

© Team of authors, 2026 / © Коллектив авторов, 2026

3.1.5. Ophthalmology, 3.3.3. Pathological physiology / 3.1.5. Офтальмология, 3.3.3. Патологическая физиология

Glaucoma Prevalence and Promising Trends in Surgical Treatment

D.A. Teuvazhukova^{1,2}, L.L. Arutyunyan^{3,4}, T.G. Tlupova¹

¹Republican Clinical Hospital, Nalchik, Russia

²Kabardino-Balkarian State University. H.M. Berbekova, Nalchik, Russia

³Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia

⁴Head of the Diagnostic Department of LLC Eye Center «Vostok-Ozrenie», Moscow, Russia

Contacts: Tamara Gumarovna Tlupova – e-mail: ttlupova@gmail.com

Распространенность глаукомы и перспективные тенденции в хирургическом лечении

Д.А. Теуважукова^{1,2}, Л.Л. Арутюнян^{3,4}, Т.Г. Тлупова¹

¹Республиканская клиническая больница, Нальчик, Россия

²Кабардино-Балкарский госуниверситет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия

³ФГБОУ ДПО Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава РФ, Москва, Россия

⁴ООО Глазной центр «Восток-Прозрение», Москва, Россия

Контакты: Тлупова Тамара Гумаровна – e-mail: ttlupova@gmail.com

青光眼患病率及手术治疗的前景趋势

D.A. Teuvazhukova^{1,2}, L.L. Arutyunyan^{3,4}, T.G. Tlupova¹

¹共和临床医院, 纳尔奇克, 俄罗斯

²卡巴尔达 巴尔卡尔国立大学 (H.M. 别尔别科夫命名), 纳尔奇克, 俄罗斯

³俄罗斯联邦卫生部俄罗斯继续职业教育医学院, 莫斯科, 俄罗斯

⁴有限责任公司眼科中心“Vostok Ozrenie”诊断科主任, 莫斯科, 俄罗斯

联系人: Tamara Gumarovna Tlupova – e-mail: ttlupova@gmail.com

Introduction. Low patient compliance with drug therapy, diurnal IOP fluctuations, and the possibility of more stable IOP control increase the appeal of surgical treatments for glaucoma. Study Objective. To review promising trends in the surgical treatment of glaucoma.

Material and methods. To analyze the available literature, a search of electronic libraries was conducted using the keywords “glaucoma,” “epidemiology,” and “surgical treatment.” Priority was given to articles published in peer-reviewed journals within the 5 years prior to the article's publication.

Results. Key advances in glaucoma surgery are associated with the active introduction of glaucoma drainage implants, including the development and use of domestically produced drainage devices; Modification of existing surgical techniques and the creation of fundamentally new devices within minimally invasive glaucoma surgery (MIGS) are being explored, as well as the integration of deep machine learning technologies to expand the capabilities of intraoperative optical coherence tomography (OCT).

Conclusion. The steady improvement of glaucoma surgical treatment methods over the past decades has led to increased surgical safety and, consequently, to earlier and more widespread use of surgical interventions in patients at risk of vision loss due to glaucoma.

Keywords: glaucoma; surgery; glaucoma treatment; MIGS; drainage devices; machine learning

Conflict of interest. The authors have no conflicts of interest.

Funding. Absent.

For citation: Teuvazhukova D.A., Arutyunyan L.L., Tlupova T.G. Glaucoma Prevalence and Promising Trends in Surgical Treatment. *Head and Neck. Russian Journal.* 2026;14(1):159–166

Doi: 10.25792/HN.2026.14.1.159-166

The authors are responsible for the originality of the data presented and the possibility of publishing illustrative material – tables, drawings, photographs of patients.

Введение. Низкая приверженность пациентов медикаментозной терапии, суточные колебания внутриглазного давления (ВГД) и возможность более стабильного контроля ВГД повышают привлекательность хирургических методов лечения глаукомы.

Цель исследования. Провести обзор перспективных тенденций в хирургическом лечении глаукомы.

Материал и методы. Для анализа доступной литературы был проведен поиск по электронным библиотекам за все время по ключевым словам: «глаукома», «эпидемиология», «хирургическое лечение». Приоритет был отдан статьям, опубликованным за 5 лет до написания статьи в рецензируемых научных журналах.

Результаты. Ключевые достижения в хирургии глаукомы связаны с активным внедрением глаукомных дренажных имплантатов, включая разработку и применение дренажей отечественного производства, с модификацией существующих хирургических техник и созданием принципиально новых устройств в рамках минимально инвазивной хирургии глаукомы (MIGS); а также с интеграцией технологий глубокого машинного обучения для расширения возможностей интраоперационной оптической когерентной томографии.

Заключение. Неуклонное совершенствование методов хирургического лечения глаукомы, ознаменовавшее последние десятилетия, привело к повышению безопасности операций и, как следствие, к более раннему и широкому применению хирургического вмешательства у пациентов, подверженных риску потери зрения вследствие глаукомы.

Ключевые слова: глаукома, минимально инвазивная хирургия глаукомы, дренажные устройства, машинное обучение

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Отсутствует.

Для цитирования: Теуважукова Д.А., Арутюнян Л.Л., Тлупова Т.Г. Распространенность глаукомы и перспективные тенденции в хирургическом лечении. *Head and Neck. Голова и шея. Российский журнал.* 2026;14(1):159–166

Doi: 10.25792/HN.2026.14.1.159-166

Авторы несут ответственность за оригинальность представленных данных и возможность публикации иллюстративного материала – таблиц, рисунков, фотографий пациентов.

