

Объем фильтрационной подушки в прогнозировании эффективности антиглаукомной операции: предварительные результаты

Еричев В.П., д.м.н., профессор; <https://orcid.org/0000-0001-6842-7164>

Новиков И.А., старший научный сотрудник лаборатории фундаментальных исследований в офтальмологии; <https://orcid.org/0000-0003-4898-4662>

Хачатрян Г.К., к.м.н., научный сотрудник отдела глаукомы; <https://orcid.org/0000-0003-1552-2584>

Макарова А.С., к.м.н., старший научный сотрудник отдела глаукомы; <https://orcid.org/0000-0003-0521-2750>

Будзинская М.В., д.м.н., главный научный сотрудник отдела патологии сетчатки и зрительного нерва, профессор кафедры офтальмологии; <https://orcid.org/0000-0002-5507-8775>

Тарасенков А.О., врач-офтальмолог. <https://orcid.org/0000-0003-3107-5841>.

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: Еричев В.П., Новиков И.А., Хачатрян Г.К. и др. Объем фильтрационной подушки в прогнозировании эффективности антиглаукомной операции: предварительные результаты.

Национальный журнал глаукома. 2024; 23(4):3-10.

Резюме

ЦЕЛЬ. Изучить возможность прогнозирования гипотензивной эффективности антиглаукомной операции на основании параметров фильтрационной подушки (ФП), полученных с помощью оптической когерентной томографии (ОКТ).

МЕТОДЫ. В исследование вошло 15 пациентов (15 глаз) с некомпенсированной первичной открытоугольной глаукомой, которым была выполнена антиглаукомная операция по стандартной методике: синустрабекулэктомия с базальной иридэктомией. Для объективной оценки состояния ФП на 2 сутки после хирургического вмешательства, а также через 7 дней, 1 и 3 месяца была выполнена ОКТ области хирургически созданных путей оттока внутриглазной жидкости. На основании полученных сканов воссоздавали трехмерную модель сформировавшейся ФП и рассчитывали ее объем.

РЕЗУЛЬТАТЫ. У 3 пациентов к концу срока наблюдения объем ФП составил менее 5,7 мм³, что ассоциировалось с неудачным исходом операции и повышением внутриглазного давления (ВГД) до 22,1±3,2 мм рт.ст. Для достижения целевых значений ВГД этим пациентам был назначен гипотензивный режим.

У остальных пациентов (12 человек) на протяжении всего периода наблюдения уровень ВГД составлял до 14 мм рт.ст. (в среднем 11,7±2,3 мм рт.ст.). ФП была разлитой, а ее объем составлял более 5,7 мм³. Полученный результат хирургического лечения глаукомы позволил оставить пациентов под динамическим наблюдением без назначения гипотензивного режима.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Пороговым значением объема ФП, определяющим долгосрочную эффективность антиглаукомной операции, является 5,7 мм³.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: глаукома, антиглаукомная операция, фильтрационная подушка, избыточное рубцевание.

Для контактов:

Макарова Анна Сергеевна, e-mail: dr.amakarova@gmail.com

ORIGINAL ARTICLE

Volume of the filtering bleb in prediction of the effectiveness of glaucoma surgery: preliminary results

ERICHEV V.P., Dr. Sci. (Med.), Professor; <https://orcid.org/0000-0001-6842-7164>

NOVIKOV I.A., Senior Researcher at the Laboratory of Fundamental Research in Ophthalmology; <https://orcid.org/0000-0003-4898-4662>

KHACHATRYAN G.K., Cand. Sci. (Med.), Researcher at the Department of Glaucoma; <https://orcid.org/0000-0003-1552-2584>

MAKAROVA A.S., Cand. Sci. (Med.), Senior Researcher at the Department of Glaucoma; <https://orcid.org/0000-0003-0521-2750>

BUDZINSKAYA M.V., Dr. Sci. (Med.), Chief Researcher at the Department of Retinal and Optic Nerve Pathology, Professor at the Academic Department of Ophthalmology; <https://orcid.org/0000-0002-5507-8775>

TARASENKOV A.O., ophthalmologist. <https://orcid.org/0000-0003-3107-5841>.

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: Erichev V.P., Novikov I.A., Khachatryan G.K. et al. Volume of the filtering bleb in prediction of the effectiveness of glaucoma surgery: preliminary results. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2024; 23(4):3-10.

Abstract

PURPOSE. To explore the potential for predicting the hypotensive effectiveness of glaucoma surgeries based on the parameters of the filtering bleb (FB) measured using optical coherence tomography (OCT).

METHODS. The study included 15 patients (15 eyes) with uncontrolled primary open-angle glaucoma, who underwent standard glaucoma surgery: sinus trabeculectomy with basal iridectomy. Objective assessment of the FB was performed using OCT on postoperative day 2, and then at 7 days, 1 month, and 3 months after surgery. Based on the OCT scans, a three-dimensional model of the FB was constructed, and its volume was calculated.

RESULTS. In 3 patients, by the end of the observation period, the FB volume was less than 5.7 mm³, which was

associated with an unsuccessful surgical outcome and an increase in intraocular pressure (IOP) to 22.1±3.2 mm Hg. These patients were prescribed hypotensive therapy to achieve target IOP levels.

In the other 12 patients, the IOP remained below 14 mm Hg throughout the observation period, with an average IOP of 11.7±2.3 mm Hg. The FB in these patients was diffuse, and its volume exceeded 5.7 mm³. The successful outcome of the surgery allowed for these patients to avoid the need for additional hypotensive therapy.

CONCLUSION. Long-term success of glaucoma surgery can be predicted using the threshold filtering bleb volume of 5.7 mm³.

KEYWORDS: glaucoma, glaucoma surgery, filtering bleb, excessive scarring.

Глаукома является одной из основных причин необратимых слобовидения и слепоты. В 2020 году в возрастной группе старше 50 лет вследствие глаукомы ослепло около 3,6 миллионов больных (2,8–4,4 млн; доверительный интервал [ДИ] 95%) и отмечено снижение остроты зрения до 0,33 и ниже в 4,1 миллионов случаев (ДИ 95% 3,2–5,2 млн) [1]. По прогнозам ВОЗ, к 2040 году общее число больных данным заболеванием может достичь 111 миллионов человек [2].

