

<https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-136-143>



# Современные тенденции в лечении глаукомы

С.Ю. Петров<sup>✉</sup>, Л.В. Якубова, О.И. Маркелова

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

*Практически во всех регионах России глаукома занимает 1-е место среди причин инвалидности вследствие офтальмопатологии, что соответствует общемировым тенденциям роста заболеваемости глаукомой и ее лидирующего положения среди причин, приводящих к необратимой слепоте. Лечение глаукомы направлено на снижение внутриглазного давления (ВГД). В данном обзоре представлены основные современные тенденции развития медикаментозной терапии глаукомы, лазерной хирургии, фистулизирующей, дренажной и непроникающей хирургии, а также новейшей микроинвазивной хирургии глаукомы (МИХГ). В настоящее время на фармацевтическом рынке существует множество гипотензивных капель. Для повышения приверженности лечению предложены фиксированные комбинации лекарственных средств, разрабатываются также эффективные способы доставки лекарств, снижающих ВГД при минимальных побочных эффектах. Дальнейшее развитие лазерной хирургии делает ее методом выбора при стартовом лечении (селективная лазерная трабекулопластика), а также расширяет возможности ее применения при различных стадиях глаукомы (микроимпульсная циклофотокоагуляция). Все это существенно снижает частоту классических макроинвазивных антиглаукомных операций. Существовавший ранее разрыв между консервативной медикаментозной терапией и антиглаукомной хирургией призваны заполнить новейшие процедуры МИХГ. В последние годы на всех этапах терапии первичной открытоугольной глаукомы отмечают появление новых фармацевтических препаратов, методов и имплантов, описание которых и стало целью данного обзора.*

**Ключевые слова:** глаукома; слепота; внутриглазное давление; медикаментозная терапия; лазерная хирургия; антиглаукомная хирургия; микроинвазивная хирургия; приверженность лечению

**Конфликт интересов:** отсутствует.

**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

**Для цитирования:** Петров С.Ю., Якубова Л.В., Маркелова О.И. Современные тенденции в лечении глаукомы. Российский офтальмологический журнал. 2024; 17 (1): 136-43. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-136-143>

## Modern trends in the treatment of glaucoma

Sergey Yu. Petrov<sup>✉</sup>, Liya V. Yakubova, Oxana I. Markelova

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia  
[glaucomatosis@gmail.com](mailto:glaucomatosis@gmail.com)

*In nearly all Russian regions, glaucoma ranks first among the causes of disability due to ophthalmic pathology, which is in line with global trends of glaucoma incidence growth and its leading position among the causes of irreversible blindness. Treatment of glaucoma is aimed at lowering intraocular pressure (IOP). This review presents the main current trends in the treatment of glaucoma: drug therapy, laser surgery, fistulizing, drainage and non-penetrating surgery, as well as the latest micro-invasive glaucoma surgery (MIGS). Currently, the pharmaceutical market offers many antihypertensive drops. Fixed-dose combinations of drugs have been proposed to increase treatment adherence, and effective drug delivery methods are being developed, which lower IOP with minimal side effects. Further development of laser surgery makes it both a method of choice for the initial treatment (selective laser trabeculoplasty) and expands its capabilities for various stages of glaucoma (micropulse cyclophotocoagulation). All this significantly reduces the frequency of classical macroinvasive antiglaucoma operations. The previously existing gap between conservative medical therapy and antiglaucoma surgery is filled by the newest MIGS procedures. In recent years, at all stages of primary open-angle glaucoma therapy, the emergence of new pharmaceuticals, methods and implants has been noted. These constitute the purpose of this publication.*

**Keywords:** glaucoma; blindness; intraocular pressure; drug therapy; laser surgery; antiglaucoma surgery; microinvasive surgery; adherence to treatment

**Conflict of interests:** there is no conflict of interests.

**Financial disclosure:** no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

**For citation:** Petrov S.Yu., Yakubova L.V., Markelova O.I. Modern trends in the treatment of glaucoma. Russian ophthalmological journal. 2024; 17 (1): 136-43 (In Russ.). <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-1-136-143>

Глаукома остается ведущей причиной необратимой потери зрения и второй причиной слепоты в мире. В 2020 г. число пациентов с глаукомой возросло до 80 млн, что связывают с увеличением численности населения и его старением [1]. Прогнозная численность больных глаукомой в мире к 2030 г. достигнет 95,4 млн, а к 2040 г. увеличится до 111,8 млн человек [2]. Подсчитано, что глаукома имеется у 2,7 % лиц старше 40 лет и у 11 % лиц старше 80 лет [3]. По мнению ряда исследователей, значительная доля случаев глаукомы во всем мире остается недиагностированной или неоптимально управляемой [4]. Из-за бессимптомного хронического течения глаукомы более 50 % населения развитых стран не знают о своем диагнозе и не получают лечения [5].

В Российской Федерации прослеживаются общемировые тенденции роста заболеваемости глаукомой и ее лидирующего положения среди причин, приводящих к необратимой слепоте. В 2019 г. было зарегистрировано 1 338 242 больных глаукомой. Показатель общей заболеваемости глаукомой на 100 тыс. населения за 11 лет вырос на 24 %. Кроме того, за последние 10 лет отмечается рост первичного выхода на инвалидность вследствие глаукомы с 22 до 29 %. Практически во всех регионах России глаукома занимает 1-е место среди причин инвалидности вследствие офтальмопатологии [6].

Лечение глаукомы направлено на снижение внутриглазного давления (ВГД), поскольку именно этот подход обладает доказанной эффективностью [7]. Целевой уровень ВГД каждого конкретного глаза зависит от ряда факторов, в том числе величины ВГД до лечения, риска прогрессирования глаукомы, степени повреждения зрительного нерва и возраста. Согласно рекомендациям, при первичной открытоугольной глаукоме (ПОУГ) лечение начинают с местной гипотензивной терапии, при ее недостаточной эффективности рассматривают вопрос о проведении лазерного лечения, а на последнем этапе подключают хирургическое лечение. В последние годы на всех этапах терапии ПОУГ отмечают появление новых фармацевтических препаратов, методов и имплантов, описание которых и послужило целью данной публикации.

**Медикаментозная терапия.** В настоящее время на фармацевтическом рынке имеется множество гипотензивных капель, которые относятся к 6 основным классам: аналоги простагландинов, бета-блокаторы, ингибиторы карбоангидразы, агонисты холинергических рецепторов, агонисты альфа-адренорецепторов и ингибиторы Rho-киназы [8]. Чаще всего в качестве монотерапии первого ряда используются аналоги простагландинов или бета-блокаторы. Аналоги простагландинов снижают ВГД за счет уменьшения сопротивления оттоку внутриглазной жидкости (ВГЖ), в результате чего улучшается ее отток по увеосклеральному пути [9]. В отличие от них, бета-блокаторы снижают ВГД за счет подавления образования ВГЖ. У бета-блокаторов более благоприятный профиль местной переносимости, однако они могут вызвать нежелательные побочные явления со стороны сердечно-сосудистой и дыхательной систем [10].

