

Дренажная хирургия первичной открытоугольной глаукомы: прошлое, настоящее, будущее

А.С. Басинский¹, В.В. Гарькавенко², У.Р. Каримов³, И.Н. Исаков⁴, А.Б. Захидов⁵,
 О.М. Довгилева⁶, А.М. Юлдашев⁷, А.В. Куроедов^{8,9}, А.В. Селезнев¹⁰, А.Ю. Брежнев¹¹

¹ООО «Офтальмологический центр» Профессора Басинского С.Н., Орел, Россия;

²КГБУЗ «ККОКБ им. проф. П.Г. Макарова», Красноярск, Россия;

³Сырдарьинская областная офтальмологическая больница, Гулистан, Узбекистан;

⁴ГАУЗ КО НГКБ №1, Новокузнецк, Россия;

⁵ЧП «САИФ-ОПТИМА» клиника микрохирургии глаза, Ташкент, Узбекистан;

⁶ЧУЗ «КБ «РЖД-Медицина» им. Н.А. Семашко», Москва, Россия;

⁷КГМИПНП им. С.Б. Даниярова, Бишкек, Кыргызстан;

⁸ФГУ «ЦВКГ им. П.В. Мандрыка» Минобороны России, Москва, Россия;

⁹ФГАОУ ВО «РНМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия;

¹⁰ФГБОУ ВО ИвГМА Минздрава России, Иваново, Россия;

¹¹ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России, Курск, Россия

РЕФЕРАТ

Актуальность. Несмотря на существование множества методик снижения уровня внутриглазного давления, хирургическое лечение глаукомы имеет ограниченную эффективность из-за избыточного рубцевания новых путей оттока внутриглазной жидкости (ВГЖ) и неспособности антифибротических средств эффективно контролировать процесс заживления ран. Использование дренажей направлено на снижение рисков избыточного рубцевания в зоне фильтрационной подушки и формирование нескольких путей оттока ВГЖ.

Цель. Обобщение данных об исторических аспектах, о потенциале дренажной хирургии, причинах рубцевания и методик борьбы с ними. Предоставить данные об эффективности современных, в том числе концептуальных дренажных устройств, которые используются в хирургическом лечении глаукомы.

Материал и методы. Для выполнения обзора был осуществлен поиск источников литературы по реферативным базам данных e-library, PubMed и Scopus за период до 2018 г. включительно, используя ключевые слова «дренажная хирургия глаукомы» (в базе E-library), «anti-glaucoma drainage» и «anti-glaucoma drainage device» (в базах PubMed и Scopus). Из обзора были исключены абстракты конференций. Всего было идентифицировано 40 статей, относящихся к теме об-

зора. Начало публикаций по данному вопросу в отечественных источниках относится к 1970 году, а в зарубежных – к 1987 году.

Результаты. В обзоре представлены история развития, преимущества, недостатки хирургической техники и перспективные направления дренажной хирургии глаукомы. Описаны различные модели дренажных устройств, а также их специфические и неспецифические осложнения. Показатели эффективности различных клапанов составили 70% при среднем снижении уровня офтальмотонуса не менее чем на 50% от предоперационных значений. При этом риск повышения уровня ВГД выше целевых значений составляет около 10% в год, что приводит к тому, что через 5 лет только в 50% случаев дренажные устройства эффективно функционируют. Поэтому исследования биоматериалов, формы и техники дренирующей имплантационной хирургии, новые контролируемо высвобождаемые антифибротические препараты могут положительно повлиять на долгосрочную эффективность хирургии глаукомы.

Заключение. Представленные данные в обзоре литературы позволяют определить наиболее перспективные модели дренажных устройств, их эффективность, технику имплантации и возможные осложнения.

Ключевые слова: глаукома, рефрактерная глаукома, дренажная хирургия глаукомы, дренажи ■

Для корреспонденции:

Басинский Александр Сергеевич, к.м.н., главный врач
 ORCID ID: 0000-0001-9204-8797
 E-mail: fireglaz@ya.ru



ABSTRACT

Drainage surgery for primary open-angle glaucoma: past, present, future

A.S. Basinsky¹, V.V. Gar'kavenko², U.R. Karimov³, I.N. Isakov⁴, A.B. Zakhidov⁵, O.M. Dovgileva⁶, A.M. Iuldashev⁷, A.V. Kuroyedov^{8,9}, A.V. Seleznev¹⁰, A.Yu. Brezhnev¹¹

¹Professor Basinsky Ophthalmological Center, Orel, Russia;

²Makarov Ophthalmology Clinical Hospital, Krasnoyarsk, Russia;

³Region Ophthalmology Hospital, Gulistan, Uzbekistan;

⁴Novokuznetsk City Clinical Hospital No. 1, Novokuznetsk, Russia;

⁵SAIF-OPTIMA Eye Microsurgery Clinic, Tashkent, Uzbekistan;

⁶Russian Railways – Medicine Clinical Hospital named after N.A. Semashko, Moscow, Russia;

⁷Kyrgyz State Medical Institute of post-graduating Training and Continuous Education named after S.B. Daniyarov, Bishkek, Kyrgyzstan;

⁸Mandryka Central Clinical Hospital, Moscow, Russia;

⁹Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia;

¹⁰State Medical Academy, Ivanovo, Russia;

¹¹Kursk State Medical University, Kursk, Russia

Relevance. Despite many techniques for reducing intraocular pressure, surgical treatment of glaucoma has limited effectiveness. First, due to excessive scarring of new intraocular fluid outflow pathways and second, antifibrotics medicaments are unable to effectively control wound healing. The use of drainages reduces the risk of excessive scarring in the area of the filtration pad and forms several ways of outflow of intraocular fluid. The review presents the following sections: development history, advantages, disadvantages, surgical technique and promising directions of glaucoma drainage surgery.