Этиологически глаукома представляет собой группу заболеваний, в развитии которых участвует большое число факторов риска. Тем не менее, един-

ственной стратегией с доказанной эффективностью в лечении глаукомы является снижение и поддержание безопасного уровня внутриглазного давления (ВГД), что является основным патогенетически обоснованным способом сохранения и стабилизации зрительных функций у пациентов с глаукомной оптической нейропатией (ГОН) [3, 4].

Принято считать оправданным начинать лечение с назначения топической гипотензивной терапии. С этой целью применяют препараты различных фармакологических групп как в виде монотерапии, так и в виде фиксированных комбинаций [5]. В случае недостаточного успеха применяют лазерные

методы лечения [6]. Но все же наиболее эффективным с позиции достижения безопасного уровня ВГД является хирургический подход. Развитие микроинвазивных гипотензивных вмешательств в последние годы позволяет рассматривать антиглаукомную хирургию как оптимальный способ лечения даже при начальной стадии заболевания [7]. Основной целью антиглаукомных операций, включающих дренажную, непроникающую хирургию и операции фистулизирующего типа, является достижение безопасного уровня ВГД путем создания нового пути оттока для внутриглазной жидкости под конъюнктиву. Формирующаяся же под конъюнктивой фильтрационная подушка (ФП) определяет работоспособность антиглаукомной операции. Таким образом, оценка состояния ФП является одним из важнейших оценочных критериев, который позволяет косвенно судить о степени компенсации процесса и определяет тактику дальнейшего ведения пациента.

Известен и описан ряд классификационных характеристик ФП, которые применяют как в научной, так и в клинической практике [8]. Для оценки биомикроскопических признаков чаще всего применяют Вюрцбургскую классификацию ФП (WBCS, Würzburg Bleb Classification Score), оценочную шкалу ФП Института Индианы (IBAGS, Indiana Bleb Appearance Grading Scale), а также Мурфилдскую шкалу ФП (MBGS, Moorfield Bleb Grading System), которая была создана с учетом возможности применения в телемедицине. Сопоставимость этих шкал и их прогностическое значение в клинической работе описаны в ряде исследований [9–11]. Однако использование только субъективных параметров ограничивает их практическое использование.

С целью более объективной оценки ФП использовали ряд инструментальных методов исследования, наиболее распространенными среди которых были ультразвуковая биомикроскопия и оптическая когерентная томография (ОКТ). Сравнительные исследования этих двух методов показали явное преимущество ОКТ, обусловленное отсутствием контактного датчика и большей разрешающей способностью [12–14].

Метод ОКТ основан на оценке задержки отраженного от тканей глаза инфракрасного света, измеряемой путем сравнения с помощью низкокогерентной интерферометрии отраженной и референсной волн, и в настоящий момент широко распространен в офтальмологии. Для исследования заднего сегмента глаза применяется свет с длиной волны 800–900 нм, переднего отрезка — 1300–1500 нм. При оценке результата ОКТ-исследования используют понятия гипер- или гипорефлексивности, описывающие отражение света исследуемой тканью; это схоже с понятиями гипер- и гипоехогенности, применяемых в ультразвуковых исследованиях. Важным шагом в новых технологических

разработках ОКТ стало введение преобразования Фурье для оценки широкополосного инфракрасного луча (Fourier-domain OCT) вместо использовавшегося ранее последовательного создания и оценки ряда А-сканов (time-domain OCT). Это позволило значительно увеличить разрешение сканов и скорость исследования, что в последующем также позволило создавать трехмерные изображения исследуемых тканей.

В хирургии глаукомы ОКТ используют для оценки линейных размеров ФП и толщины ее стенки, определении уровня ретенции при отсутствии фильтрации [15, 16], при подозрении на наружную фильтрацию [17], для оценки толщины трабекуло-десцеметовой мембраны после непроникающих вмешательств [18], для оценки положения трубки дренажа в передней камере [19, 20], выбора оптимального места для иридэктомии при обструкции радужкой дренажного отверстия [21]. Оценка васкуляризации ФП с помощью ангио-ОКТ сопоставима с оценкой по субъективным шкалам IBAGS и MBGS [22].

Первая ОКТ-классификация ФП была предложена С. Leung и соавт. в 2007 году, предлагавшая разделять ФП на 4 вида: 2 функционирующих и 2 нефункционирующих. К первым относят диффузные (множественные арефлексивные участки под конъюнктивой, соответствующие скоплениям жидкости; в целом гипорефлексивная ФП) и кистозные ФП (крупное гипорефлексивное пространство под конъюнктивой, тонкая конъюнктив). К нефункционирующим относят плоские и инкапсулированные ФП, для которых характерны отсутствие субконъюнктивальной влаги, либо ограниченные супрасклеральные пространства с высокорефлексивными стенками [23]. Позже была описана картина конфокальной микроскопии каждого из четырех видов ФП [24]. Более поздние ОКТ-классификации ФП в целом схожи с предложенной Leung и соавт. Так, Рыков С.А. и соавт. к функционирующим относят разлитую и кистовидную, к нефункционирующим — фиброзную и капюшоновидную [25]. Savini G. и соавт. выделяют типы ФП А, В и С: для типа А характерны толстая стенка и единое крупное заполненное влагой пространство; для типа В — тонкая стенка и множественные заполненные влагой пространства; для типа С — множественные нерегулярные плоские заполненные влагой пространства [26]. Hirooka K. и соавт. выделяют кистозные (с множественными кистами в ФП), диффузные (гипо- и гиперрефлексивные участки в ФП) и слоистые (средне- и высокорефлексивные участки в ФП) виды [27].