引言：药物治疗依从性低、眼压（IOP）的昼夜波动，以及手术方式可能带来更稳定的眼压控制，使青光眼手术治疗更具吸引力。

研究目的：综述青光眼手术治疗的前景发展趋势。

材料与方法：为分析现有文献，使用关键词“glaucoma”“epidemiology”“surgical treatment”检索电子文献库。优先纳入发表于该文发表前 5 年内、经同行评议期刊的文章。

结果：青光眼手术的主要进展与青光眼引流植入物的积极推广相关，包括国产引流装置的研发与应用；同时，对既有术式进行改良、在微创青光眼手术（MIGS）领域开发全新器械亦在探索中；并引入深度机器学习技术以拓展术中光学相干断层扫描（OCT）的能力。

结论：过去数十年青光眼手术方法的持续改进提升了手术安全性，从而促使外科干预在有因青光眼而发生视力丧失风险的患者中更早、更广泛地应用。

关键词：青光眼；手术；青光眼治疗；MIGS；引流装置；机器学习

利益冲突：作者声明无利益冲突。

经费来源：本研究未获得任何经费资助。

引用格式：Teuvazhukova D.A., Arutyunyan L.L., Tlupova T.G. Glaucoma Prevalence and Promising Trends in Surgical Treatment. *Head and Neck. Russian Journal.* 2026;14(1):159–166

Doi: 10.25792/HN.2026.14.1.159-166

作者对所呈现数据的原创性以及发表插图材料（表格、图示、患者照片）的可能性负责。

Введение

Глаукома – группа прогрессирующих нейродегенеративных заболеваний зрительного нерва, характеризующихся специфической оптической невропатией и сопутствующими дефектами полей зрения. В развитии глаукомы ключевую роль играют окислительный стресс, митохондриальная дисфункция, повреждение ДНК, нарушение аутофагии и секреция факторов, ассоциированных со старением (SASP – Senescence-associated secretory

phenotype) [1]. По мере возрастного увеличения хрусталика, обусловленного естественными возрастными изменениями или развитием катаракты, он может оказывать давление на радужную оболочку, уменьшая глубину передней камеры глаза и сужая угол между радужкой и роговицей (иридокорнеальный угол). Данное механическое стеснение препятствует оттоку водянистой влаги (ВВ), что в свою очередь может приводить к повышению внутриглазного давления (ВГД). Этот механизм, хотя его наиболее часто связывают с закрытоугольной глауко-

мой (ЗУГ), также способен усугублять открытоугольную глаукому (ОУГ), способствуя диспергированию пигмента, сужению угла или увеличению сопротивления оттоку ВВ. Кроме того, усиленное взаимодействие между увеличенным хрусталиком, радужкой и зональными волокнами может вызывать выделение пигмента с задней поверхности радужки. Высвободившийся пигмент может откладываться в трабекулярной сети, тем самым нарушая нормальный отток ВВ и приводя к дальнейшему увеличению ВГД. Этот механизм особенно значим при синдроме пигментной дисперсии и вторичной ОУГ [2]. Факторы риска глаукомы включают преклонный возраст, подтвержденный случай глаукомы в семейном анамнезе, уменьшенную толщину роговицы в центральной зоне, миопию (близорукость) и наличие генетических мутаций, связанных с глаукомой [3]. Необходимо также учитывать влияние стресса: исследования выявили выраженную связь между прогрессированием глаукомной оптической невропатии и уровнем стресса у пациентов, страдающих глаукомой [4].

Классификация глаукомы включает несколько подходов, основанных на этиологии, механизмах развития и клинических проявлениях заболевания. Классификация по этиологии включает первичную глаукому, которая возникает без явных предшествующих офтальмологических или системных заболеваний. Наиболее распространенная форма глаукомы – первичная ОУГ, характеризующаяся нормальным или повышенным ВГД и открытым углом передней камеры. Первичная ЗУГ возникает из-за обструкции угла передней камеры радужкой, препятствующей оттоку внутриглазной жидкости (ВГЖ) [5]. Глаукома нормального давления – форма глаукомы, при которой повреждение зрительного нерва и изменения полей зрения происходят при статистически нормальном ВГД. Вторичная глаукома развивается в результате других заболеваний или состояний, таких как внутриглазное воспаление (uveitis) – воспалительная глаукома, дисперсия пигмента из радужки и его отложение в структурах угла передней камеры – пигментная глаукома, образование новых кровеносных сосудов в радужке и углу передней камеры, часто связанных с диабетом или окклюзиями вен сетчатки – неоваскулярная глаукома, травмы глаза, приводящие к повреждению угла передней камеры или других структур – травматическая глаукома. Врожденная глаукома развивается в младенчестве или раннем детстве из-за аномалий развития угла передней камеры. Классификация по механизмам развития включает ОУГ с нарушением оттока ВГЖ через трабекулярную сеть и ЗУГ, которая связана с механической обструкцией угла передней камеры.

Классификация по степени тяжести основана на изменениях полей зрения и состоянии зрительного нерва и используется для определения тактики лечения и прогноза заболевания [6].

За последнее десятилетие лечение глаукомы значительно усовершенствовалось благодаря появлению новых местных препаратов, систем доставки лекарств с пролонгированным высвобождением и носимых устройств. Перспективные тенденции наблюдаются и в хирургических подходах к лечению глаукомы.

Цель исследования – провести обзор перспективных тенденций в хирургическом лечении глаукомы.

Материал и методы

Для анализа доступной литературы был проведен поиск по электронным библиотекам за все время по ключевым словам «глаукома», «эпидемиология», «хирургическое лечение».

Приоритет был отдан статьям, опубликованным за 5 лет до написания статьи в рецензируемых научных журналах.

Результаты

Глаукома поражает около 70 млн человек во всем мире и является одной из основных причин слепоты среди активного населения. Самая высокая распространенность глаукомы среди всех континентов наблюдается в Африке (4,0%) [1]. Продолжительность жизни также играет роль в эпидемиологии глаукомы: население старше 80 лет подвержено наибольшему риску первичной ОУГ (9,2%) среди всех возрастных групп [1]. Мужской пол обозначен как значимый фактор риска первичной ОУГ [1], тогда как женский пол является одним из факторов риска первичной ЗУГ [7].

