

Обзор
УДК 617.7-007.681
doi: 10.25276/0235-4160-2022-2-67-76

Современные методы визуализации угла передней камеры глаза в диагностике и лечении глаукомы

А.В. Сидорова, А.В. Старостина, К.А. Стефанкова, Е.С. Мустафаева, М.С. Джерештиева, А.А. Айдинян

НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Москва

РЕФЕРАТ

Цель. Провести анализ литературы, отражающей основные современные методы визуализации угла передней камеры глаза, которые применяются у пациентов с глаукомой. **Материал и методы.** Для выполнения обзора был осуществлен поиск источников литературы по реферативным базам PubMed, Scopus и eLibrary за период до 2022 г. включительно с использованием ключевых слов «угол передней камеры», «гониоскопия», «электронная гоноскопия», «оптическая когерентная томография», «ультразвуковая биомикроскопия» и тех же фраз на английском. **Результаты.** Многообразие клинических и морфологических форм глаукомы, широкая распространенность, частота встречаемости и неуклонный рост данного заболевания требуют своевременной диагностики, а также динамического мониторинга результатов консервативного и хирургического лечения у пациентов с глаукомой. Несмотря на важность такого метода диагностики, как гоноскопия, врачи до сих пор не используют ее в достаточной степени, частота ее выполнения во время первого посещения врача по поводу глаукомы варьирует от 17,96 до 45,9%. Также существуют дополнительные инструментальные методы обследования пациентов с глаукомой, позволяющие дать объективную оценку структурам переднего отрезка глаза: автоматизированная гоноскопия, оптическая когерентная томография переднего отрезка гла-

за и ультразвуковая биомикроскопия. Данные методы могут быть использованы как при первичной диагностике глаукомы и ее динамического наблюдения, так и для выбора тактики хирургического лечения и контроля его результатов благодаря высокоточной визуализации и документации изображений. Каждый из них имеет свои особенности, достоинства и недостатки в зависимости от специфики заболевания и наличия сопутствующей глазной патологии, которые изложены в данной статье. **Заключение.** Учитывая разнообразие клинических форм глаукомы и недостаточную оснащенность медицинских учреждений, особенно первичного звена, можно сделать вывод о необходимости усовершенствования диагностических алгоритмов. Такие методы, как электронная гоноскопия, оптическая когерентная томография переднего отрезка глаза и ультразвуковая биомикроскопия, сделают процесс диагностики более точным и информативным, помогут правильно поставить диагноз и определить тактику лечения как врачу первичного звена, так и хирургу. Возможность документирования полученных результатов и создание системы их анализа могут способствовать созданию обобщенной базы данных, что во многом упростит и ускорит процесс оказания помощи пациентам с глаукомой.

Ключевые слова: глаукома, угол передней камеры, гоноскопия, электронная гоноскопия, оптическая когерентная томография, ультразвуковая биомикроскопия ■

Для цитирования: Сидорова А.В., Старостина А.В., Стефанкова К.А., Мустафаева Е.С., Джерештиева М.С., Айдинян А.А. Современные методы визуализации угла передней камеры глаза в диагностике и лечении глаукомы. Офтальмохирургия. 2022;2: 66–76. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-2-67-76>

Автор, ответственный за переписку: Ксения Алексеевна Стефанкова, kstiefankova@bk.ru

ABSTRACT

Review

Modern methods of visualization of the angle of the anterior chamber of the eye in the diagnosis and treatment of glaucoma

A.V. Sidorova, A.V. Starostina, K.A. Stefankova, E.S. Mustafaeva, M.S. Jereshtieva, A.A. Aydinyan

Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow, Russian Federation

Purpose. To analyze the literature reflecting the main modern methods of visualizing the angle of the anterior chamber of the eye, which are used in patients with glaucoma. **Material and methods.** To

perform the review, a search was carried out for literature sources on the Pubmed, Scopus and Elibrary reference databases for the period up to 2022 inclusive using the following keywords: anterior camera angle,

gonioscopy, electronic gonioscopy, optical coherence tomography, ultrasound biomicroscopy and the same phrases in Russian. **Results.** The variety of clinical and morphological forms of glaucoma, the wide prevalence, frequency of occurrence and steady growth of this disease require timely diagnostics, as well as dynamic monitoring of the results of conservative and surgical treatment in patients with glaucoma. Despite the importance of such a diagnostic method as gonioscopy, ophthalmologists still do not use it sufficiently, the frequency of its application during the first visit to the doctor for glaucoma varies from 17.96 to 45.9%. There are also additional instrumental methods of examination of patients with glaucoma that allow an objective assessment of the structures of the eye anterior segment: automated gonioscopy, optical coherence tomography of the eye anterior segment and ultrasound biomicroscopy. These methods can be used both for the primary diagnosis of glaucoma and its dynamic observation, as well as for choosing surgical treatment tactics and monitoring its results thanks to high-precision visualisation and image

documentation. Each of them has its own characteristics, advantages and disadvantages, depending on the specifics of the disease and the presence of concomitant ocular pathology, which are described in this article.

Conclusion. Taking into account the variety of clinical forms of glaucoma and the insufficient equipment of medical institutions, especially primary care, it can be concluded that it is necessary to improve diagnostic algorithms. Methods such as electronic gonioscopy, optical coherence tomography of the eye anterior segment and ultrasound biomicroscopy will make the diagnostic process more accurate and informative, help to correctly diagnose and determine treatment tactics for both primary care physicians and surgeons. The possibility of documenting the results obtained and creating a system for their analysis can contribute to the founding of a generalized database, which will greatly simplify and accelerate the process of providing care to patients with glaucoma.

Key words: *glaucoma, anterior chamber angle, gonioscopy, electronic gonioscopy, optical coherence tomography, ultrasound biomicroscopy* ■

For quoting: Sidorova A.V., Starostina A.V., Stefankova K.A., Mustafaeva E.S., Jershtieva M.S., Aydinyan A.A. Modern methods of visualization of the angle of the anterior chamber of the eye in the diagnosis and treatment of glaucoma. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2022;2:66–76. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2022-2-67-76>

Corresponding author: Kseniya A. Stefankova, kstiefankova@bk.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ

Одним из важнейших исследований для постановки диагноза «глаукома» и определения механизма ее развития является гониоскопия. Это один из базовых диагностических методов исследования при данном заболевании. На современном этапе гониоскопию выполняют классическим мануальным методом с помощью гониолинзы.

Также для визуализации структур угла передней камеры (УПК) используют такие дополнительные методы диагностики, как оптическая когерентная томография переднего отрезка глаза (ОКТ ПОГ) и ультразвуковая биомикроскопия (УБМ), эти методы обеспечивают только анатомическую количественную оценку.

ЦЕЛЬ

Провести анализ литературы, отражающей основные современные методы визуализации УПК глаза, которые применяются у пациентов с глаукомой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для выполнения обзора был осуществлен поиск источников литературы по реферативным базам PubMed, Scopus и eLibrary за период до 2022 г. включительно с использованием ключевых слов «угол передней камеры», «гониоскопия», «электронная гониоскопия», «оптическая когерентная томография», «ультразвуковая

биомикроскопия», «anterior camera angle», «gonioscopy», «electronic gonioscopy», «optical coherence tomography», «ultrasound biomicroscopy».