Таким образом, большинство классификаций ФП имеют общие черты. Описана также упрощенная классификация Wen J. и соавт., в которой описывается только высота и рефлексивность ФП [28]. Перспективным направлением в ОКТ-классифицировании

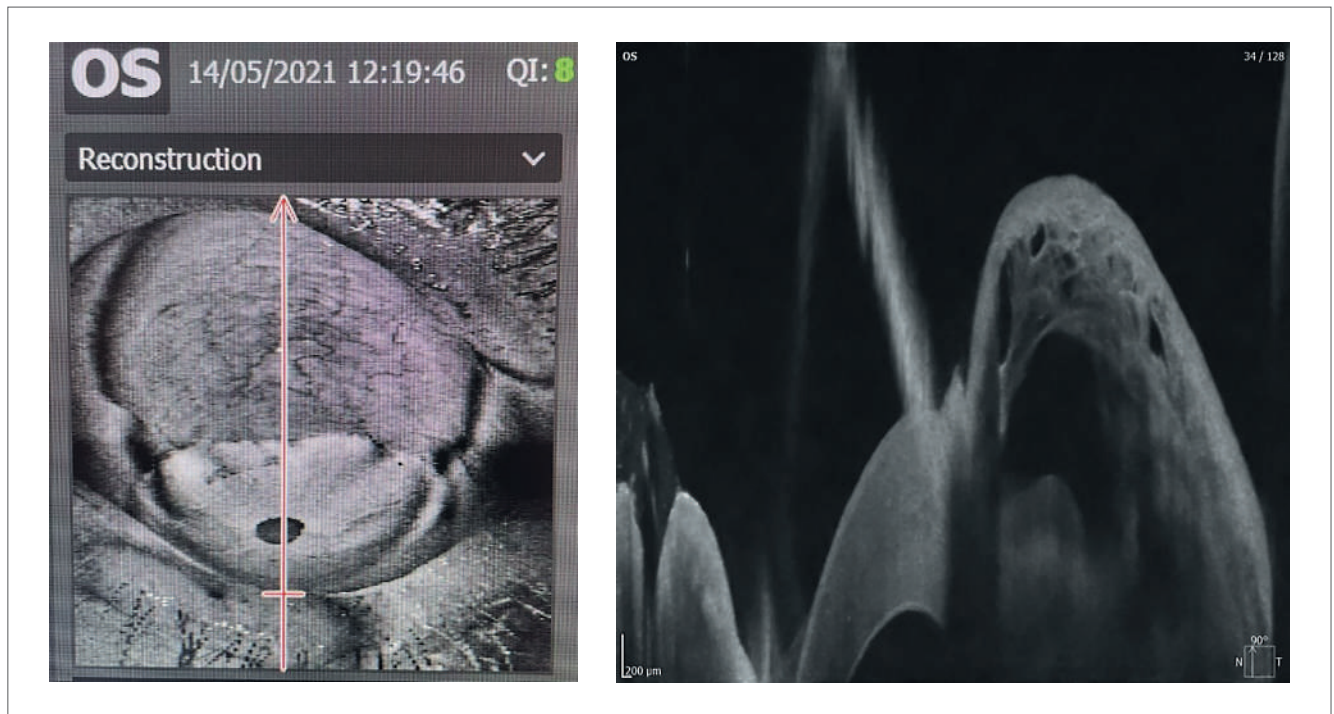


Рис. 1. Вертикальный скан фильтрационной подушки, полученный при ОКТ.

Fig. 1. Vertical OCT scan of the filtering bleb.

ФП является оценка неоднородной рефлексивности стенки ФП («мультирефлексивности»), ассоциированной с положительным исходом [29, 30] и создание классификаций на основе данных ангио-ОКТ, появившихся в последние годы [31–33]. Несмотря на большой массив данных об ОКТ-картине ФП, имеются лишь единичные работы, в которых оценивают объем ФП [34, 35]. В некоторых таких работах объем ФП рассчитывается по данным магнитно-резонансной томографии вкупе с оценкой положения дренажного устройства [36, 37].

Проблема классификационных характеристик ФП считается актуальной с точки зрения принятия тактических и прогностических решений, направленных на повышение эффективности хирургического лечения глаукомы.

Цель настоящего исследования — изучить возможность прогнозирования гипотензивной эффективности операций фистулизирующего типа на основании вычисления объективных параметров фильтрационной подушки при помощи современных методов визуализации.

Материалы и методы

В исследование было включено 15 пациентов (15 глаз) с некомпенсированной первичной открытоугольной глаукомой II стадии, которым требовалось хирургическое гипотензивное вмешательство с целью стабилизации зрительных функций. До антиглаукомной операции все пациенты находились на

максимально переносимой местной терапии. Средний возраст пациентов составил 72 ± 6 лет, из них 40% мужчин и 60% женщин. Критериями исключения были: предшествующее лазерное или хирургическое лечение глаукомы, артифакция, внутриглазные воспаления в анамнезе, любые внутриглазные операции либо травмы органа зрения в анамнезе. В предоперационном периоде проводили стандартное офтальмологическое обследование, включающее визометрию, биомикроскопию и офтальмоскопию, а также статическую периметрию и оптическую когерентную томографию в динамике для оценки стабилизации глаукомной оптической нейропатии. Измерение уровня ВГД на всех этапах исследования проводили с использованием бесконтактного тонометра Reichert 7CR (Reichert, США) с определением показателя роговично-компенсированного давления.

Всем пациентам была выполнена антиглаукомная операция одним и тем же хирургом по стандартной методике: синустрабекулэктомия с базальной иридэктомией. Каждому пациенту было проведено ОКТ-сканирование фильтрационной подушки через 2 и 7 дней, 1 и 3 месяца после хирургического вмешательства. На каждом осмотре проводили визометрию, измерение ВГД, оценивали ФП при биомикроскопии и сопоставляли с полученными данными объема ФП.