Purpose. Summarizing data on the possibility of drainage surgery, historical aspects, causes of scarring and methods of dealing with them. Provide data on various modern drainage devices that are used not only in Russia and their effectiveness.

Material and methods. To perform the review, we searched for literature sources on the abstract databases E-library, PubMed and Scopus for the period up to and including 2018, using the keywords «glaucoma drainage surgery» (in the E-library database), «anti-glaucoma drainage» and «anti-glaucoma drainage device» (in the PubMed and Scopus databases). Abstracts of conferences were excluded from the review. A total

of 40 articles related to the review topic were identified. The beginning of publications on this issue in domestic sources dates back to 1970, and in foreign sources to 1987.

Results. The review presents the history of development, advantages, disadvantages of surgical techniques and promising areas of glaucoma drainage surgery. Various models of drainage devices, as well as their specific and non-specific complications are described. The effectiveness of various valves were 70%, with an average decrease in the level of IOP by at least 50% from the preoperative values. At the same time, the risk of an increase in the level of IOP above the target values is about 10% per year, which leads to the fact that after 5 years only in 50% of cases drainage devices function effectively. Therefore, studies of biomaterials, forms and techniques of drainage implantation surgery, new controlled-release antifibrotic drugs can positively affect the long-term effectiveness of glaucoma surgery.

Conclusion. The data presented in the literature review allow us to identify the most effective models of drainage devices, their effectiveness, implantation techniques and possible complications.

Key words: glaucoma, refractory glaucoma, glaucoma drainage surgery, drainages ■

АКТУАЛЬНОСТЬ

На современном этапе развития оперативного лечения глаукомы приоритетом является необходимость достижения уровня целевого внутриглазного давления (ВГД) и продления гипотензивного эффекта, что обуславливает поиск новых способов повышения эффективности дренирования внутриглазной жидкости (ВГЖ) из передней камеры [1, 2]. Применение различных видов дренажей и дренажных

устройств играет важную роль для решения поставленной задачи [3–5].

ЦЕЛЬ

Обобщение данных об исторических аспектах, о потенциале дренажной хирургии, о причинах рубцевания и методик борьбы с ними. Предоставить данные об эффективности современных, в том числе концептуальных дренажных устройств, которые используются в хирургическом лечении глаукомы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для выполнения обзора был осуществлен поиск источников литературы по реферативным базам данных e-library, PubMed и Scopus за период до 2018 г. включительно, используя ключевые слова «дренажная хирургия глаукомы» (в базе e-library), «anti-glaucoma drainage» и «anti-glaucoma drainage device» (в базах PubMed и Scopus). Из обзора были исключены абстракты конференций. Всего было идентифици-

ровано 40 статей, относящихся к теме обзора. Начало публикаций по данному вопросу в отечественных источниках относится к 1970 году, а в зарубежных – к 1987 году.

РЕЗУЛЬТАТЫ

История

Одним из первых хирургическое лечение глаукомы в виде склеростомии разработал в 1830 г. шотландский офтальмолог W. Mackenzie. Позже, в 1854 г., им был предложен способ снижения уровня ВГД с помощью парацентеза передней камеры. Однако спустя 2 года A. von Graefe предложил операцию, которая стала действительно популярной, несмотря на низкий косметический эффект и высокий уровень осложнений, – секторальную иридектомию, выполняемую под конъюнктивальным лоскутом [6].

Первые упоминания о применении эксплант-дренажа датируются 1866 г., когда L. Wecker использовал золотую проволоку, но в связи с ее дислокацией попытка закончилась неудачей [7] и его дальнейшее применение было прекращено ввиду высокого процента отторжения. В 1906 г. M. Rollett и M. Moreau, а в 1912 г. M. Zorab и A. Zorab предложили имплантировать шелковую нить в склеротомическое отверстие для активации оттока ВГЖ из передней камеры под конъюнктиву и профилактики заращения склеральной фистулы [8].

В 1959 г. E. Erstein впервые продемонстрировал использование шунтов-трубочек, у которых один конец вводили в переднюю камеру, а другой выводили под конъюнктиву, где формировалась фильтрационная подушечка. Через несколько недель дренаж полностью прекращал функционировать в силу различных причин. Затем, в целях уменьшения риска прорезывания дренажа, предотвращения избыточной регенерации в зоне операции и препятствия контакта трубочки с конъюнктивой, проводили его «укутывание» в 2–3 слоя амниотической мембраной,

при этом дистальный конец трубочки помещался за экватор глазного яблока, а проксимальный выводился в переднюю камеру [9].

Параллельно в 50-е гг. прошлого столетия с развитием полимерной промышленности в отечественной офтальмологии одной из первых, в качестве дренажа была применена полиэтиленовая трубочка [10]. Позже в 1955 г. G. Bietti применил полиэтиленовую трубочку для лечения глаукомы [11].

Д.С. Животовский (1970) создал дренажи из полихлорвинила и полиэтилена в виде микротрубочек с внутренним просветом 0,5 мм и нити. Автор отметил, что их применение в хирургии создавало благоприятные условия для более длительного функционирования путей оттока ВГЖ [12].

В.В. Волков и соавт. (1981) провели сравнение эффективности гипотензивного действия дренажей, изготовленных из полиуретановой пленки, капроновой нити, фторопласта и силикона. Авторы пришли к выводу, что силикон оказался более надежным материалом в изготовлении дренажей для нормализации офтальмотонуса [13].