Ранее в качестве местной терапии первого ряда чаще всего назначались именно бета-блокаторы [11]. Дальнейшие исследования показали, что аналоги простагландинов обладают более выраженным гипотензивным действием при меньших системных побочных эффектах [12]. В 1990 г. популярность аналогов простагландинов возросла, а бета-блокаторов, напротив, снизилась [13]. В период с 1992 по 2004 г. аналоги простагландинов стали использоваться чаще, а частота хирургических вмешательств, как следствие, сократилась [14]. Если монотерапия не позволяет добиться адекватного снижения ВГД, то бета-блокаторы или аналоги простагландинов можно заменить на препараты другого класса, однако чаще их добавляют к существующей терапии. Как правило, в качестве препаратов второй линии выбирают альфа-адреномиметики и ингибиторы карбоангидразы местного действия [15]. Основную проблему при использовании нескольких видов капель составляет приверженность терапии: доказано, что увеличение количества флаконов с препаратами отрицательно сказывается на приверженности лечению [16].

Для повышения приверженности лечению были предложены фиксированные комбинации лекарственных средств. В настоящее время на фармацевтическом рынке доступно большое количество оригинальных и дженерических фиксированных комбинаций. Их большинство представлено комбинациями тимолола с аналогами простагландина, ингибиторами карбоангидразы и альфа-адреномиметиком.

В 2013 г. Управление по контролю за пищевыми продуктами и медикаментами США (FDA) одобрило суспензию *Симбринза* (*Simbrinza*), представленную в качестве первого комбинированного препарата для снижения ВГД, не содержащего в своем составе бета-блокатора. Активные ингредиенты препарата: бринзоламид 1 % и бримонидин 0,2 % — обеспечивают двойной механизм снижения ВГД за счет уменьшения образования ВГЖ и повышения оттока по увеосклеральному пути. В России симбринза была зарегистрирована в 2019 г. для терапии пациентов с ПОУГ или офтальмогипертензией, у которых монотерапия не обеспечивает достаточного снижения ВГД. В рандомизированных клинических исследованиях симбринза снижает ВГД на 7,0–9,7 мм рт. ст. (26,7–37,6 %) от исходного уровня при назначении 2 раза в день, что по данным метаанализа сопоставимо с гипотензивной эффективностью аналогов простагландина F2- $\alpha$  (34,5 %) [17]. Дополнительное снижение ВГД при применении симбринзы составило в среднем 1–3 мм рт. ст. в сравнении с раздельным использованием компонентов препарата, отмечено отсутствие значимых суточных колебаний ВГД (в среднем 3,1 мм рт. ст.) и устойчивый гипотензивный эффект на протяжении 6 мес, в течение которых у 61,7 % пациентов ВГД было ниже 18 мм рт. ст. [18, 19]. Параметры безопасности были сравнимы с отдельными компонентами препарата. Наиболее частыми побочными реакциями оказались: нечеткое зрение (3,0 %), раздражение глаз (3,9 %), ощущение сухости во рту (3,2 %) и местные аллергические реакции (2,1 %). Существенных сердечно-сосудистых или легочных ослож-

нений при использовании симбринзы ни в одном случае не отмечено [20].

Принято считать, что наиболее распространенный консервант в офтальмологических препаратах, бензалкония хлорид (БХ), обладает обширным спектром местных побочных эффектов: прямое токсическое воздействие на поверхностные слои конъюнктивы и роговицы, стимуляция аллергического и воспалительного ответа в тканях конъюнктивы, стимуляция фибробластогенеза и субконъюнктивального фиброза с существенным снижением эффективности глаукомной хирургии, кумуляция БХ в тканях глаз [21–25].

Одним из методов обхода местных эффектов БХ стала разработка и применение ряда других консервантов, обладающих либо меньшей токсичностью, либо разрушающихся в процессе инстилляций в конъюнктивальную полость. К ним относят поликватерний-1, оксихлорокомплекс стабилизированный и перборат натрия [26–29]. Поликватерний-1 (*Поликвад®*) — антимикробный поликатионный консервант — используется в растворах для контактных линз и препаратах искусственной слезы с середины 1980-х гг., имеет высокую молекулярную массу. Оксихлорокомплекс стабилизированный (*Purite®*) вошел в состав офтальмологических препаратов в середине 1990-х гг., под воздействием ультрафиолета в составе солнечного света диссоциирует на воду, кислород, натрий и свободные радикалы хлора, которые ингибируют синтез белка микроорганизмов. Перборат натрия (*GenAqua™*) изменяет белковый синтез в бактериальных клетках путем окисления клеточных мембран, в водной среде в составе слезы превращается в воду, кислород и пероксид водорода, обладающий бактерицидным действием. *SofZia™* — менее цитотоксичный для тканей поверхности глаза консервант, чем традиционные консерванты, попадая в конъюнктивальный мешок, он распадается на умеренно безопасные элементы [30].

Другим путем избежать влияния консерванта является полный отказ от него. Это стало возможным с помощью флаконов со специальными системами очистки поступающего внутрь воздуха и одноразовых тюбиков-капельниц.

*OSD-флакон* (Ophthalmic Squeeze Dispenser, Aptar CSP Technologies, США) — уникальная технология для использования офтальмологических средств, которая гарантирует стерильность препарата без добавления к нему консервантов. Оригинальная конструкция капельного дозатора не позволяет воздуху извне проникать внутрь флакона. После компрессии, когда пациент нажимает на флакон, воздух засасывается обратно, проходя через систему очищающих фильтров, тем самым защищая содержимое флакона от бактериальной контаминации. Флакон прошел тесты в Германии и Швейцарии и в настоящее время используется рядом фармацевтических компаний, в том числе и в России.

Полностью избежать влияния консерванта смогли производители одноразовых тюбиков-капельниц, содержащих, как правило, дозу для однократной инстилляций в оба глаза. За рубежом данная форма получила название *single-dose*, или *unit dose*. В настоящее время в США и странах Евросоюза большая часть современных офтальмологических инстилляционных препаратов доступна в виде одноразовых форм. В международной практике определены показания к их назначению (Birmingham & Midlands Eye Centre, 2012): при повышенной чувствительности к БХ, интраоперационно (риск попадания препарата во внутреннюю структуру глаза), в послеоперационном периоде при операциях на роговице, при длительной постоянной

терапии глазными каплями, что связано с кумуляцией консерванта в тканях глаза, при заболевании передней поверхности глаза [31].

Проблема отсутствия приверженности к лечению у больных глаукомой требует разработки эффективных и хорошо переносимых способов доставки лекарств, понижающих ВГД, которые могут снизить бремя самостоятельного лечения при минимальных побочных эффектах. Одной из новых систем доставки лекарств является биоразлагаемый имплантат с замедленным высвобождением биматопроста для внутрикамерного введения в глаз (*Bimatoprost SR*) *Durysta®*. Биматопрост SR нацелен на доставку лекарственного средства непосредственно к увеосклеральным структурам, уменьшает его воздействие на поверхность глаза (*durysta.com*). Имплантат *Durysta®* компании Allergan одобрен FDA 05.03.2020. Он состоит из биоразлагаемых полимеров, предназначенных для постепенного высвобождения биматопроста в течение 90 дней.