На первом этапе исследования нами был произведен расчет объема ФП с помощью метода спектральной ОКТ переднего сегмента. Сканирование

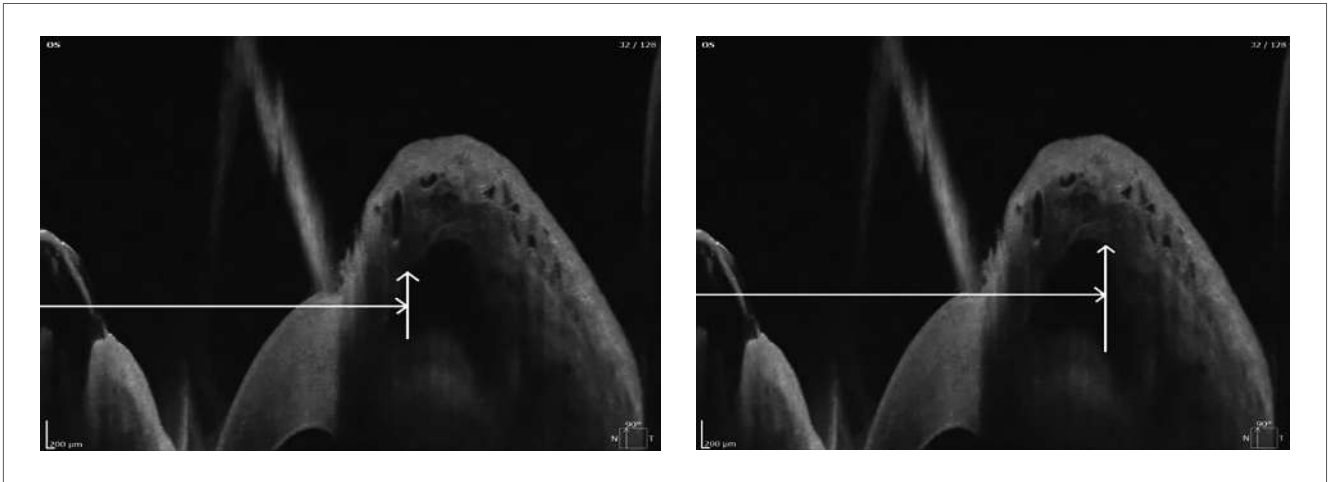


Рис. 2. Алгоритм работы со сканом ФП. Вертикальная стрелка соответствует высоте полости ФП (h). Горизонтальная стрелка — координата y , соответствующая каждой точке скана, где производилось измерение высоты «полости» ФП.

Fig. 2. Algorithm for analysis of the FB scan. The vertical arrow indicates the height of the FB cavity (h). The horizontal arrow shows the y -coordinate corresponding to each point of the scan where FB cavity height measurements were taken.

области хирургически созданных путей оттока внутриглазной жидкости проводилось на томографе Revo NX (Optopol, Польша), позволяющем получать срез изображения исследуемой области в высоком разрешении (рис. 1). С его помощью можно определить уровень скопления жидкости в ФП (субконъюнктивальный и супрасклеральный), толщину стенки ФП, ее ширину и высоту, а также наличие микрокист, что в совокупности позволяет дать оценку функционального состояния хирургически созданных путей оттока ВГЖ и спрогнозировать дальнейший гипотензивный эффект.

После вертикального ОКТ-сканирования, проходящего через ось симметрии, параллельную сагиттальной плоскости глаза, для дальнейших вычислений использовали всю серию сканов ФП. Специализированного программного обеспечения для решения этой задачи не существует, но так как для каждого скана известен латеральный и вертикальный масштаб, а также известно реальное расстояние между сканами в сетке при сканировании, то задача объективного вычисления объема сложной, иногда многокамерной полости ФП может быть решена. Для этого в реальном масштабе, соответствующем миллиметрам координатной сетки (x, y) на поверхности склеры, для каждой точки в пределах фильтрационной подушки и окружающих ее тканей оценивали высоту h «полости» ФП (рис. 2) и заносили в массив данных. При этом координата x вычислялась исходя из порядкового номера скана, а координата y считывалась в каждой точке измерения от левой кромки профиля, принимаемой за $y=0$. В точках, где расслоения тканей не визуализировалось, h принимали равным «0». В результате обработки совокупности ОКТ-сканов для каждой ФП был сформирован нерегулярный массив

вида $\{x, y, h\}$, характеризующий распределение ее объема в пространстве. После этого в программе Surfer 7.0 (Golden Software, США), которая создана для работы с нерегулярными данными, формировалась трехмерная модель «полости» ФП и высчитывался ее объем (патент на изобретение № 2 789 334 от 01.02.2023 Бюл. № 4) [38].

Результаты и обсуждение

У 3 пациентов из 15 к концу наблюдения объем ФП составил менее $5,7 \text{ мм}^3$. Уровень ВГД в послеоперационном периоде был декомпенсирован и в среднем составлял $22,1 \pm 3,2 \text{ мм рт.ст.}$ Для достижения целевых значений ВГД этим пациентам был назначен гипотензивный режим.

У большинства пациентов (12 человек) на протяжении всего периода наблюдения отмечали значение ВГД до 14 мм рт.ст. (в среднем $11,7 \pm 2,3 \text{ мм рт.ст.}$) и разлитой характер ФП, объем которой составлял более $5,7 \text{ мм}^3$. Достигнутый результат хирургического лечения ПОУГ позволил оставить пациентов под динамическим наблюдением в обозначенные клиническими рекомендациями сроки без назначения гипотензивного режима.

Полученные данные позволили выбрать пограничное значение объема ФП, указывающее на характер прогнозирования гипотензивной эффективности антиглаукомной операции. Однако очень важно учитывать наличие кистозных изменений ФП, поскольку объем ФП при них будет большим вследствие склеро-конъюнктивальных сращений, но ВГД при этом будет высокое. Это может быть ассоциировано с более неблагоприятным прогнозом вмешательства и необходимости дополнительных мер для снижения ВГД.

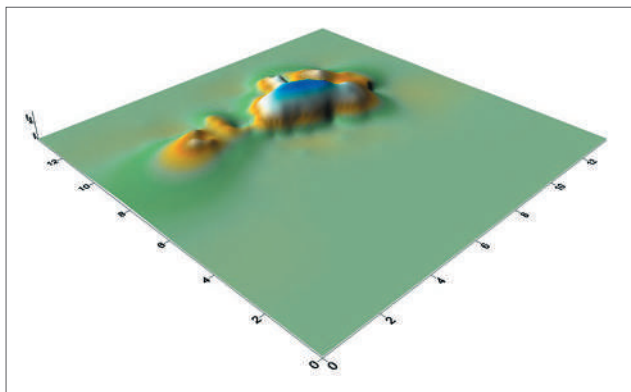


Рис. 3. 3D-модель ФП пациента С. Видно, что помимо основной «полости», соответствующей точке с максимальной высотой ФП, визуализируются дополнительные камеры, сообщающиеся с основной «полостью» каналами. Такая картина соответствует определяемой при биомикроскопии разлитой ФП без склеро-конъюнктивальных сращений. Координаты осей даны в мм.