РЕЗУЛЬТАТЫ

Методу клинической мануальной гониоскопии насчитывается уже более 100 лет. За эти годы выдающиеся ученые и проницательные клиницисты сыграли определенную роль в разработке этого важного метода обследования. Первым, кому удалось визуализировать УПК человеческого глаза еще в 1898 г., был греческий офтальмолог Alexios Trantas. Он смог рассмотреть УПК глаза через роговицу, используя прямой офтальмоскоп и надавливая пальцем на склеру в зоне лимба, смещая тем самым область УПК к центру [1, 2]. А. Trantas предложил термин «гониоскопия» (от греч. *gonia* – угол и *skopeo* – рассматривать).

В 1914 г. М. Salzmann удалось исследовать УПК при помощи контактной линзы Fick, предназначенной для лечения кератоконуса, и достаточно точно описать строение УПК. Он подчеркнул важность гониоскопического исследования на глазах пациентов, перенесших острый приступ глаукомы. М. Salzmann также был первым, кто описал наличие крови в шлеммовом канале [2, 3]. В то время исследование представляло собой практически макрогониоскопию и проводилось в положении лежа, что затрудняло применение хорошо сфокусированного света и сильных увеличительных систем.

В 1919 г. немецкий офтальмолог Л. Коерре сконструировал собственную линзу для прямой гониоскопии. Примерно в это же время, в 1920 г., компания Zeiss раз-

работала современную щелевую лампу, которая позволила значительно продвинуться в исследовании глаза. В 1925 г. мексиканский офтальмолог M.U. Troncoso смог получить четкое изображение УПК при помощи разработанного им монокулярного электроофтальмоскопа и линзы Коерре. С целью увеличения получаемого изображения в 1942 г. он сконструировал стереоскопический гониоскоп. Осмотр можно было производить с 10- и 18-кратным увеличением, но все еще в положении лежа [2, 3].

Прорыв произошел в 1938 г., когда швейцарским офтальмологом Н. Goldmann была предложена современная непрямая гониоскопия с помощью зеркальной контактной линзы [3, 4]. С помощью гониолинзы стала возможной визуализация всех сегментов УПК путем поворота гониоскопа вокруг своей оси у пациента в положении сидя за щелевой лампой. Так возникла методика, получившая название биомикрогониоскопия. В дальнейшем было предложено множество модификаций линзы Гольдмана, а биомикрогониоскопия открыла новые возможности для диагностики и клинической характеристики целого ряда заболеваний глаз.

Гониоскопия проводится различными способами. Разработано несколько видов гониоскопов, которые отличаются друг от друга устройством, числом зеркал и линз. Они подбираются с учетом цели процедуры, т.е. медицинских показаний. От типа линзы зависит техника проведения процедуры. Основными способами проведения исследования являются прямая и непрямая гониоскопия.

Прямую гониоскопию чаще всего проводят интраоперационно в диагностически сложных случаях или для проведения манипуляций на УПК. Для ее проведения используют такие линзы, как: Кеппе, Хоскинса–Баркана, Свона–Якобса и др. [1–3]. Непрямую гониоскопию проводят под щелевой лампой. Наиболее часто используется трехзеркальная линза Гольдмана, а также применяются линза Ритча, широкопольная гониолинза, четырехзеркальная линза Познера, линза Цейса, гониопризма Аллена–Торпа и др. [1–4].

Гониоскопия на протяжении многих лет остается клиническим стандартом оценки структур УПК, так как никакие другие методы не дают оценки хроматической информации структур угла. В клинической практике наиболее важны гониоскопические данные об открытии УПК, степени пигментации шлеммова канала, наличии или отсутствии гонисинехий.

Мануальная гониоскопия требует навыков и опыта исследователя для того, чтобы получить изображение достаточного качества. Причем при гониоскопии можно осмотреть за один раз только ограниченную часть УПК, а методика основана на субъективной оценке. Следовательно, оценка результатов гониоскопии проблематична из-за ее значительной вариабельности между исследователями. Несмотря на важность, врачи до сих пор не используют гониоскопию в достаточной степени, и ча-

стога ее выполнения во время первого посещения врача по поводу глаукомы варьирует от 17,96 до 45,9% [2, 5].

Электронная гониоскопия

В 2018 г. был предложен новый прибор для проведения электронной гониоскопии – автоматический гониоскоп GS-1 (Nidek Co., Япония). Прибор включает в себя 16-зеркальную граненую автоматически вращающуюся оптическую контактную призму с подсветкой белой светодиодной лампой и встроенную высокоразрешающую цветную камеру. Каждая грань призмы излучает белый свет на часть угла в 22,5°. Камера гониоскопа может выполнять 17 снимков, имитирующих непрямую статическую гониоскопию при различной глубине фокуса с каждой из фасеток, всего 272 гонио-фотографии по протоколу, который определен производителем [6].

Процедура проводится после эпibuльбарной капельной анестезии и с помощью контактного геля для линз, при этом обследуемый находится в положении сидя. После выполнения обследования программное обеспечение прибора отображает выбранные изображения таким образом, чтобы 360-градусный обзор УПК мог визуализироваться в трех форматах: 16-секционный дисплей; круговой дисплей, который представляет собой «сшитые» изображения, по визуализации приближенные к субъективной оценке врачом во время мануальной гониоскопии; линейный дисплей, который представляет собой «развернутое» изображение.

Исследователь может анализировать полученные изображения, увеличивая и подробно рассматривая любые отклонения. Эта технология помогает определить степень открытия угла, а также убедиться в правильности подобранного хирургического лечения (лазерная трабекулопластика или хирургические процедуры на структурах УПК). Также специалисты по глаукоме смогут консультировать пациентов на расстоянии, что поможет значительно улучшить показатели ранней диагностики глаукомы или принять решение в диагностически сложных случаях [6].

F. Teixeira и соавт. (2018) впервые в своем исследовании проводили сравнение прототипа гониоскопа NGS-1 (NIDEK, Япония) и мануальной гониоскопии у 47 пациентов (88 глаз). Авторы отмечают, что при помощи автоматизированной гониоскопии лучше визуализируются морфологические особенности, такие как: пигментация, периферические передние синехии, наличие аномальных сосудов, новообразования и др. Однако по результатам проведенного сравнения данных методик авторы пришли к выводам, что электронная гониоскопия уступает классической в определении степени закрытия угла. Преимуществами мануальной методики являются возможность использования в качестве ориентира роговичного клина («световой вилки») для помощи определения угловых структур и возможность проведения компрессионной пробы для определения наличия гонисинехий, особенно при закрытоугольной глаукоме. По

мнению авторов, данный метод позволяет визуализировать изменения структур УПК и дает возможность документировать полученные снимки [6]. Простота данной методики дает возможность выполнения исследования не только врачом, но и специально обученным средним медицинским персоналом, что позволит более широко применять данный метод исследования для документации большего числа пациентов.

Одним из основных параметров структур УПК является пигментация трабекулы. М. Matsuo и соавт. в 2019 г. оценивали уровень пигментации структур УПК при помощи электронного гониоскопа GS-1. В исследовании авторы проанализировали 300 снимков, полученных в четырех секторах (верхнем, назальном, темпоральном и нижнем), 75 глаз пациентов с разными формами первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) без предшествующих операций и пациентов без глаукомы. Также был проведен сравнительный анализ полученных данных с мануальной гониоскопией. Авторы предложили три класса пигментации УПК: 0 класс (до I степени пигментации по Шейе), 1-й класс (II степень пигментации по Шейе), 2-й класс (III–IV степень пигментации по Шейе). Оценку пигментации при классической гониоскопии проводили врачи-офтальмологи, а результаты, полученные при электронной гониоскопии, оценивали с помощью компьютерной программы [7]. При анализе результатов было отмечено, что при автоматической оценке степень пигментации оценивалась выше, чем при классической гониоскопии. Таким образом, автоматическая оценка имеет тенденцию к завышению. В заключение авторы говорят о пользе нового объективного метода оценки распределения пигментации на изображениях, полученных с помощью гониоскопа GS-1 в клинических условиях. Сравнение автоматического и ручного исследования показало хорошее соответствие. Исследователи говорят о необходимости дальнейших исследований, в которых можно разработать единую методологию для анализа полученных при электронной гониоскопии данных.