В Российской Федерации (РФ) в 2022 г. было зарегистрировано 1 250 558 больных глаукомой, из них пациентов с впервые выявленной глаукомой – 110 986 человек (75,6 на 100 тыс. населения). В 2023 г. число впервые установленных случаев глаукомы увеличилось и составило 114 924 (78,5 на 100 тыс. населения) [8]. Анализ заболеваемости с 2013 по 2022 г. показал устойчивую тенденцию к росту: общая заболеваемость глаукомой в РФ в 2022 г. увеличилась на 30% по сравнению с 2013 г. В период пандемии COVID-19 с 2019 г. наблюдалось снижение первичной заболеваемости глаукомой на 6,5 и 16% соответственно, что связывают с низкой обращаемостью населения [9].

Была показана положительная динамика в организации медицинской помощи пациентам с глаукомой в РФ: охват диспансерным наблюдением вырос за 10 лет на 6,8%, частота хирургического лечения увеличилась на 28,1%, зарегистрирован рост числа высокотехнологичной помощи в 2 раза, 12% от впервые выявленных случаев глаукомы в 2022 г. были установлены в ходе профилактических диспансерных осмотров. Однако 40–80% случаев глаукомы в РФ выявляются на поздних стадиях, а в 50% случаев не выставляется глаукома, что приводит к запоздалому лечению [9].

Хирургическое лечение глаукомы направлено на снижение ВГД путем создания альтернативных путей оттока ВГЖ или уменьшения ее продукции. Существует несколько категорий хирургических вмешательств. Фистулизирующие операции, в частности трабекулэктомия, является одной из наиболее распространенных операций. Трабекулэктомия заключается в создании обходного пути для оттока ВГЖ из передней камеры глаза под конъюнктиву, формируя фильтрационную подушку. Для улучшения долгосрочной эффективности трабекулэктомии часто используются антиметаболиты, такие как митомицин С или 5-фторурацил, которые предотвращают рубцевание склерального лоскута. Другие фистулизирующие процедуры включают глубокую склерэктомия и каналопластику [3]. В качестве перспективных подходов наиболее часто обсуждаются дренажные импланты и микроинвазивная хирургия.

Глаукомные дренажные импланты (ГДИ) представляют собой устройства, которые обеспечивают отток ВГЖ через трубку, имплантированную в переднюю камеру, в резервуар, расположенный под конъюнктивой. Техника включает введение силиконовой трубки в переднюю камеру, отводящей ВВ в субтеноновое пространство для системной реабсорбции в системный кровоток. Существует множество типов ГДИ, включая клапанные и неклапанные устройства. Изначально ГДИ использовались у пациентов с рефрактерной глаукомой или после неудачных фистулизирующих операций, затем частота использования дре-

нажных устройств значительно увеличилась. Прогресс в области лечения глаукомы ознаменовался одобрением дренажа АСР (Ahmed ClearPath) в 2019 г. Сравнительное исследование W.S. Shalaby и соавт., направленное на оценку безопасности и эффективности клапана АСР и глаукомного имплантата BGI (Baerveldt), показало, что оба метода имели схожие показатели хирургической неудачи и осложнений. Конечное ВГД было схожим в обеих группах, но при использовании АСР требовалось меньшее количество лекарств [10]. Многоцентровое исследование D.S. Grover и соавт., посвященное применению имплантатов при глаукоме у взрослых, также подтвердило значительное снижение среднего ВГД с 26,3 мм рт.ст. до операции до 13,7 мм рт.ст. через 6 месяцев после имплантации. При этом наиболее частыми осложнениями были гипотония, кистозный макулярный отек и гифема [11]. Результаты 24-месячного применения устройства АСР показали отсутствие долгосрочных осложнений, а краткосрочные осложнения (легкая гифема и боль) исчезли к 3-му месяцу [12]. В аналогичном исследовании 36-месячное наблюдение показало снижение ВГД на $\geq 20\%$ у 88,9% пациентов без развития осложнений, угрожающих зрению [13].

Положительные результаты демонстрируют различные виды дренажей отечественного производства. М.К. Гринева и соавт. провели изучение профиля безопасности и эффективности шунтирующего устройства отечественного производства из полимера на основе акрилового ряда в лечении первичной ОУГ в ходе наблюдения за 19 пациентами (20 глаз). Эффективность вмешательства с применением антиглаукомного дренажа не уступала результатам трабекулэктомии при меньшем числе осложнений. Воспалительной реакции в ответ на имплантацию устройства не зарегистрировано, гифема развилась у 10%, кистозная фильтрационная подушка – у 15%. В отдаленные сроки после операции острота зрения ухудшилась в четырех случаях. В качестве недостатка авторы отметили хрупкость дренажного устройства [14]. Е.А. Ивачев провел комбинированную операцию у 34 пациентов с глаукомой и осложненной катарактой (факоэмульсификацию, имплантацию интраокулярной линзы и глаукомный дренаж с использованием отечественного устройства), которая привела к снижению внутриглазного давления до 19,1 мм рт.ст. и улучшению зрения до 0,5. У 2,9% больных развился десцеметит, у 8,8% – гифема, у 2,9% – прорезывание дренажа через конъюнктиву [15]. При проведении трабекулэктомии в сочетании с имплантацией отечественного дренажа при первичной ОУГ гипотензивный эффект был получен в 82% случаев [16].

Минимально-инвазивные вмешательства при глаукоме, также известные как микроинвазивная глаукомная хирургия (MIGS), представляют собой инновационный класс процедур, нацеленных на снижение ВГД. MIGS обеспечивают отток ВВ по трем альтернативным путям: через шлеммов канал (создание более обширного дренажного пространства), в субконъюнктивальное пространство и в супрахориоидальное пространство [17]. Ключевое преимущество MIGS заключается в сокращенном периоде реабилитации и снижении риска осложнений по сравнению с традиционными хирургическими вмешательствами. Многие из этих процедур могут быть выполнены одновременно с факоэмульсификацией катаракты, что позволяет минимизировать операционные риски. Минимально-инвазивные вмешательства могут быть применены у пациентов, не переносящих местное лечение, а также при первичной ОУГ, пигментной глаукоме, глаукоме, ассоциированной с псевдоэкссфолиативным синдромом, и после лазерных процедур [17].