Fig. 3. 3D model of the FB of patient S. In addition to the primary 'cavity', which corresponds to the point of maximum FB height, additional chambers connected to the primary 'cavity' by channels are visualized. Such pattern corresponds to a diffuse FB with no adhesions between the sclera and conjunctiva, as seen on biomicroscopy. Axis coordinates are in mm.

Первые результаты нашего исследования демонстрируют прямую корреляцию между объемом и формой фильтрационной подушки, полученными с помощью ОКТ, и послеоперационным уровнем ВГД. Наличие кистозных полостей в области хирургически созданных путей оттока внутриглазной жидкости сопровождается повышением офтальмотонуса, что наглядно отражает процессы избыточного рубцевания. Хотя синустрабекулэктомия в большинстве случаев эффективна, некоторым пациентам для достижения целевого ВГД необходимо своевременное назначение местных гипотензивных препаратов. Тактика послеоперационного ведения пациента и рациональный выбор метода лечения зависит от наличия жидкости в области ФП, ее объема и формы, что с высокой степенью достоверности позволяет визуализировать ОКТ.

Клинические примеры

Пример 1. Пациент С., 75 лет, обратился с высоким ВГД на максимально допустимом медикаментозном гипотензивном режиме. При осмотре ВГД на правом глазу составило 25 мм рт.ст. Зрительные функции на правом глазу соответствовали II стадии ГОН. Пациенту была проведена антиглаукомная операция. На 2 сутки проведена ОКТ ФП. По описанной методике был высчитан объем ФП, составивший 10,4 мм³ (рис. 3). На ОКТ-сканах не визуализировались склеро-конъюнктивальные сращения, что свидетельствовало о некистозном характере ФП. ВГД составило 9,7 мм рт.ст. При последующих осмотрах наблюдали стойкую компенсацию ВГД

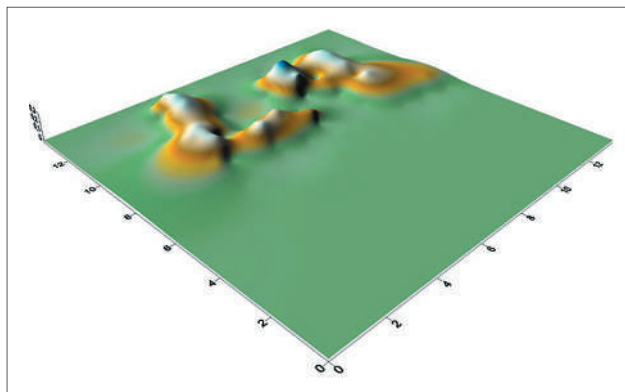


Рис. 4. 3D-модель ФП у пациентки С. Определяются разрозненные плоские камеры небольшого объема, не сообщающиеся между собой. Свойства ФП свидетельствуют о затруднении оттока внутриглазной жидкости под конъюнктиву и о возможном наличии склеро-конъюнктивальных сращений. Координаты осей даны в мм.

Fig. 4. 3D model of the FB of patient S. Separate flat chambers of small volume are visualized, not connected to each other. These FB properties suggest impaired outflow of intraocular fluid to under the conjunctiva and the possible presence of adhesions between the sclera and conjunctiva. Axis coordinates are in mm.

и стабилизацию зрительных функций, что подтверждало адекватность прогнозирования по предложенному способу.

Пример 2. Пациентка С., 68 лет, обратилась с высоким ВГД на максимально допустимом гипотензивном режиме. При осмотре ВГД на левом глазу составило 28 мм рт.ст., зрительные функции соответствовали II стадии ГОН. Пациентке была проведена антиглаукомная операция. На 2 сутки проведена ОКТ ФП с дальнейшей оценкой по описанной методике. Объем ФП составил 4,02 мм³ (рис. 4). Уровень ВГД составил 21,7 мм рт.ст. В связи с декомпенсацией ВГД пациентке была назначена местная гипотензивная терапия. При последующих осмотрах наблюдалась стойкая нормализация ВГД на монотерапии местными гипотензивными препаратами и стабилизация зрительных функций.

Заключение

В последние годы в силу ряда причин, к которым, прежде всего, следует отнести немотивированно длительную топическую терапию с применением консервант-содержащих препаратов, заметно сокращается длительность гипотензивной эффективности антиглаукомных операций. В связи с этим прогнозирование исходов хирургического вмешательства по оценке состояния ФП представляет определенный интерес. Предложенный нами метод визуализации ФП, основанный на ее моделировании с использованием ОКТ, позволяет получить такие её характеристики, как уровень скопления

жидкости (субконъюнктивальный и супрасклеральный), толщину стенок, ширину и высоту, а также наличие микрокист. В совокупности это позволяет дать оценку функционального состояния хирургически созданных путей оттока внутриглазной жидкости и спрогнозировать дальнейший гипотензивный эффект. Подобные сведения могут позволить своевременно и эффективно сформулировать тактические подходы к пролонгации гипотензивного эффекта.