Биматопрост SR в дозе 6, 10, 15 и 20 мкг внутрикамерно продемонстрировал благоприятные профили эффективности и безопасности в течение 24 мес, при этом все дозы проявили общие эффекты снижения ВГД, сравнимые с эффектом местного применения биматопроста 0,03 %. Повторное введение имплантата было столь же эффективным в снижении ВГД, как и первое. Эффективность и безопасность трех последовательных введений с интервалом в 4 мес в исследованиях III фазы согласуются с результатами исследования I/II фазы у пациентов, наблюдавшихся до 24 мес [32]. В рамках исследования III фазы с участием 1122 пациентов оценивали эффективность Биматопроста SR, содержащего 10 или 15 мкг препарата. Среднее снижение ВГД по сравнению с исходным уровнем составило 6,2–7,4, и 6,5–7,8 мм рт. ст. до 12-й недели в группах имплантатов по 10 и 15 мкг соответственно. Снижение ВГД было аналогичным после второго и третьего введения. Имплантат разработан таким образом, чтобы обеспечить медленное, длительное высвобождение биматопроста для снижения ВГД в течение 4–6 мес, однако у многих пациентов наблюдалось устойчивое снижение ВГД в течение существенно более 6 мес, не требуя дополнительного лечения [33]. Местные побочные явления возникали в течение 2 дней после введения и, вероятно, были связаны с хирургической процедурой.

В настоящее время на различных стадиях клинической разработки находятся другие препараты с замедленным высвобождением, в том числе ENV515 (Envisia Therapeutics, США), OTX-TIC (Ocular Therapeutix, США) и iDose (Glaukos Corporation, США) для внутрикамерной доставки травопроста. Для длительной доставки биматопроста к поверхности глаза разрабатывается кольцо BIM (Allergan, Ирландия).

Относительно недавно появился новый класс антиглаукомных препаратов — *ингибиторы Rho-киназы*. Эти агенты улучшают трабекулярный отток за счет прямого действия на клеточные сократительные элементы трабекулярной сети [34]. Результатом экспериментальных исследований нового механизма снижения сопротивления оттока жидкости из глаза и серии клинических испытаний нескольких ингибиторов Rho-киназы явилось одобрение для клинического использования трех препаратов: Рипасудила (Япония, 2014), Ропрессы (Нетарсудил, США, 2017) и Ро-клатана (США, 2019).

Ингибиторы Rho-киназы у больных ПОУГ эффективны как сами по себе, так и в сочетании с другими препаратами. Есть информация, что они также могут об-

ладать нейропротекторной активностью, благоприятным воздействием на глазной кровоток и даже некоторым антифибротическим эффектом, что может оказаться полезным в хирургии глаукомы [35].

*Ронпресса* (нетарсудил 0,02 %) ингибирует Rho-киназу в двух ее изоформах (ROCK1 и ROCK2), а также транспортный белок норадреналина (NET). Первое действие способствует расслаблению клеток трабекулярной сети, что усиливает отток ВГЖ, второе — замедляет ее синтез. Кроме того, нетарсудил снижает эписклеральное венозное давление.

*Роклатан* является фиксированной комбинацией нетарсудила 0,02 % и латанопроста 0,005 %. Уровень снижения ВГД при использовании этой комбинации до 3 мм рт. ст. больше, чем у отдельных компонентов, и позволяет достичь целевого давления ниже 15 мм рт. ст. в 32 % случаев по результатам рандомизированных клинических исследований фазы III. ВГД ниже 16 мм рт. ст. зафиксировано у почти втрое большего числа пациентов, получавших роклатан, по сравнению с числом пациентов, получавших латанопрост [36]. Наиболее частым побочным эффектом при применении роклатана была гиперемия конъюнктивы — в 65 %. Впрочем, большинство отмечали легкую степень ее выраженности. Среди прочих нежелательных явлений отметили боль в месте инстилляции препарата (20 %), кератопатию (15 %) и конъюнктивальное кровоизлияние (11 %).

В настоящее время на доклинической стадии разработки находится биоразлагаемый имплантат AR-13503, содержащий пролекарство AR-13154[S], которое сочетает ROCK-ингибитор и ингибитор протеинкиназы C. Препарат ориентирован на терапию влажной формы макулодистрофии и диабетической ретинопатии, однако существуют предпосылки для применения AR-13503 как средства терапии пациентов с неоваскулярной глаукомой [37].

**Лазерная хирургия.** В 1979 г. J. Wise и S. Witter [38] описали аргонлазерную трабекулопластику (АЛТ) в качестве альтернативного метода лечения открытоугольной глаукомы. Считается, что ее эффект обусловлен прямым воздействием тепловой энергии на трабекулу, которое обуславливает локальное рубцевание, в результате чего раскрываются рядом расположенные отверстия трабекулярной сети. В 1998 г. M. Latina и соавт. [39] разработали селективную лазерную трабекулопластику (СЛТ), менее травматичную, чем АЛТ. В настоящее время она является наиболее распространенной и наиболее часто выполняемой лазерной процедурой при глаукоме [40]. Механизм снижения ВГД при СЛТ дискутируется. Минимальное повреждение структур трабекулярной сети свидетельствует в пользу теории о том, что СЛТ работает на клеточном уровне и не оказывает выраженного термического воздействия [41]. Усиление оттока может быть обусловлено фагоцитозом остатков структур трабекулярной сети или же стимуляцией роста ее компонентов [42]. СЛТ позволяет снизить ВГД более чем на 20 % от исходного уровня, а средняя продолжительность эффективности вмешательства составляет примерно 2 года [43]. На современном этапе СЛТ рассматривается либо как первая линия лечения глаукомы, либо как дополнение к медикаментозной терапии, имеет серьезное преимущество — отсутствие проблемы приверженности лечению.

Новой разновидностью лазерной трабекулопластики является *микроимпульсная лазерная трабекулопластика* (МЛТ), которую выполняют на диодном лазере Iridex IQ810 (Iridex Corporation, США) с длиной волны 810 нм. Энергия поступает в виде повторяющихся микроим-

пульсов, которые сменяются перемежающимися периодами покоя, благодаря чему накапливается меньше тепловой энергии [44]. Она не вызывает видимого коагуляционного повреждения трабекулярной сети, что подтверждают данные сканирующей электронной микроскопии [45]. В проспективном исследовании 20 пациентов было показано, что МЛТ эффективна в 75 % случаев, а уровень ВГД снизился примерно на 20 % в сроки до 12 мес [46].