Трабекулярные микрошунтирующие стенты обладают уникальным преимуществом в оптимизации оттока ВВ из передней камеры глаза в коллекторные каналы. iStent G1, изготовленный из титана и покрытый гепарином, имплантируется в угол передней камеры через трабекулу с помощью гониолинзы. Введение стента осуществляется путем прямой пункции шлеммова канала. У пациентов, перенесших факоэмульсификацию с одновременной имплантацией стента, послеоперационное ВГД снижалось на 17% по сравнению с контрольной группой, где была проведена только факоэмульсификация и снижение ВГД составило 9% [18]. Согласно M. Kozera и соавт., у пациентов с ОУГ и катарактой имплантация iStent в сочетании с хирургией катаракты значительно снизила ВГД в течение 2 лет, причем снижение было более выраженным по сравнению с одной лишь факоэмульсификацией. У пациентов с исходным ВГД < 26 мм рт.ст. хирургическое вмешательство снизило ВГД, а использование медикаментозных средств значительно сократилось в течение 2 лет, причем снижение было более выраженным по сравнению с таковым у пациентов с исходным ВГД ≥ 26 мм рт.ст. [19].

Микрошунт iStent G2 второго поколения, отличающийся миниатюрными размерами, обеспечивает прецизионную имплантацию в шлеммов канал. Согласно исследованию A.M. Fea и соавт., iStent G2 демонстрирует сопоставимую с медикаментозной терапией эффективность в отношении контроля ВГД и благоприятный профиль безопасности [20]. iStent Supra, стент третьего поколения, предназначен для создания дренажного пути между ВВ и супрахориоидальным пространством посредством минимально инвазивной процедуры [21].

Микрошунт Hydrus, изготовленный из никель-титанового сплава, представляет собой гибкую конструкцию, обеспечивающую расширение шлеммова канала в 4 раза, превышающее физиологический диаметр [22]. В исследовании, проведенном N. Pfeiffer и соавт., сравнивали эффективность имплантации Hydrus в сочетании с факоэмульсификацией катаракты и изолированной факоэмульсификацией у пациентов с ОУГ. Результаты показали статистически значимое снижение ВГД в группе пациентов, которым был имплантирован стент Hydrus [23]. D. Laroche и соавт. отмечают в качестве наиболее частых побочных эффектов и преходящий скачок ВГД, и преходящий отек роговицы, которые во всех случаях имплантации стента разрешились спонтанно. Осложнений, угрожающих зрению, через 6 месяцев не зарегистрировано [24].

Трабекулэктомия ab interno или гониоассоциированная транслюминальная трабекулотомия (GATT), снижает ВГД за счет улучшения оттока ВГЖ через шлеммов канал, сохраняя неповрежденной конъюнктиву и склеру. Данная методика, согласно S.Y. Jea и соавт., обеспечивает снижение ВГД приблизительно на 40% и может быть применена при ЗУГ. Важно отметить, что неудача трабекулэктомии ab interno не оказывает негативного влияния на последующую эффективность традиционной трабекулэктомии, что позволяет при необходимости выполнить классическое хирургическое вмешательство [25]. Р.Р. Файзрахмановым и соавт. был проведен анализ данной методики у пациентов с глаукомой и катарактой. Авторами отмечен высокий профиль безопасности, который обоснован точными движениями в передней камере, короткое время операции и низкая частота интраоперационных и послеоперационных осложнений. В послеоперационном периоде было показано, что плотность эндотелиальных клеток была сохранена [26].

Супрахориоидальное пространство (СХП) стало успешной мишенью для снижения ВГД у пациентов с глаукомой. Установка стерильной силиконовой микротрубки для дренирования влаги из цилиарной борозды задней камеры глаза в СХП показало среднее снижение ВГД составило 36% за 3 месяца. Профиль безопасности при этом был сопоставим с существующими устройствами минимально инвазивной хирургии глаукомы [27]. В ретроспективном исследовании D. Lagache и соавт. побочные эффекты такого метода были преходящими и включали в себя скачок ВГД, гипотонию, гифему и отек роговицы [28].

Усилия исследователей в области MIGS регулярно направлены на устранение существующих ограничений, связанных с успешностью хирургических операций. Способы улучшения включают модификацию существующих методик MIGS, комбинирование MIGS, разработку новых MIGS и внедрение достижений в сфере глубокого машинного обучения.

Гелевый стент XEN45 (Allergan, Ирландия), представляющий собой субконъюнктивальное устройство для MIGS, зарекомендовал себя как безопасный и эффективный метод лечения ОУГ. Однако при этом сохраняется необходимость послеоперационных манипуляций, включая нидлинг субконъюнктивального пространства с применением антифибротических агентов или без таковых для обеспечения долгосрочной проходимости стента и поддержания гипотензивного эффекта. Данные дополнительные вмешательства сопряжены с увеличением финансовых затрат, потенциальными рисками и дискомфортом для пациента, а также с дополнительной нагрузкой на хирурга. С целью повышения безопасности, эффективности и упрощения процедуры имплантации стент XEN45 получил распространение в модифицированной технике *ab externo* (с открытой или закрытой конъюнктивой) [29–31]. Разработана также трансконъюнктивальная техника имплантации *ab externo*, демонстрирующая сопоставимые результаты в снижении ВГД и уменьшении медикаментозной зависимости по сравнению с методом *ab interno* с закрытой конъюнктивой, но характеризующаяся меньшей продолжительностью хирургического вмешательства и более быстрым периодом восстановления зрения [32].

Другим способом оптимизации имплантации XEN в субконъюнктивальное пространство является техника «XEN Air» [33]. Она предполагает предварительное введение воздуха и вискоэластика в субконъюнктивальное пространство перед установкой гелевого стента XEN для формирования пневматической/вязкоэластичной диссекции. Это позволяет подготовить субконъюнктивальный карман для последующего размещения XEN с формированием более обширной «подушки», что способствует снижению риска послеоперационного фиброза.

iDose TR – инновационное устройство MIGS с лекарственным покрытием, представляет собой перспективное решение для преодоления ограничений, связанных с традиционной местной терапией глаукомы, включая низкую приверженность пациентов лечению, побочные эффекты, вызванные раздражением поверхности глаза, и трудности, связанные с самостоятельным закапыванием глазных капель. Этот биосовместимый титановый имплантат, размеры которого составляют 1,8×0,5 мм, состоит из трех ключевых компонентов: склерального якоря, обеспечивающего фиксацию в барабанной перепонке, корпуса, служащего резервуаром для лекарственного препарата, и мембраны, обеспечивающей контролируемое высвобождение препарата во внутриглазную камеру в течение запланированного периода от 6 до 12 месяцев [34]. Имплантация iDose TR осуществляется по

аналогии с iStent inject, другим устройством MIGS, размещаемым в барабанной перепонке.

