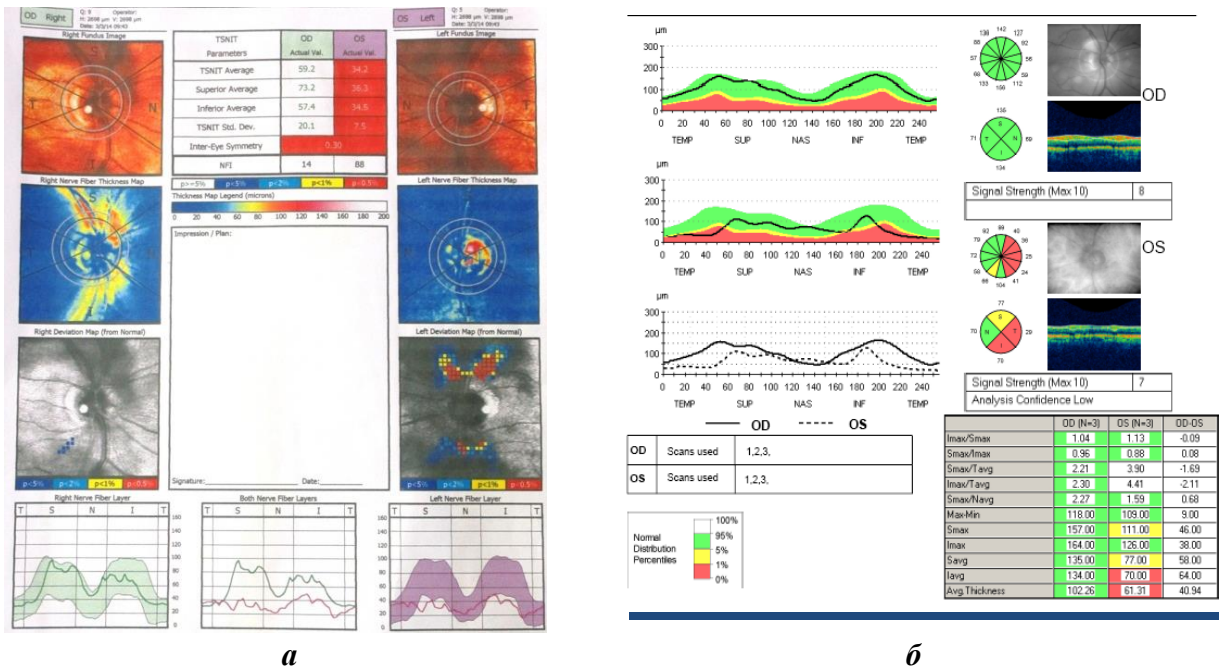


Рис. 24. Показатели толщины СНВС у пациентов с I (OD) и III (OS) стадией первичной открытоугольной глаукомы:

а — данные сканирующей лазерной поляриметрии; б — данные оптической когерентной томографии

Вода не обладает свойством двойного лучепреломления, поэтому следует ожидать разницу в показателях ОКТ и СЛП при отечных формах оптико-нейропатий. Мы изучали разницу, взаимосвязь и особенности в показателях толщины СНВС по данным СЛП и ОКТ при патологии ДЗН, сопровождающейся его отеком. Исследовались пациенты с ретробульбарным невритом (причем как без отека ДЗН, так и с развившимся папиллитом), с застойными ДЗН, с невритами зрительного нерва инфекционной этиологии и с неартериитной передней ишемической оптической нейропатией.

У пациентов с отеком ДЗН выраженное утолщение СНВС, по данным ОКТ, не сопровождалось значимым утолщением СНВС, по данным СЛП (что свидетельствует о независимости свойства двойного лучепреломления аксонов от их отека), а в ряде случаев утолщение СНВС, по данным ОКТ, сочеталось с истончением СНВС, по данным СЛП, из чего следовало, что отек ДЗН сопровождается дезорганизацией микротубул и нейрофиламентов, ведущей к снижению двойного лучепреломления аксонов (рис. 25, 26, 27).