Вызывают интерес и другие виды лазерной хирургии, а именно *титан-сапфировая лазерная трабекулопластика* (ТСЛТ) и *паттернсканирующая трабекулопластика* (ПЛТ). ТСЛТ представляет собой разновидность лазерной трабекулопластики, которую выполняют на лазере SOLX 790 (Occlusix, Канада). Для ТСЛТ используется энергия около инфракрасного спектра с импульсами 5–10 мс. Считается, что данная разновидность трабекулопластики обладает большим проникновением в юстаканаликулярную сеть и внутреннюю стенку шлеммова канала [47]. ПЛТ проводится лазером с длиной волны 577 нм по технологии сканирования с компьютерным управлением (Topcon Medical Laser Systems, США), которая позволяет последовательно наносить лазеркоагуляты определенного паттерна на трабекулярную сеть. Считается, что ПЛТ вызывает ответ на клеточном уровне при менее выраженном рубцевании тканей [47]. В ходе пилотных исследований показано, что и ТСЛТ, и ПЛТ обеспечивают определенное снижение ВГД, однако установить эффективность этих технологий в отдаленном периоде помогут расширенные клинические исследования [48–50].

В начале 1970-х гг. в клиническую практику была внедрена лазерная циклофотокоагуляция, в процессе которой с помощью наконечника полупроводникового диодного лазера производится абляция цилиарных отростков. В настоящее время используется две методики циклофотокоагуляции: диодная транссклеральная циклофотокоагуляция (ТЦК) и эндоскопическая диодная циклофотокоагуляция (ЭЦК). ТЦК традиционно рассматривается как последняя возможность снизить ВГД при рефрактерной глаукоме, а ЭЦК, как правило, осуществляется в сочетании с хирургией катаракты [51]. Согласно результатам исследований, гипотензивный эффект ТЦК варьирует в широких пределах — 12–66 % [52]. Уровень использованной энергии напрямую коррелирует с успехом лечения. В метаанализе F. Hauber и W. Scherer [53] указывают на наличие прямой линейной корреляции общего количества энергии, потраченной на абляцию цилиарных отростков, с частотой успешных исходов.

В последние годы на первый план в лечении рефрактерной глаукомы выходит *микроимпульсная циклофотокоагуляция* (МЦК), которая обеспечивает локальную доставку лазерной энергии с минимальным повреждением окружающих тканей. Это позволяет добиться сходного гипотензивного эффекта при меньшей частоте осложнений по сравнению с другими видами циклодеструктивных воздействий [54]. В процессе выполнения МЦК используется зонд, доставляющий серию повторяющихся импульсов лазерной энергии сверхмалой длительности к цилиарному телу в режиме on-off. Во время цикла on световые импульсы (длина волны — 810 нм) поглощаются меланином пигментного эпителия цилиарного тела. Во время цикла off соседние структуры остывают, что защищает их от термального повреждения [54]. Благодаря такому подходу, позволяющему более точно контролировать фототермические эффекты, окружающие ткани страдают меньше, а в результате снижается риск осложнений при сохранении

гипотензивного эффекта [55]. Одно из последних рандомизированных исследований, в ходе которого сравнивали эффективность МЦК и ТЦК у пациентов с рефрактерной глаукомой, проведено М. Aquino и соавт. [56]. Через 18 мес у 52 % пациентов группы МЦК и у 30 % пациентов группы ТЦК сохранялся уровень ВГД в диапазоне 6–21 мм рт. ст. (снижение как минимум на 30 % относительно предоперационных показателей). По данным ретроспективного исследования результатов МЦК со средней продолжительностью наблюдения 60 дней частота успешных исходов (достижение уровня ВГД в диапазоне от 6–21 мм рт. ст., или снижение ВГД на 20 % от исходного значения) оказалась изначально высокой — 73,7 %. Повторная МЦК потребовалась только в 3 случаях, а общая частота успешных исходов составила 89,5 % [57]. Исследования подтверждают, что МЦК можно считать эффективной альтернативой традиционной ТЦК. Тем не менее необходимы дальнейшие исследования в больших выборках с более продолжительным наблюдением.

**Хирургические вмешательства.** Традиционно к хирургическому лечению глаукомы прибегают при недостаточной эффективности медикаментозного и/или лазерного лечения. Появление новых эффективных препаратов (аналоги простагландинов в 1990-х гг.) и лазерных методов отодвигает сроки проведения хирургии и снижает число выполняемых вмешательств. В целом количество оперативных вмешательств по поводу глаукомы существенно снизилось в США, Канаде и странах Евросоюза [14, 58, 59]. Только в США в период с 1995 по 2004 г. количество трабекулэктомий сократилось на 53 % [58]. Хотя, по данным международных глаукомных рекомендаций, трабекулэктомия остается золотым стандартом хирургии глаукомы, она сопровождается определенной частотой осложнений, что с появлением новых методов хирургии делает ее менее популярной.

В последнее десятилетие в мире отмечается повышение интереса к антиглаукомным дренажным трубчатым системам. Все подобные дренажи имеют одинаковый дизайн и представляют собой трубку, которая отводит ВГЖ из передней камеры. Эти устройства различаются наличием клапана, размерами и дизайном пластинки. Чаще всего в клинической практике используются *клапанная система Ahmed* (New World Medical Inc., США) и *трубчатый дренаж Baerveldt* (Abbott Medical Optics Inc., США). Компания, производящая клапан Ahmed, недавно представила дренажную систему Ahmed ClearPath®, конструктивно схожую с дренажом Baerveldt. Опубликованные в 2022 г. результаты ее имплантации показали хорошую гипотензивную эффективность при рефрактерной глаукоме [60].

Традиционно дренажные трубчатые системы использовались именно при рефрактерной глаукоме, но в настоящее время их широко имплантируют также в рамках повторных вмешательств. Это подтверждают результаты исследования TVT (трабекулэктомия vs дренаж Baerveldt) [61]. В период наблюдения до 5 лет частота успешных исходов дренажной хирургии оказалась выше, чем трабекулэктомии: вероятность неудачных исходов составила 29,8 и 46,9 % соответственно [61]. В исследовании ABC (Ahmed Baerveldt comparison, сравнение клапана Ahmed и дренажа Baerveldt) вероятность неудачного исхода в течение 5 лет составила 44,7 % в группе Ahmed и 39,4 % в группе Baerveldt. Результаты данных исследований не дают возможности говорить о преимуществах какого-то одного конкретного дренажа. При выборе устройства необходимо учитывать и другие немаловажные факторы,

такие как индивидуальные особенности глаза пациента и опыт хирурга.

С 1990-х гг. определенную популярность завоевали различные варианты непроникающей хирургии глаукомы как альтернатива трабекулэктомии с меньшим числом осложнений [62]. Основная разница между операциями непроникающего типа и трабекулэктомией заключается в формировании не склеротомического отверстия, а фильтрующей трабекуло-десцеметовой мембраны. Большинство исследователей сходятся во мнении, что непроникающая хирургия глаукомы сопровождается меньшими осложнениями, чем трабекулэктомия, но их гипотензивная эффективность остается предметом споров [63, 64].