В настоящее время проводятся 2 рандомизированных контролируемых исследования III фазы [35, 36], промежуточные результаты которых демонстрируют, что пациенты групп, получившие iDose TR, достигли первичной конечной точки эффективности, показав не меньшую эффективность, чем группа активного компаратора, получавшая местный тимолол 0,5% 2 раза в сутки в течение 3 месяцев. Отмечался благоприятный профиль безопасности, при этом не наблюдалось клинически значимой потери эндотелиальных клеток роговицы в течение 12 месяцев [37]. Однако снижение ВГД, вероятно, будет уменьшаться после 12 месяцев, по мере истощения резервуара, что поднимает вопрос о дальнейшей тактике: следует ли оставлять пустой имплантат на месте, повторно заполнять его или удалять.

Beason Aqueous Microshunt представляет собой принципиально новый класс устройств MIGS для наружного применения, имплантируемых в верхний лимб для обеспечения оттока ВВ в слезную пленку. Микрошунт имеет размеры 1,70 мм в ширину и 3,30 мм в длину с внутренним гидрогелевым каналом размером 0,03×0,048 мм. Сопrotивление контролируемому оттоку определяется диаметром канала. Конструкция шунта позволяет снижать ВГД на 8–12 мм рт.ст. независимо от исходного уровня ВГД [38]. Для минимизации ретроградного движения бактерий и снижения риска эндофтальмита канал из гидрогеля полиэтиленгликоля состоит из полимеров, препятствующих биологическому обрастанию и обеспечивающих односторонний ламинарный поток ВВ к поверхности глаза. В пилотном исследовании безопасности с участием 5 пациентов [39] не было выявлено краткосрочных осложнений со стороны роговицы или инфекционных осложнений. В отдельном клиническом случае, описанном у одного пациента, было достигнуто значительное снижение ВГД по сравнению с исходным уровнем (с 33 до 12 мм рт.ст.). Тем не менее для подтверждения безопасности и эффективности устройства в долгосрочной перспективе необходимы дальнейшие исследования [38].

Минимально инвазивная микросклеростомия (MIMS) представляет собой процедуру субконъюнктивальной фильтрации *ab interno*, осуществляемую без применения стента [40]. Аппликатор MIMS, оснащенный иглой диаметром 600 мкм, вращающейся вокруг продольной оси, разработан для формирования перманентного туннеля вблизи корнеосклерального соединения, обеспечивающего сообщение между передней камерой глаза и субконъюнктивальным пространством. MIMS позиционируется как процедура MIGS, лишенная осложнений, ассоциированных с наличием инородного тела, таких как эрозия конъюнктивы, потеря эндотелиальных клеток роговицы, миграция или экстружия стента, при этом обеспечивая сопоставимое с существующими субконъюнктивальными MIGS снижение ВГД. В раннем клиническом исследовании, охватившем 31 глаз, было продемонстрировано кратковременное снижение ВГД, аналогичное наблюдаемому при субконъюнктивальной фильтрации MIGS. Наиболее частым и потенциально опасным осложнением являлась обструкция внутренней склеростомы радужной оболочкой, приводящая к резким повышениям ВГД, в ряде случаев резистентным к лазерной коррекции [40].

Хирургическая система STREAMLINE® (New World Medical, США) [41] представляет собой портативное устройство MIGS, предназначенное для инцизионной гониотомии и вискодилатации шлеммова канала. Канюля из нержавеющей стали, оснащенная выдвижной внешней гильзой, позволяет выполнить

до 8 инцизионных гониотомий (диаметром 150 мкм каждая) в трабекулярной сети, одновременно доставляя приблизительно 7 мкл вискоэластика на каждый разрез в шлеммов канал. В серии из 19 глаз [41] среднее снижение ВГД составило 8,8 мм рт.ст. (36,9%) через 6 месяцев, у 57,9% (11/19) пациентов потребность в медикаментозной терапии была снижена по сравнению с исходным уровнем, а 42,1% (8/19) пациентов не нуждались в применении антигипертензивных препаратов. В настоящее время проводится проспективное рандомизированное исследование, направленное на сравнение безопасности и эффективности хирургической системы STREAMLINE® с имплантацией iStent [42].

Плохая визуализация может помешать имплантации устройств MIGS. Обширные передние синехии или значительные помутнения роговицы могут помешать визуализации угла с помощью традиционной гониоскопии, что увеличивает риск неудачи имплантации или полностью исключает использование MIGS. Для преодоления подобных проблем используется интраоперационная оптическая когерентная томография [43], которая обеспечивает точную визуализацию иридокорнеальных структур и облегчает удаление трабекулярной сети. Проводятся исследования улучшения процедур MIGS с использованием оптической когерентной томографии и машинного обучения. Глубокое обучение открывает новые горизонты в визуализации иридокорнеальных структур, предоставляя возможность создания 3-мерных моделей в ходе операций MIGS, что значительно улучшает непосредственную микроскопическую визуализацию [44, 45]. В недавней публикации исследовательской группы AIG (Artificial Intelligence in Gonioscopy) была представлена сверточная нейронная сеть (CNN), обученная на видеоматериалах гониоскопической ab interno трабекулотомии с применением трабектома. Целью обучения являлась точная идентификация трабекулярной сети в режиме реального времени. Разработанная K.Y. Lin и соавт. [46] CNN продемонстрировала способность стабильно и безошибочно идентифицировать трабекулярную сеть на хирургических видеозаписях, превзойдя по точности экспертов-людей, с которыми проводилось сравнение. Учитывая, что точная идентификация иридокорнеальных структур при гониоскопии может представлять значительную сложность, а связанные с этим ошибки способны приводить к хирургическим осложнениям и неоптимальным результатам, разработка вспомогательной модели глубокого обучения, функционирующей в режиме реального времени, может найти широкое применение как в обучении техникам MIGS, так и в качестве интраоперационного руководства [45, 46]. Кроме того, методы глубокого обучения могут оказаться полезными и в других операциях по удалению глаукомы как с использованием, так и без использования MIGS. Также модели глубокого обучения способны с достаточной точностью предсказывать развитие глаукомы до начала заболевания (за 4–7 лет). Глаза с аномалиями поля зрения, но без глаукомной оптической невропатии, чаще пропускались алгоритмами глубокого обучения [46].