Один из первых, кто ввел в широкую практику комбинированные конструкции, в 1969 г. был А.С. Molteno, который предложил соединить силиконовую трубочку с акриловым диском [14].

Дренаж, предложенный Т. Krupin (Eagle-Vision, США), состоял из силиконового диска овальной формы размером 13x18 мм (вертикальный и горизонтальный размер соответственно) и высотой стенки 1,75 мм и трубочки, длина которой составляла 20 мм [15].

Причины ограниченной эффективности хирургии глаукомы

Формирование новых путей оттока при хирургическом лечении глаукомы сопровождается следующими этапами: воспалением, пролиферацией и ремоделированием тканей [16]. Дистрофические и морфоло-

гические изменения в дренажной системе глаза влияют на активность рубцевания в зоне хирургического вмешательства, что является одним из ключевых факторов, определяющих успех фильтрующей хирургии в раннем и отдаленном послеоперационном периоде [17, 18]. Избыточное рубцевание после хирургического лечения чаще всего определяется на интрасклеральном и субконъюнктивальном уровнях [19–21]. Так, после имплантации дренажа, происходит образование фиброзной капсулы вокруг концевой пластинки в течение нескольких недель. Фибробласты не «прилипают» к силиконовому или полипропиленовому материалу пластины, что является важной особенностью, позволяющей успешно применять данные дренажные импланты.

ВГЖ протекает из передней камеры и накапливается в пространстве между концевой пластиной и неадгезированной фиброзной капсулой. Затем влага проходит через фиброзную капсулу посредством пассивной диффузии и поглощается в субконъюнктивальном пространстве капиллярами периокулярной лимфатической системы. Фиброзная капсула является основным участком устойчивости к оттоку ВГЖ.

Успех дренажной хирургии (соответственно и послеоперационный уровень ВГД) взаимосвязан с толщиной капсулы и площадью поверхностного инкапсулирования. Так, меньшие показатели первой и большие значения второй приводят к более низким цифрам ВГД. D.K. Heuer и соавт. (1992), а также A. Mermoud и соавт. (1993) достигли успеха в значительном снижении уровня ВГД с помощью имплантата с двумя пластинами [22, 23].

Однако долгосрочный успех дренажных имплантатов для лечения глаукомы снижается в результате фиброзной реакции, развивающейся вокруг концевой пластины, что приводит к инкапсуляции и снижению абсорбции ВГЖ. Некоторые элементы, такие как тип биоматериала, конструкция и/или раз-

мер дренажного устройства, а также иммунный ответ пациента, безусловно, влияют на формирование фиброзной ткани [24]. У пациентов с глаукомой в афакичном глазу, а также с тяжелыми заболеваниями передней поверхности глаз при хирургическом лечении предпочтение отдается также применению дренажей (Lieberman M.F., Ewing R.H., 1990) [25]. Их использование связано с различными послеоперационными осложнениями, поэтому они противопоказаны пациентам, не соответствующим требованиям данного вида хирургии. Например, они не рекомендуются пациентам с эндотелиальной патологией роговицы [26].

Таким образом, выбор биоматериалов, а также связанное с этим использование антифибротических агентов с более совершенными наносистемами доставки лекарственных средств может существенно улучшить работу дренажных устройств.

Показания к дренажной хирургии глаукомы

Дренажные устройства с длинными трубочками, обычно используются у пациентов с факторами риска неэффективности трабекулэктомии с антиметаболитами.

Факторами, снижающими эффективность трабекулэктомии, а следовательно, показаниями к использованию дренажей служат неэффективность предшествующей хирургии фильтрующего типа с введением антиметаболитов, выраженное рубцевание конъюнктивы вследствие предшествующих операций на глазах на фоне заболеваний конъюнктивы или поверхности глаза тяжелого течения, заболевания с активной неоваскуляризацией, афакия у детей и технические трудности при проведении фильтрующих операций [27].

Дренажные устройства демонстрируют высокую эффективность в отдаленном периоде, но настоящее время нет рекомендаций для использования дренажной хирур-

гии глаукомы как операции первого выбора при первичной открытоугольной глаукоме (ПОУГ). Хотя в некоторых исследованиях установлена эффективность и безопасность в качестве первичной хирургической процедуры [14, 28].

Если сравнивать трубчатый дренаж с трабекулэктомией как «золотым стандартом», то в многоцентровом рандомизированном клиническом исследовании Tube Versus Trabeculectomy трубчатый дренаж имел более высокий процент успеха по сравнению с трабекулэктомией с митомицином С (MMC) в течение 5 лет наблюдения. Обе процедуры были связаны с аналогичным снижением ВГД и использованием дополнительной медикаментозной терапии в течение 5 лет. Дополнительная операция по поводу глаукомы чаще требовалась после трабекулэктомии с MMC, чем при установке трубчатого шунта [29].

Осложнения дренажной хирургии

При фиксации имплантата к склере или при формировании склерального лоскута, чаще на ранее оперированных глазах с тонкой склерой, возможна перфорация глазного яблока с повреждением сосудистой оболочки. Интраоперационно могут быть такие осложнения, как повреждение стекловидного тела, кровоотечение из цилиарного тела при манипуляциях с трубочкой. При большом разрезе может возникнуть утечка ВГЖ вокруг имплантата, также возможно возникновение гифемы, супрахориоидального кровоизлияния, отслойки сосудистой оболочки (ОСО) и кровоизлияния в стекловидное тело [30–32].