Также М. Matsuo и соавт. в 2021 г. провели исследование, в ходе которого пятью независимыми офтальмологами были изучены изображения, полученные с помощью электронного гониоскопа. Врачи оценивали степень открытия УПК, пигментацию и изменения структур УПК и пришли к выводу, что электронная гониоскопия может быть полезна для скрининга обнаружения закрытия УПК, однако все исследователи указывают на необходимость дополнительных обследований данной группы пациентов. Также была отмечена удовлетворительная визуализация структур УПК, пигментации, хорошо визуализировались синехии. В заключении исследователи отмечают необходимость дополнительного обучения врачей гониоскопии для более объективной оценки гониофотографий [8].

А.С. Саркисян и соавт. при исследовании УПК с помощью гониоскопа GS-1 (Nidek Co., Япония) предложи-

ли фотоколориметрическую шкалу для оценки степени пигментации трабекулы по всей ее окружности у пациентов с ПОУГ [9]. Авторы провели анализ пигментации структур УПК у 36 пациентов (62 глаза) с ПОУГ. Оценку пигментации УПК проводили по системе RGB (red, green, blue) с дальнейшей разработкой колориметрической шкалы. По мнению авторов, применение цветовой модели RGB позволит с высокой достоверностью оценить различия между степенями пигментации трабекулы у больных глаукомой. Фотоколориметрическая шкала облегчит объективную оценку эффективности лазерных операций, направленных на уменьшение степени пигментации трабекулы по всей окружности УПК.

Сравнительный анализ полученных при электронной гониоскопии изображений также провела международная группа исследователей под руководством А. Pegoni [10]. В ходе исследования пять офтальмологов анализировали 20 гонио-изображений и определяли на них структуры УПК. Все исследователи смогли идентифицировать на снимках роговицу, корень радужки и трабекулу, однако не все определили цилиарное тело и склеральную шпору. Авторы отмечают, что оценить структуры УПК сложнее при его сужении. Также все исследователи отметили, что закрытый УПК визуализируется лучше, чем узкий.

Одним из преимуществ электронной гониоскопии является возможность визуализировать и задокументировать положение различных дренажных устройств, имплантированных при проведении антиглаукомных операций. Y. Shi и соавт. выполнили автоматическую гониоскопию 33 пациентам (66 глаз) с глаукомой [11]. Авторы смогли получить качественные фотографии с хорошей фокусировкой структур УПК, изображения зон антиглаукомных операций (хирургических и лазерных) и имплантированных дренажей, а также оценить их положение в УПК. Например, в связи с недавним выводом супрахориоидального шунтирующего устройства SuPass (Alcon) с мирового офтальмохирургического рынка способность оценивать и документировать правильное расположение и размещение дренажных устройств может играть все более важную роль в оценке эффективности антиглаукомной операции.

R.C. Varga и соавт. в своем исследовании отмечают, что, хотя мануальная гониоскопия по-прежнему является золотым стандартом оценки УПК, электронная гониоскопия может предоставить врачам дополнительный инструмент для быстрой визуализации УПК с сохранением изображений, а также дает возможность визуализировать изменение ширины УПК после хирургического или лазерного вмешательства, формирование синехий у пациентов с воспалительными заболеваниями глаза, появление новообразованных сосудов и состояния зон антиглаукомных операций и оценки положения дренажей [12, 13].

Изображения дренажных конструкций и устройств хорошо визуализируются, так как система камеры полу-

чает несколько изображений с разным фокусным расстоянием в быстрой серии снимков в одной и той же области с использованием автоматического точного фокуса. После получения изображения прибор обеспечивает вывод наиболее сфокусированных из них (17 изображений в разделе). Далее у оператора есть возможность выбора альтернативных изображений сечения, обеспечивающих желаемый фокус на интересующую конструкцию или устройство. Таким образом, можно легко выбрать изображение с идеальной глубиной резкости [12–14].

Оптическая когерентная томография

Еще одной из объективных методик компьютерной визуализации структур УПК и переднего отрезка глаза является ОКТ ПОГ.

ОКТ – метод диагностического исследования, который позволяет получать высококачественные, высокоточные изображения внутренней микроструктуры биологических тканей посредством измерения интенсивности и времени эхо-задержки света [15]. Технология ОКТ первоначально применялась для визуализации заднего сегмента глаза, а именно сетчатки и диска зрительного нерва. Со временем технология совершенствовалась и позволила получать качественное изображение поверхности глаза и его переднего сегмента.

Методика ОКТ ПОГ основана на интерферометрии с низкой когерентностью, которая измеряет задержку и интенсивность обратно рассеянного инфракрасного света с помощью суперлюминесцентного диода с длиной волны приблизительно 1310 нм. Интерферометрия с низкой когерентностью измеряет интерференцию двух световых лучей, исходящих от одного и того же источника света, путем сравнения обратного рассеяния ткани со светом, который проходит по известному эталонному пути с эталонным зеркалом [15, 16]. Оба пути объединяются в детекторе, затем модулируются и, наконец, отправляются в компьютер, формируя двухмерное (2D) изображение. Снимки, получаемые на выходе, сходны с изображениями, полученными в результате ультразвукового В-сканирования. Отличие заключается в том, что ОКТ ПОГ использует свет, а не звуковые волны.

Кроме того, ОКТ ПОГ имеет разрешение в 10–25 раз выше, чем при ультразвуковой визуализации высокого разрешения. Однако глубина проникновения ОКТ меньше, чем у ультразвука [16–18]. ОКТ сетчатки использует свет с длиной волны 830 нм. Большая длина волны, используемая в ОКТ ПОГ, приводит к меньшему рассеянию в тканях, таких как склера и лимб, что увеличивает проникновение через эти ткани и позволяет визуализировать роговицу, радужку, УПК и переднюю часть хрусталика через зрачок. Свет с большей длиной волны поглощается водой в глазных средах, и поэтому только 10% лазерного света достигает сетчатки. К сожалению, ОКТ ПОГ не может проникнуть через пигментный листок радужки, что ограничивает визуализацию цилиар-

ного тела. Проходящий свет поглощается пигментным эпителием.

Первое ОКТ-изображение шлеммова канала и трабекулярной сети было представлено M. Sagunic и его коллегами в 2008 г. с использованием системы SS-ОКТ (swert-source OCT), работающей на длине волны 1310 нм и подтверждающей осевое разрешение примерно 9 мкм [18, 19]. Осевое разрешение этой системы, однако, было недостаточно хорошим для визуализации деталей этой структуры или для количественной оценки размеров шлеммова канала. Идея визуализации шлеммова канала с помощью ОКТ была предложена L. Kagemann и его коллегами. Авторам удалось визуализировать шлеммов канал, каналы коллектора и склеральные вены. Благодаря высокому разрешению, авторы впоследствии смогли количественно оценить площадь поперечного сечения шлеммова канала [20].

