УДК 617.7-007.681-07

https://doi.org/10.53432/2078-4104-2024-23-2-95-106

Диагностические возможности современных приборов в оценке морфометрических изменений при глаукоме

Семенов Е.Д., ординатор; https://orcid.org/0009-0007-5416-2063

Витков А.А., младший научный сотрудник отдела глаукомы; https://orcid.org/0000-0001-7735-9650

Козлова И.В., к.м.н., ведущий научный сотрудник отдела глаукомы; https://orcid.org/0000-0003-3885-9649

Асиновскова И.И., ординатор. https://orcid.org/0000-0003-2893-0173

ФГБНУ «НИИГБ им. М.М. Краснова», 119021, Российская Федерация, Москва, ул. Россолимо, 11А.

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

Для цитирования: Семенов Е.Д., Витков А.А., Козлова И.В., Асиновскова И.И. Диагностические возможности современных приборов в оценке морфометрических изменений при глаукоме. *Национальный журнал глаукома*. 2024; 23(2):95-106.

Резюме

Первичная открытоугольная глаукома (ПОУГ) — хроническая оптическая нейропатия, характеризующаяся потерей ганглиозных клеток с развитием специфических изменений диска зрительного нерва (ДЗН). Выявление структурных глаукомных изменений необходимо как для верификации диагноза, так и для оценки эффективности гипотензивной терапии.

В настоящее время в клинической практике имеется ряд приборов, позволяющих провести объективный морфометрический анализ ДЗН: конфокальная лазерная сканирующая офтальмоскопия (гейдельберская ретинотомография, HRT), сканирующая лазерная поляриметрия (англ. scanning laser polarimetry, SLP, GDx) оптическая когерентная томография и оптическая когерентная томография с ангиографией.

Вышеупомянутые приборы обладают разными принципами исследования и отличаются диагностическими возможностями в обнаружении структурных изменений и выявлении их динамики.

В настоящее время методом выбора для диагностики и мониторинга структурных изменений при глаукоме является оптическая когерентная томография.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: глаукома, конфокальная сканирующая лазерная офтальмоскопия, сканирующая лазерная поляриметрия, оптическая когерентная томография, оптическая когерентная томография ангиография.

Для контактов:

Семенов Евгений Дмитриевич, e-mail: 208_semenoved@mail.ru

Статья поступила: 30.03.2023 Принята в печать: 17.04.2023 Article received: 30.03.2023 Accepted for printing: 17.04.2023

LITERATURE REVIEW

Diagnostic possibilities of modern devices for evaluation of morphometric changes in glaucoma

SEMENOV E.D., clinical resident; https://orcid.org/0009-0007-5416-2063

VITKOV A.A., Junior Researcher at the Glaucoma Department; https://orcid.org/0000-0001-7735-9650

KOZLOVA I.V., Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher at the Glaucoma Department; https://orcid.org/0000-0003-3885-9649

ASINOVSKOVA I.I., clinical resident. https://orcid.org/0000-0003-2893-0173

Krasnov Research Institute of Eye Diseases, 11A Rossolimo St., Moscow, Russian Federation, 119021.

Funding: the authors received no specific funding for this work. Conflicts of Interest: none declared.

For citations: Semenov E.D., Vitkov A.A., Kozlova I.V., Asinovskova I.I. Diagnostic possibilities of modern devices for evaluation of morphometric changes in glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2024; 23(2):95-106.

Abstract

Primary open-angle glaucoma (POAG) is a chronic optic neuropathy characterized by the loss of ganglion cells and the development of specific changes in the optic nerve head (ONH). Identification of structural glaucomatous changes is necessary both to verify the diagnosis and to determine the effectiveness of antihypertensive therapy.

Currently there are several devices used in clinical practice that allow for an objective morphometric analysis: confocal laser scanning ophthalmoscopy (Heidelberg reti-

лаукома является одной из причин необратимой слепоты в мире [1]. По оценкам исследователей, если в 2013 году общемировое число пациентов с глаукомой в возрасте старше 40 лет составляло 64,3 млн, то в 2020 году их число увеличилось до 76 млн. К 2040 году прогнозируется рост числа выявленных случаев глаукомы до 111,8 миллионов человек [2]. По данным федеральной статистики в Российской Федерации на начало 2022 года зарегистрировано 1 249 617 пациентов с глаукомой в возрасте старше 18 лет [3].

В последующие годы мы можем ожидать увеличение числа пациентов с верифицированным диагнозом глаукомы. Это может быть обусловлено увеличением доли пожилого населения, ограничениями в доступности офтальмологической помощи, существовавшими в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19, а также улучшением оснащенности офтальмологических кабинетов диагностическим оборудованием.

Данные структурно-функциональных методов обследования являются основными критериями диагностирования глаукомы [4–7]. Кроме того, динамический анализ структурных и функциональных нарушений используют для оценки степени стабилизации зрительных функций на фоне проводимой терапии. notomography, HRT), scanning laser polarimetry (SLP, GDx), optical coherence tomography (OCT) and optical coherence tomography angiography (OCTA).

These devices have different examination principles and differ in their diagnostic possibilities for detecting structural changes and identifying the trends in glaucoma patients.

KEYWORDS: glaucoma, confocal scanning laser ophthalmoscopy, scanning laser polarimetry, optical coherence tomography, optical coherence tomography angiography.

Прогрессирующая атрофия зрительного нерва является одной из причин появления характерных дефектов светочувствительности при глаукоме [8, 9]. Опубликовано больше число исследований, указывающих на высокую структурно-функциональную корреляцию изменений при этом заболевании [10]. Глаукома проявляется специфическим повреждением ганглиозных клеток сетчатки и их аксонов. Прогрессирующее истончение слоя нервных волокон сетчатки (СНВС) может приводить к изменению характера экскавации диска зрительного нерва (ДЗН), истончению нейроретинального пояска (НРП) с формированием краевого перегиба сосудов сетчатки и появлением кровоизлияний в ДЗН, а также сопровождаться перипапиллярной атрофией [11].

Морфометрические изменения можно выявлять и оценивать в динамике с помощью качественных и количественных показателей. Среди методик качественной оценки выделяют офтальмоскопический осмотр и фундус-фотографирование. К количественным методам оценки морфометрической структуры ДЗН и СНВС относят конфокальную лазерную сканирующую офтальмоскопию (гейдельберская ретинотомография, HRT), сканирующую лазерную поляриметрию (англ. scanning laser polarimetry, SLP, GDx) и оптическую когерентную томографию (OKT). Первоначально оценку изменений ДЗН при глаукоме проводят посредством офтальмоскопии. Технически простой метод проведения исследования имеет ряд недостатков. В первую очередь, это субъективное исследование, результаты офтальмоскопии зависят от опыта и квалификации врача. При проведении этого исследования в динамике сложно достоверно фиксировать глаукомные изменения и определить прогрессирование оптической нейропатии. С появлением первого метода прижизненного морфометрического анализа ДЗН — HRT — появилась возможность провести объективное и стандартизированное исследование.

HRT

Гейдельбергский ретинальный томограф представляет собой конфокальную сканирующую лазерную систему, предназначенную для съемки и анализа трехмерных изображений исследуемых участков глазного дна. В качестве источника света используется диодный лазер с длиной волны 675 нм. Размеры изображений, получаемых в ходе исследования — $15^{\circ} \times 15^{\circ}$, или 384×384 пикселя. Таким образом картина анализируется по 147 456 независимым значениям высоты рельефа сетчатки в абсолютных величинах.

Прибор анализирует следующие основные показатели ДЗН: площадь НРП, его объем, форму экскавации, соотношение линейных размеров экскавации и диска (Э/Д), вариабельность высоты сетчатки вдоль границы ДЗН и толщину СНВС.

Существует несколько поколений HRT. HRT 1-го поколения дает возможность провести сканирование в трех вариантах размера поля ($10^{\circ} \times 10^{\circ}$, $15^{\circ} \times 15^{\circ}$ или $20^{\circ} \times 20^{\circ}$) по центру зрительного нерва с разрешением 256×256 пикселей [12]. Точную фокусировку и глубину сканирования необходимо настраивать вручную.

HRT 2-го поколения обладает более высоким разрешением (384×384 пикселей) и анализирует область размером 15°×15° [12]. Фокусировка и глубина сканирования регулируются автоматически, что упрощает исследование и увеличивает воспроизводимость результатов.

Программное обеспечение прибора включает в себя регрессионный анализ Мурфилда (англ. Moorfields regression analysis, MRA) [13]. При проведении MRA ДЗН условно делится на 6 секторов, каждый из которых сравнивается с расово-возрастной нормативной базой. Далее формируется одно из трех возможных состояний каждого оцениваемого сектора: «в пределах нормального диапазона», «пограничный» и «вне нормального диапазона» [14]. Морфологически подтверждено, что площадь НРП связана с размерами ДЗН [15]. В связи с этим MRA использует логарифмическое преобразование этих данных для определения нормальных диапазонов. Ограничением НRТ является низкая чувствительность MRA у пациентов с размер ДЗН более 2,80 мм² или менее 1,20 мм² и у пациентов с аметропией высокой степени. В частности, Iester М. продемонстрировал, что чувствительность и специфичность HRT снижается при очень маленьких размерах ДЗН [16]. Косh Е.С. в своем исследовании утверждает, что диагностическая точность измерений HRT ограничена у пациентов с большими ДЗН и физиологической экскавацией [17].

В работах Healey P.R. и Zheng Y. было показано, что специфичность MRA недостаточна для использования в качестве скринингового теста на глаукому [18, 19]. Тем не менее, имеются исследования, которые демонстрируют потенциал HRT в качестве инструмента для ранней верификации диагноза [14, 20]. Например, Wollstein G. утверждает, что HRT выявляет начальную глаукому лучше, чем клиническая оценка стереоскопических фотографий ДЗН [20].

Последняя версия, HRT 3-го поколения, предлагает большую нормативную базу данных, а также более совершенную программу анализа — показатель вероятности глаукомы (англ. glaucoma probability score, GPS). Алгоритм расчёта этого показателя, в отличие от предыдущих, не зависит от места нанесения контурной линии. Методика базируется на сравнении данных обследуемого пациента и математических моделей. Значение GPS зависит от таких параметров, как ширина и глубина экскавации, угол наклона НРП, горизонтальная и вертикальная кривизна перипапиллярного СНВС (пСНВС). GPS указывает на вероятность, с которой обследуемый может быть отнесён к группе пациентов с начальной стадией глаукомы [21]. Это позволяет свести к минимуму элемент субъективности за счет автоматизации процесса.

Для оценки прогрессирования глаукомы в HRT 3-го поколения предусмотрены две программы: топографический кластерный анализ (англ. topographical change analysis, TCA) и векторный анализ (англ. progressive chart trend, PCT).

При векторном анализе томограф строит график, оценивающий динамические изменения морфометрических параметров ДЗН [22]. На изображение при первом обследовании наносят исходную контурную линию, которая автоматически переносится на каждое новое изображение. Абсолютные значения параметров при векторном анализе не указывают. Вместо этого используют усреднённые значения изменений базовых показателей. Усреднение производят для того, чтобы зафиксировать изменения всех параметров относительно базовых на одной шкале — от +1 (максимальное улучшение) до -1 (максимальное ухудшение).