В сравнительном исследовании The Tube vs Trabeculectomy Study, проведенное S. Gedde и соавт. (2007), была оценена эффективность и клинические результаты применения дренажных устройств и трабекулэктомии (ТЭ) с использованием MMC. Анализ показал, что частота интраоперационных осложнений в обеих группах была схожей. Через год

наблюдения у пациентов с дренажами случаев развития послеоперационных осложнений ($p=0,001$) было меньше, а также было отмечено снижение количества местных антиглаукомных препаратов. Кроме того, выявлено, что наличие интраоперационных или послеоперационных осложнений не влияет на риск неудачи долгосрочной компенсации ВГД [33, 34].

Одним из частых послеоперационных осложнений применения дренажных устройств является мелкая передняя камера в результате наружной фильтрации из конъюнктивальной раны, а также отека хориоидеи и чрезмерной фильтрации. Последнее чаще наблюдается у неклапанных имплантатов. Для устранения этих осложнений используется наложение дополнительных склеральных швов вокруг внешней части трубочки или наложение лигатуры на трубочку с целью закрытия ее внутреннего просвета (швы рассекаются через неделю аргоновым лазером). В качестве альтернативы Y. Sayyadetal (1991) предложил использовать съёмные швы, концы которых помещаются в роговицу [35].

Гипотония при гиперфильтрации не является угрожающим осложнением, при условии отсутствия мелкой передней камеры и контакта хрусталика с роговицей, и может не потребовать никаких дополнительных хирургических действий. В остальных случаях переднюю камеру необходимо восстанавливать с помощью вискоэластика или воздуха. Хориоидальные отеки или незначительные отслойки сосудистой оболочки довольно успешно купируются консервативно с помощью стероидов и мидриатиков. Выраженная отслойка сосудистой оболочки требует дренирования хирургическим путем [30].

Высокие значения уровня ВГД в первые дни после операции связаны с наличием в передней камере воспалительного выпота, фибрина, грыжи стекловидного тела, закрытием просвета трубочки радужкой или плотно наложенными швами.

Повышение уровня ВГД в поздних сроках связано с утолщением фиброзной капсулы, а также может быть результатом длительного применения местных стероидных препаратов в послеоперационном периоде [36–38].

Также после дренажной хирургии возможны нарушения или ограничения подвижности глазного яблока, особенно после имплантации крупных пластинок, которые проявляются в виде диплопии и/или косоглазия. Эти осложнения исправляются заменой на меньшую по размерам конструкцию, переносом устройств в другой сектор или удалением полностью всего импланта.

Если внутрикамерная часть трубки задевает роговицу, то это приводит к повреждению эндотелия, отеку и дистрофии роговицы. В случае контакта роговицы с трубкой J. Freedman (1987) рекомендует изменить ее положение [39]. Смещение трубки происходит в результате неадекватного закрепления к склере. Также возможны случаи поздней эрозии трубки. Другими поздними осложнениями являются: отслойка сосудистой оболочки, хориоидальное кровоизлияние, отслойка сетчатки, эндофтальмит и энофтальм [40, 41].

Сегодняшние разработки и перспективные направления

Разработки последних лет в области дренажной хирургии направлены на улучшение материалов, дизайна и техники имплантации. Все имплантаты имеют общую цель – дренирование ВГЖ из передней камеры в обход трабекулярной сети, с увеличенным оттоком и максимальным снижением уровня ВГД [42, 43].

К современным дренажам и имплантатам относят: Aquaflow (Staar Surgical AG, Швейцария), Ologen (OculusGen, Тайвань), T-Flux (Carl Zeiss, Германия). В настоящее время находится на клинических испытаниях водный шунт, который будет вызывать формирование более тонкой капсулы и иметь большую гидравлическую проводимость. Это

предположение основано на гипотезе о том, что изменение геометрического дизайна обычно используемых шунтирующих устройств в конструкции пластины на цилиндрическую форму уменьшит натяжение капсулы, окружающей имплантат. В экспериментах на кроликах цилиндрический дизайн давал более тонкую фильтрационную подушку по сравнению с имплантатом Baerveldt, с гидравлической проводимостью, увеличенной в 8 раз по сравнению с экспериментами по перфузии. Целью новых конструкций также является создание более простых в использовании имплантатов с меньшим количеством осложнений и более предсказуемым контролем уровня ВГД. В настоящее время ни один из доступных имплантатов не удовлетворяет этим требованиям и не может обеспечить контролируемое сопротивление оттоку жидкости [44]. Использование нанотехнологий является современной тенденцией и заслуживает отдельного внимания. В большинстве случаев в комбинации с использованием дренажей следует применение антиметоболитов, таких как митомицин-С и 5-фторурацил (5-ФУ) [16–20, 45]. Однако, по данным литературы, описано достаточное количество осложнений, что обуславливает поиск новых молекул для снижения избыточного рубцевания и способов их доставки [46–49]. Таким образом, выбор биоматериалов, а также связанное с этим использование антифибротических агентов с более совершенными наносистемами доставки лекарственных средств может существенно улучшить работу дренажных устройств. Новое, двухслойное, пористое покрытие клапана Ахмеда на основе биоразлагаемого полиэфира полилактидгликолида (поли-D,L-лактид-ко-гликолида, PLGA) было разработано для достижения непрерывного лекарственного высвобождения антифибротических агентов ММС и/или 5-ФУ в субконъюнктивальное пространство [50]. Цель использования этой двухслойной пленки – обеспечить бы-