Заключение

Многочисленные улучшения, модификации и инновации в хирургии глаукомы за последние десятилетия повысили хирургическую безопасность и привели к более раннему и частому хирургическому вмешательству у пациентов с глаукомой, подверженных риску потери зрения. Основные достижения связаны с обширным внедрением глаукомных дренажных имплантатов,

включая дренажи отечественного производства; и с модификацией хирургических техник и разработке новых устройств MIGS, с привлечением глубокого машинного обучения для улучшения возможностей интраоперационной оптической когерентной томографии.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Zhang N., Wang J., Li Y., Jiang B. Prevalence of primary open angle glaucoma in the last 20 years: a meta-analysis and systematic review. *Sci. Rep.* 2021;11(1):13762. Doi: 10.1038/s41598-021-92971-w. [PMID: 34215769, PMCID: PMC8253788].
- Stein J.D., Khawaja A.P., Weizer J.S. Glaucoma in Adults—Screening, Diagnosis, and Management: A Review. *JAMA.* 2021;325(2):164–74. Doi: 10.1001/jama.2020.21899. [PMID: 33433580].
- Kang J.M., Tanna A.P. Glaucoma. *Med. Clin. North Am.* 2021;105(3):493–510. Doi: 10.1016/j.mcna.2021.01.004. [Epub 2021 Apr 2. PMID: 33926643].
- Sabel B.A., Lehnigk L. Is Mental Stress the Primary Cause of Glaucoma? *Clin. Monbl. Augenheilkd.* 2021;238(2):132–45. English, German. Doi: 10.1055/a-1303-8025. [Epub 2021 Feb 12, PMID: 33578436].
- Brusini P., Johnson C.A. Staging functional damage in glaucoma: review of different classification methods. *Surv. Ophthalmol.* 2007;52(2):156–79. Doi: 10.1016/j.survophthal.2006.12.008. [PMID: 17355855].
- Rao A., Padhy D., Das G., Sarangi S. Evolving Paradigms in Classification of Primary Angle Closure Glaucoma. *Semin. Ophthalmol.* 2017;32(2):228–36. Doi: 10.3109/08820538.2015.1053620. [Epub 2015 Aug 20, PMID: 26292158].
- Zhang N., Wang J., Chen B., et al. Prevalence of Primary Angle Closure Glaucoma in the Last 20 Years: A Meta-Analysis and Systematic Review. *Front. Med. (Lausanne).* 2021;7:624179. Doi: 10.3389/fmed.2020.624179. [PMID: 33537335, PMCID: PMC7847989].
- Deev I.A., Kobaykova O.S., Starodubov V.I., et al. Morbidity of the entire Russian population in 2023 with a diagnosis established for the first time in life: statistical materials. Moscow, 2024. 152 p. [Деев И.А., Кобякова О.С., Стародубов В.И. и др. Заболеваемость всего населения России в 2023 году с диагнозом, установленным впервые в жизни: статистические материалы. М., 2024. 152 с. (In Russ.)].
- Neroev V.V., Mikhailova L.A., Malishevskaya T.N., et al. Epidemiology of Glaucoma in the Russian Federation. *Russian Ophthalmological Journal.* 2024;17(3):7–12. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-3-7-12>. [Нероев В.В., Михайлова Л.А., Малишевская Т.Н. и др. Эпидемиология глаукомы в Российской Федерации. Российский офтальмологический журнал. 2024;17(3):7–12. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-3-7-12>. (In Russ.)].
- Shalaby W.S., Reddy R., Wummer B., et al. Ahmed ClearPath vs. Baerveldt Glaucoma Implant: A Retrospective Noninferiority Comparative Study. *Ophthalmol. Glaucoma.* 2024;7(3):251–9. Doi: 10.1016/j.ogla.2023.12.006. [Epub 2023 Dec 28, PMID: 38158079].
- Grover D.S., Kahook M.Y., Seibold L.K., et al. Clinical Outcomes of Ahmed ClearPath Implantation in Glaucomatous Eyes: A Novel Valveless Glaucoma Drainage Device. *J. Glaucoma.* 2022;31(5):335–9. Doi: 10.1097/IJG.0000000000002013. [Epub 2022 Mar 7, PMID: 35249988].
- Dorairaj S., Checo L.A., Wagner I.V., et al. 24-Month Outcomes of Ahmed ClearPath® Glaucoma Drainage Device for Refractory Glaucoma. *Clin. Ophthalmol.* 2022;16:2255–62. Doi: 10.2147/OPHTH.S368634. [PMID: 35859670, PMCID: PMC9289452].
- Boopathiraj N., Wagner I.V., Lentz P.C., et al. 36-Month Outcomes of Ahmed ClearPath® Glaucoma Drainage Device in Severe Primary Open Angle Glaucoma. *Clin. Ophthalmol.* 2024;18:1735–42. Doi: 10.2147/OPHTH.S467894. [PMID: 38912315, PMCID: PMC11193400].

