

Эффективность микроинвазивной хирургии глаукомы (обзор международного опыта)

Мовсисян А.Б., врач-офтальмолог¹, аспирант, ассистент кафедры офтальмологии²;
orcid.org/0000-0001-8233-0385

ЕГОРОВ А.Е., д.м.н., профессор, профессор кафедры офтальмологии имени академика А.П. Нестерова²,
заведующий офтальмологическим отделением¹; orcid.org/0000-0003-2637-1830

КУРОЕДОВ А.В., д.м.н., профессор кафедры офтальмологии², начальник офтальмологического центра³;
orcid.org/0000-0001-9606-0566

¹ГБУЗ «Госпиталь для ветеранов войн №2 ДЗМ», 109472, Российская Федерация, Москва, Волгоградский пр-т, 168;

²ФГБОУ ВО «РНИМУ им. Н.И. Пирогова» Минздрава РФ, 117997, Российская Федерация, Москва, ул. Островитянова, 1;

³ФГУ «Центральный военный клинический госпиталь им. П.В. Мандрыка» Минобороны РФ,
107014, Российская Федерация, Москва, ул. Большая Оленья, владение 8а.

Финансирование: авторы не получали финансирование при проведении исследования и написании статьи.

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Мовсисян А.Б., Егоров А.Е., Куроедов А.В. Эффективность микроинвазивной хирургии глаукомы (обзор международного опыта). *Национальный журнал глаукома*. 2022; 21(4):56-63.

Резюме

Тенденции последних лет в отношении оперативного лечения органа зрения и его придаточного аппарата направлены на минимизацию травматичности хирургических манипуляций, сокращение времени их проведения, а также достижение наилучшего возможного ожидаемого для врача и пациента результата при минимальных экономических затратах. Ведущим вектором в лечении глаукомы по настоящее время остается достижение целевого уровня внутриглазного давления (ВГД). Учитывая прогнозируемый рост числа пациентов с глаукомой, проведение оправданного оперативного лечения будет оставаться актуальным и в будущем. Настоящее подталкивает к созданию новых лекарственных препаратов, средств их доставки и хирургических

методик с улучшенным профилем безопасности при достижении эффективного снижения ВГД. В связи с этим тренды развития хирургического лечения глаукомы сместились в сторону процедур с минимальной травматизацией тканей глаза — минимально инвазивной хирургией глаукомы (МИГХ, *minimal invasive glaucoma surgery* — MIGS). В статье рассмотрены современные разновидности MIGS-хирургии, теоретические и практические аспекты их применения (эффективность и профиль безопасности), а также перспективы использования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: глаукома, хирургия глаукомы, минимально инвазивная хирургия глаукомы, дренажные устройства.

Для контактов:

Мовсисян Анна Борисовна, e-mail: anna.movs@inbox.ru

LITERATURE REVIEW

Effectiveness of minimally invasive glaucoma surgery (review of international experience)

MOVSISYAN A.B., Ophthalmologist¹, Postgraduate student, Assistant Professor at the Academic Department of Ophthalmology²; orcid.org/0000-0001-8233-0385

EGOROV A.E., Dr. Sci. (Med.), Professor at the Academic Department of Ophthalmology named after Academician A.P. Nesterov², Head of the Ophthalmology Department¹; orcid.org/0000-0003-2637-1830

KUROVEDOV A.V., Dr. Sci. (Med.), Professor at the Academic Department of Ophthalmology²; Head of the Ophthalmology Center³; orcid.org/0000-0001-9606-0566

¹Hospital for War Veterans No. 2, 168 Volgogradskiy Prospekt, Moscow, Russian Federation, 109472;

²Pirogov Russian National Research Medical University, 1 Ostrovityanova St., Moscow, Russian Federation, 117997;

³P.V. Mandryka Central Military Clinical Hospital, 8A Bolshaya Olenya St., Moscow, Russian Federation, 107014.

Funding: the authors received no specific funding for this work.

Conflicts of Interest: none declared.

For citations: Movsisyan A.B., Egorov A.E., Kurovedov A.V. Effectiveness of minimally invasive glaucoma surgery (review of international experience). *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2022; 21(4):56-63.