В последнее десятилетие в хирургии глауком стали выделять новую разновидность вмешательств — *микроинвазивную хирургию* (МИХГ). К ней относят имплантацию микроскопических устройств, призванных улучшить отток переднекамерной влаги. В отличие от инвазивной антиглаукомной хирургии, процедуры МИХГ проводятся из доступа ab interno и имеют меньший риск осложнений. Мишенью для МИХГ служат три главных пути оттока ВГЖ: шлеммов канал и трабекулярная сеть, супрахориоидальное пространство и увеосклеральный путь и субконъюнктивальное пространство. К МИХГ прибегают уже на ранних этапах лечения глаукомы — эти процедуры призваны устранить пробел между лекарственной терапией и хирургией (трабекулэктомия, имплантация дренажа).

*iStent* (Glaukos Corporation, США) является одним из наиболее широко применяемых устройств для МИХГ. Титановый микростент с гепариновым покрытием имплантируется в шлеммов канал с помощью инжектора [65]. В ходе рандомизированного исследования 240 глаз с ПОУГ сравнили исходы факэмульсификации и хирургии катаракты в сочетании с имплантацией *iStent*. Через год уровень ВГД < 21 мм рт. ст. имел место в 72 % случаев после комбинированного вмешательства и в 50 % после изолированной хирургии катаракты [65]. Согласно G. Velovay и соавт. [66], имплантация нескольких *iStent* сопровождалась дополнительным гипотензивным эффектом. В 2012 г. появился *iStent* второго поколения — *iStent inject*. Он меньше по размеру и также предназначен для имплантации в шлеммов канал. По данным Л. Восканяна и соавт. [67], через год после имплантации устройства при ПОУГ ВГД снизилось с 26,3 до 15,7 мм рт. ст. Появившийся недавно *iStent* третьего поколения (*iStent supra*), изготовленный из полиэфирсульфона с гепариновым покрытием, оснащенный титановой муфтой и предназначенный для имплантации в супрахориоидальное пространство, также продемонстрировал удовлетворительный гипотензивный эффект в сравнительных клинических исследованиях [68].

*Hydrus* (Ivantis, США) — еще одно устройство для МИХГ, предназначенное для усиления оттока водянистой влаги в полость шлеммова канала, выполненное из сплава никеля и титана длиной 8 мм [69]. Этот дренаж также имплантируется ab interno через трабекулярную сеть с помощью ручного инжектора. N. Pfeiffer и соавт. [70] сравнили эффективность имплантации микростента в сочетании с хирургией катаракты и изолированной факэмульсификации у пациентов с ПОУГ. Через 24 мес после операции соотношение пациентов, у которых удалось добиться снижения ВГД на 20 % по сравнению с исходным уровнем, оказалось существенно выше в группе *Hydrus* и хирургии катаракты по сравнению с группой изолированной факэмульсификации (80 и 46 % соответственно) [70].

*Trabectome* (Neomedix Inc., США) представляет собой инструмент с микроэлектротермокаутером, посредством которого выжигается узкая полоска трабекулярной ткани, при этом наружная стенка шлеммова канала остается интактной, благодаря чему сохраняется возможность дренирования водянистой влаги через коллекторные каналы. Высокая стоимость как самого устройства, так и наконечника изначально прочили процедуре низкую популярность. Однако с 2005 г. по настоящее время исследованию эффективности трабектомы посвящено уже 182 публикации. Процедуру активно проводят как в виде моноварианта, так и в комбинации с катарактальной хирургией. Считается, что гипотензивная эффективность полного удаления трабекулы с помощью трабектомы достигает 40–50 % от исходного значения ВГД [71].

Еще один механизм снижения ВГД посредством процедур МИХГ — направить отток водянистой влаги в супрахориоидальное пространство. К таким супрахориоидальным шунтам, помимо упомянутого выше iStent supra, относится имплантат *CyPass* (Transcend Medical, США), сделанный из полиамида. Устройство имплантируется из доступа *ab interno* в супрахориоидальное пространство с помощью ручного инжектора [72]. Согласно данным J. Garcia-Feijoo и соавт. [73], у пациентов с рефрактерной глаукомой через 12 мес после имплантации *CyPass* уровень ВГД снизился с 24,5 до 16,4 мм рт. ст.

Мишенью для стента *XEN Gel* (Allergan, США) является путь оттока водянистой влаги через субконъюнктивальное пространство. Это трубчатое устройство длиной 6 мм, сделанное из перекрестно связанного коллагена, имплантируется из доступа *ab interno*, соединяя переднюю камеру с субконъюнктивой. В ходе проспективного исследования показано, что уровень ВГД снижается с исходных 19,2 до 13,8 мм рт. ст. через 6 мес [74]. *XEN Gel* и подобные импланты, вероятно, в будущем завоюют большую популярность — за последние 6 лет ему посвящено более 200 исследований.

Возможности данного обзора не позволяют перечислить все многообразие имплантов, относящихся к категории МИХГ. В качестве их ключевых преимуществ следует отметить относительную простоту имплантации, низкий уровень осложнений и достойный, хотя и весьма различающийся, гипотензивный эффект.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном обзоре представлены основные современные тенденции развития в области лечения глаукомы: медикаментозная терапия, лазерная хирургия, фистулизирующая, дренажная и непроникающая хирургия, а также новейшая микроинвазивная хирургия глаукомы. В целом с появлением новых эффективных препаратов и способов их доставки отмечается повышение доли местной гипотензивной терапии. Дальнейшее развитие лазерной хирургии делает ее методом выбора при стартовом лечении (СЛТ), а также расширяет возможности ее применения при различных стадиях глаукомы (микроимпульсная ЦК). Все это так или иначе существенно снижает частоту классических макроинвазивных антиглаукомных операций. Существовавший ранее разрыв между консервативной медикаментозной терапией и антиглаукомной хирургией призваны заполнить новейшие процедуры МИХГ. Клинические исследования подтверждают, что эти вмешательства действительно способствуют снижению ВГД с минимальным риском осложнений при начальной и развитой ПОУГ. Новые данные и результаты отдаленных исследований окончательно определяют место этих процедур в алгоритме лечения глаукомы.