14. Grineva M.K., Astakhov S.Yu. Drainage device "Antiglaucoma Implant A3": operating technique and application experience. *Ophthalmological Bulletin*. 2019;12(2):19–24. Doi: 10.17816/OV2019219-24. [Гринева М.К., Астахов С.Ю. Дренажное устройство «Имплантат антиглаукомный А3»: операционная техника и опыт применения. *Офтальмологические ведомости*. 2019;12(2):19–24. Doi: 10.17816/OV2019219-24. (In Russ.)].
15. Ivachev E.A. Combined Cataract and Glaucoma Surgery with Repegel A-1 Drainage Implantation. *Ophthalmosurgery*. 2024;142(1). Doi: <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2024-1-51-57>. [Ивачев Е.А. Комбинированная хирургия катаракты и глаукомы с имплантацией дренажа «Регель А-1». *Офтальмохирургия*. 2024;142(1). Doi: <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2024-1-51-57>. (In Russ.)].
16. Khusniidinov I.I., Babushkin A.E. The Effectiveness of Glaucoma Surgical Treatment Using Various Types of GlauTex Drainage. *Ophthalmology*. 2019;16(1S):91–5. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-1S-91-95>. [Хуснидинов И.И., Бабушкин А.Э. Эффективность хирургического лечения глаукомы с применением различных видов дренажа «Глаутекс». *Офтальмология*. 2019;16(1S):91–5. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2019-1S-91-95>. (In Russ.)].
17. Voykov B., Prokosch V., Lübke J. Minimally Invasive Glaucoma Surgery. *Dtsch. Arztebl. Int*. 2025;122(1):23–30. Doi: 10.3238/arztebl.m2024.0240. [PMID: 39670502, PMCID: PMC12416010].
18. Samuelson T.W., Katz L.J., Wells J.M., et al.; US iStent Study Group. 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.ophtha.2010.07.007. [Epub 2010 Sep 15, PMID: 20828829].
19. Kozera M., Konopińska J., Mariak Z., Rękas M. Effectiveness of iStent Trabecular Microbypass System Combined with Phacoemulsification versus Phacoemulsification Alone in Patients with Glaucoma and Cataract Depending on the Initial Intraocular Pressure. *Ophthalmic. Res*. 2021;64(2):327–36. Doi: 10.1159/000511456. [Epub 2020 Sep 9, PMID: 32906138].
20. Fea A.M. Phacoemulsification versus phacoemulsification with micro-bypass stent implantation in primary open-angle glaucoma: randomized double-masked clinical trial. *J. Cataract. Refract. Surg*. 2010;36(3):407–12. Doi: 10.1016/j.jcrs.2009.10.031. [PMID: 20202537].
21. Lenzhofer M, H.ohensinn M., Strohmaier C., Reitsamer H.A. Subconjunctival minimally invasive glaucoma surgery : Methods and clinical results. *Ophthalmologie*. 2018;115(5):381–7. German. Doi: 10.1007/s00347-018-0669-1. [PMID: 29500714].
22. Kasahara M., Shoji N. Effectiveness and limitations of minimally invasive glaucoma surgery targeting Schlemm's canal. *Jpn. J. Ophthalmol*. 2021;65(1):6–22. Doi: 10.1007/s10384-020-00781-w. [Epub 2020 Nov 5, PMID: 33150512].
23. Laroche D., Nkrumah G., Ng C. Real-world efficacy of the Hydrus microstent in Black and Afro-Latinx patients with glaucoma: a retrospective study. *Ther. Adv. Ophthalmol*. 2020;12:2515841420964311. Doi: 10.1177/2515841420964311. [PMID: 33150299, PMCID: PMC7580146].
24. Pfeiffer N., Garcia-Fejoo J., Martinez-de-la-Casa J.M., 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. [Epub 2015 May 9, PMID: 25972254].
25. Jea S.Y., Mosaed S., Vold S.D., Rhee D.J. Effect of a failed trabectome on subsequent trabeculectomy. *J Glaucoma*. 2012;21(2):71–5. Doi: 10.1097/JG.0b013e31820bcfda. [PMID: 21336149].
26. Fayzrakhmanov R.R., Kalinin M.E., Pavlovsky O.A., Bosov E.D. Results of the use of anterior chamber angle plasticity in patients with glaucoma and cataract. *Modern problems of science and education*. 2023;3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32634> (date of access: 02.12.2025). Doi: <https://doi.org/10.17513/spno.32634>. [Файзрахманов Р.Р., Калинин М.Е., Павловский О.А., Босов Э.Д. Результаты применения пластики угла передней камеры у пациентов с глаукомой и катарактой. *Современные проблемы науки и образования*. 2023;3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32634> (дата обращения: 02.12.2025). Doi: <https://doi.org/10.17513/spno.32634>. (In Russ.)].
27. Laroche D., Anugo D., Ng C., Ishikawa H. Intra-Scleral Ciliary Sulcus Suprachoroidal Microtube: Making Supraciliary Glaucoma Surgery Affordable. *J. Natl. Med. Assoc*. 2019;111(4):427–35. Doi: 10.1016/j.jnma.2019.02.003. [Epub 2019 Mar 27, PMID: 30926218].
28. Laroche D., Nkrumah G., Ng C. Real-world efficacy of the intrascleral ciliary sulcus suprachoroidal microtube technique in Black and Afro-Latinx patients with glaucoma: a 1-year retrospective study. *Ther. Adv. Ophthalmol*. 2023;15:25158414221147445. Doi: 10.1177/25158414221147445. [PMID: 36714383, PMCID: PMC9880568].
29. Tan N.E., Tracer N., Terraciano A., et al. Comparison of safety and efficacy between ab interno and ab externo approaches to XEN gel stent placement. *Clin. Ophthalmol*. 2021;15:299. Doi: 10.2147/OPTH.S292007.
30. Do A., McGlumphy E., Shukla A., et al. Comparison of Clinical Outcomes with Open Versus Closed Conjunctiva Implantation of the XEN45 Gel Stent. *Ophthalmol. Glaucoma*. 2021;4:343–9. Doi: 10.1016/j.ogla.2020.12.003.
31. Gallardo M.J., Vincent L.R., Porter M. Comparison of Clinical Outcomes Following Gel Stent Implantation via Ab-Externo and Ab-Interno Approaches in Patients with Refractory Glaucoma. *Clin. Ophthalmol*. 2022;16:2187–97. Doi: 10.2147/OPTH.S354038.
32. Ucar F., Cetinkaya S. Xen implantation in patients with primary open-angle glaucoma: Comparison of two different techniques. *Int. Ophthalmol*. 2020;40:2487–94. Doi: 10.1007/s10792-020-01427-z.
33. Vera V., Gagne S., Myers J.S., Ahmed I.I.K. Surgical Approaches for Implanting Xen Gel Stent without Conjunctival Dissection. *Clin. Ophthalmol*. 2020;14:2361–71. Doi: 10.2147/OPTH.S265695.
34. Belamkar A., Harris A., Zukerman R., et al. Sustained release glaucoma therapies: Novel modalities for overcoming key treatment barriers associated with topical medications. *Ann. Med*. 2022;54:343–58. Doi: 10.1080/07853890.2021.1955146.
35. Clinical Study Comparing Two Models of a Travoprost Intraocular Implant.; Available online: <https://ClinicalTrials.gov/show/NCT03868124>.
36. Randomized Study Comparing Two Models of a Travoprost Intraocular Implant to Timolol Maleate Ophthalmic Solution, 0.5% [(accessed on 10 March 2023)]; Available online: <https://ClinicalTrials.gov/show/NCT03519386>.
37. Lewis C. Glaukos Announces Positive Topline Outcomes for Both Phase 3 Pivotal Trials of iDose TR, Achieving Primary Efficacy Endpoints and Demonstrating Favorable Tolerability and Safety Profiles. *Business Wire*; San Francisco, CA, USA: 2022.
38. Schultz T., Schojai M., Kersten-Gomez I., et al. Ab externo device for the treatment of glaucoma: Direct flow from the anterior chamber to the ocular surface. *J. Cataract. Refract. Surg*. 2020;46:941–3. Doi: 10.1097/j.jcrs.000000000000202.
39. Early Evaluation of the Beacon Aqueous Microshunt in Patients Refractory to Drug Therapy in the European Union. [(accessed on 10 March 2023)]; Available online: <https://ClinicalTrials.gov/show/NCT03634319>.
40. Geffen N., Kumar D.A., Barayev E., et al. Minimally Invasive Micro Sclerostomy (MIMS) Procedure: A Novel Glaucoma Filtration Procedure. *J. Glaucoma*. 2022;31:191–200. Doi: 10.1097/JG.0000000000001955.
41. Lazcano-Gomez G., Garg S.J., Yeu E., Kahook M.Y. Interim Analysis of STREAMLINE® Surgical System Clinical Outcomes in Eyes with Glaucoma. *Clin. Ophthalmol*. 2022;16:1313–20. Doi: 10.2147/OPTH.S358871.
42. STREAMLINE®SURGICAL SYSTEM Compared to iStent Inject W® in Patients With Open-Angle Glaucoma (VENICE) [(accessed on 10 March 2023)]; Available online: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT05280366>.