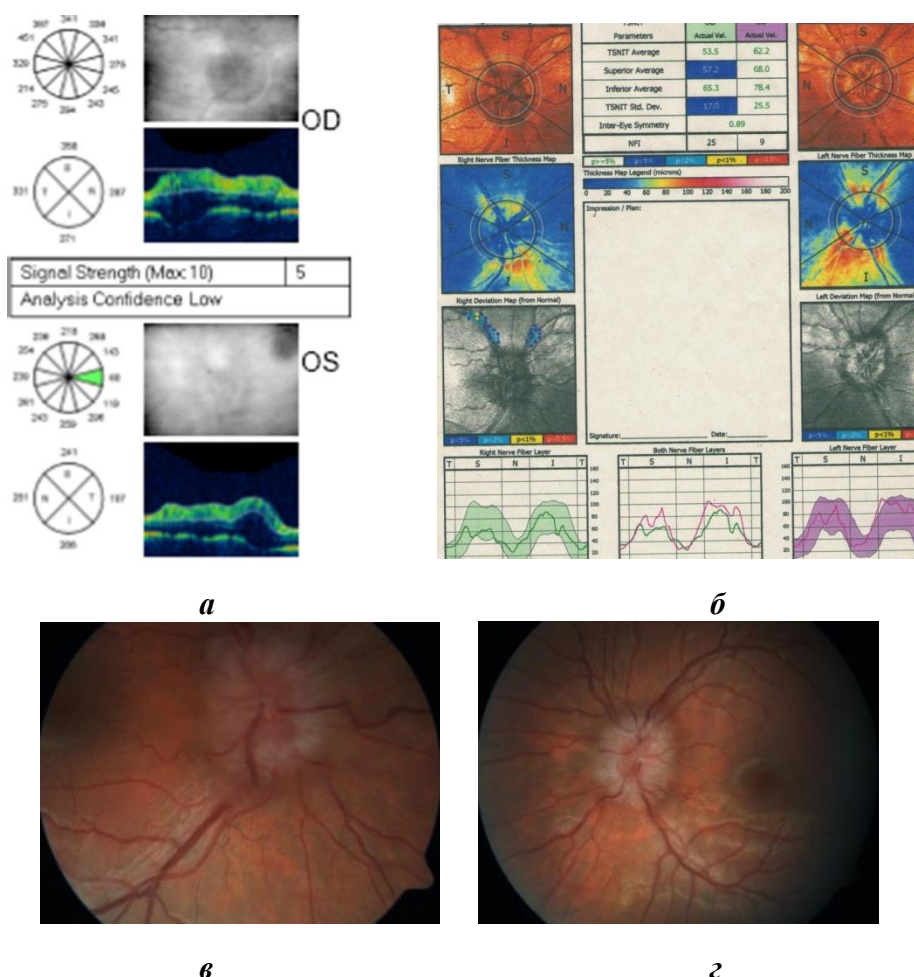


Рис. 25. Данные оптической когерентной томографии (а), сканирующей лазерной поляриметрии (б) и фоторегистрации глазного дна (в, г) у пациента с застойными дисками зрительного нерва

Значительное утолщение СНВС, по данным ОКТ, с достоверным его истончением, по данным СЛП, свидетельствует о ранней аксональной дегенерации и требует соответствующей коррекции проводимой терапии.

Таким образом, совместное использование ОКТ и СЛП у пациентов с отеком ДЗН дает возможность выявить наличие и степень как отека аксонов ганглионарных клеток сетчатки (ОКТ), так и их дегенерации (СЛП).