Литература

1. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators; Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Health* 2021; 9(2):e144-e160. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30489-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30489-7)
2. Tham Y.C., Li X., Wong T.Y., Quigley H.A., Aung T., Cheng C.Y. 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. Terminology and guidelines for glaucoma. 5th edition. Savona, Italy: European Glaucoma Society; 2020.
4. Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей. Под ред. Егорова Е.А., Астахова Ю.С., Еричева В.П. М: ГЭОТАР-Медиа 2015; 456
5. Абышева Л.А., Александров А.С., Арапиев М.У. и др. Оптимизация лечебно-диагностического процесса у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. *Национальный журнал глаукома* 2016; 15(2):19-35.
6. Gazzard G., Konstantakopoulou E., Garway-Heath D. et al. Selective laser trabeculoplasty versus eye drops for first-line treatment of ocular hypertension and glaucoma (LiGHT): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2019; 393(10180):1505-1516. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32213-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32213-X)
7. Nichani P., Popovic M.M., Schlenker M.B., Park J., Ahmed I.I.K. Micro-invasive glaucoma surgery: A review of 3476 eyes. *Surv Ophthalmol* 2021; 66(5):714-742. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2020.09.005>
8. Петров С.Ю. Классификация фильтрационных подушек. *Национальный журнал глаукома* 2014; 13(2):85-94.
9. Wells A.P., Ashraff N.N., Hall R.C., Purdie G. Comparison of two clinical Bleb grading systems. *Ophthalmology* 2006; 113(1):77-83. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2005.06.037>
10. Klink T., Kann G., Ellinger P., Klink J., Grehn F., Guthoff R. The prognostic value of the Wuerzburg bleb classification score for the outcome of trabeculectomy. *Ophthalmology* 2011; 122(1):55-60. <https://doi.org/10.1159/000314717>
11. Smith M., Chipman M.L., Trope G.E., Buys Y.M. Correlation between the Indiana bleb appearance grading scale and intraocular pressure after phacotrabeculectomy. *J Glaucoma* 2009; 18(3):217-219. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31817d23e0>
12. Golez E., 3rd, Latina M. The use of anterior segment imaging after trabeculectomy. *Semin Ophthalmol* 2012; 27(5-6):155-159. <https://doi.org/10.3109/08820538.2012.707275>
13. Wu Q., Zhang Y., Song B.W., Lu B., Guan J.H. [Evaluation of the bleb morphology and the function of post filtration surgery using slit-lamp adapted optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy in glaucoma patients]. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2008; 44(5):402-407.
14. Zhang Y., Wu Q., Zhang M., Song B.W., Du X.H., Lu B. Evaluating subconjunctival bleb function after trabeculectomy using slit-lamp optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy. *Chin Med J (Engl)* 2008; 121(14):1274-1279.
15. Singh M., Chew P.T., Friedman D.S., Nolan W.P., See J.L., Smith S.D., Zheng C., Foster P.J., Aung T. Imaging of trabeculectomy blebs using anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2007; 114(1):47-53. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.05.078>
16. Киселева О.А., Филиппова О.М., Бессмертный А.М., Робустова О.В. Роль оптической когерентной томографии переднего отдела в контроле и коррекции послеоперационного периода у больных с глаукомой. *Российский офтальмологический журнал* 2009; 2(4):15-19.
17. Kojima S., Inoue T., Kawaji T., Tanihara H. Filtration bleb revision guided by 3-dimensional anterior segment optical coherence tomography. *J Glaucoma* 2014; 23(5):312-315. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e3182741ee6>
18. Муравьев С.В., Малюгин Б.Э., Молоткова И.А., Николашин С.И. Морфологический анализ путей оттока внутриглазной жидкости после каналоластики и классической непроникающей глубокой склерэктомии с помощью оптической когерентной томографии. *Офтальмохирургия* 2017; 1:27-32.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Еричев В.П., Новиков И.А., Будзинская М.В.

Сбор и обработка материала: Хачатрян Г.К., Макарова А.С., Тарасенков А.О.

Статистическая обработка: Хачатрян Г.К., Макарова А.С.

Написание статьи: Еричев В.П., Хачатрян Г.К., Макарова А.С.

Редактирование: Еричев В.П., Новиков И.А.

References

1. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators; Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Health* 2021; 9(2):e144-e160. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30489-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30489-7)
2. Tham Y.C., Li X., Wong T.Y., Quigley H.A., Aung T., Cheng C.Y. 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. Terminology and guidelines for glaucoma. 5th edition. Savona, Italy: European Glaucoma Society; 2020.
4. Natsional'noe rukovodstvo po glaukome dlya praktikuuyushchikh vrachei [National glaucoma guidelines for practitioners]. Egorov E.A., Astakhov Yu.S., Eriчев V.P., eds. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2015. 456 p.
5. Abysheva L.D., Alexandrov A.S., Arapiev M.U. et al. Optimization of diagnosis and treatment options in primary open-angle glaucoma patients. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2016; 15(2):19-35.
6. Gazzard G., Konstantakopoulou E., Garway-Heath D. et al. Selective laser trabeculoplasty versus eye drops for first-line treatment of ocular hypertension and glaucoma (LiGHT): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2019; 393(10180):1505-1516. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32213-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32213-X)
7. Nichani P., Popovic M.M., Schlenker M.B., Park J., Ahmed I.I.K. Micro-invasive glaucoma surgery: A review of 3476 eyes. *Surv Ophthalmol* 2021; 66(5):714-742. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2020.09.005>
8. Petrov S.Yu. Filtering bleb classifications. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2014; 13(2):85-94.
9. Wells A.P., Ashraff N.N., Hall R.C., Purdie G. Comparison of two clinical Bleb grading systems. *Ophthalmology* 2006; 113(1):77-83. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2005.06.037>
10. Klink T., Kann G., Ellinger P., Klink J., Grehn F., Guthoff R. The prognostic value of the Wuerzburg bleb classification score for the outcome of trabeculectomy. *Ophthalmology* 2011; 122(1):55-60. <https://doi.org/10.1159/000314717>
11. Smith M., Chipman M.L., Trope G.E., Buys Y.M. Correlation between the Indiana bleb appearance grading scale and intraocular pressure after phacotrabeculectomy. *J Glaucoma* 2009; 18(3):217-219. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31817d23e0>
12. Golez E., 3rd, Latina M. The use of anterior segment imaging after trabeculectomy. *Semin Ophthalmol* 2012; 27(5-6):155-159. <https://doi.org/10.3109/08820538.2012.707275>
13. Wu Q., Zhang Y., Song B.W., Lu B., Guan J.H. [Evaluation of the bleb morphology and the function of post filtration surgery using slit-lamp adapted optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy in glaucoma patients]. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2008; 44(5):402-407.
14. Zhang Y., Wu Q., Zhang M., Song B.W., Du X.H., Lu B. Evaluating subconjunctival bleb function after trabeculectomy using slit-lamp optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy. *Chin Med J (Engl)* 2008; 121(14):1274-1279.
15. Singh M., Chew P.T., Friedman D.S., Nolan W.P., See J.L., Smith S.D., Zheng C., Foster P.J., Aung T. Imaging of trabeculectomy blebs using anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2007; 114(1):47-53. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.05.078>
16. Kiseleva OA, Filippova OM, Bessmertny AM, Robustova OV. The role of optical coherent tomography of the anterior eye segment in the postoperative management of glaucoma patients. *Russian Ophthalmological Journal* 2009; 2(4):15-19.
17. Kojima S., Inoue T., Kawaji T., Tanihara H. Filtration bleb revision guided by 3-dimensional anterior segment optical coherence tomography. *J Glaucoma* 2014; 23(5):312-315. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e3182741ee6>
18. Muraviev SV, Malugin BE, Molotkova IA, Nikolashin SI. Morphologic analysis of aqueous humor outflow path after canaloplastics and classic non-penetrating deep sclerectomy by optical coherence tomography. *Oftalmokhirurgiya* 2017; 1:27-32.