Основными типами ОКТ являются: time-domain ОКТ (TD-ОКТ) – временная ОКТ (400 А-сканов/с и осевое разрешение 10 мкм); spectral-domain ОКТ (SD-ОКТ) на основе применения математического анализа Фурье для обработки полученной информации в ходе сканирования с помощью спектрометра (60–70 тыс. А-сканов/с и осевое разрешение 3–5 мкм); SS-ОКТ, также называемая ОКТ с переменной длиной волны или ОКТ с перестраиваемым источником, относится к семейству Fourier-domain, поскольку, как и традиционная спектральная ОКТ, для восстановления профиля оптической плотности по оси глубины (А-скан) применяет преобразование Фурье (100 тыс. А-сканов/с и осевое разрешение 8 мкм) [21, 22].

Наиболее известным представителем TD-ОКТ ПОГ является Visante OCT (Carl Zeiss Meditec, Дублин, Калифорния, США) – длинноволновой суперлюминесцентный лазер, имеющей следующие характеристики: частота сканирования – 2000 сканов/с; разрешающая способность: аксиальная 18 мкм, поперечная 60 мкм; количество А-сканов на 1 семпл: передний сегмент 256, роговица 512, количество измеряемых точек карты пахиметрии – 2048; размер сканируемой области: передний сегмент – 16×6 мм, роговица и карта пахиметрии – 10×3 мм. Прибор автоматически регулирует положение головы пациента при исследовании, позволяя врачу наблюдать результат на экране в реальном времени. Плюсом прибора Visante, является то, что он может снимать изображения в полной темноте [22–24].

Spectralis OCT (Heidelberg Engineering, Гейдельберг, Германия) – представитель SD AS-ОКТ, имеет осевое разрешение 3 мкм. Современные спектральные ОКТ имеют длину волны 840 нм, осевое разрешение от 3 до 7 мкм, скорость сканирования достигает 40 тыс. А-сканов/с. Spectralis ОКТ обладает улучшенной глубинной визуализацией, которая повышает чувствительность изображения структур на большей глубине. Компания Heidelberg Engineering воплотила технологию SS-ОКТ в томографе для переднего отрезка Anterior 1300 нм, ак-

сиальное разрешение 10 мкм. Сочетание источника света с длиной волны 1300 нм и технологии SS-OCT обеспечивают минимальный спад чувствительности в широком динамическом диапазоне, что позволяет получать высококонтрастные изображения всего переднего сегмента глаза. Эта комбинация приводит к детальной визуализации и анализу структур переднего сегмента с помощью одного устройства. Эти структуры включают роговицу, переднюю камеру и угол, радужную оболочку и хрусталик. С помощью прибора Anterior также можно измерять осевую длину глаза и проводить расчет интраокулярной линзы [24, 25].

На базе технологии SS-OCT созданы томограф для переднего отрезка Casia SS-1000 с длиной волны 1310 нм, скоростью сканирования 30 000 А-сканов/с, аксиальным разрешением 10 мкм, поперечным – 30 мкм, а также томограф Casia 2 фирмы Tomey с длиной волны 1310 нм, скоростью сканирования 50 000 А-сканов/с, аксиальным разрешением 10 мкм, поперечным – 30 мкм [26–28].

Визуализация структур передней камеры глаза приобретает все большее значение для диагностики, лечения и последующего наблюдения при закрытоугольной глаукоме [21, 29]. Основным патологическим участком при этой форме глаукомы является трабекулярная сеть, которая является местом оттока водянистой влаги глаза.

С помощью ОКТ ПОГ возможно выполнение качественной и количественной оценки УПК, радужки и хрусталика. Как уже отмечалось, волны с большей длиной (1310 нм) способны проникать более глубоко, через склеру, лимб, радужку, позволяя визуализировать структуры УПК, включая склеральную шпору, полосу цилиарного тела, корень радужки. ОКТ с длиной волны 830 нм не может проникать через склеру или радужку, но позволяет получать значительно большее разрешение и тем самым визуализировать очень малые анатомические детали, такие как линия Швальбе, шлеммов канал и трабекулярная сеть. Недостатком ОКТ ПОГ является невозможность проникновения через пигментный эпителий радужки, что делает невозможным оценку структур за радужкой.

Для правильной оценки структур УПК важна идентификация склеральной шпоры, от этого зависит точность измерения. Исследователь вручную отмечает склеральную шпору, которую можно определить как точку выступа склеры вовнутрь с изменением кривизны ее внутренней поверхности. Однако склеральная шпора не всегда может быть определена даже при ОКТ ПОГ.

Общие параметры, используемые для описания характеристик УПК, включают величину открытия угла (в градусах), ARA (angle recess area; площадь угловой выемки), TISA (trabecular iris space area; расстояние между задней поверхностью роговицы и радужкой) и ACD (anterior chamber depth; глубина передней камеры). Параметры TISA могут быть измерены с разными интервалами впереди от склеральной шпоры, чаще всего на расстоянии 500 или 750 мкм впереди от нее [17, 19, 29].

Величина и дистанция открытия угла высчитываются с применением персонафицированного программного обеспечения, ориентир (склеральная шпора) устанавливается исследователем. Эти параметры могут быть оценены на 360° (во всех квадрантах). Выполнение ОКТ ПОГ позволяет оценить эффективность лазерной иридэктомии как при закрытоугольной глаукоме, так и при глаукоме с узким УПК [29–31].

Данные ОКТ ПОГ высокоинформативны для визуализации зоны антиглаукомной операции, особенно при оценке путей оттока после непроницающих операций. При проведении исследования в послеоперационном периоде оценивают состояние фильтрационной подушки (ФП), интрасклеральной зоны операции (склеральный лоскут и интрасклеральная полость), внутренней зоны операции (трабекулодесцеметова мембрана, УПК и прикорневая зона радужки), шлеммова канала и путей оттока [32, 33].

После синустрабекулэктомии (СТЭ) возможно оценить состояние и функциональность ФП, а в случае послеоперационных осложнений точно локализовать поражение и разработать соответствующий план лечения. Морфология ФП, как известно, является важным показателем функционирования зоны операции после СТЭ. При биомикроскопии возможно оценить только ее внешний вид. При помощи ОКТ ПОГ можно визуализировать внутренние структуры зоны антиглаукомной операции, оценить расположение склерального лоскута, наличие кистозных пространств и состояние путей оттока и определить уровень ретенции [34, 35]. Также ОКТ ПОГ информативно для оценки положения антиглаукомных дренажей [36].

Ультразвуковая биомикроскопия

Еще одним высокоинформативным методом исследования переднего отрезка глаза, позволяющим визуализировать его структуры, является УБМ. Это ультразвуковая методика высокого разрешения, разработанная докторами С. Pavlin и F.S. Foster и физиками M.D. Sherar и K. Harasiewicz в конце 1980-х гг. в Канаде.

Первое применение УБМ при глаукоме было описано С. Pavlin в 1992 г., когда возглавляемая им команда определила нормальный диапазон для нескольких параметров переднего сегмента, таких как глубина воздействия прибора, размеры УПК, толщина склеры и радужки [37].

Технология УБМ использует ультразвуковые частоты в диапазоне 35–100 МГц, что дает возможность неинвазивно *in vivo* визуализировать структурные детали переднего сегмента глаза и позволяет получить исключительно подробные двумерные изображения в оттенках серого различных структур переднего сегмента и оценить их количественно и качественно. УБМ использует сканирующий преобразователь с высокой частотой, улучшенное разрешение достигается за счет уменьшения глубины проникновения ультразвукового луча (приблизительно 5 мм для прибора УБМ с частотой 50 МГц).