## Литература/References

- Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol*. 2006; 90 (3): 262–7. doi:10.1136/bjo.2005.081224
- Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014; 121 (11): 2081–90. doi:10.1016/j.ophtha.2014.05.013
- Perruccio AV, Badley EM, Trope GE. Self-reported glaucoma in Canada: findings from population-based surveys, 1994–2003. *Can J Ophthalmol*. 2007; 42 (2): 219–26. doi:10.3129/canj.ophthalmol.i07-001
- Varma R, Lee PP, Goldberg I, et al. An assessment of the health and economic burdens of glaucoma. *Am J Ophthalmol*. 2011; 152 (4): 515–22. doi: 10.1016/j.ajo.2011.06.004
- Sommer A, Tielsch JM, Katz J, et al. Relationship between intraocular pressure and primary open angle glaucoma among white and black Americans. The Baltimore Eye Survey. *Arch Ophthalmol*. 1991; 109 (8): 1090–5. doi: 10.1001/archophth.1991.01080080050026
- Нероев В.В., Киселева О.А., Бессмертный А.М. Основные результаты мультицентрового исследования эпидемиологических особенностей первичной открытоугольной глаукомы в Российской Федерации. *Российский офтальмологический журнал*. 2013; 6 (3): 4–7. [Neroev V.V., Kiseleva O.A., Bessmertny A.M. The main results of a multicenter study of epidemiological features of primary open-angle glaucoma in the Russian federation. *Russian ophthalmological journal*. 2013; 6 (3): 4–7 (In Russ.)].
- Boland MV, Ervin AM, Friedman DS, et al. Comparative effectiveness of treatments for open-angle glaucoma: a systematic review for the U.S. Preventive Services Task Force. *Ann Intern Med*. 2013; 158 (4): 271–9. doi:10.7326/0003-4819-158-4-201302190-00008
- Narayanaswamy A, Neog A, Baskaran M, et al. A randomized, crossover, open label pilot study to evaluate the efficacy and safety of Xalatan in comparison with generic Latanoprost (Latanoprost) in subjects with primary open angle glaucoma or ocular hypertension. *Indian J Ophthalmol*. 2007; 55 (2): 127–31. doi:10.4103/0301-4738.30707
- Gaton DD, Sagara T, Lindsey JD, et al. Increased matrix metalloproteinases 1, 2, and 3 in the monkey uveoscleral outflow pathway after topical prostaglandin F(2 alpha)-isopropyl ester treatment. *Arch Ophthalmol*. 2001; 119 (8): 1165–70. doi:10.1001/archophth.119.8.1165
- Lee DA, Higginbotham EJ. Glaucoma and its treatment: a review. *Am J Health Syst Pharm*. 2005; 62 (7): 691–9. doi:10.1093/ajhp/62.7.691
- Realini T. A history of glaucoma pharmacology. *Optom Vis Sci*. 2011; 88 (1): 36–8. doi:10.1097/OPX.0b013e3182058ead
- Hedman K, Alm A, Gross RL. Pooled-data analysis of three randomized, double-masked, six-month studies comparing intraocular pressure-reducing effects of latanoprost and timolol in patients with ocular hypertension. *J Glaucoma*. 2003; 12 (6): 463–5. doi:10.1097/00061198-200312000-00003
- Stein JD, Ayyagari P, Sloan FA, et al. Rates of glaucoma medication utilization among persons with primary open-angle glaucoma, 1992 to 2002. *Ophthalmology*. 2008; 115 (8): 1315–9. doi:10.1016/j.ophtha.2007.12.017
- Rachmiel R, Trope GE, Chipman ML, et al. Effect of medical therapy on glaucoma filtration surgery rates in Ontario. *Arch Ophthalmol*. 2006; 124 (10): 1472–7. doi:10.1001/archophth.124.10.1472
- Schwartz GF, Reardon G, Mozaffari E. Persistency with latanoprost or timolol in primary open-angle glaucoma suspects. *Am J Ophthalmol*. 2004; 137 (1 Suppl): S13–6. doi:10.1016/j.ajo.2003.10.034
- Hollo G, Topouzis F, Fechtner RD. Fixed-combination intraocular pressure-lowering therapy for glaucoma and ocular hypertension: advantages in clinical practice. *Expert Opin Pharmacother*. 2014; 15 (12): 1737–47. doi:10.1517/14656566.2014.936850
- Cheng JW, Cheng SW, Gao LD, et al. Intraocular pressure-lowering effects of commonly used fixed-combination drugs with timolol: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2012; 7 (9): e45079. doi:10.1371/journal.pone.0045079
- Gandolfi SA, Lim J, Sanseau AC, et al. Randomized trial of brinzolamide/brimonidine versus brinzolamide plus brimonidine for open-angle glaucoma or ocular hypertension. *Adv Ther*. 2014; 31 (12): 1213–27. doi:10.1007/s12325-014-0168-y
- Weinreb RN, Bacharach J, Fechtner RD, et al. 24-hour intraocular pressure control with fixed-dose combination brinzolamide 1 % / brimonidine 0.2 %: a multicenter, randomized trial. *Ophthalmology*. 2019; 126 (8): 1095–104. doi: 10.1016/j.ophtha.2018.10.040
- Krupin T, Liebmann JM, Greenfield DS, et al. A randomized trial of brimonidine versus timolol in preserving visual function: results from the Low-Pressure Glaucoma Treatment Study. *Am J Ophthalmol*. 2011; 151 (4): 671–81. doi: 10.1016/j.ajo.2010.09.026
- Baudouin C. Ocular surface and external filtration surgery: Mutual relationships. *Dev Ophthalmol*. 2017; 59: 67–79. doi:10.1159/000458487