строе высвобождение ММС с последующим медленным высвобождением 5-ФУ, что позволит предотвратить пролиферацию фибробластов в течение наиболее активного периода рубцевания послеоперационной раны (0–28 дней). Результаты показали очень быстрое высвобождение ММС в течение 1 дня с последующим первоначальным высвобождением 5-ФУ в течение 3–5 дней, которое продолжалось до 4 нед. Анализ цитотоксичности продемонстрировали значительную активность с первого дня и до почти полной биодеструкции PLGA. Особого внимания заслуживает нанодренажное устройство, изготовленное с помощью микроэлектромеханических систем (МЭМС – устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты, типичный размер которых от 1 мкм до 1 мм) [51]. Этот имплантат выполнен из нанопористой мембраны (имитирующей дренажную функцию трабекулярной сети), соединенной с интегрированным полимерным валом, введенным через склеру в переднюю камеру, что позволяет создать обходной путь для оттока ВГЖ. Нанопористая мембрана обеспечивает расчетное сопротивление потоку влаги, но облитерация внутри нанопор белками от перфузии плазмы значительно повышает сопротивление и снижает отток. Дальнейшие усилия будут необходимы для применения модификаций нанопористой мембраны для достижения идеального водного оттока. R.S. Narake и соавт. (2015) разработали биосовместимое микроустройство с антифибротическими свойствами, с инновационной платформой, также использующей МЭМС, для снижения ВГД у пациентов с глаукомой [52]. Этот новый прибор имеет блок с параллельными микроканалами, расположенными внутри для контролируемого сопротивления оттоку из передней камеры ВГЖ. В качестве основного материала устройства был выбран синтетический гидрогель полиэтиленгликоль (ПЭГ), обладающий высо-

кой биосовместимостью и антифибротическими свойствами, направленными на уменьшение облитерации белком микроканалов [53]. ПЭГ-214 и ПЭГ-4000 были совместно использованы для предотвращения блокирования каналов.

Непрерывные испытания *in vitro* в условиях искусственного потока показали, что конструкция устройства, содержащая 23 канала, обеспечивает перепад давления около 10 мм рт.ст. Феррожидкости – это коллоидные смеси магнитных наночастиц, взвешенных в немагнитной, инертной жидкости, такой как вода или органический растворитель. В результате их наноразмерности (обычно 10–100 Нм в диаметре) наночастицы подвергаются броуновскому движению [54]. Магнетит (Fe₃O₄) частицы состоят из одного магнитного домена и проявляют суперпарамагнитные свойства и, таким образом, создают силу сопротивления вдоль градиентов поля. Если существует статическое магнитное поле, то межфазная сила заставляет феррожидкость находиться в своих границах. Соответственно, феррожидкость в капиллярной трубке может работать на «включение и выключение клапана». Постоянный магнит используется для того, чтобы удерживать ферромагнитную жидкость в капилляре, а вторичный магнит применяется для того, чтобы регулировать усилие, необходимое для формирования барьера в капилляре. В том случае, когда давление, оказываемое на феррожидкость жидкостью, превышает магнитную силу между феррожидкостью и вторичным магнитом, поток начинает двигаться. В 2013 г. Е.И. Paschalis и соавт. сконструировали новый, сегнетомагнитный клапан, способный регулировать уровень ВГД без сопротивления в субконъюнктивальном пространстве, которое усиливается при формировании фильтрационной подушки. Предварительные результаты экспериментов *in vivo* показали, что в течение 2 нед. наблюдения не было никаких признаков

воспаления или инфекции в зоне операции. Среднее значение уровня ВГД в глазу с имплантированным клапаном (11,8±2 мм рт.ст.) было достоверно ниже, чем в контралатеральном интактном глазу (14±3 мм рт.ст.), и непрерывный поток на выходном конце клапана наблюдался до конца исследования [55].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение дренажных устройств для лечения глаукомы в последние годы значительно расширилось как для первичного лечения, так и для лечения рефрактерной глаукомы. Показатели эффективности различных клапанов примерно равны 70% при среднем снижении уровня ВГД не менее чем на 50% от предоперационных значений. К сожалению, риск повышения уровня ВГД выше целевого составляет около 10% в год, что приводит к тому, что через 5 лет только в 50% случаев дренажные устройства эффективно функционируют. Поэтому исследования биоматериалов, формы и техники дренирующей имплантационной хирургии, новые антифибротические препараты, способы их доставки и контролируемое высвобождение может положительно повлиять на долгосрочную эффективность хирургии глаукомы.

Вклад авторов в работу:

А.С. Басинский: существенный вклад в концепцию и дизайн работы.

В.В. Гарькавенко: существенный вклад в концепцию и дизайн работы.

У.Р. Каримов: существенный вклад в концепцию и дизайн работы.

И.Н. Исаков: существенный вклад в концепцию и дизайн работы, написание текста.

А.Б. Захидов: сбор, анализ и обработка материала.

О.М. Довгилева: сбор, анализ и обработка материала.

А.М. Юлдашев: написание текста.

А.В. Куроедов: окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

А.В. Селезнев: редактирование.

А.Ю. Брежнев: редактирование.

Authors' contribution:

A.S. Basinsky: substantial contribution to conception and design work.

V.V. Gar'kavenko: substantial contribution to conception and design work.

U.R. Karimov: substantial contribution to conception and design work.

I.N. Isakov: substantial contribution to conception and design work, writing a text.

A.B. Zakhidov: the collection, analysis and processing of the material.

O.M. Dovgileva: collection, analysis and processing of the material.

A.M. Iuldashev: writing.

A.V. Kuroyedov: final approval of the version to be published.

A.V. Seleznev: editing.

A.Y. Brezhnev: editing.

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

Авторство: Все авторы подтверждают, что они соответствуют действующим критериям авторства ICMJE. **Согласие пациента на публикацию:** Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

Конфликт интересов: Отсутствует.