Топографический кластерный анализ реализуется посредством программы «анализа топографических изменений» (ТСА). Это метод сравнения разрозненных участков изображения, называющихся суперпикселями. Разница локальных высот (в пикселях) двух изображений может быть вычислена без нанесения контурной линии и использования базисной плоскости простым вычитанием одного значения из другого. Все данные отображаются в виде карты вероятности изменений. Зона ДЗН, в которой при динамическом наблюдении снижается толщина СНВС, обозначается красным светом. Область с увеличением толщины СНВС окрашивается в зеленый цвет.

В литературе имеются противоречивые данные насчет чувствительности HRT при оценке прогрессирования глаукомного процесса. Согласно исследованию Danias J., анализ векторных параметров имеет низкую чувствительность и специфичность по сравнению с функциональными изменениями, выявляемыми на приборе Humphrey [23]. Сопоставимые результаты показал мониторинг стереометрических параметров ДЗН относительно анализа серии фотографий [24]. В свою очередь, опубликован ряд работ, показывающих высокую диагностическую ценность TCA в раннем выявлении прогрессирования глаукомы [25, 26].

Особенность метода HRT заключается в том, что при исследовании происходит сканирование высоты плоскости ДЗН и перипапиллярной области с построением трехмерного изображения и количественным выражением получаемых результатов. Таким образом, анализируется профиль сетчатки, что косвенно свидетельствует о ее состоянии.

SLP, GDx

Сканирующая лазерная поляриметрия (SLP, GDx) позволяет прицельно оценить толщину CHBC, который формирует ДЗН [27].

Механизм работы SLP заключается в прохождении поляризованного света через аксоны ганглиозных клеток сетчатки. При этом он раздваивается в двух перпендикулярных плоскостях из-за эффекта торможения. Два компонента поляризованного света сдвинуты по фазе относительно друг друга, что фиксируется детектором и преобразуется в толщину (в микронах) [28]. Однако совокупное торможение глаза является суммой преломления роговицы, хрусталика и CHBC. Поэтому необходимо отделять компенсацию двойного лучепреломления переднего сегмента глаза от заднего.

Первым серийно выпускаемым прибором на основе SLP был анализатор нервных волокон GDx (англ. Nerve Fiber Analyzer), который имел модуль фиксированной компенсации поляризационного эффекта роговицы и хрусталика. Далее была разработана модель, оснащенная переменной компенсацией роговицы (англ. Variable corneal compensation, GDxVCC), которая измеряет и индивидуально компенсирует двойное лучепреломление переднего сегмента [28]. Следующей версией является алгоритм расширенной компенсации роговицы (англ. Enhanced corneal compensation, GDxECC), реализованный путем модификации программного обеспечения. В измерение пути луча вводится известная погрешность для того, чтобы сместить измерение общего торможения в более чувствительный участок кривой обнаружения поляризации.

Для оценки CHBC в приборах SLP используются пять ключевых компонентов отчета:

1. Изображение глазного дна (необходимо для оценки качества полученного изображен).

2. Схема толщины СНВС, представлена в цветовом формате. Используется шкала от синего до красного цвета в соответствии с увеличением толщины.

3. Схема отклонений, которая показывает наличие дефектов СНВС, их локализацию и их глубину.

4. График ВВННВ (височный-верхний-носовойнижний-височный, англ. TSNIT — temporal-superiornasal-inferior-temporal) отображает значения толщины СНВС вдоль расчетной окружности с центром на ДЗН. Исследуемый пояс имеет ширину 0,4 мм, внешний диаметр 3,2 мм и внутренний диаметр 2,4 мм. В норме график ВВННВ имеет профиль «двойного горба», с расположением толстых участков СНВС в верхней и нижней области и тонких участков СНВС — в носовой и височной области.

5. Таблица параметров: среднее значение толщины СНВС вдоль всей расчетной окружности, а также отдельно в верхней и нижней области; стандартное отклонение ВВННВ — определение модуляции графика с «двойным горбом»; показатель межокулярной симметрии; индикатор толщины нервных волокон (англ. nerve fiber indicator, NFI).

NFI — это глобальное значение, характеризующее общую толщину СНВС. NFI варьируется от 1 до 100 и показывает целостность толщины СНВС. Повышение этого показателя свидетельствует о повреждении СНВС [29].

Согласно ряду исследований, модель GDx-VCC применима для выявления ранних изменений при глаукоме. При этом показатели NFI, среднее толщины CHBC в нижней и верхней области и показатель стандартного отклонения BBHHB являются наиболее чувствительными [30]. В работе Dimopoulos A.T. утверждается, что оценка CHBC с помощью SLP может облегчить раннее выявление пациентов с псевдоэксфолиативной глаукомой [31].

По данным различных авторов, модель GDx-ECC лучше модели GDx-VCC выявляет прогрессирование глаукомы. Также она является ценным инструментом для выявления глаукомы на ранних [32] и развитых стадиях [33]. Согласно рекомендациям производителя, вероятность получения некачественных результатов увеличивается при сканировании глаз с рефракцией вне диапазона сферических диоптрий +5/-10.

GDxECC и GDxVCC лучше, чем ОКТ выявляют изменения CHBC у пациентов с глаукомой в сочетании с миопией высокой степени [34]. Однако в работе Dada T. [35] было показано, что при высокой миопии из-за погрешности, создаваемой перипапиллярной атрофией и дополнительным двойным лучепреломлением склеры, значения CHBC являются аномально высокими. Так же и в других работах [36, 37] была показана низкая достоверность прибора GDx при косовходящем ДЗН.

ОКТ

В настоящее время в клинической практике большую востребованность приобрела оптическая когерентная томография (ОКТ), которая позволяет послойно и с высокой точностью оценить толщину СНВС и комплекса ганглиозных клеток сетчатки (КГКС). Это открывает новые возможности в ранней диагностике и мониторинге глаукомного процесса.

ОКТ — неинвазивный метод, который обеспечивает неинвазивное, с точностью до 3–10 мкм исследование оптических срезов биологических тканей in vivo.

В первых поколениях когерентных томографов механизм действия был основан на принципах интерферометрии Михельсона. В пространственно-временной ОКТ (Time-domain OCT, Stratus OCT, TD-OCT) источником света является суперлюминесцентный диод, позволяющий получать луч низкой когерентности. С помощью делителя луч расщепляется на две части, одна из которых направляется на исследуемую структуру — предметный луч, вторая на подвижное зеркало. Луч, отраженный от зеркала, образует так называемый опорный пучок. После этого опорный и предметный лучи складываются с образованием интерференционной картины, которая регистрируется фотодетектором. Полученная амплитуда интерференции характеризует отражательную способность конкретной точки исследуемого объекта. Затем опорное плечо смещается и выполняется исследование следующей точки. В итоге формируется одномерный А-скан. Двухмерное изображение исследуемой структуры получают путем суммирования нескольких А-сканов. Расстояние между точками А-скана определяет продольное разрешение, между соседними А-сканами — поперечное [38–41]. Пространственно-временная ОКТ отображает поперечное сечение с осевым разрешением 8-10 мкм и поперечным разрешением около 20 мкм.

Следующим этапом развития ОКТ стало применение спектральных интерферометров, использующих преобразование Фурье (Fourier-domain-OCT/ spectral-domain OCT, SD-OCT). Их отличием является наличие спектрометра и высокоскоростной ССD-камеры (ССD — charge-coupled device, ПЗС прибор зарядовой связи). В данном случае источником света является широкополосный суперлюминесцентный диод, позволяющий получить низкокогерентный луч. Так же, как и в TD-OCT, световой импульс делится на две равные части, одна из которых отражается от фиксированного опорного плеча, вторая — от исследуемого объекта. Затем световые сигналы суммируются и интерферируют. Интерференционная картина одномоментно фиксируется CCD-камерой. Затем из полученных данных путем математического преобразования Фурье выделяются частотные составляющие, из которых формируется А-скан. Таким образом, получение линейного скана происходит одномоментно [41]. SD-OCT обладает более высоким разрешение (3–6 мкм) и более быстрым сканированием (в 40– 110 раз быстрее) [42]. Кроме того, она производит трехмерную обработку. Эти преимущества приводят к улучшенной воспроизводимости результатов измерений по сравнению с TD-OCT [43, 44].

ОКТ сетчатки и ДЗН включает качественный (структура витреоретинального профиля, сегментация и анализ рефлективности слоев) и количественный анализ (толщина СНВС, КГКС и стереометрические параметры ДЗН).

При обозначении границ ДЗН, как правило, не требуется вмешательств оператора. Прибор ориентируется на края отверстия в мембране Бруха. Дополнительно учитывается угол наклона зрительного нерва по отношению к глазному яблоку. Проведение измерений происходит в соответствующей плоскости. Оценивается окружность диаметром 3,46 мм, центрированная относительно ДЗН. Анализируется площадь ДЗН, НРП, объем экскавации, отношение экскавации к ДЗН (среднее, по вертикали и по горизонтали), график толщины СНВС в секторах (BBHHB) и межокулярная симметричность полученных данных. Также прибор позволяет определить толщину пСНВС: по всей окружности, в 4 квадрантах — височном, верхнем, носовом и нижнем, а также в 12-часовых секторах. В последние годы появилась возможность оценки на ОКТ слоя КГКС. В протокол исследования включается информация о средней толщине КГКС, толщине отдельно в верхней и нижней областях и процент фокальных и глобальных потерь КГКС.

В ряде исследований было показано, что TD-OCT обладает высокой чувствительностью в дифференциальной диагностике начальных глаукомных изменений [45, 46]. Опубликованы работы, показывающие наилучшую диагностическую ценность таких показателей, как средняя толщина пСНВС, толщина пСНВС в верхнем и нижнем квадранте [27, 47]. Большинство исследований показали, что диагностические возможности по выявлению глаукомы SD-OCT аналогичны TD-OCT [48, 49]. Однако SD-OCT имеет более высокую возможность в верификации диагноза на ранней стадии [50]. При обследовании пациентов с высокой степенью миопии SD-OCT и TD-OCT имеют схожие диагностические возможности в выявлении ранних изменений, характерных для глаукомы [51].

На приборе SD-OCT исследование толщины КГКС показывает схожую высокую чувствительность при диагностике ранней глаукомы, в сравнении с оценкой толщины пСНВС. В свою очередь, последний показатель является более чувствительным при далекозашедшей стадии глаукомы [52]. Опубликованы работы, указывающие на высокий потенциал количественных показателей толщины КГКС и СНВС в раннем выявлении глаукомных дефектов [53] с особым вниманием на височные и нижние отделы [54].

ОБЗОРЫ ЛИТЕРАТУРЫ

В ряде исследований утверждается, что SD-OCT более точно оценивает прогрессирующее истончение CHBC, чем TD-OCT [55]. Динамика уменьшения толщины КГКС обладает аналогичной чувствительностью с толщиной пСНВС в качестве критерия прогрессирования глаукомы. Согласно некоторым работам, эти показатели превосходят анализ тенденций по данным САП [56, 57]. При далекозашедшей стадии глаукомы изменение толщины CHBC, выявляемое с помощью SD-OCT, также может служить достоверным критерием прогрессирования [58].