С помощью прибора можно осуществлять видеозапись исследования и в режиме стоп-кадра выводить на экран интересующую зону для морфометрических измерений и исследования локального участка. Разрешение при УБМ меньше, чем при ОКТ, однако большим преимуществом данного метода исследования является возможность ультразвука проникать через пигментный листок и визуализировать структуры за радужкой и цилиарным телом. Таким образом, УБМ является приоритетным методом для визуализации структур задней камеры, включая зоны хрусталика, цилиарное тело и даже сосудистую оболочку [38–40].

УБМ – это контактный метод исследования, который проводят в положении пациента лежа на спине. После эпibuльбарной анестезии в конъюнктивальную полость помещают специальную воронку, которую заполняют вязкой жидкостью 1% или 2% раствор метилцеллюлозы, затем датчик помещают в воронку, не касаясь роговицы, и удерживают перпендикулярно к исследуемым структурам [41]. УБМ противопоказан пациентам с проникающими повреждениями глаз, в раннем послеоперационном периоде, при инфекциях глазной поверхности или век, а также неконтактным пациентам [38].

Данный метод диагностики применяют при заболеваниях переднего сегмента глаза, для оценки анатомии УПК, положения и формы радужки и хрусталика, в том числе при обширных помутнениях роговицы [38]. Также его используют при патологии век, при оценке кист или опухолей переднего сегмента. Исследование может быть использовано у большинства пациентов, включая маленьких детей [42].

УБМ является ценным инструментом визуализации для оценки структур переднего сегмента глаза, правильной классификации пациентов с глаукомой и определения механизма возникновения глаукомы, особенно при ее вторичных формах. Этот метод исследования считается одной из лучших технологий, позволяющих визуализировать цилиарное тело [43], а также часто используют для оценки зоны антиглаукомной операции и положения дренажей [44, 45].

Спектр измеряемых параметров при УБМ шире, чем при ОКТ ПОГ. Кроме таких показателей, как глубина передней камеры, УПК (в градусах), дистанция «трабекула–радужка», дистанция «трабекула–цилиарные отростки», измерение толщины радужки у корня, профиля радужки, проведение УБМ дает возможность визуализации структур задней камеры – максимальной глубины задней камеры, максимальной толщины цилиарного тела, длину волокон цинновой связки [38–40, 46].

Высока диагностическая ценность УБМ при дифференциальной диагностике различных форм первичной закрытоугольной глаукомы. УБМ может помочь в определении точного анатомического взаиморасположения между радужной оболочкой и цилиарным телом и идентифицировать возможный связанный с этим цилиарный блок [47–49].

При оценке синдрома плоской радужки на УБМ характерно смещение радужки и отростков цилиарного тела вперед, что является причиной сужения УПК [50, 51]. УБМ сыграла ключевую роль в изучении этого заболевания. Выполнение периферической иридэктомии при данной патологии не приводит к открытию УПК.

В случаях зрачкового блока УБМ определяет точную конфигурацию иридохрусталиковой диафрагмы и выпуклый внешний вид радужки, связанный с сужением УПК [52]. После периферической иридэктомии радужная оболочка выравнивается, а передняя камера углубляется. Этот диагноз может быть подтвержден с помощью данного метода исследования, поскольку возможно визуализировать заднюю поверхность эпителия радужки и ее кривизну. В послеоперационном периоде УБМ может помочь дифференцировать глаукому с зрачковым блоком от злокачественной глаукомы в случаях, когда результаты обследования неоднозначны [52].

При ПОУТ не менее важно применение УБМ для подтверждения таких форм, как пигментная и псевдоэкзофолиативная глаукома. При синдроме пигментной дисперсии при УБМ визуализируются широкий УПК, обратный профиль радужки и контакт радужки с передней поверхностью хрусталика. При псевдоэкзофолиативном синдроме по данным УБМ наблюдаются зональные дефекты связочного аппарата хрусталика, псевдоэкзофолиативные отложения на капсуле хрусталика, цилиарном теле и ее отростках [53–55].

При вторичных формах глаукомы УБМ высокоинформативна для визуализации структур, расположенных за радужкой. При факогенной глаукоме с помощью УБМ возможно определить аномалии формы и положения хрусталика, положение иридохрусталиковой диафрагмы по отношению к соседним структурам, раскрывая механизм глаукомы. При факорморфической глаукоме, вызванной прогрессирующей катарактой, происходит увеличение передне-заднего размера хрусталика, которое приводит к блокаде зрачка, закрытию УПК и трабекулярной сети, что вызывает нарушение оттока водянистой влаги [52]. Также УБМ помогает определить смещение интраокулярной линзы при артифакции и оценить правильность положения искусственной радужки и иридохрусталиковой диафрагмы.

При помощи УБМ так же, как и при ОКТ ПОГ, возможно визуализировать зону проведенной антиглаукомной операции, оценить функциональность путей оттока после непроникающих операций, оценить высоту фильтрационной подушки [56, 57].

Данный метод исследования может быть более информативен при оценке положения различных видов дренажей и дренажных устройств. После имплантации шунта Ex-press с помощью УБМ можно оценить функциональность путей оттока, ФП, правильность его положения в передней камере [58].

Также с помощью УБМ возможно определить положение трубочки клапанного дренажа Ahmed в слоях скле-

ры, передней и задней камерах глаза. В отличие от металлического шунта, с помощью УБМ хорошо визуализируется просвет силиконовой трубочки, что позволяет оценить наличие ее обтурации. В случае если трубочка дренажа находится в задней камере глаза за радужкой или в витреальной полости, оценить ее положение возможно только с помощью УБМ [59, 60].

Определенный интерес представляют исследования, посвященные сравнительной оценке УБМ и ОКТ ПОГ, в изучении зоны оперативного вмешательства. Так, чувствительность и специфичность в определении степени функциональной активности ФП методом УБМ составляет 66,7 и 75%, соответственно, что значительно уступает ОКТ ПОГ. Аналогичные показатели ОКТ ПОГ равны 92,7 и 88,3%, соответственно [61]. ОКТ ПОГ имеет более высокую разрешающую способность, что позволяет визуализировать субконъюнктивальные микрокистозные образования в невысоких диффузных функционирующих ФП, признанных по УБМ нефункционирующими [62].

Таким образом, из анализа представленной литературы следует, что два основных устройства визуализации для переднего сегмента, ОКТ ПОГ и УБМ, предлагают быстрые, объективные и воспроизводимые методы получения изображения переднего сегмента. Во время как каждое из этих устройств визуализации имеет свои преимущества и недостатки, обе технологии позволяют получать и сравнивать объективные данные и параметры, которые невозможны при биомикроскопии или гониоскопии. На основании данных, полученных различными методами визуализации, возможно проводить как дооперационную диагностику для определения тактики лечения, так и мониторинг в послеоперационном периоде с динамическим наблюдением за состоянием вновь созданных путей оттока. Однако неинвазивность и возможность проведения информативного исследования в бесконтактном режиме без использования иммерсионных сред позволяют считать ОКТ ПОГ основным методом оценки морфологической структуры зоны оперативного вмешательства, начиная с первого дня после операции [62].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье мы изложили основные принципы проведения, достоинства и недостатки более современных и объективных методов исследования: электронной гониоскопии, ОКТ ПОГ и УБМ.