19. Konstantinidis A., Panos G.D., Triantafylla M., Labiris G., Tsaragli E., Gatzoufas Z., Kozobolis V. 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. <https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2015.03.10>
20. Бикбов М.М., Хуснутдинов И.И. Анализ гипотензивного эффекта имплантации клапана Ahmed при рефрактерной глаукоме. *Национальный журнал глаукома* 2016; 15(3):24-33.
21. Chua J., Mehta J.S., Tan D.T. Use of anterior segment optical coherence tomography to assess secondary glaucoma after penetrating keratoplasty. *Cornea* 2009; 28(2):243-245. <https://doi.org/10.1097/ICO.0b013e318188036d>
22. Seo J.H., Kim Y.A., Park K.H., Lee Y. Evaluation of Functional Filtering Bleb Using Optical Coherence Tomography Angiography. *Transl Vis Sci Technol* 2019; 8(3):14. <https://doi.org/10.1167/tvst.8.3.14>
23. Leung C.K., Yick D.W., Kwong Y.Y., Li F.C., Leung D.Y., Mohamed S., Tham C.C., Chung-chai C., Lam D.S. 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>
24. Ciancaglini M., Carpineto P., Agnifili L., Nubile M., Lanzini M., Fasanella V., Mastropasqua L. Filtering bleb functionality: a clinical, anterior segment optical coherence tomography and in vivo confocal microscopy study. *J Glaucoma* 2008; 17(4):308-317. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31815c3a19>
25. Рыков С.А., Косуба С.И., Сук С.А., Тутченко Л.П., Косуба И.С., Венедиктова О.А. Анатомо-топографические особенности фильтрующих подушек после операций неперфорированного типа у больных глаукомой по данным оптической когерентной томографии. *Офтальмологический журнал* 2014; 4:34-39.
26. Savini G., Zanini M., Barboni P. Filtering blebs imaging by optical coherence tomography. *Clin Exp Ophthalmol* 2005; 33(5):483-489. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2005.01066.x>
27. Hirooka K., Takagishi M., Baba T., Takenaka H., Shiraga F. Stratus optical coherence tomography study of filtering blebs after primary trabeculectomy with a fornix-based conjunctival flap. *Acta Ophthalmol* 2010; 88(1):60-64. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2008.01401.x>
28. Wen J.C., Stinnett S.S., Asrani S. Comparison of Anterior Segment Optical Coherence Tomography Bleb Grading, Moorfields Bleb Grading System, and Intraocular Pressure After Trabeculectomy. *J Glaucoma* 2017; 26(5):403-408. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000636>
29. Raj A., Bahadur H. Morphological analysis of functional filtering blebs with anterior segment optical coherence tomography: A short-term prediction for success of trabeculectomy. *Eur J Ophthalmol* 2021; 31(4):1978-1985. <https://doi.org/10.1177/1120672120924340>
30. Kasaragod D., Fukuda S., Ueno Y., Hoshi S., Oshika T., Yasuno Y. Objective Evaluation of Functionality of Filtering Bleb Based on Polarization-Sensitive Optical Coherence Tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016; 57(4):2305-2310. <https://doi.org/10.1167/iov.15-18178>
31. Hayek S., Labbe A., Brasnu E., Hamard P., Baudouin C. Optical Coherence Tomography Angiography Evaluation of Conjunctival Vessels During Filtering Surgery. *Transl Vis Sci Technol* 2019; 8(4):4. <https://doi.org/10.1167/tvst.8.4.4>
32. Mastropasqua R., Brescia L., Di Antonio L., Guarini D., Giattini D., Zupardi E., Agnifili L. Angiographic biomarkers of filtering bleb function after XEN gel implantation for glaucoma: an optical coherence tomography-angiography study. *Acta Ophthalmol* 2020; 98(6):e761-e767. <https://doi.org/10.1111/aos.14371>
33. Yin X., Cai Q., Song R., He X., Lu P. Relationship between filtering bleb vascularization and surgical outcomes after trabeculectomy: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018; 256(12):2399-2405. <https://doi.org/10.1007/s00417-018-4136-0>
34. Perez-Rico C., Gutierrez-Ortiz C., Moreno-Salgueiro A., Gonzalez-Mesa A., Teus M.A. Visante anterior segment optical coherence tomography analysis of morphologic changes after deep sclerectomy with intraoperative mitomycin-C and no implant use. *J Glaucoma* 2014; 23(1):e86-90. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31829ea2c8>
35. Kawana K., Kiuchi T., Yasuno Y., Oshika T. Evaluation of trabeculectomy blebs using 3-dimensional cornea and anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2009; 116(5):848-855. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2008.11.019>
36. Detorakis E.T., Maris T., Papadaki E., Tsilimbaris M.K., Karantanis A.H., Pallikaris I.G. Evaluation of the position and function of aqueous drainage implants with magnetic resonance imaging. *J Glaucoma* 2009; 18(6):453-459. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e3181895e42>
37. Sano I., Tanito M., Uchida K., Katsube T., Kitagaki H., Ohira A. Assessment of Filtration Bleb and Endplate Positioning Using Magnetic Resonance Imaging in Eyes Implanted with Long-Tube Glaucoma Drainage Devices. *PLoS One* 2015; 10(12):e0144595. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144595>
38. Патент РФ на изобретение №2789334/01.02.2023. Бюл. №4. Макарова А.С., Еричев В.П., Будзинская М.В., Хачатрян Г.К., Тарасенков А.О., Новиков И.А. Способ прогнозирования эффективности синустрабекулектоми. <https://patents.google.com/patent/RU2789334C1/ru>