При далекозашедшей и терминальной глаукоме наблюдается выраженное истончение НРП, пСНВС и КГКС. Проводить сравнительный анализ динамики по основным количественным показателям становится затруднительным, так как достигается «эффект пола» [59].

В настоящее время в спектральные томографы внедряют новый модуль — Enhanced Depth Imagine (EDI) ОСТ (длина волны 1050 нм). Он обладает функцией получения изображения в глубине тканей. С его помощью можно оценить толщину хориоидеи. Ряд исследований показал, что состояние сосудистой оболочки в перипапиллярной и макулярной областях не коррелирует со степенью глаукомных изменений. Истончение хориодеи не свидетельствует о наличии глаукомы и не прогнозирует отрицательную динамику развития заболевания [60, 61]. Это еще раз подчеркивает ограничение ОКТ при далекозашедшей и терминальной стадии глаукомы.

ОКТ с ангиографией (ОКТА)

В последнее время в клинической практике все большее распространение получает новое структурное исследование — ОКТА. С помощью этого способа можно получить трехмерное изображение микроциркуляторного русла ДЗН [62], перипапиллярной сетчатки [63], макулы [64] и хориоидеи быстрым и неинвазивным способом [65].

ОКТА регистрирует в конкретной зоне изменения амплитуды отражённого от эритроцитов потока света при движении крови. При этом визуализируется четыре капиллярных сплетения (поверхностное внутреннее сосудистое сплетение, глубокое внутреннее сосудистое сплетение, «наружная» сетчатка и хориокапилляры). Это позволяет проводить количественный анализ микроциркуляции с расчётом плотности капиллярной сети и аваскулярных зон.

Первые данные о применение ОКТА при глаукоме были опубликованы в работе Jia [66, 67]. Он показал, что ОКТА может достоверно отображать перфузию ДЗН. Также была показана сравнительная оценка индекса перипапиллярного кровотока и плотность перипапиллярной сосудистой сети при глаукоме и в норме. Снижение этих показателей было ассоциировано с развитием глаукомы [68].

Последующие исследования подтвердили снижение общей и перипапиллярной плотности сосудистой сети при первичной открытоугольной глаукоме [69, 70]. Имеются многочисленные работы, показывающие достоверное снижение плотности микроциркуляторного русла в ДЗН [71], перипапиллярной области [72], макуле [73] у пациентов с ранней глаукомой. Также межокулярная асимметрия плотности сосудистой сети в ДЗН, перипапиллярной области и макуле могут служить критерием раннего глаукомного повреждения [74].

По данным Suwan Y., у пациентов с миопией ОКТА может являться дополнительным обследованием для верификации глаукомы [75]. Он описал прогрессирующее снижение глобальной плотности капилляров в следующем порядке: контроль — миопия без глаукомы — глаукома без миопии — глаукома с миопией.

В ряде работ уделяется особое внимание исследованию микроциркуляции в макулярной области. Известно, что у пациентов с глаукомой имеется достоверное снижение плотности сосудистой сети в макуле преимущественно в поверхностном сплетении [67, 76], а также парафовеолярно [77]. В некоторых исследованиях утверждается, что анализ макулы с помощью ОКТА имеет диагностическую точность, аналогичную толщине пСНВС и КГКС (по данным ОКТ) в качестве критерия глаукомного повреждения [70].

В других исследованиях указано, что диагностическая ценность плотности сосудистой сети макулы и перипапиллярной области при глаукоме меньше, чем у стандартных параметров ОКТ [78, 79].

В исследованиях с длительным периодом наблюдения сообщается о более быстрой потере плотности сосудистой сети в глазах с глаукомой [80]. Низкий уровень плотности микроциркуляторного русла в макуле и ДЗН коррелирует с более высокой скоростью прогрессирование истончения СНВС с начальной до развитой стадии [81].

Сравнение методов визуализации структурных повреждений при глаукоме

Структурные методы исследования основаны на разных принципах. Вследствие этого имеются отличия в результатах анализа морфологических параметров [82, 83]. Опубликовано множество исследований, сравнивающих диагностические возможности этих устройств.

Согласно некоторым работам, диагностические возможности в выявлении ранних глаукомных изменений у приборов HRT, GDx и OKT довольно схожи [84, 85]. Существенная корреляция была обнаружена в таких параметрах, как объем экскавации и отношение экскавации к ДЗН [83]. Способность выявлять глаукомные повреждения у этих приборов превосходит возможности офтальмологов общего профиля и не уступает субъективной оценке специалистов по глаукоме [20, 86, 87].

Однако HRT 3 и SD-ОСТ имеют плохое соответствие между морфометрическими параметрами, за исключением отношения экскавации к ДЗН [88]. В работе Moghimi S. показано, что HRT завышает площадь ДЗН и НРП по сравнению с SD-ОСТ [82]. Чувствительность обнаружения повреждения СНВС с использованием HRT 3 ниже, чем у SD- и TD-OCT, особенно при начальной глаукоме [89, 90]. Также HRT 3 уступает прибору GDxVCC как в выявлении раннего глаукомного повреждения [91], так и обнаружении прогрессирования заболевания [92].

В свою очередь, у приборов GDx-VCC, -ECC и TD-OCT показатели толщины пCHBC имеют сильную корреляцию. Оба метода эффективны в раннем выявлении глаукомных изменений [93, 94]. Тем не менее, дефекты поля зрения лучше коррелируют с потерей толщины CHBC, измеренной с помощью SD-OCT, по сравнению с показателями, полученными с помощью GDx [95]. На приборе SD-OCT прогрессивное уменьшение толщины пCHBC выявляется лучше и имеет более высокую диагностическую ценность [96, 97].

Таким образом, согласно многочисленным исследованиям ОКТ превосходит GDx и HRT в чувствительности и специфичности в диагностике

Литература

- 1. Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol* 2006; 90(3):262-267. https://doi.org/10.1136/bjo.2005.081224.
- 2. Tham YC, Li X, Wong TY, Quigley HA, Aung T, Cheng CY. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2014; 121(11):2081-2090.
 - https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.05.013.
- Основные показатели первичной инвалидности взрослого населения Российской Федерации за 2021 год. ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения»: Министерство здравоохранения Российской Федерации; 2022. 100 с.
- Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей. Изд. 4-е, испр. и доп. Под ред. Егорова Е.А., Еричева В.П. М: ГЭОТАР-Медиа 2019; 384.
- European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma, 5th Edition. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(Suppl 1):1-169. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-egsguidelines.
- Еричев В.П., Антонов А.А., Витков А.А., Григорян Л.А. Статическая периметрия в диагностике глаукомы. Часть 1. Базовые принципы. Вестник офтальмологии 2021; 137(5-2):281-288. https://doi.org/10.17116/oftalma2021137052281
- Еричев В.П., Антонов А.А., Витков А.А., Григорян Л.А. Статическая периметрия в диагностике глаукомы. Часть 2. Протокол исследования, классификации глаукомы, периметрические дефекты через призму структурно-функциональной корреляции. Вестник офтальмологии 2021; 137(5-2):289299. https://doi.org/10.17116/oftalma2021137052289
- Антонов А.А., Козлова И.В., Витков А.А. Максимальная медикаментозная терапия глаукомы — что есть в нашем арсенале? Национальный журнал глаукома 2020; 19(2):51-58. https://doi.org/10.25700/NJG.2020.02.06
- Еричев В.П., Онищенко А.Л., Куроедов А.В., Петров С.Ю., Брежнев А.Ю., Антонов А.А., Витков А.А., Мураховска Ю.К. Офтальмологические факторы риска развития первичной открытоугольно глаукомы. Российский медицинский журнал. *РМЖ Клиническая офтальмология* 2019; 2:81-86. https://doi.org/10.323642311772920191928186
- Еричев В.П., Петров С.Ю., Козлова И.В., Макарова А.С., Рещикова В.С. Современные методы функциональной диагностики и мониторинга глаукомы. Часть З. Роль морфофункциональных взаимоотношений в раннем выявлении и мониторинге глаукомы. Национальный журнал глаукома 2016; 15(2):96-101.
- 11. Kotowski J, Wollstein G, Ishikawa H, Schuman JS. Imaging of the optic nerve and retinal nerve fiber layer: an essential part of glaucoma diagnosis and monitoring. *Surv Ophthalmol* 2014; 59(4):458-467. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2013.04.007.
- 12. Агаева Ф.А., Эфендиева М.Э. Гейдельбергская ретинальная томография. Офтальмология 2013; 3(13):93-96

глаукомы [83, 89, 90, 94, 96, 97]. Это можно объяснить более точной и совершенной процедурой сканирования, отсутствием зависимости результатов от оператора и широкой нормативной базой данных. Fallon M. в своем мета-анализе также подтвердили преимущество ОКТ по сравнению с другими структурными исследованиями [98].

Заключение

ОКТ является инструментом выбора среди представленных в настоящее время в клинической практике способов диагностики и мониторинга структурных повреждений при глаукоме. Данные литературы о роли ОКТА в качестве метода для анализа глаукомного поражения противоречивы. ОКТА может быть источником дополнительной информации при обследовании на раннем этапе поражения и при определении прогрессирования глаукомного процесса.

References

- 1. Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol* 2006; 90(3):262-267. https://doi.org/10.1136/bjo.2005.081224.
- 2. Tham YC, Li X, Wong TY, Quigley HA, Aung T, Cheng CY. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2014; 121(11):2081-2090.
 - https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.05.013.
- 3. The main indicators of primary disability of the adult population of the Russian Federation for 2021. Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Health Organization and Informatization": Ministry of Health of the Russian Federation; 2022. 100 p.
- National Guidelines for Glaucoma Practitioners. Ed. 4th, rev. and additional. Egorov E.A., Erichev V.P., eds. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2019. 384 p.
- European Glaucoma Society Terminology and Guidelines for Glaucoma, 5th Edition. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(Suppl 1):1-169. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-egsguidelines.
- Erichev VP, Antonov AA, Vitkov AA, Grigoryan LA. Static automated perimetry in the diagnosis of glaucoma. Part 1: Basic principles. *Vestnik Oftalmologii* 2021; 137(52):281-288. https://doi.org/10.17116/oftalma2021137052281
- Erichev VP, Antonov AA, Vitkov AA, Grigoryan LA. Static automated perimetry in the diagnosis of glaucoma. Part 2: Research protocol, glaucoma classifications, perimetric defects through the prism of structuralfunctional correlation. *Vestnik Oftalmologii* 2021; 137(52): 289-299. https://doi.org/10.17116/oftalma2021137052289.
- Antonov A.A., Kozlova I.V., Vitkov A.A. Maximum medical therapy for glaucoma — what is in our arsenal? Natsional'nyi zhurnal glaukoma 2020; 19(2):51-58. https://doi.org/10.25700/NJG.2020.02.06
- Erichev V.P., Onishchenko A.L., Kuroedov A.V., Petrov S.Yu., Brezhnev A.Yu., Antonov A.A., Vitkov A.A., Murakhovskaya Yu.K. Ophthalmic risk factors for the development of primary openangle glaucoma. *RMJ Clinical ophthalmology* 2019; 2:81-86. https://doi.org/10.323642311772920191928186
- Erichev V.P., Petrov S.Yu., Kozlova I.V., Makarova A.S., Reshchikova V.S. Modern methods of functional diagnostics and monitoring of glaucoma. Part 3. The role of the morphological and functional relationships in the early detection and monitoring of glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2016; 15(2):96-101.
- Kotowski J, Wollstein G, Ishikawa H, Schuman JS. Imaging of the optic nerve and retinal nerve fiber layer: an essential part of glaucoma diagnosis and monitoring. *Surv Ophthalmol* 2014; 59(4):458-467. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2013.04.007.
- Agaeva F.A., Efendieva M.E. Heidelberg retinal tomography. Oftal'mologiya, 2013; 3(13):93-96.