С учетом разнообразия форм глаукомы и многообразия офтальмологической патологии, необходима разработка диагностического алгоритма мониторинга пациентов с различными формами глаукомы и сопутствующими офтальмологическими заболеваниями, при помощи которого врач сможет выбрать персонализировано метод исследования для более быстрой постановки диа-

гноза и выбора дальнейшей тактики лечения. Таким образом, из анализа представленной литературы следует, что электронная гониоскопия – это простой в исполнении метод диагностики, позволяющий определить ширину открытия УПК, степень пигментации, наличие гониосинехий, положение дренажей в послеоперационном периоде, который может применяться на всех этапах наблюдения и выбора тактики хирургического лечения.

Однако данный метод исследования не дает количественных характеристик, оценить параметры УПК возможно только визуально.

Для высокоточной визуализации структур УПК, количественной оценки их параметров более предпочтительно использование ОКТ ПОГ с целью определения тактики хирургического лечения, мониторинга в послеоперационном периоде с контролем состояния вновь созданных путей оттока и определения показаний к повторным вмешательствам. Преимущество УБМ заключается в возможности визуализации структур задней камеры глаза, таких как цилиарное тело и цинновы связки. В частности, в случаях пигментной глаукомы с пролапсом радужной оболочки, на УБМ возможна визуализация контакта задней поверхности радужки с цинновыми связками и передней поверхностью хрусталика, что важно для решения вопроса о хирургическом лечении. ОКТ ПОГ и УБМ особенно информативны для визуализации положения дренажей в послеоперационном периоде.

Возможность документирования полученных во время исследования данных и разработка обобщенной системы анализа различных видов исследований может помочь врачам-офтальмологам на различных уровнях наблюдения поставить правильный диагноз и назначить лечение, а развитие телемедицины и информационных технологий могут упростить и ускорить оказание помощи больным глаукомой.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Dellaporta A. Historical notes on gonioscopy. *Surv Ophthalmol.* 1975;20: 137–149.
2. Alward WL. A history of gonioscopy. *Optom Vis Sci.* 2011; 88(1): 29–35. doi: 10.1097/OPX.0b013e3181fc3718
3. Gorin G, Posner A. *Slit Lamp Gonioscopy*, 3rd ed. Baltimore, MD: Williams & Wilkins; 1967.
4. Goldmann H. Zur Technik der Spaltlampenmikroskopie. *Ophthalmologica* 1938;96: 90–97.
5. Tandon A, Alward WL. The centennial of modern gonioscopy. *Ophthalmologica*. 2015;233(1): 58–59. doi: 10.1159/000365789
6. Teixeira F, Sousa DC, Leal I, Barata A, Neves CM, Pinto LA. Automated gonioscopy photography for iridocorneal angle grading. *Eur J Ophthalmol.* 2020;30(1): 112–118. doi: 10.1177/1120672118806436
7. Matsuo M, Pajaro S, De Giusti A, Tanito M. Automated anterior chamber angle pigmentation analyses using 360° gonioscopy. *Br J Ophthalmol.* 2020;104(5): 636–641. doi: 10.1136/bjophthalmol-2019-314320
8. Matsuo M, Mizoue S, Nitta K, Takai Y, Sugihara K, Tanito M. Intraobserver and interobserver agreement among anterior chamber angle evaluations using automated 360-degree gonio-photos. *PLoS One.* 2021;16(5): e0251249. doi: 10.1371/journal.pone.0251249
9. Саркисян А.С., Балалин С.В., Балалин А.С., Джаши Б.Г. Оценка степени пигментации трабекулы у больных первичной открытоугольной глаукомой с помощью колориметрической шкалы. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* 2021;16(4): 4–5. [Sarkisyan AS, Balalin SV, Balalin AS, Jashi BG. Assessment of the degree of trabecular pigmentation