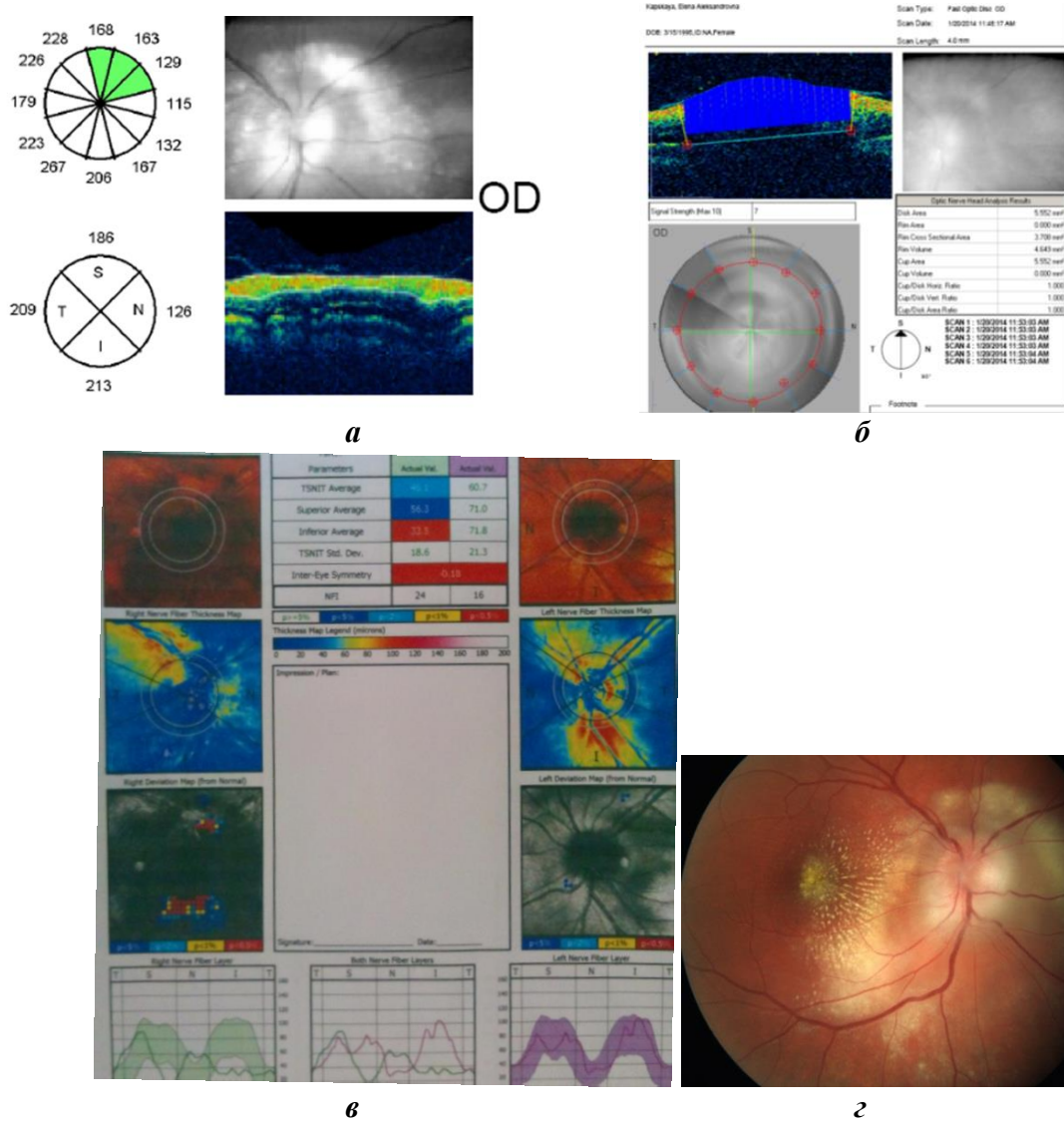
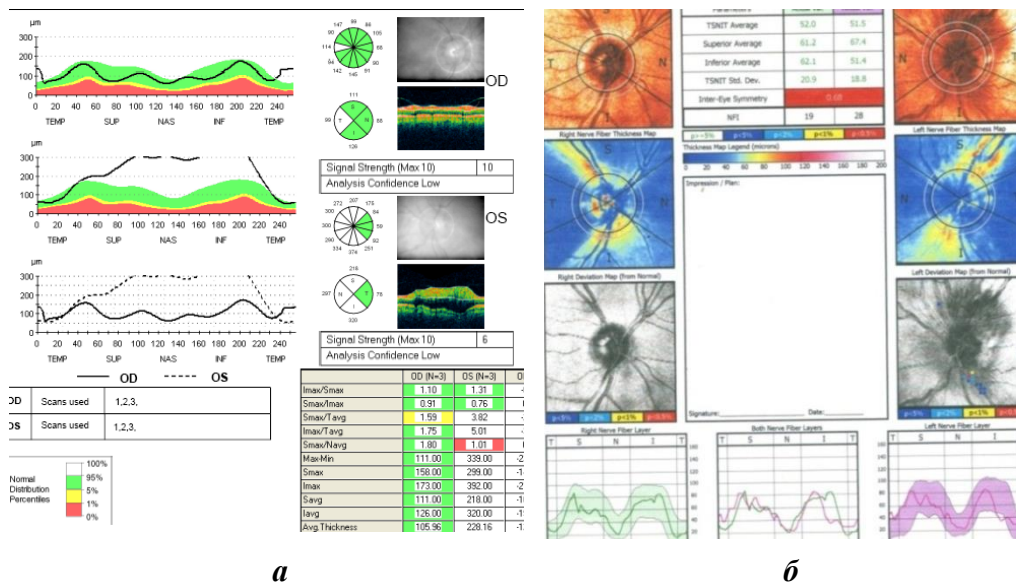