- 13. Vessani RM, Moritz R, Batis L, Zagui RB, Bernardoni S, Susanna R. Comparison of quantitative imaging devices and subjective optic nerve head assessment by general ophthalmologists to differentiate normal from glaucomatous eyes. *J Glaucoma* 2009; 18(3):253-261. https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31818153da.
- 14. Harasymowycz PJ, Papamatheakis DG, Fansi AK, Gresset J, Lesk MR, Validity of screening for glaucomatous optic nerve damage using confocal scanning laser ophthalmoscopy (Heidelberg Retina Tomograph II) in high-risk populations: a pilot study. *Ophthalmology* 2005; 112(12):2164-2171.

https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2005.09.009.

- 15. Betz P. Photographie stéréoscopique et photogrammétrie de l'excavation physiologique de la papille. 1981.
- 16. Iester M, Mikelberg FS, Drance SM. The effect of optic disc size on diagnostic precision with the Heidelberg retina tomograph. Ophthalmology 1997; 104(3):545-548. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(97)30277-2.
- 17. Koch EC, Plange N, Fuest M, Schimitzek H, Kuerten D. [Diagnostic Precision of the Confocal Scanning Laser Ophthalmoscopy in the Large Optic Disc with Physiological Excavation — a Long-Term Study]. Klin Monbl Augenheilkd 2019; 236(1):88-95. https://doi.org/10.1055/s-0043-111798.
- Healey PR, Lee AJ, Aung T, Wong TY, Mitchell P. Diagnostic accuracy of the Heidelberg Retina Tomograph for glaucoma a population-based assessment. *Ophthalmology* 2010; 117(9):1667-1673. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.07.001.
- 19. Zheng Y, Wong TY, Lamoureux E, Mitchell P, Loon SC, Saw SM, Aung T. Diagnostic ability of Heidelberg Retina Tomography in detecting glaucoma in a population setting: the Singapore Malay Eye Study. *Ophthalmology* 2010; 117(2):290-297. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.07.018.
- 20. Wollstein G, Garway-Heath DF, Fontana L, Hitchings RA. Identifying early glaucomatous changes. Comparison between expert clinical assessment of optic disc photographs and confocal scanning ophthal-moscopy. *Ophthalmology* 2000; 107(12):2272-2277. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(00)00363-8.
- 21. Swindale NV, Stjepanovic G, Chin A, Mikelberg FS. Automated analysis of normal and glaucomatous optic nerve head topography images. Invest Ophthalmol Vis Sci 2000; 41(7):1730-1742.
- 22. Куроедов А.В., Городничий В.В. Компьютерная ретинотомография (HRT): диагностика, динамика, достоверность. М: 2007; 236.
- 23. Danias J, Serle J. Can Visual Field Progression be Predicted by Confocal Scanning Laser Ophthalmoscopic Imaging of the Optic Nerve Head in Glaucoma? (An American Ophthalmological Society Thesis). Trans Am Ophthalmol Soc 2015; 113:Ť4.
- 24. Saarela V, Falck A, Airaksinen PJ, Tuulonen A. The sensitivity and specificity of Heidelberg Retina Tomograph parameters to glaucomatous pro-gression in disc photographs. *Br J Ophthalmol* 2010; 94(1): 68-73. https://doi.org/10.1136/bjo.2009.159251.
- 25. Bowd C, Balasubramanian M, Weinreb RN, Vizzeri G, Alencar LM, O'Leary N, Sample PA, Zangwill LM. Performance of confocal scanning laser tomograph Topographic Change Analysis (TCA) for assessing glaucomatous progression. Invest Ophthalmol Vis Sci 2009; 50(2): 691-701. https://doi.org/10.1167/iovs.08-2136.
- 26. Chauhan BC, Hutchison DM, Artes PH, Caprioli J, Jonas JB, LeBlanc RP, Nicolela MT. Optic disc progression in glaucoma: comparison of confo-cal scanning laser tomography to optic disc photographs in a prospective study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009; 50(4):1682-1691. https://doi.org/10.1167/iovs.08-2457.
- 27. Quigley HA, Katz J, Derick RJ, Gilbert D, Sommer A. An evaluation of optic disc and nerve fiber layer examinations in monitoring progression of early glaucoma damage. *Ophthalmology* 1992; 99(1):19-28. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(92)32018-4.
- 28. Weinreb RN, Bowd C, Zangwill LM. Glaucoma detection using scantion. Arch Ophthalmol 2003; 121(2):218-224. https://doi.org/10.1001/archopht.121.2.218.
- 29. Reus NJ, Lemij HG. Scanning laser polarimetry of the retinal nerve fiber layer in perimetrically unaffected eyes of glaucoma patients. *Ophthalmology* 2004;111(12):2199-2203. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2004.06.018.
- Zheng W, Baohua C, Qun C, Zhi Q, Hong D. Retinal nerve fiber layer images captured by GDx-VCC in early diagnosis of glaucoma. *Ophthal-*mologica 2008; 222(1):17-20. https://doi.org/10.1159/000109273
- Dimopoulos AT, Katsanos A, Mikropoulos DG, Giannopoulos T, Empes-lidis T, Teus MA, Hollo G, Konstas AG. Scanning laser polarimetry in eyes with exfoliation syndrome. *Eur J Ophthalmol* 2013; 23(5): 743-750

https://doi.org/10.5301/ejo.5000247.

- Vessani RM, Moritz R, Batis L, Zagui RB, Bernardoni S, Susanna R. Comparison of quantitative imaging devices and subjective optic nerve head assessment by general ophthalmologists to differentiate normal from glaucomatous eyes. *J Glaucoma* 2009; 18(3):253-261. https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31818153da.
- 14. Harasymowycz PJ, Papamatheakis DG, Fansi AK, Gresset J, Lesk MR, Validity of screening for glaucomatous optic nerve damage using confocal scanning laser ophthalmoscopy (Heidelberg Retina Tomograph II) in high-risk populations: a pilot study. *Ophthalmology* 2005; 112(12):2164-2171. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2005.09.009.
- 15. Betz P. Photographie stéréoscopique et photogrammétrie de l'excavation physiologique de la papille. 1981.
- Iester M, Mikelberg FS, Drance SM. The effect of optic disc size on 16. diagnostic precision with the Heidelberg retina tomograph. Ophthalmology 1997; 104(3):545-548. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(97)30277-2.
- 17. Koch EC, Plange N, Fuest M, Schimitzek H, Kuerten D. [Diagnostic Precision of the Confocal Scanning Laser Ophthalmoscopy in the Large Optic Disc with Physiological Excavation — a Long-Term Study]. Klin Monbl Augenheilkd 2019; 236(1):88-95. https://doi.org/10.1055/s-0043-111798.
- Healey PR, Lee AJ, Aung T, Wong TY, Mitchell P. Diagnostic accuracy of the Heidelberg Retina Tomograph for glaucoma a population-based assessment. *Ophthalmology* 2010; 117(9):1667-1673. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2010.07.001.
- Zheng Y, Wong TY, Lamoureux E, Mitchell P, Loon SC, Saw SM, Aung T. Diagnostic ability of Heidelberg Retina Tomography in detecting glaucoma in a population setting: the Singapore Malay Eye Study. Ophthalmology 2010; 117(2):290-297. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.07.018.
- Wollstein G, Garway-Heath DF, Fontana L, Hitchings RA. Identifying early glaucomatous changes. Comparison between expert clinical assessment of optic disc photographs and confocal scanning ophthal-moscopy. *Ophthalmology* 2000; 107(12):2272-2277. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(00)00363-8.
- 21. Swindale NV, Stjepanovic G, Chin A, Mikelberg FS. Automated analysis of normal and glaucomatous optic nerve head topography images. Invest Ophthalmol Vis Sci 2000; 41(7):1730-1742
- 22. Kuroyedov A.V., Gorodnichiy V.V. Computed retinotomography (HRT): diagnostics, dynamics, reliability. Moscow, 2007. 236 p.
- 23. Danias J, Serle J. Can Visual Field Progression be Predicted by Confocal Scanning Laser Ophthalmoscopic Imaging of the Optic Nerve Head in Glaucoma? (An American Ophthalmological Society Thesis). Trans Am Ophthalmol Soc 2015; 113:Ť4.
- 24. Saarela V, Falck A, Airaksinen PJ, Tuulonen A. The sensitivity and specificity of Heidelberg Retina Tomograph parameters to glaucomatous pro-gression in disc photographs. *Br J Ophthalmol* 2010; 94(1): 68-73. https://doi.org/10.1136/bjo.2009.159251.
- 25. Bowd C, Balasubramanian M, Weinreb RN, Vizzeri G, Alencar LM, O'Leary N, Sample PA, Zangwill LM. Performance of confocal scanning laser tomograph Topographic Change Analysis (TCA) for assessing glaucomatous progression. Invest Ophthalmol Vis Sci 2009; 50(2): 691-701. https://doi.org/10.1167/iovs.08-2136.
- 26. Chauhan BC, Hutchison DM, Artes PH, Caprioli J, Jonas JB, LeBlanc RP, Nicolela MT. Optic disc progression in glaucoma: comparison of confo-cal scanning laser tomography to optic disc photographs in a prospective study. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009; 50(4):1682-1691. https://doi.org/10.1167/iovs.08-2457.
- Quigley HA, Katz J, Derick RJ, Gilbert D, Sommer A. An evaluation of optic disc and nerve fiber layer examinations in monitoring progression of early glaucoma damage. *Ophthalmology* 1992; 99(1):19-28. https://doi.org/10.1016/s0161-6420(92)32018-4.
- Weinreb RN, Bowd C, Zangwill LM. Glaucoma detection using scantion. Arch Ophthalmol 2003; 121(2):218-224. https://doi.org/10.1001/archopht.121.2.218.
- Reus NJ, Lemij HG. Scanning laser polarimetry of the retinal nerve fiber layer in perimetrically unaffected eyes of glaucoma patients. *Ophthalmology* 2004;111(12):2199-2203. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2004.06.018. 29.
- Zheng W, Baohua C, Qun C, Zhi Q, Hong D. Retinal nerve fiber layer images captured by GDx-VCC in early diagnosis of glaucoma. *Ophthal-*mologica 2008; 222(1):17-20. https://doi.org/10.1159/000109273
- Dimopoulos AT, Katsanos A, Mikropoulos DG, Giannopoulos T, Empes-lidis T, Teus MA, Hollo G, Konstas AG. Scanning laser polarimetry in eyes with exfoliation syndrome. *Eur J Ophthalmol* 2013; 23(5): 743-750 https://doi.org/10.5301/ejo.5000247.