- in patients with primary open-angle glaucoma using a colorimetric scale. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov*. 2021;16 (4): 4–5. (In Russ.)
10. Peroni A, Paviotti A, Campigotto M, Abegão Pinto L, Cutolo CA, Shi Y, Cobb C, Gong J, Patel S, Gillan S, Tatham A, Trucco E. On clinical agreement on the visibility and extent of anatomical layers in digital Gonio photographs. *Transl Vis Sci Technol*. 2021;10(11): 1. doi: 10.1167/tvst.10.11.1
 11. Shi Y, Yang X, Marion KM, Francis BA, Sadda SR, Chopra V. Novel and semiautomated 360-degree gonioscopic anterior chamber angle imaging in under 60 seconds. *Ophthalmol Glaucoma*. 2019;2(4): 215–223. doi: 10.1016/j.ogla.2019.04.002
 12. Barão RC, Cutolo C, Tanito M, Hommer A, Faschinger C, Abegão Pinto L, Traverso C. Agreement analysis on angle characteristics with automated gonioscopy. *J Glaucoma*. 2021;30(12): 1039–1046. doi: 10.1097/IJG.0000000000001940
 13. Barão RC, José P, Teixeira FJ, Ferreira NP, Sens P, Pinto LA. Automated gonioscopy assessment of XEN45 gel stent angle location after isolated XEN or combined phaco-XEN procedures: clinical implications. *J Glaucoma*. 2020;29(10): 932–940. doi: 10.1097/IJG.0000000000001582
 14. Cutolo CA, Bonzano C, Scotto R, Lester M, Bagnis A, Pizzorno C, Catti C, Traverso CE. Moving beyond the slit-lamp gonioscopy: challenges and future opportunities. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(12): 2279. doi: 10.3390/diagnostics11122279
 15. Huang D, Swanson EA, Lin CP, Schuman JS, et al. Optical coherence tomography. *Science*. 1991;254(5035): 1178–1181. doi: 10.1126/science.1957169
 16. Doors M, Berendschot TT, de Brabander J, Webers CA, Nuijts RM. Value of optical coherence tomography for anterior segment surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2010;36(7): 1213–1229. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.05.002
 17. Cheung CY, Zheng C, Ho CL, Tun TA, Kumar RS, Sayyad FE, Wong TY, Aung T. Novel anterior-chamber angle measurements by high-definition optical coherence tomography using the Schwalbe line as the landmark. *Br J Ophthalmol*. 2011;95(7): 955–959. doi: 10.1136/bjo.2010.189217
 18. Sarunic MV, Asrani S, Izatt JA. Imaging the ocular anterior segment with real-time, full-range Fourier-domain optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol*. 2008;126(4): 537–542. doi: 10.1001/archoph.126.4.537
 19. Console JW, Sakata LM, Aung T, Friedman DS, He M. Quantitative analysis of anterior segment optical coherence tomography images: the Zhongshan Angle Assessment Program. *Br J Ophthalmol*. 2008;92(12): 1612–1616. doi: 10.1136/bjo.2007.129932
 20. Kagemann L, Wollstein G, Ishikawa H, et al. Identification and assessment of Schlemm's canal by spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010;51(8): 4054–4059. doi: 10.1167/iovs.09-4559
 21. Li P, Johnstone M, Wang RK. Full anterior segment biometry with extended imaging range spectral domain optical coherence tomography at 1340 nm. *J Biomed Opt*. 2014;19: 046013.
 22. Семенова Н.С., Ларичев А.В., Акопян В.С. «Swept source» – оптическая когерентная томография: обзор технологии. *Вестник офтальмологии*. 2020;136(1): 111–116. [Semenova NS, Larichev AV, Akopyan VS. Swept source optical coherence tomography: a technology review. *The Russian Annals of Ophthalmology*. 2020;136(1): 111–116. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17116/oftalm2020136011111>
 23. Jessica S Maslin, Yaniv Barkana, and Syril K Dorairaj. Anterior segment imaging in glaucoma: An updated review. *Indian J Ophthalmol*. 2015 Aug; 63(8): 630–640. doi: 10.4103/0301-4738.169787
 24. Leung CK, Li H, Weinreb RN, Liu J, Cheung CY, Lai RY, Pang CP, Lam DS. Anterior chamber angle measurement with anterior segment optical coherence tomography: a comparison between slit lamp OCT and Visante OCT. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008;49(8): 3469–3474. doi: 10.1167/iovs.07-1477
 25. Asam JS, Polzer M, Tafreshi A, Hirschschall N, Findl O. Anterior Segment OCT. 2019. In: Bille JF, ed. *High resolution imaging in microscopy and ophthalmology: new frontiers in biomedical optics [Internet]*. Cham (CH): Springer; 2019.
 26. Jiao H, Hill LJ, Downie LE, Chinnery HR. Anterior segment optical coherence tomography: its application in clinical practice and experimental models of disease. *Clin Exp Optom*. 2019;102(3): 208–217. doi: 10.1111/cxo.12835
 27. Li H, Jhanji V, Dorairaj S, Liu A, Lam DS, Leung CK. Anterior segment optical coherence tomography and its clinical applications in glaucoma. *J Curr Glaucoma Pract*. 2012;6(2): 68–74. doi: 10.5005/jp-journals-10008-1109
 28. Angmo D, Nongpiur ME, Sharma R, Sidhu T, Sihota R, Dada T. Clinical utility of anterior segment swept-source optical coherence tomography in glaucoma. *Oman J Ophthalmol*. 2016;9(1): 3–10. doi: 10.4103/0974-620X.176093
 29. Smith SD, Singh K, Lin SC, Chen PP, Chen TC, Francis BA, Jampel HD. Evaluation of the anterior chamber angle in glaucoma: a report by the American academy of ophthalmology. *Ophthalmology*. 2013;120(10): 1985–1997. doi: 10.1016/j.ophtha.2013.05.034
 30. Егорова Э.В., Любимова Т.С., Милингерт А.В., Оплетина А.В. Изменения анатомо-топографических параметров переднего сегмента глаза при смешанной форме глаукомы после лазерной иридэктомии. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2013;4(153): 78–81. [Egorova EV, Lyubimova TS, Milingert AV, Opletina AV. Changes in anatomical and topographic parameters of the anterior segment of the eye in the mixed form of glaucoma after laser iridectomy. *Bulletin of Orenburg State University*. 2013;4(153): 78–81. (In Russ.)]
 31. Егорова Э.В., Сидорова А.В., Оплетина А.В., Коломейцев М.Н., Узунян Д.Г., Шормаз И.Н., Козлова Н.А. Анатомо-топографические изменения глаз после лазерной иридэктомии при смешанной форме первичной открытоугольной глаукомы. *Офтальмохирургия*. 2015;(1): 18–22. [Egorova EV, Sidorova AV, Opletina AV, Kolomeytsyev MN, Uzunyan DG, Shormaz IN, Kozlova NA. Anatomic-topographical changes in the eyes of a mixed form of primary open-angle glaucoma after laser iridectomy. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2015;(1): 18–22. (In Russ.)]
 32. Ang BCH, Lim SY, Dorairaj S. Intra-operative optical coherence tomography in glaucoma surgery – a systematic review. *Eye (Lond)*. 2020;34(1): 168–177. doi:10.1038/s41433-019-0689-3
 33. Ходжаев Н.С., Сидорова А.В., Старостина А.В. Лазерная реконструкция зоны непроницающей глубокой склерэктомии при ее блокаде корнем радужки. *Национальный журнал Глаукома*. 2017;16(3): 28–34. [Khodjaev NS, Sidorova AV, Starostina AV. Laser reconstruction of the non-penetrating deep sclerectomy zone blocked by peripheral iris. *National Journal Glaucoma*. 2017;16(3): 28–34. (In Russ.)]
 34. Leung CK, Yick DW, Kwong YY, Li FC, et al. Analysis of bleb morphology after trabeculectomy with Visante anterior segment optical coherence tomography. *Br J Ophthalmol*. 2007;91(3): 340–344. <https://doi.org/10.1136/bjo.2006.100321>
 35. Петров С.Ю., Антонов А.А., Кобзова М.В., Митичкина Т.С., Вострухин С.В. Применение оптической когерентной томографии в выборе тактики позднего нидлинга зоны антиглаукомной операции. *РМЖ. Клиническая офтальмология*. 2014;3: 147–151. [Petrov SYu, Antonov AA, Kobzova MV, Mitichkina TS, Vostrukhin SV. Optical coherence tomography in a selection of tactics for a delayed needle revision of a filtering bleb. *RMJ. Clinical ophthalmology*. 2014;3: 147–151. (In Russ.)]
 36. Konstantinidis A, Panos GD, Triantafylla M, Labiris G, et al. Imaging of filtering blebs after implantation of the Ex-PRESS shunt with the use of the Visante optical coherence tomography. *Int J Ophthalmol*. 2015;8(3): 492–495. doi: 10.3980/j.issn.2222-3959.2015.03.10
 37. Pavlin CJ, Harasiewicz K, Foster FS. Ultrasound biomicroscopy of anterior segment structures in normal and glaucomatous eyes. *Am J Ophthalmol*. 1992 Apr 15; 113(4):381–389. doi: 10.1016/s0002-9394(14)76159-8.
 38. Kosmala J, Grabska-Liberek I, Ašoklis RS. Recommendations for ultrasound examination in ophthalmology. Part I: Ultrabiomicroscopic examination. *J Ultrason*. 2018; 344–348.
 39. Maslin JS, Barkana Y, Dorairaj SK. Anterior segment imaging in glaucoma: An updated review. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2015;63(8): 630–640. doi: 10.4103/03014738.169787
 40. Ishikawa H, Schuman JS. Anterior segment imaging: ultrasound biomicroscopy. *Ophthalmol Clin North Am*. 2004;17(1): 7–20.
 41. Bhatt DC. Ultrasound biomicroscopy: An overview. *J Clin Ophthalmol Res*. 2014;2(2): 115–123. doi: 10.4103/2320-3897.130549
 42. Hussein TR, Shalby SM, Elbakary MA, Elseht RM, Gad RE. Ultrasound biomicroscopy as a diagnostic tool in infants with primary congenital glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2014;8: 17251730.
 43. Smith SD, Singh K, Lin SC, Chen PP, Chen TC, Francis BA, Jampel HD. Evaluation of the anterior chamber angle in glaucoma. *Ophthalmology*. 2013;120(10): 1985–1997.
 44. Dietlein TS, Engels BF, Jacobi PC, Krieglstein GK. Ultrasound biomicroscopic patterns after glaucoma surgery in congenital glaucoma. *Ophthalmology*. 2000;107(6): 1200–1205.
 45. Marchini G, Marraffa M, Brunelli C, et al. Ultrasound biomicroscopy and intraocular-pressure-lowering mechanisms of deep sclerectomy with reticulated hyaluronic acid implant. *J Cataract Refract Surg*. 2001;27(4): 507–517.
 46. Тахчиди Х.П., Егорова Э.В., Узунян Д.Г. Ультразвуковая биомикроскопия в диагностике патологии переднего сегмента глаза. М.: Издательский центр «Микрохирургия глаза»; 2007. [Takhchidi HP, Egorova EV, Uzunyan DG. Ultrasound biomicroscopy in the diagnosis of pathology of the anterior segment of the eye. М.: Publishing Center «Eye Microsurgery»; 2007. (In Russ.)]
 47. Mannino G, Abdolrahimzadeh B, Calafiore S, Anselmi G, Mannino C, Lambiase A. A review of the role of ultrasound biomicroscopy in glaucoma associated with rare diseases of the anterior segment. *Clin Ophthalmol*. 2016;10: 1453–1459.
 48. Ursea R. Ultrasound biomicroscopy vs. anterior segment OCT. *Am Soc Cataract Refract Surg*. 2014.
 49. Silverman RH. High-resolution ultrasound imaging of the eye – a review. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2009;37(1): 54–67.
 50. Ritch R. Plateau iris is caused by abnormally positioned ciliary processes. *J Glaucoma*. 1992;1(1): 23–26.
 51. Kumar RS, Baskaran M, Chew PT, Friedman DS, Handa S, Lavanya R, Sakata LM, Wong HT, Aung T. Prevalence of plateau iris in primary angle closure suspects an ultrasound biomicroscopy study. *Ophthalmology*. 2008;115(3): 430–434. doi: 10.1016/j.ophtha.2008.11.015
 52. González MC, Londoño MVM, Imay MT, Nakamura WK, de La Vega GI, Rodriguez LM. Phacomorphic glaucoma and ultrabiomicroscopy. *Revista Mexicana de Oftalmología*. 2015;89(1): 52–58. doi: 10.1016/j.mexoft.2014.08.004
 53. Ritch R, Schlötzer-Schrehardt U. Exfoliation Syndrome. *Surv Ophthalmol*. 2001;45(4): 265–315. doi: 10.1016/s00396257(00)00196-x
 54. Unsal E, Eltutar K, Muftuoglu I, Akcetin TA, Acar Y. Ultrasound biomicroscopy with unilateral pseudoexfoliation. *Int J Ophthalmol*. 2015;8(4): 754–758.
 55. Guo S, Gewirtz M, Thaker R, Reed M. Characterizing pseudoexfoliation syndrome through the use of ultrasound biomicroscopy. *J Cataract Refract Surg*. 2006;32(4): 614–617. doi: 10.1016/j.jcrs.2006.01.015
 56. Егорова Э.В., Еременко И.Л., Оплетина А.В., Узунян Д.Г. Ультразвуковая биомикроскопия сформированных дренажных путей оттока после операций неперфорированного типа с применением дренажного имплантата. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2014;34(3): 114–118. [Egorova EV, Eremenko IL, Opletina AV, Uzunyan DG. Ultrasound biomicroscopy of formed drainage outflow pathways after nonperforative type operations using a drainage implant. *Siberian Scientific Medical Journal*. 2014;34(3): 114–118. (In Russ.)]
 57. Фаражева Э.В., Егорова Э.В., Узунян Д.Г. Ультразвуковая биомикроскопия сформированных дренажных путей оттока после операций неперфорированного типа у пациентов с исходно высоким ВГД. *Офтальмохирургия*. 2012;4: 61–67. [Faradzheva EV, Egorova EV, Uzunyan DG. Ultrasound biomicroscopy of formed drainage outflow pathways after nonperforating type operations in patients with initially high IOP. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2012;4: 61–67. (In Russ.)]
 58. Abdullatif A, El-Saied H. Pars plana Ex-Press mini shunt for management of persistent glaucoma in vitrectomized eyes: a novel technique. *Eur J Ophthalmol*. 2020;30(5): 1179–1184. doi: 10.1177/1120672120914495
 59. Fu L, Chan YK, Nie L, Dai Q, Qian Z, Shih KC, Lai JSM, Huang R, Pan W. Ciliochoroidal detachment after Ahmed glaucoma valve implantation: a retrospective study. *BMC Ophthalmol*. 2019;19(1): 46. doi: 10.1186/s12886-019-1060-y
 60. Gu J, Zhang Y, Zhai J, Lin L, Ou Z, Huang T, Chen M, Zhou J, Zeng L, Xu Y, Chen J. Clinical experience in patients with ocular burns treated with Boston type I keratoprosthesis implantation with or without prophylactic Ahmed glaucoma valve implantation. *Ophthalmol Ther*. 2022;11(1): 421–434. doi: 10.1007/s40123-021-00446-y
 61. Zhang Y, Wu Q, Zhang M, et al. Evaluating subconjunctival bleb function after trabeculectomy using slit lamp optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy. *J Chin Med (Eng)*. 2008;121(14): 1247–1279.