Рис. 26. Данные оптической когерентной томографии (а, б), сканирующей лазерной поляриметрии (в) и фоторегистрации глазного дна (з) у пациента с инфекционным невритом зрительного нерва



a

b



c

Рис. 27. Данные оптической когерентной томографии (*a*), сканирующей лазерной поляриметрии (*b*) и фоторегистрации глазного дна (*c*) у пациента с передней ишемической оптиконейропатией

САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

1. Что такое двойное лучепреломление?
2. Каков механизм измерения толщины СНВС при использовании сканирующей лазерной поляриметрии?
3. Почему GDx VCC является технологическим прорывом в СЛП по сравнению с ее более ранними версиями?
4. Почему двойное лучепреломление в макулярной области однородно и симметрично?
5. Какие данные содержатся в нормативной базе данных СЛП?
6. Какие ключевые компоненты отчета используются для оценки СНВС?
7. Что означает параметр ИНВ? Каково его практическое использование?
8. Если у пациента по данным ОКТ выявлено значительное утолщение СНВС во всех сегментах, а по данным СЛП (GDxVCC) толщина СНВС соответствует нормативной базе данных, то о чем это свидетельствует?

9. Если у пациента по данным ОКТ выявлено значительное утолщение СНВС во всех сегментах, а по данным СЛП (GDxVCC) определено истончение СНВС по сравнению с нормативной базой данных, то какой вывод мы можем сделать?

10. Как можно теоретически обосновать необходимость совместного использования СЛП и ОКТ для ранней диагностики дегенеративных оптиконейропатий?

ОТВЕТЫ

1. Двойное лучепреломление — это эффект расщепления световой волны на две поляризованных части, расположенных перпендикулярно друг другу. Эти части движутся с разными скоростями, в результате чего создается относительный сдвиг по фазе, который называется задержкой.

2. Величина сдвига по фазе, или задержки, пропорциональна толщине СНВС. Величина задержки определяется детектором (в нанометрах) и преобразуется в толщину (в микронах) с коэффициентом 0,67 нм/мкм.

3. GDx VCC является технологическим прорывом в СЛП благодаря возможности индивидуальной компенсации преломления в переднем сегменте. Двойное лучепреломление в переднем сегменте характеризуют ось преломления и величина задержки. Если эти параметры известны, лучепреломление в переднем сегменте может быть точно компенсировано. Ранние сканирующие поляриметры (например, GDx NFA и GDx Access) использовали для компенсации преломления в переднем сегменте фиксированные значения оси и амплитуды, выведенные для усредненного глаза.

4. Двойное лучепреломление однородно и симметрично благодаря радиальному распределению слоя волокон Henle. Он состоит из параллельных фоторецепторных нейронных отростков, расположенных радиально в центре макулы, горизонтально к поверхности сетчатки.

5. В нормативной базе данных содержатся нормативные значения толщины СНВС в перипапиллярной зоне у пациентов без патологии сетчатки и зрительного нерва, а также пациентов с глаукомой.

6. Для оценки СНВС используются пять ключевых компонентов отчета: схема толщины, изображение глазного дна, схема отклонений, график ВВННВ и таблица параметров.

7. ИНВ — это параметр, измеряемый по всей схеме СНВС. Он рассчитывается с помощью нейронной сети, называемой вспомогательной векторной машиной. Для его выведения использовалась большая репрезентативная группа здоровых и глаукомных глаз, он использует всю информацию схемы СНВС. ИНВ имеет диапазон изменения 1–100:

- 1–30 — норма;
- 31–50 — граница;
- 51+ — патология.