102 2/2024 НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ ГЛАУКОМА

Семенов Е.Д., Витков А.А., Козлова И.В., Асиновскова И.И.

- 32. Ara M, Ferreras A, Pajarin AB, Calvo P, Figus M, Frezzotti P. Repeatability and Reproducibility of Retinal Nerve Fiber Layer Parameters Measured by Scanning Laser Polarimetry with Enhanced Corneal Compensation in Normal and Glaucomatous Eyes. Biomed Res Int 2015; 2015:729392. https://doi.org/10.1155/2015/729392.
- 33. Wang Z, Liu XW, Li XY, Zhang WJ, Dai H. [Detection of the changes of retinal nerve fiber layer thickness by GDx-VCC laser scanning polarimetry in primary open angle glaucoma patients]. Zhonghua Yan Ke Za Zhi 2012; 48(6):497-501.
- 34. Wang G, Qiu KL, Lu XH, Sun LX, Liao XJ, Chen HL, Zhang MZ. The effect of myopia on retinal nerve fibre layer measurement: a comparative study of spectral-domain optical coherence tomography and scan-ning laser polarimetry. *Br J Ophthalmol* 2011; 95(2):255-260. https://doi.org/10.1136/bjo.2009.176768.
- 35. Dada T, Aggarwal A, Bali SJ, Sharma A, Shah BM, Angmo D, Panda A. Evaluation of retinal nerve fiber layer thickness parameters in myopic population using scanning laser polarimetry (GDxVCC). Nepal J Oph-thalmol 2013; 5(1):3-8. https://doi.org/10.3126/nepjoph.v5i1.7814.
- Yu S, Tanabe T, Hangai M, Morishita S, Kurimoto Y, Yoshimura N. 36. Scanning laser polarimetry with variable corneal compensation and optical coherence tomography in tilted disk. Am J Ophthalmol 2006; 142(3):475-482.

https://doi.org/10.1016/j.ajo.2006.04.053.

- 37. Bozkurt B, Irkec M, Tatlipinar S, Erdener U, Orhan M, Gedik S, Karaagaoglu E. Retinal nerve fiber layer analysis and interpretation of GDx parameters in patients with tilted disc syndrome. Int Ophthalmol 2001; 24(1):27-31. https://doi.org/10.1023/a:1014490414688.
- Huang D, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, Stinson WG, Chang W, 38. Hee MR, Flotte T, Gregory K, Puliafito CA, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991; 254(5035):1178-1181. https://doi.org/10.1126/science.1957169.
- 39. Schuman JS, Hee MR, Arya AV, Pedut-Kloizman T, Puliafito CA, Fujimoto JG, Swanson EA. Optical coherence tomography: a new tool for glaucoma diagnosis. Curr Opin Ophthalmol 1995; 6(2):89-95. https://doi.org/10.1097/00055735-199504000-00014.
- Schuman JS, Hee MR, Puliafito CA, Wong C, Pedut-Kloizman T, Lin CP, Hertzmark E, Izatt JA, Swanson EA, Fujimoto JG. Quanti-40. fication of nerve fiber layer thickness in normal and glaucomatous eyes using optical coherence tomography. Arch Ophthalmol 1995; 113(5):586-596.

https://doi.org/10.1001/archopht.1995.01100050054031.

- Стоюхина А.С., Будзинская М.В., Стоюхин С.Г., Асламазова А.Э. 41. Оптическая когерентная томография-ангиография в офтальмоон-кологии. Вестник офтальмологии 2019; 135(1):104-111. https://doi.org/10.17116/oftalma2019135011104
- 42. Wojtkowski M, Leitgeb R, Kowalczyk A, Bajraszewski T, Fercher AF. In vivo human retinal imaging by Fourier domain optical coherence tomography. *J Biomed Opt* 2002; 7(3):457-463. https://doi.org/10.1117/1.1482379.
- 43. Garas A, Vargha P, Hollo G. Reproducibility of retinal nerve fiber layer and macular thickness measurement with the RTVue-100 optical coherence tomograph. *Ophthalmology* 2010; 117(4):738-746. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.08.039.
- 44. Kim JS, Ishikawa H, Sung KR, Xu J, Wollstein G, Bilonick RA, Gab-riele ML, Kagemann L, Duker JS, Fujimoto JG, Schuman JS. Retinal nerve fibre layer thickness measurement reproducibility improved with spectral domain optical coherence tomography. Br J Ophthalmol 2009; 93(8):1057-1063 https://doi.org/10.1136/bjo.2009.157875.
- 45. Medeiros FA, Zangwill LM, Bowd C, Vessani RM, Susanna R, Jr., Weinreb RN. Evaluation of retinal nerve fiber layer, optic nerve head, and acular thickness measurements for glaucoma detection using optical coherence tomography. Am J Ophthalmol 2005; 139(1):44-55. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2004.08.069
- Budenz DL, Michael A, Chang RT, McSoley J, Katz J. Sensitivity and specificity of the StratusOCT for perimetric glaucoma. *Ophthalmology* 2005; 112(1):3-9. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2004.06.039.
- 47. Budenz DL, Chang RT, Huang X, Knighton RW, Tielsch JM. Reprodu-cibility of retinal nerve fiber thickness measurements using the stratus OCT in normal and glaucomatous eyes. Invest Ophthalmol Vis Sci 2005; 46(7):2440-2443 https://doi.org/10.1167/iovs.04-1174.
- Chang RT, Knight OJ, Feuer WJ, Budenz DL. Sensitivity and specificity of time-domain versus spectral-domain optical coherence tomography in diagnosing early to moderate glaucoma. *Ophthalmology* 2009; 116(12):2294-2299. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.06.012.

32. Ara M, Ferreras A, Pajarin AB, Calvo P, Figus M, Frezzotti P. Repea-tability and Reproducibility of Retinal Nerve Fiber Layer Parameters Measured by Scanning Laser Polarimetry with Enhanced Corneal Compensation in Normal and Glaucomatous Eyes. Biomed Res Int 2015; 2015:729392. https://doi.org/10.1155/2015/729392.

- 33. Wang Z, Liu XW, Li XY, Zhang WJ, Dai H. [Detection of the changes of retinal nerve fiber layer thickness by GDx-VCC laser scanning pola-*Timetry in primary open angle glaucoma patients]. Zhonghua Yan Ke* Za Zhi 2012; 48(6):497-501.
- 34. Wang G, Qiu KL, Lu XH, Sun LX, Liao XJ, Chen HL, Zhang MZ. The effect of myopia on retinal nerve fibre layer measurement: a comparative study of spectral-domain optical coherence tomography and scanning laser polarimetry. Br J Ophthalmol 2011; 95(2):255-260. https://doi.org/10.1136/bjo.2009.176768.
- Dada T, Aggarwal A, Bali SJ, Sharma A, Shah BM, Angmo D, Panda A. 35. Evaluation of retinal nerve fiber layer thickness parameters in myopic population using scanning laser polarimetry (GDxVCC). Nepal J Oph-thalmol 2013; 5(1):3-8. https://doi.org/10.3126/nepjoph.v5i1.7814.
- 36. Yu S, Tanabe T, Hangai M, Morishita S, Kurimoto Y, Yoshimura N. Scanning laser polarimetry with variable corneal compensation and optical coherence tomography in tilted disk. Am J Ophthalmol 2006; 142(3):475-482 https://doi.org/10.1016/j.ajo.2006.04.053.
- 37. Bozkurt B, Irkec M, Tatlipinar S, Erdener U, Orhan M, Gedik S, Karaagaoglu E. Retinal nerve fiber layer analysis and interpretation of GDx parameters in patients with tilted disc syndrome. Int Ophthalmol 2001; 24(1):27-31. https://doi.org/10.1023/a:1014490414688.
- 38. Huang D, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, Stinson WG, Chang W, Hee MR, Flotte T, Gregory K, Pullafito CA, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991; 254(5035):1178-1181. https://doi.org/10.1126/science.1957169.
- 39. Schuman JS, Hee MR, Arya AV, Pedut-Kloizman T, Puliafito CA, Fujimoto JG, Swanson EA. Optical coherence tomography: a new tool for glaucoma diagnosis. *Curr Opin Ophthalmol* 1995; 6(2):89-95. https://doi.org/10.1097/00055735-199504000-00014.
- Schuman JS, Hee MR, Puliafito CA, Wong C, Pedut-Kloizman T, Lin CP, Hertzmark E, Izatt JA, Swanson EA, Fujimoto JG. Quantification of nerve fiber layer thickness in normal and glaucomatous eyes using optical coherence tomography. Arch Ophthalmol 1995; 113(5):586-596.
 - https://doi.org/10.1001/archopht.1995.01100050054031.
- 41. Stoyuhina AS, Budzinskaya MV, Stoyuhin SG, Aslamazova AE. Optical coherence tomography-angiography in ophthalmology. *Vestnik oftal'mologii* 2019; 135(1):104-111. https://doi.org/10.17116/oftalma2019135011104
- Wojtkowski M, Leitgeb R, Kowalczyk A, Bajraszewski T, Fercher AF. In vivo human retinal imaging by Fourier domain optical coherence tomography. J Biomed Opt 2002; 7(3):457-463. https://doi.org/10.1117/1.1482379
- 43. Garas A, Vargha P, Hollo G. Reproducibility of retinal nerve fiber layer and macular thickness measurement with the RTVue-100 optical coherence tomograph. *Ophthalmology* 2010; 117(4):738-746. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.08.039.
- 44. Kim JS, Ishikawa H, Sung KR, Xu J, Wollstein G, Bilonick RA, Gab-riele ML, Kagemann L, Duker JS, Fujimoto JG, Schuman JS. Retinal nerve fibre layer thickness measurement reproducibility improved with spectral domain optical coherence tomography. Br J Ophthalmol 2009; 93(8):1057-1063 https://doi.org/10.1136/bjo.2009.157875.
- 45. Medeiros FA, Zangwill LM, Bowd C, Vessani RM, Susanna R, Jr., Wein-reb RN. Evaluation of retinal nerve fiber layer, optic nerve head, and macular thickness measurements for glaucoma detection using optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol* 2005; 139(1):44-55. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2004.08.069.
- Budenz DL, Michael A, Chang RT, McSoley J, Katz J. Sensitivity and specificity of the StratusOCT for perimetric glaucoma. *Ophthalmology* 2005; 112(1):3-9 https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2004.06.039.
- 47. Budenz DL, Chang RT, Huang X, Knighton RW, Tielsch JM. Reprodu-cibility of retinal nerve fiber thickness measurements using the stratus OCT in normal and glaucomatous eyes. Invest Ophthalmol Vis Sci 2005; 46(7):2440-2443 https://doi.org/10.1167/iovs.04-1174.
- 48. Chang RT, Knight OJ, Feuer WJ, Budenz DL. Sensitivity and specificity of time-domain versus spectral-domain optical coherence tomography in diagnosing early to moderate glaucoma. *Ophthalmology* 2009; 116(12):2294-2299. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.06.012.