ORCID ID: Басинский А.С. 0000-0001-9204-8797

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.

Authorship: All authors confirm that they meet the current ICMJE authorship criteria.

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.

ORCID ID: Basinsky A.C. 0000-0001-9204-8797

ЛИТЕРАТУРА

1. Слонимский А.Ю., Алексеев И.Б., Долгий С.С. Новые возможности профилактики избыточного рубцевания в хирургии глауком. Офтальмология. 2012;9(3): 36–40. [Slonimskiy Ayu, Alekseyev IB, Dolgiy SS. New possibilities of excessive postoperative scarring prophylaxis by glaucoma surgery. Ophthalmology in Russia. 2012;9(3): 36–40. (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2012-3-36-40
2. Бабушкин А.Э. Борьба с рубцеванием в хирургии глаукомы. Вестник офтальмологии. 1990;6: 66–70. [Babushkin AE. The fight against scarring in the glaucoma surgery. The Russian Annals of Ophthalmology. 1990;6: 66–70. (In Russ.)]
3. Белый Ю.А., Терещенко А.В., Романенко С.Я. и др. Применение полимерного эластичного магнитного дренажа на этапе непроникающей глубокой склерэктомии в хирургии открытоугольной глаукомы. Глаукома. 2004;(2): 38–45. [Belyi YuA, Tereshchenko AV, Romanenko SYa, et al. The use of polymer elastic magnetic drainage at the stage of non-penetrating deep sclerectomy in open-angle glaucoma surgery. Glaucoma. 2004;2: 38–45. (In Russ.)]
4. Николаенко В.П., Астахов С.Ю. Применение политетрафторэтиленовых эксплантодренажей в ходе гипотензивных операций. Часть II: осложнения. Глаукома. 2005;3: 37–42. [Nikolaenko VP, Astakhov SYu. The use of polytetrafluoroethylene explantodrenages during hypotensive operations. Part II: complications. Glaucoma. 2005;3: 37–42. (In Russ.)]
5. Чупров А.Д., Подданиногина В.В., Гаврилова И.А. Результаты хирургического лечения далеко зашедшей и терминальной глаукомы с применением силиконового дренажа. Глаукома. 2006;3: 26–29. [Chuprov AD, Poddaniogina VV, Gavrilova IA. Rezul'taty khirurgicheskogo lecheniya daleko zashedshei i terminal'noi glaukomy s primeneniem silikonovogo drenazha. Glaucoma. 2006;3: 26–29. (In Russ.)]
6. Петров С.Ю., Волжанин А.В. Синустрабекулэктомия: история, терминология, техника. Национальный журнал глауком. 2017;16(2): 82–91. [Petrov SYu, Volzhanin AV. Trabeculectomy: history, terminology, technique. National Journal glaucoma. 2017;16(2): 82–91. (In Russ.)]
7. Wecker L. Sclerotomy simple et combine. Ann d'ocul. 1894;25: 112.
8. Степанов А.В., Гамзаева У.Ш. Дренажная хирургия глаукомы. Российская педиатрическая офтальмология. 2016;11(3): 158–164. [Stepanov AV, Gamzaeva USh. Drainage surgery of glaucoma. Rossiyskaya pediatricheskaya oftalmologiya. 2016;11(3): 158–164. (In Russ.)] doi: 10.18821/1993-1859-2016-11-3-158-164
9. Маложен С.А. Опыт одномоментного применения цитостатиков и имплантации отечественных трубчатых микродренажей в хирургии рефрактер-