62. Киселева О.А., Бессмертный А.М., Балакирева Е.В. Оценка структуры и функционирования фильтрационных подушечек с помощью современных методов визуализации. Сборник научных статей 11 международного конгресса. Глаукома: теории, тенденции, технологии. 2013: 164–171. [Kiseleva OA, Bessmertny AM, Balakireva EV. Evaluation of the structure and functioning of filtration pads using modern visualization methods. Collection of scientific articles of the 11th International Congress. Glaucoma: Theories, Trends, Technologies. 2013: 164–171. (In Russ.)]

Информация об авторах

Алла Валентиновна Сидорова, врач-офтальмолог высшей категории, sidорова@mntk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9384-6117>

Анна Владимировна Старостина, к.м.н., anna.mntk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4496-0703>

Ксения Алексеевна Стефанкова, врач-офтальмолог, kstiefankova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3180-109X>

Екатерина Сергеевна Мустафаева, клинический ординатор, Zyukina_katya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3961-5155>

Мержен Сердаровна Джерештиева, клинический ординатор, merjen.bagyeva@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2551-4721>

Анна Артемовна Айдинян, клинический ординатор, Anna-davidyanc@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2437-0802>

Information about the authors

Alla V. Sidorova, ophthalmologist of the highest category, sidорова@mntk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4496-0703>

Anna V. Starostina, PhD in Medical Science, anna.mntk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4496-0703>

Kseniya A. Stefankova, ophthalmologist, kstiefankova@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3180-109X>

Ekaterina S. Mustafaeva, clinical resident, Zyukina_katya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3961-5155>

Merjen S. Jereshtieva, clinical resident, merjen.bagyeva@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2551-4721>

Anna A. Auidinyan, clinical resident, Anna-davidyanc@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2437-0802>

Вклад авторов в работу:

А.В. Сидорова: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

А.В. Старостина: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

К.А. Стефанкова: сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

Е.С. Мустафаева: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных.

М.С. Джерештиева: сбор, анализ и обработка материала, написание текста.

А.А. Айдинян: сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных.

Authors' contribution:

A.V. Sidorova: significant contribution to the concept and design of the work, editing, final approval of the version to be published.

A.V. Starostina: collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing the text.

K.A. Stefankova: collection, analysis and processing of material, writing the text.

E.S. Mustafaeva: collection, analysis and processing of material, statistical data processing.

M.S. Jereshtieva: collection, analysis and processing of material, writing the text.

A.A. Auidinyan: collection, analysis and processing of material, statistical data processing.

Финансирование: Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

Согласие пациента на публикацию: Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

Funding: The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Patient consent for publication: No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

Conflict of interest: There is no conflict of interest.

Поступила: 12.04.2022

Переработана: 25.04.2022

Принята к печати: 03.05.2022

Originally received: 12.04.2022

Final revision: 25.04.2022

Accepted: 03.05.2022