Abstract

The trends of recent years regarding the surgical treatment of the visual organ and its appendages are to minimize tissue traumatization during surgical manipulations, reduce their duration, as well as achieve the best possible outcome from the points of view of the doctor and the patient at minimal economic costs. Currently, the leading vector in glaucoma treatment remains the achievement of the target level of intraocular pressure (IOP). Taking into account the projected increase in the number of patients with glaucoma, conducting justified surgical treatment will remain relevant in the future. Its present state prompts

the creation of new drugs, new means of their delivery, and surgical techniques with improved safety profile while achieving effective IOP reduction. In this regard, the trends in the development of surgical treatment of glaucoma have shifted towards procedures with minimal trauma to the eye tissues — minimally invasive glaucoma surgery (MIGS). The article discusses modern varieties of MIGS, theoretical and practical aspects of their application (effectiveness and safety profile), as well as prospects of their use.

KEYWORDS: glaucoma, glaucoma surgery, minimally invasive glaucoma surgery, drainage devices.

Тенденции последних лет в отношении оперативного лечения органа зрения и его придаточного аппарата направлены на минимизацию травмы тканей при выполнении хирургических манипуляций, сокращение времени их проведения, а также достижение наилучшего возможного ожидаемого для врача и пациента результата при минимальных экономических затратах [1–5]. Ведущим вектором в лечении глаукомы по настоящее время остается достижение целевого уровня внутриглазного давления (ВГД) для замедления и/или уменьшения повреждения зрительного нерва, характеризующегося снижением зрительных функций [6]. Нарушение приверженности к применению местной гипотензивной терапии и динамическому контролю офтальмотонуса являются одними из ведущих причин быстро прогрессирующей глаукомной оптиконейропатии [7]. По данным

мультицентровых исследований, за последние десятилетия в лечении глаукомы отмечается рост числа лазерных вмешательств и применения комбинированных гипотензивных капель, а также неоправданное снижение числа хирургических антиглаукомных вмешательств [8]. Такая инверсия может быть связана с высокими рисками осложнений при проведении оперативных вмешательств фистулизирующего типа и сравнительно невысокой эффективностью, но большей безопасностью непроникающих вмешательств [9]. С учетом прогнозируемого роста числа пациентов с глаукомой [10], проведение оправданного оперативного лечения будет оставаться актуальным и в будущем. Настоящее подталкивает к созданию новых лекарственных препаратов, средств их доставки и хирургических методик с улучшенным профилем безопасности при достижении эффективного снижения ВГД. В связи

Таблица 1. Разновидности и устройства для MIGS.
Table 1. Types of MIGS and the devices they use.

Трабекулярные <i>Trabecular</i>	Супрахориоидальные <i>Suprachoroidal</i>	Субконъюнктивальные <i>Subconjunctival</i>	Циклодеструктивные <i>Ciliary body coagulation</i>
Стентовые / Stenting iStent Trabecular Micro-Bypass Stent iStent inject Hydrus Microstent Трабекулотомия / Trabeculotomy Трабекулотомия ab interno <i>Ab interno trabeculotomy</i> Эксимерлазерная трабекулотомия <i>Excimer laser trabeculotomy</i> Транслюминальная трабекулотомия под гониоскопическим контролем <i>Gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy, GATT</i> Kahook Dual Blade (KDB) Дилатационные / Dilatating Каналопластика ab interno <i>Ab interno canaloplasty, ABiC</i>	iStentSupra MINject CyPass Micro-Stent*	Xen Gel Implant PRESERFLO MicroShunt	Высокоинтенсивная фокусная ультразвуковая циклокоагуляция / <i>High-Intensity Focused Ultrasound cyclocoagulation</i> Микроимпульсная диодлазерная циклофотокоагуляция <i>Micropulse diode laser cyclophotocoagulation</i> Эндоциклофотокоагуляция <i>Endocyclophotocoagulation</i>

Примечание: * — в настоящее время не используется, отозвано производителем.

Note: * — currently not in use, recalled by the manufacturer.

с этим тренды развития хирургического лечения глаукомы сместились в сторону процедур с минимальной травматизацией тканей глаза — минимально инвазивной глаукомной хирургии (МИГХ, *minimal invasive glaucoma surgery — MIGS*) [11].