- ной глаукомы. Вестник офтальмологии. 2008;124(6): 60–61. [Malozhen SA. Experience of simultaneous application of cytostatics and implantation of domestic tubular micro-drainage in the surgery of refractory glaucoma. The Russian Annals of Ophthalmology. 2008;124(6): 60–61. (In Russ.)]
10. Болгов П.Я. Об операциях Киаццаро при глаукоме. Вестник офтальмологии. 1945;24(1-2): 77–83. [Bolgov PYa. About the operations of Chiazzaro at glaucoma. The Russian Annals of Ophthalmology. 1945;24(1-2): 77–83. (In Russ.)]
11. Bietti GB. The present state of the use of plastics surgery. Acta Ophthalmol. 1955;33: 337–370.
12. Животовский Д.С., Дога В.Р. Отдаленные наблюдения за больными глаукомой с дренажом передней камеры глаза пластмассовой трубкой. Офтальмологический журнал. 1970;6: 451–452. [Zhivotovskii DS, Doga VR. Remote observations of patients with glaucoma with drainage of the anterior chamber of the eye with a plastic tube. Journal of Ophthalmology. 1970;6: 451–452. (In Russ.)]
13. Волков В.В., Ушаков Н.А., Юмагулова А.Ф. Способы оперативного лечения вторичной глаукомы при тяжелых ожогах глаз и их последствиях. Военно-медицинский журнал. 1981;8: 39–41. [Volkov VV, Ushakov NA, Yumagulova AF. Remote observations of patients with glaucoma with drainage of the anterior chamber of the eye with a plastic tube. Journal of Ophthalmology. 1981;8: 39–41. (In Russ.)]
14. Molteno AC, Bevin TH, Herbinson P, Husni MA. Long-term results of primary trabeculectomies and Molteno implants for primary open-angle glaucoma. Arch Ophthalmol. 2011;129(11): 1444–1450. doi:10.1001/archophthalmol.2011.221
15. Frank JW, Perkins TW, Kushner BJ. Ocular motility defects in patients with the Krupin valve implant. Ophthalmic Surg. 1995; 26(3): 228–232.
16. Петров С.Ю. Современная концепция борьбы с избыточным рубцеванием после фистулизирующей антиглаукомной операции. Факторы риска и антиметаболические препараты. Офтальмология. 2017;14(1): 5–11. [Petrov SY. Modern methods of controlling wound healing after fistulizing glaucoma surgery. Risk factors and antimetabolites. Ophthalmology in Russia. 2017;14(1): 5–11. (In Russ.)] doi: 10.18008/1816-5095-2017-1-5-11
17. Егоров Е.А. Первичная глаукома. Современные аспекты патогенеза, клиники, лечения. Клиническая офтальмология. 1998;6(15): 964–967. [Egorov EA. Pervichnaya glaukoma. Modern aspects of pathogenesis, clinic, treatment. Clinical ophthalmology. 1998;6(15): 964–967. (In Russ.)]
18. Зиянгирова Г.Г., Антонова О.В. Перекисное окисление липидов в патогенезе первичной открытоугольной глаукомы. Вестник офтальмологии. 2003;4: 54–55. [Ziangurova GG, Antonova OV. Lipid peroxidation in the pathogenesis of primary open-angle glaucoma. The Russian Annals of Ophthalmology. 2003;4: 54–55. (In Russ.)]
19. Егоров Е.А., Куроедов А.В., Городничий В.В. и др. Ранние и отдаленные результаты хирургического лечения глаукомы (результаты многоцентрового исследования стран СНГ). РМЖ. Клиническая офтальмология. 2017;1: 25–34. [Egorov EA, Kuroyedov AV, Gorodnichiy VV, et al. Early and long-term outcomes of glaucoma surgery the results of multicenter study in CIS countries. RMJ. Clinical ophthalmology. 2017; 1: 25–34. (In Russ.)]
20. Гупало О.Д., Слонимский С.Ю., Кулик А.В. Сравнительный анализ отдаленных результатов повторных антиглаукомных операций. Глаукома. 2011;1: 19–22. [Gupalo OD, Slonimskii SYu, Kulik AV. Comparative analysis of long-term results of repeated anti-glaucoma operations. Glaucoma 2011;1: 19–22. (In Russ.)]
21. Еричев В.П., Хачатрян Г.К. Гликозаминогликановый матрикс в профилактике конъюнктивально-склерального рубцевания при синустрабекулэктомии. Национальный журнал глаукома. 2018;17(1): 37–42. [Ericher VP, Khachatryan GK. Glycosaminoglycan matrix in conjunctival-scleral scarring prevention after trabeculectomy. National Journal glaucoma. 2018;17(1): 37–42. (In Russ.)]
22. Heuer DK, Lloyd MA, Abrams DA, Baerveldt G, Minckler DS, Lee MB, Martone JF. Which is better? One or two? A randomized clinical trial of single-plate versus double-plate Molteno implantation for glaucomas in aphakia and pseudophakia. Ophthalmology. 1992;99(10): 1512–1519. doi:10.1016/s0161-6420(92)31772-5
23. Mermoud A, Salmon JF, Alexander P, Straker C, Murray AD. Molteno tube implantation for neovascular glaucoma. Long-term results and factors influencing the outcome. Ophthalmology. 1993;100(6): 897–902.
24. Hong CH, Arosemena A, Zurawski D, Ayyala RS. Glaucoma drainage devices: a systematic literature review and current controversies. Surv Ophthalmol. 2004;50(1): 48–60. doi: 10.1016/j.survophthal.2004.10.006
25. Lieberman MF, Ewing RH. Drainage implant surgery for refractory glaucoma. Int Ophthalmol Clin. 1990;30(3): 198–208. doi:10.1097/00004397-199030030-00007
26. Chaudhry M, Grover S, Baisakhiya S, Bajaj A, Bhatia MS. Artificial drainage devices for glaucoma surgery: an overview. Nepal J Ophthalmol. 2012;4(2): 295–302. doi: 10.3126/nepjoph.v4i2.6547
27. European glaucoma society terminology and guidelines for glaucoma. 4th ed. Chapter 3: Treatment principles and options. Br J Ophthalmol. 2017;101: 130–195.
28. Gedde SJ, Singh K, Schiffman JC, Feuer WJ. The tube versus trabeculectomy study: interpretation of results and application to clinical practice. Curr Opin Ophthalmol 2012;23(2): 118–126.