- 49. Vizzeri G, Balasubramanian M, Bowd C, Weinreb RN, Medeiros FA, Zangwill LM. Spectral domain-optical coherence tomography to detect localized retinal nerve fiber layer defects in glaucomatous eyes. Opt Express 2009; 17(5):4004-4018. https://doi.org/10.1364/oe.17.004004.
- 50. Park SB, Sung KR, Kang SY, Kim KR, Kook MS. Comparison of glaucoma diagnostic Capabilities of Cirrus HD and Stratus optical coherence tomography. Arch Ophthalmol 2009; 127(12):1603-1609. https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2009.296
- 51. Hung KC, Wu PC, Poon YC, Chang HW, Lai IC, Tsai JC, Lin PW, Teng MC. Macular Diagnostic Ability in OCT for Assessing Glaucoma in High Myopia. *Optom Vis Sci* 2016; 93(2):126-135. https://doi.org/10.1097/OPX.000000000000776
- 52. Chua J, Tan B, Ke M, Schwarzhans F, Vass C, Wong D, Nongpiur ME, Wei Chua MC, Yao X, Cheng CY, Aung T, Schmetterer L. Diagnostic Ability of Individual Macular Layers by Spectral-Domain OCT in Diffe-rent Stages of Glaucoma. *Ophthalmol Glaucoma* 2020; 3(5):314-326. https://doi.org/10.1016/j.ogla.2020.04.003.
- Morales-Fernandez L, Jimenez-Santos M, Martinez-de-la-Casa JM, Sanchez-Jean R, Nieves M, Saenz-Frances F, Garcia-Saenz S, Perucho L, Gomez-de-Liano R, Garcia-Feijoo J. Diagnostic capacity of SD-OCT segmented ganglion cell complex versus retinal nerve fiber layer anal-ysis for congenital glaucoma. Eye (Lond) 2018; 32(8):1338-1344. https://doi.org/10.1038/s41433-018-0077-4.
- 54. Aksoy FE, Altan C, Yilmaz BS, Yilmaz I, Tunc U, Kesim C, Kocamaz M, Pasaoglu I. A comparative evaluation of segmental analysis of macu-lar layers in patients with early glaucoma, ocular hypertension, and healthy eyes. *J Fr Ophtalmol* 2020; 43(9):869-878. https://doi.org/10.1016/j.jfo.2019.12.020.
- 55. Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN, Qiu K, Liu S, Li H, Xu G, Fan N, Pang CP, Tse KK, Lam DS. Evaluation of retinal nerve fiber layer propression in glaucoma: a study on optical coherence tomography guided progression analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010; 51(1):217-222. https://doi.org/10.1167/iovs.09-3468.
- 56. Nguyen AT, Greenfield DS, Bhakta AS, Lee J, Feuer WJ. Detecting Glaucoma Progression Using Guided Progression Analysis with OCT and Visual Field Assessment in Eyes Classified by International Classification of Disease Severity Codes. Ophthalmol Glaucoma 2019; 2(1):36-46.

https://doi.org/10.1016/j.ogla.2018.11.004.

- 57. Leung CK, Yu M, Weinreb RN, Lai G, Xu G, Lam DS. Retinal nerve fiber layer imaging with spectral-domain optical coherence tomography: patterns of retinal nerve fiber layer progression. Ophthalmology 2012; 119(9):1858-1866. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.03.044.
- 58. Sung KR, Sun JH, Na JH, Lee JY, Lee Y. Progression detection capability of macular thickness in advanced glaucomatous eyes. Ophthalmology 2012; 119(2):308-313 https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2011.08.022.
- Moghimi S, Bowd C, Zangwill LM, Penteado RC, Hasenstab K, Hou H, Ghahari E, Manalastas PIC, Proudfoot J, Weinreb RN. Measurement Floors and Dynamic Ranges of OCT and OCT Angiography in Glau-coma. Ophthalmology 2019; 126(7):980-988. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2019.03.003.
- 60. Mwanza JC, Sayyad FE, Budenz DL. Choroidal thickness in unilateral advanced glaucoma. Invest Ophthalmol Vis Sci 2012; 53(10):6695-6701. https://doi.org/10.1167/iovs.12-10388.
- 61. Li L, Bian A, Zhou Q, Mao J. Peripapillary choroidal thickness in both eyes of glaucoma patients with unilateral visual field loss. Am J Oph-thalmol 2013; 156(6):1277-1284 e1271. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2013.07.011.
- 62. Chen CL, Bojikian KD, Gupta D, Wen JC, Zhang Q, Xin C, Kono R, Mudumbai RC, Johnstone MA, Chen PP, Wang RK. Optic nerve head perfusion in normal eyes and eyes with glaucoma using optical coherence tomography-based microangiography. Quant Imaging Med Surg 2016; 6(2):125-133 https://doi.org/10.21037/qims.2016.03.05.
- 63. Chen CL, Zhang A, Bojikian KD, Wen JC, Zhang Q, Xin C, Mudum-bai RC, Johnstone MA, Chen PP, Wang RK. Peripapillary Retinal Nerve Fiber Layer Vascular Microcirculation in Glaucoma Using Optical Coherence Tomography-Based Microangiography. Invest Ophthalmol Vis Sci 2016; 57(9):OCT475-485.

https://doi.org/10.1167/iovs.15-18909.

- 64. Kwon J, Choi J, Shin JW, Lee J, Kook MS. Alterations of the Foveal Avascular Zone Measured by Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma Patients With Central Visual Field Defects. Invest Ophthalmol Vis Sci 2017; 58(3):1637-1645. https://doi.org/10.1167/iovs.16-21079.
- 65. Braaf B, Vermeer KA, Vienola KV, de Boer JF. Angiography of the retina and the choroid with phase-resolved OCT using interval-optimized backstitched B-scans. Opt Express 2012; 20(18):20516-20534. https://doi.org/10.1364/OE.20.020516.

- 49. Vizzeri G, Balasubramanian M, Bowd C, Weinreb RN, Medeiros FA, Zangwill LM. Spectral domain-optical coherence tomography to detect localized retinal nerve fiber layer defects in glaucomatous eyes. Opt Express 2009; 17(5):4004-4018. https://doi.org/10.1364/oe.17.004004.
- 50. Park SB, Sung KR, Kang SY, Kim KR, Kook MS. Comparison of glaucoma diagnostic Capabilities of Cirrus HD and Stratus optical coherence tomography. Arch Ophthalmol 2009; 127(12):1603-1609. https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2009.296.
- Hung KC, Wu PC, Poon YC, Chang HW, Lai IC, Tsai JC, Lin PW, Teng MC. Macular Diagnostic Ability in OCT for Assessing Glaucoma in High Myopia. Optom Vis Sci 2016; 93(2):126-135. https://doi.org/10.1097/OPX.000000000000776.
- 52. Chua J, Tan B, Ke M, Schwarzhans F, Vass C, Wong D, Nongpiur ME, Wei Chua MC, Yao X, Cheng CY, Aung T, Schmetterer L. Diagnostic Ability of Individual Macular Layers by Spectral-Domain OCT in Diffehttps://doi.org/10.1016/j.ogla.2020.04.003.
- Morales-Fernandez L, Jimenez-Santos M, Martinez-de-la-Casa JM, Sanchez-Jean R, Nieves M, Saenz-Frances F, Garcia-Saenz S, Perucho L, Gomez-de-Liano R, Garcia-Feijoo J. Diagnostic capacity of SD-OCT segmented ganglion cell complex versus retinal nerve fiber layer anal-ysis for congenital glaucoma. Eye (Lond) 2018; 32(8):1338-1344. https://doi.org/10.1038/s41433-018-0077-4.
- 54. Aksoy FE, Altan C, Yilmaz BS, Yilmaz I, Tunc U, Kesim C, Kocamaz M, Pasaoglu I. A comparative evaluation of segmental analysis of macu-lar layers in patients with early glaucoma, ocular hypertension, and healthy eyes. *J Fr Ophtalmol* 2020; 43(9):869-878. https://doi.org/10.1016/j.jfo.2019.12.020.
- Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN, Qiu K, Liu S, Li H, Xu G, Fan N, Pang CP, Tse KK, Lam DS. Evaluation of retinal nerve fiber layer pro-gression in glaucoma: a study on optical coherence tomography guided progression analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010; 51(1):217-222. https://doi.org/10.1167/iovs.09-3468.
- Nguyen AT, Greenfield DS, Bhakta AS, Lee J, Feuer WJ. Detecting Glaucoma Progression Using Guided Progression Analysis with OCT and Visual Field Assessment in Eyes Classified by International Classification of Disease Severity Codes. Ophthalmol Glaucoma 2019; 2(1):36-46. https://doi.org/10.1016/j.ogla.2018.11.004.
- 57. Leung CK, Yu M, Weinreb RN, Lai G, Xu G, Lam DS. Retinal nerve fiber layer imaging with spectral-domain optical coherence tomography: patterns of retinal nerve fiber layer progression. Ophthalmology 2012; 119(9):1858-1866. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.03.044.
- 58. Sung KR, Sun JH, Na JH, Lee JY, Lee Y. Progression detection capability of macular thickness in advanced glaucomatous eyes. Ophthalmology 2012; 119(2):308-313
 - https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2011.08.022.
- Moghimi S, Bowd C, Zangwill LM, Penteado RC, Hasenstab K, Hou H, Ghahari E, Manalastas PIC, Proudfoot J, Weinreb RN. Measurement Floors and Dynamic Ranges of OCT and OCT Angiography in Glau-coma. *Ophthalmology* 2019; 126(7):980-988. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2019.03.003.
- 60. Mwanza JC, Sayyad FE, Budenz DL. Choroidal thickness in unilateral advanced glaucoma. Invest Ophthalmol Vis Sci 2012; 53(10):6695-6701. https://doi.org/10.1167/iovs.12-10388.
- 61. Li L, Bian A, Zhou Q, Mao J. Peripapillary choroidal thickness in both eyes of glaucoma patients with unilateral visual field loss. Am J Oph-thalmol 2013; 156(6):1277-1284 e1271. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2013.07.011.
- Chen CL, Bojikian KD, Gupta D, Wen JC, Zhang Q, Xin C, Kono R, Mudumbai RC, Johnstone MA, Chen PP, Wang RK. Optic nerve head perfusion in normal eyes and eyes with glaucoma using optical coherence tomography-based microangiography. Quant Imaging Med Surg 2016; 6(2):125-133. https://doi.org/10.21037/qims.2016.03.05.
- Chen CL, Zhang A, Bojikian KD, Wen JC, Zhang Q, Xin C, Mudum-bai RC, Johnstone MA, Chen PP, Wang RK. Peripapillary Retinal Nerve Fiber Layer Vascular Microcirculation in Glaucoma Using Optical Vis Sci 2016; 57(9):OCT475-485. https://doi.org/10.1167/iovs.15-18909.
- 64. Kwon J, Choi J, Shin JW, Lee J, Kook MS. Alterations of the Foveal Avascular Zone Measured by Optical Coherence Tomography Angiography in Glaucoma Patients With Central Visual Field Defects. Invest Ophthalmol Vis Sci 2017; 58(3):1637-1645. https://doi.org/10.1167/iovs.16-21079
- 65. Braaf B, Vermeer KA, Vienola KV, de Boer JF. Angiography of the retina and the choroid with phase-resolved OCT using interval-optimized backstitched B-scans. Opt Express 2012; 20(18):20516-20534. https://doi.org/10.1364/OE.20.020516.