Разнообразие и эффективность MIGS-хирургии

Термин MIGS впервые был озвучен в докладе Ahmed I.I. в 2008 г. Методика изначально предполагала проведение хирургии *ab interno* с установкой стента в шлеммов канал. За последние 10 лет произошло расширение методик, относящихся к MIGS [12, 13]. Согласно данным Medicare, интерес к микроинвазивной хирургии глаукомы резко возрос за последние 8 лет, при этом количество процедур MIGS в США увеличилось не менее чем на 400% [14]. Вмешательства MIGS классифицируются по отношению к физиологическим механизмам и анатомическим участкам приложения на трабекулярные, супрахориоидальные, субконъюнктивальные, при которых создается дренажный путь в субтенозово пространство, и циклодеструктивные [13]. Каждый вид MIGS имеет свои преимущества и ограничения, а также включают несколько методов или устройств, имеющие технические или размерные вариации (табл. 1).

Трабекулярные шунты и шлеммов канал

Трабекулярный путь оттока является основным и обеспечивает прохождение внутриглазной жидкости (ВГЖ) через шлеммов канал, выводящие коллекторы (выпускники) и далее в эписклеральные вены. При первичной открытоугольной глаукоме сопротивление оттоку жидкости по трабекулярной сети увеличивается ввиду изменения внеклеточного матрикса и последующего ремоделирования выводящих путей [15, 16]. Обход места повышенного сопротивления оттоку (часто считающегося первичным местом сопротивления) и усиление основного физиологического пути оттока являются двумя принципами, лежащими в основе шунтирования трабекулярной сети или ее абляции, то есть путем простого удаления всей трабекулярной сети или ее части [13].

Недавние исследования показали, что повышение ВГД при первичной открытоугольной глаукоме может быть вызвано комбинацией 3 факторов: нарушением проницаемости трабекулярной сети на всем протяжении, коллапсом шлеммова канала и сопротивлением оттоку жидкости, связанного с обструкцией коллекторных каналов [17–19]. В связи с этим другая подкатегория MIGS нацелена на шлеммов канал с целью восстановления его функции и открытия закрытых собирающих

каналов. Для расширения шлеммова канала использовались два подхода: механическое расширение с использованием временной или рассасывающейся среды и использование постоянного имплантируемого каркаса [13].

Несмотря на теоретически разные подходы, эти две подкатегории MIGS физиологически связаны. Несмотря на то, что последняя группа непосредственно воздействует на шлеммов канал, вызывая его расширение и восстанавливая дистальную способность оттока, первая группа, связанная с воздействием на трабекулярную сеть, производит аналогичный эффект. Имеются сообщения о сопоставимости снижения ВГД после имплантации шунта в трабекулярную сеть и при дилатации шлеммова канала [20]. Однако оба этих подхода имеют одно и то же ограничение: зависимость от сохранности дистального оттока и эписклерального венозного давления (в норме 8–10 мм рт.ст.) [21], что обуславливает ограничения по снижению ВГД. В устройствах MIGS для шлеммова канала риск гипотонии значительно снижается, так как послеоперационное ВГД не может упасть ниже эписклерального венозного давления, а в случае снижения ВГД ниже эписклерального венозного давления существует высокий риск рефлюкса крови в переднюю камеру с развитием гифемы, которая представляет собой наиболее частое послеоперационное осложнение [22]. Это поднимает вопрос о важности смещения развития MIGS в сторону воздействия на коллекторные каналы. При этом большинство процедур MIGS продолжают выполняться в верхнем назальном квадранте как по практическим причинам, так и для воздействия на большее количество коллекторных каналов [23].

Супрахориоидальные шунты

Физиологическая доля ВГЖ, дренируемой через супрахориоидальное пространство, колеблется от 4% до 60% [24], при этом с возрастом активность этого пути снижается [25]. Супрахориоидальный отток обеспечивается комбинацией относительной проницаемости цилиарного тела, которое является местом основного сопротивления увеосклерального пути, и существованием градиента гидростатического давления через переднюю камеру, супрацилиарное пространство и супрахориоидальное пространство [26, 27]. Считается, что отрицательный градиент возникает ввиду быстрого всасывания жидкости из супрахориоидального пространства в хорошо развитую хориоидальную сосудистую сеть [28, 29]. Еще одной особенностью увеосклерального пути является то, что отток ВГЖ по ней не зависит от уровня офтальмотонуса и сохраняет свое влияние в широком диапазоне ВГД (от 4 до 35 мм рт.ст.) [30].