22. Baudouin C, Liang H, Hamard P, et al. The ocular surface of glaucoma patients treated over the long term expresses inflammatory markers related to both T-helper 1 and T-helper 2 pathways. *Ophthalmology*. 2008; 115 (1): 109–15. doi: 10.1016/j.optha.2007.01.036
23. Epstein SP, Chen D, Asbell PA. Evaluation of biomarkers of inflammation in response to benzalkonium chloride on corneal and conjunctival epithelial cells. *J Ocul Pharmacol Ther*. 2009; 25 (5): 415–24. doi:10.1089/jop.2008.0140
24. Noecker R. Effects of common ophthalmic preservatives on ocular health. *Adv Ther*. 2001; 18 (5): 205–15. doi: 10.1007/BF02853166
25. Шмырева В.Ф., Петров С.Ю., Антонов А.А. и др. Контролируемая цитостатическая терапия в ранние сроки после антиглаукоматозной хирургии (предварительные результаты). *Вестник офтальмологии*. 2007; 123 (1): 12–4. [Shmyreva V.F., Petrov S.Yu., Antonov A.A., et al. Controlled cytostatic therapy in the early periods after surgery for glaucoma: preliminary results. *Vestnik oftalmologii*. 2007; 123 (1): 12–4 (In Russ.)].
26. Codling CE, Maillard JY, Russell AD. Aspects of the antimicrobial mechanisms of action of a polyquaternium and an amidoamine. *J Antimicrob Chemother*. 2003; 51 (5): 1153–8. doi: 10.1093/jac/dkg228
27. Gibbs DE, Stein JM, Rockett J, et al. Opti-Free chemical disinfectant: a safety study with various soft contact lenses. *CLAO J*. 1989; 15 (1): 57–60. PMID: 2917399
28. Good RM, Jr, Liao JC, Hook MJ, et al. Colorimetric determination of a polymeric quaternary ammonium antimicrobial preservative in an ophthalmic solution. *J Assoc Off Anal Chem*. 1987; 70 (6): 979–80. PMID:343691329.
29. Lopez Bernal D, Ubels JL. Quantitative evaluation of the corneal epithelial barrier: effect of artificial tears and preservatives. *Curr Eye Res*. 1991; 10 (7): 645–56. doi: 10.3109/02713689109013856
30. Codling CE, Hann AC, Maillard JY, et al. An investigation into the antimicrobial mechanisms of action of two contact lens biocides using electron microscopy. *Cont Lens Anterior Eye*. 2005; 28 (4): 163–8. doi: 10.1016/j.clae.2005.08.002
31. Петров С.Ю. Тафлупрост — новый аналог простагландина F2α. *Вестник офтальмологии*. 2014; 130 (5): 89–5. [Petrov S.Yu. Tafluprost — a novel prostaglandin F2 analogue. *Vestnik oftalmologii*. 2014; 130 (5): 89–5 (In Russ.)].
32. Craven ER, Walters T, Christie WC, et al. 24-Month Phase I/II clinical trial of Bimatoprost sustained-release implant (Bimatoprost SR) in glaucoma patients. *Drugs*. 2020; 80 (2): 167–79. doi: 10.1007/s40265-019-01248-0
33. Bacharach J, Tatham A, Ferguson G, et al. Phase 3, Randomized, 20-month study of the efficacy and safety of Bimatoprost implant in patients with open-angle glaucoma and ocular hypertension (ARTEMIS 2). *Drugs*. 2021; 81 (17): 2017–33. doi: 10.1007/s40265-021-01624-9
34. Tanna AP, Johnson M. Rho kinase inhibitors as a novel treatment for glaucoma and ocular hypertension. *Ophthalmology*. 2018; 125 (11): 1741–56. doi:10.1016/j.optha.2018.04.040
35. Saha BC, Kumari R, Kushumesh R, et al. Status of Rho kinase inhibitors in glaucoma therapeutics-an overview. *Int Ophthalmol*. 2022; 42 (1): 281–94. doi:10.1007/s10792-021-02002-w
36. Erb C, Konieczka K. Rho kinase inhibitors as new local therapy option in primary open angle glaucoma. *Ophthalmologe*. 2021; 118 (5): 449–60. doi: 10.1007/s00347-020-01303-2
37. Moura-Coelho N, Tavares Ferreira J, Bruxelas CP, et al. Rho kinase inhibitors-a review on the physiology and clinical use in ophthalmology. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2019; 257 (6): 1101–17. doi: 10.1007/s00417-019-04283-5
38. Wise JB, Witter SL. Argon laser therapy for open-angle glaucoma. A pilot study. *Arch Ophthalmol*. 1979; 97 (2): 319–22. doi: 10.1001/archoph.1979.01020010165017
39. Latina MA, Sibayan SA, Shin DH, et al. Q-switched 532-nm Nd:YAG laser trabeculoplasty (selective laser trabeculoplasty): a multicenter, pilot, clinical study. *Ophthalmology*. 1998; 105 (11): 2082–8; discussion 9–90. doi: 10.1016/S0161-6420(98)91129-0
40. Juzych MS, Chopra V, Banitt MR, et al. Comparison of long-term outcomes of selective laser trabeculoplasty versus argon laser trabeculoplasty in open-angle glaucoma. *Ophthalmology*. 2004; 111 (10): 1853–9. doi: 10.1016/j.optha.2004.04.030
41. Stein JD, Challa P. Mechanisms of action and efficacy of argon laser trabeculoplasty and selective laser trabeculoplasty. *Curr Opin Ophthalmol*. 2007; 18 (2): 140–5. doi: 10.1097/ICU.0b013e328086aebf
42. Dueker DK, Norberg M, Johnson DH, et al. Stimulation of cell division by argon and Nd:YAG laser trabeculoplasty in cynomolgus monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1990; 31 (1): 115–24.
43. Weinand FS, Althen F. Long-term clinical results of selective laser trabeculoplasty in the treatment of primary open angle glaucoma. *Eur J Ophthalmol*. 2006; 16 (1): 100–4. doi: 10.1177/112067210601600116
44. Vujosevic S, Bottega E, Casciano M, et al. Microperimetry and fundus autofluorescence in diabetic macular edema: subthreshold micropulse diode laser versus modified early treatment diabetic retinopathy study laser photocoagulation. *Retina*. 2010; 30 (6): 908–16. doi: 10.1097/IAE.0b013e3281c96986
45. Fudenberg SJ, Myers JS, Katz LJ. Trabecular meshwork tissue examination with scanning electron microscopy: a comparison of micropulse diode laser (MLT), selective laser (SLT), and argon laser (ALT) trabeculoplasty in human cadaver tissue. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008; 49: 1236.
46. Fea AM, Bosone A, Rolle T, et al. Micropulse diode laser trabeculoplasty (MDLT): A phase II clinical study with 12 months follow-up. *Clin Ophthalmol*. 2008; 2 (2): 247–52. doi: 10.2147/opth.s2303
47. Tsang S, Cheng J, Lee JW. Developments in laser trabeculoplasty. *Br J Ophthalmol*. 2016; 100 (1): 94–7. doi: 10.1136/bjophthalmol-2015-307515
48. Espinoza G, Castellanos-Castellanos YA, Pedraza-Concha A, et al. Mid-term results of patterned laser trabeculoplasty for uncontrolled ocular hypertension and primary open angle glaucoma. *Int J Ophthalmol*. 2021; 14 (8): 1199–204. doi:10.18240/ijo.2021.08.10
49. Espinoza G, Castellanos L, Rodriguez-Una I, et al. Clinical outcomes of patterned laser trabeculoplasty as adjuvant therapy in open angle glaucoma and ocular hypertension. *Int J Ophthalmol*. 2018; 11 (4): 635–40. doi: 10.18240/ijo.2018.04.16
50. Goldenfeld M, Melamed S, Simon G, et al. Titanium:sapphire laser trabeculoplasty versus argon laser trabeculoplasty in patients with open-angle glaucoma. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2009; 40 (3): 264–9. doi: 10.3928/15428877-20090430-07
51. Ishida K. Update on results and complications of cyclophotocoagulation. *Curr Opin Ophthalmol*. 2013; 24 (2): 102–10. doi: 10.1097/ICU.0b013e32835d9335
52. Egbert PR, Fiadoyor S, Budenz DL, et al. Diode laser transscleral cyclophotocoagulation as a primary surgical treatment for primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol*. 2001; 119 (3): 345–50. doi: 10.1001/archoph.119.3.345
53. Hauber FA, Scherer WJ. Influence of total energy delivery on success rate after contact diode laser transscleral cyclophotocoagulation: a retrospective case review and meta-analysis. *J Glaucoma*. 2002; 11 (4): 329–33. doi: 10.1097/00061198-200208000-00009
54. Tan AM, Chockalingam M, Aquino MC, et al. Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in the treatment of refractory glaucoma. *Clin Exp Ophthalmol*. 2010; 38 (3): 266–72. doi: 10.1111/j.1442-9071.2010.02238.x
55. Amoozgar B, Phan EN, Lin SC, et al. Update on ciliary body laser procedures. *Curr Opin Ophthalmol*. 2017; 28 (2): 181–6. doi: 10.1097/ICU.0000000000000351
56. Aquino MC, Barton K, Tan AM, et al. Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: a randomized exploratory study. *Clin Exp Ophthalmol*. 2015; 43 (1): 40–6. doi: 10.1111/ceo.12360
57. Kuchar S, Moser MR, Reamer CB, et al. Treatment outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in advanced glaucoma. *Lasers Med Sci*. 2016; 31 (2): 393–6. doi: 10.1007/s10103-015-1856-9
58. Ramulu PY, Corcoran KJ, Corcoran SL, et al. Utilization of various glaucoma surgeries and procedures in Medicare beneficiaries from 1995 to 2004. *Ophthalmology*. 2007; 114 (12): 2265–70. doi: 10.1016/j.optha.2007.02.005
59. Strutton DR, Walt JG. Trends in glaucoma surgery before and after the introduction of new topical glaucoma pharmacotherapies. *J Glaucoma*. 2004; 13 (3): 221–6. doi: 10.1097/00061198-200406000-00008
60. Dorairaj S, Checo LA, Wagner IV, et al. 24-month outcomes of Ahmed ClearPath(R) glaucoma drainage device for refractory glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2022; 16: 2255–62. doi: 10.2147/OPTH.S368634
61. Gedde SJ, Schiffman JC, Feuer WJ, et al. Treatment outcomes in the Tube Versus Trabeculectomy (TVT) study after five years of follow-up. *Am J Ophthalmol*. 2012; 153 (5): 789–803 e2. doi: 10.1016/j.ajo.2011.10.026
62. Sanchez E, Schnyder CC, Sickenberg M, et al. Deep sclerectomy: results with and without collagen implant. *Int Ophthalmol*. 1996; 20 (1–3): 157–62. doi: 10.1007/BF00212963
63. Ambresin A, Shaarawy T, Mermoud A. Deep sclerectomy with collagen implant in one eye compared with trabeculectomy in the other eye of the same patient. *J Glaucoma*. 2002; 11 (3): 214–20. doi: 10.1097/00061198-200206000-00009
64. Cillino S, Di Pace F, Casuccio A, et al. Deep sclerectomy versus trabeculectomy with low-dosage mitomycin C: four-year follow-up. *Ophthalmologica*. 2008; 222 (2): 81–7. doi: 10.1159/000112623
65. Samuelson TW, Katz LJ, Wells JM, et al. Randomized evaluation of the trabecular micro-bypass stent with phacoemulsification in patients with glaucoma and cataract. *Ophthalmology*. 2011; 118 (3): 459–67. doi: 10.1016/j.optha.2010.07.007
66. Belovay GW, Naqi A, Chan BJ, et al. Using multiple trabecular micro-bypass stents in cataract patients to treat open-angle glaucoma. *J Cataract Refract Surg*. 2012; 38 (11): 1911–7. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.07.017