8. Это указывает на наличие у пациента отека СНВС без выраженной аксональной дегенерации.

9. Это говорит о наличии у пациента отека СНВС с наличием аксональной дегенерации. Такой пациент наряду с лечением отека зрительного нерва нуждается в интенсивной нейропротекторной терапии.

10. ОКТ должна быть использована для диагностики дегенеративных оптиконейропатий, так доказана ее наибольшая чувствительность и специфичность при выявлении истончения СНВС. С другой стороны, есть доказательства изменения (ослабления) двойного лучепреломления аксонов ганглионарных клеток сетчатки в начальной стадии дегенеративного процесса, выявляемые при применении СЛП, еще до их истончения. Следовательно, эффективность диагностики дегенеративных оптиконейропатий при совместном использовании методов СЛП и ОКТ выше, чем какого-либо одного из них.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куроедов, А. В. Компьютерная ретинотомография (HRT) : диагностика, динамика, достоверность / А. В. Куроедов, В. В. Городничий. Москва : Столичный бизнес Дом печати. 2007. 231 с.

2. Zangwill, L. Retinal nerve fiber layer analysis in the diagnosis of glaucoma / L. Zangwill, C. Bowd // Curr. Opin. Ophthalmol. 2006. N 17. P. 120–131.

3. Comparison of the GDx VCC scanning laser polarimeter, HRT II confocal scanning laser ophthalmoscope, and stratus OCT optical coherence tomograph for the detection of glaucoma / F. A. Medeiros [et al.] // Arch. Ophthalmol. 2004. Vol. 6, N 17. P. 827–837.

4. Scanning laser polarimetry reveals status of RNFL integrity in eyes with optic nerve head swelling by OCT / M. J. Kupersmith [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 2012. Vol. 653, N 4. P. 1962–1970.

5. Tso, M. Electron microscopic study of human papilledema / M. Tso, B. Fine. Am. J. Ophthalmol. 1976. N 82. P. 424–434.

6. Hayreh, S. Pathogenesis of optic disc oedema in raised intracranial pressure / S. Hayreh // Trans Ophthalmol. Soc. UK. 1976. N 96. P. 404–407.

7. Hayreh, S. / Evolution and early diagnosis of optic disc oedema in raised intracranial pressure / S. Hayreh // Trans. Ophthalmol. Soc UK. 1976. N 96. P. 408–411.

8. Анализ СНВС на GDxVCC [Электронный ресурс] : клиническое руководство, Laser Diagnostic Tehnologies, Inc. 10864, Thormint Rd. San Diego CA 92127-2402. Режим доступа : www.laserdiagnostic.com. Дата доступа : 7.04.2017.

Оглавление

Список сокращений	3
Мотивационная характеристика темы.....	3
Инструментальные системы для диагностики оптиконеуропатий	4
Диагностика оптиконеуропатий различного генеза.....	5
Механизм сканирующей лазерной поляриметрии	6
Анализ результатов сканирующей лазерной поляриметрии.....	10
Клиническая интерпретация результатов исследования	10
Примеры печатного отчета для глаз с глаукомной оптиконеуропатией.....	17
Сравнительная характеристика оптической когерентной томографии и сканирующей лазерной поляриметрии при оптиконеуропатиях различного генеза	20
Самоконтроль усвоения темы.....	24
Ответы.....	25
Список использованной литературы	26

Учебное издание

Качан Татьяна Владимировна
Марченко Людмила Николаевна
Далидович Анастасия Александровна
Усман Абубакар Боссо

СКАНИРУЮЩАЯ ЛАЗЕРНАЯ ПОЛЯРИМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ОПТИКОНЕЙРОПАТИЙ

Учебно-методическое пособие

Ответственная за выпуск Л. Н. Марченко
Редактор Ю. В. Киселёва
Компьютерная верстка А. В. Янушкевич

Подписано в печать 28.11.17. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Снегурочка».

Ризография. Гарнитура «Times».

Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,27. Тираж 40 экз. Заказ 769.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/187 от 18.02.2014.
Ул. Ленинградская, 6, 220006, Минск.