43. Titiyal J.S., Kaur M., Nair S., Sharma N. Intraoperative optical coherence tomography in anterior segment surgery. *Surv. Ophthalmol.* 2021;66:308–26. Doi: 10.1016/j.survophthal.2020.07.001.
44. Xu B.Y., Chiang M., Chaudhary S., et al. Deep Learning Classifiers for Automated Detection of Gonioscopic Angle Closure Based on Anterior Segment OCT Images. *Am. J. Ophthalmol.* 2019;208:273–80. Doi: 10.1016/j.ajo.2019.08.004. [Epub 2019 Aug 22, PMID: 31445003, PMCID: PMC6888901].
45. Thakur A., Goldbaum M., Yousefi S. Predicting Glaucoma before Onset Using Deep Learning. *Ophthalmol. Glaucoma.* 2020;3:262–8. Doi: 10.1016/j.ogla.2020.04.012.
46. Lin K.Y., Urban G., Yang M.C., et al. Accurate Identification of the Trabecular Meshwork under Gonioscopic View in Real Time Using Deep Learning. *Ophthalmol. Glaucoma.* 2022;5:402–12. Doi: 10.1016/j.ogla.2021.11.003.

Поступила 08.12.2025

Получены положительные рецензии 14.01.26

Принята в печать 24.01.26

Received 08.12.2025

Positive reviews received 14.01.26

Accepted 24.01.26

Вклад авторов: все авторы внесли равноценный вклад в написание статьи.

Contributions of the authors: All authors contributed equally to the writing of the article.

Информация об авторах:

Теуважужкова Диана Арсеновна — врач-офтальмолог Республиканской клинической больницы, ассистент кафедры общей хирургии медицинского факультета Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова.

Адрес: 360004, Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: di.teu.00@mail.ru. ORCID: orcid.org/0000-0002-2025-0045

Арутюнян Лусине Левоновна — д.м.н., профессор кафедры офтальмологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России. Адрес: 125993, г. Москва, ул. Баррикадная, д.2/1, стр. 1; заведующая диагностическим отделением ООО Глазной центр «Восток-Прозрение». e-mail: luslev@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-9356-6526

Тлупова Тамара Гумаровна — к.м.н., доцент курса офтальмологии кафедры общей хирургии медицинского факультета Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова. Адрес: 360004, Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: ttlupova@gmail.com. ORCID: orcid.org/0000-0002-8231-7348

Information about the authors:

Teuvazhukova Diana A. — ophthalmologist, assistant at the Department of General Surgery, Faculty of Medicine, Kabardino-Balkarian State University H.M. Berbekova. Address: 360004, Nalchik, Chernyshevskogo Street, 173; e-mail: di.teu.00@mail.ru. ORCID: 0000-0002-2025-0045.

Arutyunyan L.L. — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Ophthalmology of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of Russia. Address: 125993, Moscow, Barrikadnaya Street, 2/1, Building 1; Head of the Diagnostic Department of LLC Eye Center «Vostok-Ozrenie». e-mail: luslev@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-9356-6526

Tlupova Tamara G. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Course of Ophthalmology, Department of General Surgery, Faculty of Medicine, Kabardino-Balkarian State University. H.M. Berbekova. Address: 360004, Nalchik, Chernyshevskogo Street, 173; e-mail: ttlupova@gmail.com. ORCID: 0000-0002-8231-7348