67. Voskanyan L, Garcia-Feijoo J, Belda JI, et al. Prospective, unmasked evaluation of the iStent(R) inject system for open-angle glaucoma: synergy trial. *Adv Ther.* 2014; 31 (2): 189–201. doi: 10.1007/s12325-014-0095-y
68. Myers JS, Masood I, Hornbeak DM, et al. Prospective evaluation of two iStent((R)) trabecular stents, one iStent Supra((R)) suprachoroidal stent, and postoperative prostaglandin in refractory glaucoma: 4-year outcomes. *Adv Ther.* 2018; 35 (3): 395–407. doi: 10.1007/s12325-018-0666-4
69. Camras LJ, Yuan F, Fan S, et al. A novel Schlemm's Canal scaffold increases outflow facility in a human anterior segment perfusion model. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012; 53 (10): 6115–21. doi: 10.1167/iov.12-9570
70. Pfeiffer N, Garcia-Feijoo J, Martinez-de-la-Casa JM, et al. A randomized trial of a Schlemm's canal microstent with phacoemulsification for reducing Intraocular pressure in open-angle glaucoma. *Ophthalmology.* 2015; 122 (7): 1283–93. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.03.031
71. Tojo N, Otsuka M, Hayashi A. Comparison of trabectome and microhook surgical outcomes. *Int Ophthalmol.* 2021; 41 (1): 21–6. doi: 10.1007/s10792-020-01548-5
72. Saheb H, Ahmed II. Micro-invasive glaucoma surgery: current perspectives and future directions. *Curr Opin Ophthalmol.* 2012; 23 (2): 96–104. doi: 10.1097/ICU.0b013e32834ff1e7
73. Garcia-Feijoo J, Rau M, Grisanti S, et al. Supraciliary micro-stent implantation for open-angle glaucoma failing topical therapy: 1-year results of a multicenter study. *Am J Ophthalmol.* 2015; 159 (6): 1075–81 e1. doi: 10.1016/j.ajo.2015.02.018
74. Scheres LMJ, Kujovic-Aleksov S, Ramdas WD, et al. XEN((R)) Gel Stent compared to PRESERFLO MicroShunt implantation for primary open-angle glaucoma: two-year results. *Acta Ophthalmol.* 2021; 99 (3): e433–e40. doi: 10.1111/aos.14602

**Вклад авторов в работу:** С.Ю. Петров, Л.В. Якубова — концепция и дизайн обзора, анализ литературы, написание и редактирование статьи; О.И. Маркелова — сбор и анализ литературы.

**Author's contribution:** S.Yu. Petrov, L.V. Yakubova — concept and design of the review, writing and final editing of the article; O.I. Markelova — literature data collection and writing of the article.

*Поступила: 21.08.2022. Переработана: 10.09.2022. Принята к печати: 11.09.2022*

*Originally received: 21.08.2022. Final revision: 10.09.2022. Accepted: 11.09.2022*

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

ФГБУ «НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России, ул. Садовая-Черногрозская, д. 14/19, Москва, 105062, Россия

**Сергей Юрьевич Петров** — д-р мед. наук, начальник отдела глаукомы, ORCID 0000-0001-6922-0464

**Лиля Вагизовна Якубова** — канд. мед. наук, врач-офтальмолог отдела глаукомы, ORCID 0000-0002-9991-5600

**Оксана Игоревна Маркелова** — аспирант отдела глаукомы, ORCID 0000-0002-8090-6034

**Для контактов:** Сергей Юрьевич Петров, glaucomatosis@gmail.com

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, 14/19, Sadovaya-Chernogryazskaya St., Moscow, 105062, Russia

**Sergey Yu. Petrov** — Dr. of Med. Sci., head, department of glaucoma, ORCID 0000-0001-6922-0464

**Liya V. Yakubova** — Cand. of Med. Sci., ophthalmologist, department of glaucoma. ORCID 0000-0002-9991-5600

**Oksana I. Markelova** — PhD student, department of glaucoma, ORCID 0000-0002-8090-6034

**For contacts:** Sergey Yu. Petrov, glaucomatosis@gmail.com