29. Gedde SJ, Herndon LW, Brandt JD, Budenz DL, Feuer WJ, Schiffman JC. Tube versus trabeculectomy study group. Postoperative complications in the tube versus trabeculectomy (TVT). Study during five years of followup. Am J Ophthalmol. 2012;153(5): 804–814. doi: 10.1016/j.ajo.2011.10.024
30. Prata JA, Minckler DS, Green RL. Pseudo-Brown's syndrome as a complication of glaucoma drainage implant surgery. Ophthalmic Surg. 1993;24(9): 608–611.
31. Lloyd MA, Baerveldt G, Heuer DK, Minckler DS, Martone JF. Initial clinical experience with the Baerveldt implant in complicated glaucomas. Ophthalmology. 1994;101(4): 640–650. doi:10.1016/s0161-6420(94)31283-8
32. Minckler DS, Heuer DK, Hasty B, Baerveldt G, Cutting RC, Barlow WE. Clinical experience with the single-plate Molteno implant in complicated glaucomas. Ophthalmology. 1988;95(9): 1181–1188. doi: 10.1016/s0161-6420(88)33029-0
33. Gedde SJ, Schiffman JC, Feuer WJ, Herndon LW, Brandt JD, Budenz DL. Treatment outcomes in the tube versus trabeculectomy study after one year of follow-up. Am J Ophthalmol. 2007;143(1): 9–22. doi: 10.1016/j.ajo.2006.07.020
34. Hill RA, Pirouzian A, Liaw L. Pathophysiology of and prophylaxis against late ahmed glaucoma valve occlusion. Am J Ophthalmol. 2000;129(5): 608–612. doi:10.1016/s0002-9394(99)00465-1
35. Sayed Y, Awadein A. Polypropylene vs silicone Ahmed valve with adjunctive mitomycin C in paediatric age group: a prospective controlled study. Eye. 2013;27(6): 728–734. doi:10.1038/eye.2013.51
36. Mermoud A, Salmon JF. Corticosteroid-induced ocular hypertension in draining molteno single-plate implants. J Glaucoma. 1993;2(1): 32–36.
37. Tessler Z, Jluhoded S, Rosenthal G. Nd: YAG laser for Ahmed tube shunt occlusion by the posterior capsule. Ophthalmic Surg Lasers. 1997;28(1): 69–70.
38. Netland PA, Schuman S. Management of glaucoma drainage implant tube kink and obstruction with Pars Plana Clip. Ophthalmic Surg Las Imag. 36(2): 167–168.
39. Freedman J. Scleral patch grafts with Molteno setons. Ophthalmic Surg. 1987;18(7): 532–534.
40. Gedde SJ, Scott IU, Tabandeh H, Luu KK, Budenz DL, Greenfield DS, Flynn HW. Late endophthalmitis associated with glaucoma drainage implants. Ophthalmology. 2001;108(7): 1323–1327. doi: 10.1016/s0161-6420(01)00598-x
41. Al-Torbak AA, Al-Shahwan S, Al-Jadaan I, Al-Homadi A, Edward DP. Endophthalmitis associated with the Ahmed glaucoma valve implant. Br J Ophthalmol. 2005;89(4): 454–458. doi: 10.1136/bjo.2004.049015
42. Wamsley S, Moser MR, Rai S, Alvim HS, Fontanarosa J. Results of the use of the Ex-PRESS miniature glaucoma implant in technically challenging, advanced glaucoma cases: a clinical pilot study. Am J Ophthalmol. 2004;138(6): 1049–1051. doi: 10.1016/j.ajo.2004.06.024
43. Barth D, Heurax J, Pilapil B, Ponce de Leon P, Zhao K. Micro-channel for IOP relief and glaucoma treatment. Nanotech. 2011;9: 524–527.
44. Wilcox MJ, Barad JP, Wilcox CC, Peebles EL, Minckler DS. Performance of a new, low-volume, high-surface area aqueous shunt in normal rabbit eyes. J Glaucoma. 2000;9(1): 74–82. doi: 10.1097/00061198-200002000-00013
45. Landers J, Martin K, Sarkies N, Bourne R, Watson P. A twenty-year follow-up study of trabeculectomy: risk factors and outcomes. Ophthalmology. 2012;119(4): 694–702. doi: 10.1016/j.ophtha.2011.09.043
46. Costa VP, Spaeth GL, Eiferman RA, Orenge-Nania S. Wound healing modulation in glaucoma filtration surgery. Ophthalmic Surg. 1993;24(3): 152–170.
47. Wilkins M, Indar A, Wormald R. Intra-operative mitomycin C for glaucoma surgery. Cochrane database Syst Rev. 2005;4: CD002897. doi: 10.1002/14651858.CD002897.pub2
48. Three-year follow-up of the fluorouracil filtering surgery study. Am J Ophthalmol. 1993;115(1): 82–92. doi: 10.1016/s0002-9394(14)73529-9
49. Desai MA, Gedde SJ, Feuer WJ, Shi W, Chen PP, Parrish RK. Practice preferences for glaucoma surgery: a survey of the american glaucoma society in 2008. Ophthalmic Surg Las Imag. 2011;42(3): 202–208. doi: 10.3928/15428877-20110224-94
50. Ponnusamy T, Yu H, John VT, Ayyala RS, Blake DA. A novel antiproliferative drug coating for glaucoma drainage devices. J Glaucoma. 2014;23(8): 526–534. doi: 10.1097/IJG.0b013e318294869b
51. Pan T, Brown JD, Ziaie B. An artificial nano-drainage implant (ANDI) for glaucoma treatment. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2006;2006: 3174–3177. doi: 10.1109/IEMBS.2006.260147
52. Harake RS, Ding Y, Brown JD, Pan T. Design, fabrication, and in vitro testing of an anti-biofouling glaucoma micro-shunt. Ann Biomed Eng. 2015;43(10): 2394–2405. doi:10.1007/s10439-015-1309-4
53. Popat KC, Desai TA. Poly(ethylene glycol) interfaces: an approach for enhanced performance of microfluidic systems. Biosens Bioelectron. 2004;19(9): 1037–1044. doi: 10.1016/j.bios.2003.10.007
54. Shokrollahi H. Structure, synthetic methods, magnetic properties and biomedical applications of ferrofluids. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2013;33(5): 2476–2487. doi: 10.1016/j.msec.2013.03.028
55. Paschalis EI, Chodosh J, Sperling RA, Salvador-Culla B, Dohlman C. A novel implantable glaucoma valve using ferrofluid. PLoS One. 2013;8(6): e67404. doi: 10.1371/journal.pone.0067404

Поступила: 05.03.2021
 Переработана: 17.04.2021
 Принята к печати: 14.05.2021
 Originally received: 05.03.2021
 Final revision: 17.04.2021
 Accepted: 14.05.2021