- 66. Liu L, Jia Y, Takusagawa HL, Pechauer AD, Edmunds B, Lombardi L, Davis E, Morrison JC, Huang D. Optical Coherence Tomography Angiography of the Peripapillary Retina in Glaucoma. JAMA Ophthalmol 2015; 133(9):1045-1052. https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.2225.
- 67. Jia Y, Wei E, Wang X, Zhang X, Morrison JC, Parikh M, Lombardi LH, Gattey DM, Armour RL, Edmunds B, Kraus MF, Fujimoto JG, Huang D. Optical coherence tomography angiography of optic disc perfusion in glaucoma. *Ophthalmology* 2014; 121(7):1322-1332. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.01.021.
- Jia Y, Morrison JC, Tokayer J, Tan O, Lombardi L, Baumann B, Lu CD, Choi W, Fujimoto JG, Huang D. Quantitative OCT angiography of optic nerve head blood flow. *Biomed Opt Express* 2012; 3(12):3127-3137. https://doi.org/10.1364/BOE.3.003127.
- Bojikian KD, Chen CL, Wen JC, Zhang Q, Xin C, Gupta D, Mudumbai RC, Johnstone MA, Wang RK, Chen PP. Optic Disc Perfusion in Primary Open Angle and Normal Tension Glaucoma Eyes Using Optical Coherence Tomography-Based Microangiography. *PLoS One* 2016; 11(5):e0154691. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154691.
- 70. Chen HS, Liu CH, Wu WC, Tseng HJ, Lee YS. Optical Coherence Tomography Angiography of the Superficial Microvasculature in the Macular and Peripapillary Areas in Glaucomatous and Healthy Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017; 58(9):3637-3645. https://doi.org/10.1167/iovs.17-21846.
- Alnawaiseh M, Lahme L, Muller V, Rosentreter A, Eter N. Correlation of flow density, as measured using optical coherence tomography angiography, with structural and functional parameters in glaucoma patients. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018; 256(3):589-597. https://doi.org/10.1007/s00417-017-3865-9.
- 72. Yarnohammadi A, Zangwill LM, Diniz-Filho A, Suh MH, Manalastas PI, Fatehee N, Yousefi S, Belghith A, Saunders LJ, Medeiros FA, Huang D, Weinreb RN. Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density in Healthy, Glaucoma Suspect, and Glaucoma Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016; 57(9):OCT451-459. https://doi.org/10.1167/iovs.15-18944.
- 73. Yip VCH, Wong HT, Yong VKY, Lim BA, Hee OK, Cheng J, Fu H, Lim C, Tay ELT, Loo-Valdez RG, Teo HY, Lim Ph A, Yip LWL. Optical Coherence Tomography Angiography of Optic Disc and Macula Vessel Density in Glaucoma and Healthy Eyes. *J Glaucoma* 2019; 28(1):80-87. https://doi.org/10.1097/IJG.000000000001125.
- 74. Hou H, Moghimi S, Zangwill LM, Shoji T, Ghahari E, Manalastas PIC, Penteado RC, Weinreb RN. Inter-eye Asymmetry of Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density in Bilateral Glaucoma, Glaucoma Suspect, and Healthy Eyes. Am J Ophthalmol 2018; 190:69-77. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.03.026.
- 75. Suwan Y, Fard MA, Geyman LS, Tantraworasin A, Chui TY, Rosen RB, Ritch R. Association of Myopia With Peripapillary Perfused Capillary Density in Patients With Glaucoma: An Optical Coherence Tomography Angiography Study. JAMA Ophthalmol 2018; 136(5):507-513. https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2018.0776.
- Akil H, Chopra V, Al-Sheikh M, Ghasemi Falavarjani K, Huang AS, Sadda SR, Francis BA. Swept-source OCT angiography imaging of the macular capillary network in glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2017; 132(4):515-519. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2016-309816.
- 77. Penteado RC, Zangwill LM, Daga FB, Saunders LJ, Manalastas PIC, Shoji T, Akagi T, Christopher M, Yarmohammadi A, Moghimi S, Weinreb RN. Optical Coherence Tomography Angiography Macular Vascular Density Measurements and the Central 10-2 Visual Field in Glaucoma. J Glaucoma 2018; 27(6):481-489. https://doi.org/10.1097/IJG.000000000000964.
- 78. Rao HL, Pradhan ZS, Weinreb RN, Dasari S, Riyazuddin M, Venugopal JP, Puttaiah NK, Rao DAS, Devi S, Mansouri K, Webers CAB. Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density Measurements in Eyes With Primary Open-Angle Glaucoma and Disc Hemorrhage. J Glaucoma 2017; 26(10):888-895. https://doi.org/10.1097/IJG.000000000000758.
- 79. Triolo G, Rabiolo A, Shemonski ND, Fard A, Di Matteo F, Sacconi R, Bettin P, Magazzeni S, Querques G, Vazquez LE, Barboni P, Bandello F. Optical Coherence Tomography Angiography Macular and Peripapillary Vessel Perfusion Density in Healthy Subjects, Glaucoma Suspects, and Glaucoma Patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017; 58(13):5713-5722. https://doi.org/10.1167/iovs.17-22865.
- 80. Shoji T, Zangwill LM, Akagi T, Saunders LJ, Yarmohammadi A, Manalastas PIC, Penteado RC, Weinreb RN. Progressive Macula Vessel Density Loss in Primary Open-Angle Glaucoma: A Longitudinal Study. *Am J Ophthalmol* 2017; 182:107-117. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.07.011.
- Moghimi S, Zangwill LM, Penteado RC, Hasenstab K, Ghahari E, Hou H, Christopher M, Yarmohammadi A, Manalastas PIC, Shoji T, Bowd C, Weinreb RN. Macular and Optic Nerve Head Vessel Density and Progressive Retinal Nerve Fiber Layer Loss in Glaucoma. *Ophthalmology* 2018; 125(11):1720-1728. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.05.006.

- 66. Liu L, Jia Y, Takusagawa HL, Pechauer AD, Edmunds B, Lombardi L, Davis E, Morrison JC, Huang D. Optical Coherence Tomography Angiography of the Peripapillary Retina in Glaucoma. JAMA Ophthalmol 2015; 133(9):1045-1052. https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.2225.
- 67. Jia Y, Wei E, Wang X, Zhang X, Morrison JC, Parikh M, Lombardi LH, Gattey DM, Armour RL, Edmunds B, Kraus MF, Fujimoto JG, Huang D. Optical coherence tomography angiography of optic disc perfusion in glaucoma. *Ophthalmology* 2014; 121(7):1322-1332. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.01.021.
- Jia Y, Morrison JC, Tokayer J, Tan O, Lombardi L, Baumann B, Lu CD, Choi W, Fujimoto JG, Huang D. Quantitative OCT angiography of optic nerve head blood flow. *Biomed Opt Express* 2012; 3(12):3127-3137. https://doi.org/10.1364/BOE.3.003127.
- Bojikian KD, Chen CL, Wen JC, Zhang Q, Xin C, Gupta D, Mudumbai RC, Johnstone MA, Wang RK, Chen PP. Optic Disc Perfusion in Primary Open Angle and Normal Tension Glaucoma Eyes Using Optical Coherence Tomography-Based Microangiography. *PLoS One* 2016; 11(5):e0154691. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154691.
- 70. Chen HS, Liu CH, Wu WC, Tseng HJ, Lee YS. Optical Coherence Tomography Angiography of the Superficial Microvasculature in the Macular and Peripapillary Areas in Glaucomatous and Healthy Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017; 58(9):3637-3645. https://doi.org/10.1167/iovs.17-21846.
- Alnawaiseh M, Lahme L, Muller V, Rosentreter A, Eter N. Correlation of flow density, as measured using optical coherence tomography angiography, with structural and functional parameters in glaucoma patients. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018; 256(3):589-597. https://doi.org/10.1007/s00417-017-3865-9.
- 72. Yarmohammadi A, Zangwill LM, Diniz-Filho A, Suh MH, Manalastas PI, Fatehee N, Yousefi S, Belghith A, Saunders LJ, Medeiros FA, Huang D, Weinreb RN. Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density in Healthy, Glaucoma Suspect, and Glaucoma Eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016; 57(9):OCT451-459. https://doi.org/10.1167/iovs.15-18944.
- 73. Yip VCH, Wong HT, Yong VKY, Lim BA, Hee OK, Cheng J, Fu H, Lim C, Tay ELT, Loo-Valdez RG, Teo HY, Lim Ph A, Yip LWL. Optical Coherence Tomography Angiography of Optic Disc and Macula Vessel Density in Glaucoma and Healthy Eyes. J Glaucoma 2019; 28(1):80-87. https://doi.org/10.1097/IJG.00000000001125.
- 74. Hou H, Moghimi S, Zangwill LM, Shoji T, Ghahari E, Manalastas PIC, Penteado RC, Weinreb RN. Inter-eye Asymmetry of Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density in Bilateral Glaucoma, Glaucoma Suspect, and Healthy Eyes. Am J Ophthalmol 2018; 190:69-77. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2018.03.026.
- 75. Suwan Y, Fard MA, Geyman LS, Tantraworasin A, Chui TY, Rosen RB, Ritch R. Association of Myopia With Peripapillary Perfused Capillary Density in Patients With Glaucoma: An Optical Coherence Tomography Angiography Study. *JAMA Ophthalmol* 2018; 136(5):507-513. https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2018.0776.
- 76. Akil H, Chopra V, Al-Sheikh M, Ghasemi Falavarjani K, Huang AS, Sadda SR, Francis BA. Swept-source OCT angiography imaging of the macular capillary network in glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2017; 132(4):515-519 https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2016-309816.
- 77. Penteado RC, Zangwill LM, Daga FB, Saunders LJ, Manalastas PIC, Shoji T, Akagi T, Christopher M, Yarmohammadi A, Moghimi S, Weinreb RN. Optical Coherence Tomography Angiography Macular Vascular Density Measurements and the Central 10-2 Visual Field in Glaucoma. *J Glaucoma* 2018; 27(6):481-489. https://doi.org/10.1097/IJG.00000000000964.
- 78. Rao HL, Pradhan ZS, Weinreb RN, Dasari S, Riyazuddin M, Venugopal JP, Puttaiah NK, Rao DAS, Devi S, Mansouri K, Webers CAB. Optical Coherence Tomography Angiography Vessel Density Measurements in Eyes With Primary Open-Angle Glaucoma and Disc Hemorrhage. J Glaucoma 2017; 26(10):888-895. https://doi.org/10.1097/IJG.000000000000758.
- 79. Triolo G, Rabiolo A, Shemonski ND, Fard A, Di Matteo F, Sacconi R, Bettin P, Magazzeni S, Querques G, Vazquez LE, Barboni P, Bandello F. Optical Coherence Tomography Angiography Macular and Peripapillary Vessel Perfusion Density in Healthy Subjects, Glaucoma Suspects, and Glaucoma Patients. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2017; 58(13):5713-5722. https://doi.org/10.1167/iovs.17-22865.
- 80. Shoji T, Zangwill LM, Akagi T, Saunders LJ, Yarmohammadi A, Manalastas PIC, Penteado RC, Weinreb RN. Progressive Macula Vessel Density Loss in Primary Open-Angle Glaucoma: A Longitudinal Study. *Am J Ophthalmol* 2017; 182:107-117. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2017.07.011.
- Moghimi S, Zangwill LM, Penteado RC, Hasenstab K, Ghahari E, Hou H, Christopher M, Yarmohammadi A, Manalastas PIC, Shoji T, Bowd C, Weinreb RN. Macular and Optic Nerve Head Vessel Density and Progressive Retinal Nerve Fiber Layer Loss in Glaucoma. *Ophthalmology* 2018; 125(11):1720-1728. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.05.006.