19. Konstantinidis A., Panos G.D., Triantafylla M., Labiris G., Tsaragli E., Gatzoufas Z., Kozobolis V. 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. <https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2015.03.10>
20. Bikbov M.M., Khunutdinov I.I. Analysis of the hypotensive effect of Ahmed valve implantation in refractory glaucoma. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2016; 15(3):24-33.
21. Chua J., Mehta J.S., Tan D.T. Use of anterior segment optical coherence tomography to assess secondary glaucoma after penetrating keratoplasty. *Cornea* 2009; 28(2):243-245. <https://doi.org/10.1097/ICO.0b013e318188036d>
22. Seo J.H., Kim Y.A., Park K.H., Lee Y. Evaluation of Functional Filtering Bleb Using Optical Coherence Tomography Angiography. *Transl Vis Sci Technol* 2019; 8(3):14. <https://doi.org/10.1167/tvst.8.3.14>
23. Leung C.K., Yick D.W., Kwong Y.Y., Li F.C., Leung D.Y., Mohamed S., Tham C.C., Chung-chai C., Lam D.S. 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>
24. Ciancaglini M., Carpineto P., Agnifili L., Nubile M., Lanzini M., Fasanella V., Mastropasqua L. Filtering bleb functionality: a clinical, anterior segment optical coherence tomography and in vivo confocal microscopy study. *J Glaucoma* 2008; 17(4):308-317. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31815c3a19>
25. Rykov SA, Kosuba SI, Suk SA, Tutchenko LP, Kosuba IS, Venediktova OA. Anatomical and topographical features of filtering blebs after non-penetrating deep sclerectomy in patients with glaucoma according to optical coherence tomography. *Oftal'mologicheskii zhurnal* 2014; 4:34-39.
26. Savini G., Zanini M., Barboni P. Filtering blebs imaging by optical coherence tomography. *Clin Exp Ophthalmol* 2005; 33(5):483-489. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2005.01066.x>
27. Hirooka K., Takagishi M., Baba T., Takenaka H., Shiraga F. Stratus optical coherence tomography study of filtering blebs after primary trabeculectomy with a fornix-based conjunctival flap. *Acta Ophthalmol* 2010; 88(1):60-64. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2008.01401.x>
28. Wen J.C., Stinnett S.S., Asrani S. Comparison of Anterior Segment Optical Coherence Tomography Bleb Grading, Moorfields Bleb Grading System, and Intraocular Pressure After Trabeculectomy. *J Glaucoma* 2017; 26(5):403-408. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000000636>
29. Raj A., Bahadur H. Morphological analysis of functional filtering blebs with anterior segment optical coherence tomography: A short-term prediction for success of trabeculectomy. *Eur J Ophthalmol* 2021; 31(4):1978-1985. <https://doi.org/10.1177/1120672120924340>
30. Kasaragod D., Fukuda S., Ueno Y., Hoshi S., Oshika T., Yasuno Y. Objective Evaluation of Functionality of Filtering Bleb Based on Polarization-Sensitive Optical Coherence Tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2016; 57(4):2305-2310. <https://doi.org/10.1167/iov.15-18178>
31. Hayek S., Labbe A., Brasnu E., Hamard P., Baudouin C. Optical Coherence Tomography Angiography Evaluation of Conjunctival Vessels During Filtering Surgery. *Transl Vis Sci Technol* 2019; 8(4):4. <https://doi.org/10.1167/tvst.8.4.4>
32. Mastropasqua R., Brescia L., Di Antonio L., Guarini D., Giattini D., Zupardi E., Agnifili L. Angiographic biomarkers of filtering bleb function after XEN gel implantation for glaucoma: an optical coherence tomography-angiography study. *Acta Ophthalmol* 2020; 98(6):e761-e767. <https://doi.org/10.1111/aos.14371>
33. Yin X., Cai Q., Song R., He X., Lu P. Relationship between filtering bleb vascularization and surgical outcomes after trabeculectomy: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018; 256(12):2399-2405. <https://doi.org/10.1007/s00417-018-4136-0>
34. Perez-Rico C., Gutierrez-Ortiz C., Moreno-Salgueiro A., Gonzalez-Mesa A., Teus M.A. Visante anterior segment optical coherence tomography analysis of morphologic changes after deep sclerectomy with intraoperative mitomycin-C and no implant use. *J Glaucoma* 2014; 23(1):e86-90. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e31829ea2c8>
35. Kawana K., Kiuchi T., Yasuno Y., Oshika T. Evaluation of trabeculectomy blebs using 3-dimensional cornea and anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2009; 116(5):848-855. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2008.11.019>
36. Detorakis E.T., Maris T., Papadaki E., Tsilimbaris M.K., Karantanis A.H., Pallikaris I.G. Evaluation of the position and function of aqueous drainage implants with magnetic resonance imaging. *J Glaucoma* 2009; 18(6):453-459. <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e3181895e42>
37. Sano I., Tanito M., Uchida K., Katsube T., Kitagaki H., Ohira A. Assessment of Filtration Bleb and Endplate Positioning Using Magnetic Resonance Imaging in Eyes Implanted with Long-Tube Glaucoma Drainage Devices. *PLoS One* 2015; 10(12):e0144595. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144595>
38. Patent of the Russian Federation for invention No.2789334/02/01/2023. Byul. No.4. Makarova A.S., Yerichev V.P., Budzinskaya M.V., Khachatryan G.K., Tarasenko A.O., Novikov I.A. Method for predicting the effectiveness of sinustrabeculectomy. <https://patents.google.com/patent/RU2789334C1/ru>