- 82. Moghimi S, Hosseini H, Riddle J, Lee GY, Bitrian E, Giaconi J, Caprioli J, Nouri-Mahdavi K. Measurement of optic disc size and rim area with spectral-domain OCT and scanning laser ophthalmoscopy. Invest Oph-thalmol Vis Sci 2012; 53(8):4519-4530. https://doi.org/10.1167/iovs.11-8362.
- 83. Stoor K, Karvonen E, Leiviska I, Liinamaa J, Saarela V. Comparison of imaging parameters between OCT, GDx and HRT in the Northern Finland birth cohort eye study. *Acta Ophthalmol* 2022; 100(5): e1103-e1111. https://doi.org/10.1111/aos.15046.
- 84. Badala F, Nouri-Mahdavi K, Raoof DA, Leeprechanon N, Law SK, Cap-*Am J Optic disk and nerve fiber layer imaging to detect glaucoma. Am J Ophthalmol* 2007;144(5):724-732. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2007.07.010.
- 85. Karvonen E, Stoor K, Luodonpaa M, Hagg P, Lintonen T, Liinamaa J, Tuulonen A, Saarela V. Diagnostic performance of modern imaging instruments in glaucoma screening. Br J Ophthalmol 2020; 104(10): 1399-1405

https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-314795.

- Zangwill LM, Bowd C, Berry CC, Williams J, Blumenthal EZ, Sanchez-Galeana CA, Vasile C, Weinreb RN. Discriminating between normal and glaucomatous eyes using the Heidelberg Retina Tomograph, GDx Nerve Fiber Analyzer, and Optical Coherence Tomograph. Arch Ophthalmol 2001; 119(7):985-993.
 - https://doi.org/10.1001/archopht.119.7.985.
- 87. Medeiros FA, Zangwill LM, Bowd C, Weinreb RN. 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. *Arch Ophthalmol* 2004; 122(6):827-837. https://doi.org/10.1001/archopht.122.6.827.
- Sato S, Hirooka K, Baba T, Shiraga F. Comparison of optic nerve head parameters using Heidelberg Retina Tomograph 3 and spectral-domain optical coherence tomography. *Clin Exp Ophthalmol* 2012; 40(7):721-726.

https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2012.02782.x.

- 89. Moreno-Montanes J, Anton A, Garcia N, Olmo N, Morilla A, Fallon M. Comparison of retinal nerve fiber layer thickness values using Stratus Optical Coherence Tomography and Heidelberg Retina Tomograph-III. J Glaucoma 2009: 18(7):528-534. https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e318193c29f.
- 90. Lisboa R, Leite MT, Zangwill LM, Tafreshi A, Weinreb RN, Medeiros FA. Diagnosing preperimetric glaucoma with spectral domain optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2012; 119(11):2261-2269. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.06.009.
- 91. Medeiros FA, Vizzeri G, Zangwill LM, Alencar LM, Sample PA, Wein-reb RN. Comparison of retinal nerve fiber layer and optic disc imaging Ophthalmology 2008; 115(8):1340-1346. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2007.11.008.
- 92. Alencar LM, Zangwill LM, Weinreb RN, Bowd C, Sample PA, Girkin CA, Liebmann JM, Medeiros FA. A comparison of rates of change in neuro-retinal rim area and retinal nerve fiber layer thickness in progressive glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010; 51(7):3531-3539. https://doi.org/10.1167/iovs.09-4350.
- 93. Kim HG, Heo H, Park SW. Comparison of scanning laser polarimetry and optical coherence tomography in preperimetric glaucoma. Optom Vis Sci 2011; 88(1):124-129 https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181fdef9c.
- Brusini P, Salvetat ML, Zeppieri M, Tosoni C, Parisi L, Felletti M. Com-parison between GDx VCC scanning laser polarimetry and Stratus OCT optical coherence tomography in the diagnosis of chronic glau-coma. Acta Ophthalmol Scand 2006; 84(5):650-655. https://doi.org/10.1111/j.1600-0420.2006.00747.x.
- 95. Horn FK, Mardin CY, Laemmer R, Baleanu D, Juenemann AM, Kruse FE, Tornow RP. Correlation between local glaucomatous visual field defects and loss of nerve fiber layer thickness measured with polarimetry and spectral domain OCT. Invest Ophthalmol Vis Sci 2009; 50(5):1971-1977. https://doi.org/10.1167/iovs.08-2405
- 96. Xu G, Weinreb RN, Leung CKS. Retinal nerve fiber layer progression in glaucoma: a comparison between retinal nerve fiber layer thickness and retardance. *Ophthalmology* 2013; 120(12):2493-2500. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.07.027.
- 97. Lever M, Halfwassen C, Unterlauft JD, Bechrakis NE, Manthey A, Bohm MRR. Retinal nerve fibre layer thickness measurements in childhood glaucoma: the role of scanning laser polarimetry and opti-cal coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2021; 250(12):0727 2760 259(12):3777-3786

https://doi.org/10.1007/s00417-021-05276-z.

98. Fallon M, Valero O, Pazos M, Anton A. Diagnostic accuracy of imaging devices in glaucoma: A meta-analysis. Surv Ophthalmol 2017; 62(4): 446-461

https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2017.01.001.

- 82. Moghimi S, Hosseini H, Riddle J, Lee GY, Bitrian E, Giaconi J, Caprioli J, Nouri-Mahdavi K. Measurement of optic disc size and rim area with spectral-domain OCT and scanning laser ophthalmoscopy. Invest Oph-thalmol Vis Sci 2012; 53(8):4519-4530. https://doi.org/10.1167/iovs.11-8362.
- Stoor K, Karvonen E, Leiviska I, Liinamaa J, Saarela V. Comparison of imaging parameters between OCT, GDx and HRT in the Northern Finland birth cohort eye study. *Acta Ophthalmol* 2022; 100(5): e1103-e1111. https://doi.org/10.1111/aos.15046. 83
- 84. Badala F, Nouri-Mahdavi K, Raoof DA, Leeprechanon N, Law SK, Caprioli J. Optic disk and nerve fiber layer imaging to detect glaucoma. Am J Ophthalmol 2007;144(5):724-732. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2007.07.010
- 85. Karvonen E, Stoor K, Luodonpaa M, Hagg P, Lintonen T, Liinamaa J, Tuulonen A, Saarela V. Diagnostic performance of modern imaging instruments in glaucoma screening. Br J Ophthalmol 2020; 104(10): 1399-1405
 - https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2019-314795.
- Zangwill LM, Bowd C, Berry CC, Williams J, Blumenthal EZ, Sanchez-Galeana CA, Vasile C, Weinreb RN. Discriminating between normal and glaucomatous eyes using the Heidelberg Retina Tomograph, GDx Nerve Fiber Analyzer, and Optical Coherence Tomograph. Arch Ophthalmol 2001; 119(7):985-993. https://doi.org/10.1001/archopht.119.7.985.
- Medeiros FA, Zangwill LM, Bowd C, Weinreb RN. 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. *Arch Ophthalmol* 2004; 122(6):827-837. https://doi.org/10.1001/archopht.122.6.827.
- Sato S, Hirooka K, Baba T, Shiraga F. Comparison of optic nerve head parameters using Heidelberg Retina Tomograph 3 and spectraldomain optical coherence tomography. Clin Exp Ophthalmol 2012; 40(7):721-726. https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2012.02782.x.
- Moreno-Montanes J, Anton A, Garcia N, Olmo N, Morilla A, Fallon M. Comparison of retinal nerve fiber layer thickness values using Stratus Optical Coherence Tomography and Heidelberg Retina Tomograph-III. J Glaucoma 2009: 18(7):528-534. https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e318193c29f.
- Lisboa R, Leite MT, Zangwill LM, Tafreshi A, Weinreb RN, Medeiros FA. Diagnosing preperimetric glaucoma with spectral domain optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2012; 119(11):2261-2269. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.06.009.
- 91. Medeiros FA, Vizzeri G, Zangwill LM, Alencar LM, Sample PA, Weinreb RN. Comparison of retinal nerve fiber layer and optic disc imaging Ophthalmology 2008; 115(8):1340-1346. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2007.11.008.
- Alencar LM, Zangwill LM, Weinreb RN, Bowd C, Sample PA, Girkin CA, Liebmann JM, Medeiros FA. A comparison of rates of change in neuro-retinal rim area and retinal nerve fiber layer thickness in progressive glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010; 51(7):3531-3539. https://doi.org/10.1167/iovs.09-4350.
- 93. Kim HG, Heo H, Park SW. Comparison of scanning laser polarimetry and optical coherence tomography in preperimetric glaucoma. Optom Vis Sci 2011; 88(1):124-129 https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3181fdef9c.
- Brusini P, Salvetat ML, Zeppieri M, Tosoni C, Parisi L, Felletti M. Com-parison between GDx VCC scanning laser polarimetry and Stratus OCT optical coherence tomography in the diagnosis of chronic glau-coma. Acta Ophthalmol Scand 2006; 84(5):650-655. https://doi.org/10.1111/j.1600-0420.2006.00747.x.
- 95. Horn FK, Mardin CY, Laemmer R, Baleanu D, Juenemann AM, Kruse FE. Tornow RP. Correlation between local glaucomatous visual field defects and loss of nerve fiber layer thickness measured with polarimetry and spectral domain OCT. Invest Ophthalmol Vis Sci 2009; 50(5):1971-1977. https://doi.org/10.1167/iovs.08-2405.
- 96. Xu G, Weinreb RN, Leung CKS. Retinal nerve fiber layer progression in glaucoma: a comparison between retinal nerve fiber layer thickness and retardance. *Ophthalmology* 2013; 120(12):2493-2500. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2013.07.027
- Lever M, Halfwassen C, Unterlauft JD, Bechrakis NE, Manthey A, Bohm MRR. Retinal nerve fibre layer thickness measurements in childhood glaucoma: the role of scanning laser polarimetry and opti-cal coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2021; 070(10):07777 0787 259(12):3777-3786 https://doi.org/10.1007/s00417-021-05276-z.
- 98. Fallon M, Valero O, Pazos M, Anton A. Diagnostic accuracy of imaging devices in glaucoma: A meta-analysis. Surv Ophthalmol 2017; 62(4): 446-461

https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2017.01.001.