Эти характеристики предполагают исключение сложностей, характерных для традиционного пути — снижение роли дистального сопротивления и ограничение в ожидаемом снижении ВГД в послеоперационном периоде. При этом потенциально большая способность оттока при таком подходе теоретически может быть связана с более высоким риском гипотонии и отслойки хориоидеи, особенно у пациентов с длительным анамнезом терапии аналогами простагландинов, хотя такие случаи встречались очень редко [31]. Кроме того, оценивая данный подход MIGS с практической точки зрения, нельзя не отметить, что супрахориоидальное пространство может быть менее доступно и визуализируемо хирургом, чем трабекулярная сеть [13].

Фильтрация через субконъюнктивальное пространство

MIGS, направленная на фильтрацию ВГЖ, как правило, через стент в субконъюнктивальное пространство, не носит физиологический характер и направлена на создание ятрогенного пути оттока ВГЖ из передней камеры в субтеноновое пространство. Такая искусственно созданная фильтрация под ткани конъюнктивы заканчивается реабсорбцией жидкости через субконъюнктивальные капилляры [13]. В целом эта категория MIGS имеют много общего с операциями фильтрующего типа как в отношении преимуществ, так и рисков. Одним из основных преимуществ субконъюнктивальной фильтрации является именно то, что она не влияет непосредственно ни на один из путей оттока ВГЖ, сохраняя, таким образом, физиологическую фильтрацию. Другим значительным преимуществом является отсутствие зависимости от эписклерального венозного давления или супрахориоидального градиента давления для достижения фильтрации, а фильтрующая способность связана только с сопротивлением оттоку стента и субконъюнктивального пространства [13, 32]. Следовательно, они потенциально могут обеспечить более низкое ВГД, чем категории MIGS, направленные на физиологические подходы. Однако сопротивление оттоку зависит от особенностей пациента: важным фактором, влияющим на резистентность, является рубцевание и фиброз конъюнктивы, которые напрямую связаны со значительной долей неэффективности операций фильтрующего типа [32, 33].

Помимо вышеуказанных причин неудач, другие риски могут быть связаны с особенностями фильтрационной подушки: ее несостоятельность, «подтекание» жидкости, блебит, эндофтальмит [13]. Имеются данные о высокой частоте осложнений после имплантации XEN [34]. Неотъемлемыми рисками данной категории MIGS, связанными с особенностями самих устройств, также являются развитие гипотонии, закупорки и смещения стента [13].

Циклодеструктивное воздействие

Снижение продукции водянистой влаги является перспективным направлением как альтернативой оперативному лечению некомпенсированной глаукомы, направленной на физиологический пути оттока ВГЖ. Циклодеструктивные операции основаны на температурном воздействии на пигментированные структуры и индукции коагуляционного некроза тканей цилиарного тела [13]. Долгое время данный метод применялся исключительно при рефрактерной глаукоме и в глазах с выраженным болевым синдромом без зрительных функций. В основном это было связано с высоким риском выраженного хронического послеоперационного воспаления, болевого синдрома при проведении данной операции, гипотонии в послеоперационном периоде и возможной потери зрения. Со временем изменения в понимании необходимого объема энергетического воздействия с последующим уменьшением травматизации окружающих тканей позволили более целенаправленно проводить вмешательство, снизив частоту развития осложнений [13, 15, 35]. Данная процедура может проводиться как трансклерально, так и *ab interno* [13]. В зарубежной литературе имеются предположения о том, что значительное перилимбальное воспаление конъюнктивы и рубцевание, вызванное трансклеральной циклофотокоагуляцией, могут повлиять на результат последующих фильтрационных операций, что ставит под сомнение показания этого типа лечения в качестве первичного вмешательства [31]. Однако, по отечественным данным, эти изменения напрямую зависят от объема энергетического воздействия: при правильном подборе режима дозирования суммарной мощности воздействия изменения периокулярных тканей не наблюдается [15, 35, 36].

Место MIGS-хирургии в алгоритмах лечения глаукомы

Согласно клиническим рекомендациям, при неэффективности медикаментозного лечения, а также наличии противопоказаний или непереносимости глазных капель показано проведение хирургического антиглаукомного вмешательства [15, 37].

В последнее десятилетие разработано множество как хирургических, так и лазерных методик MIGS [13]. Изначально MIGS-хирургия подразумевала свое применение при начальной и развитой стадиях глаукомного процесса, однако, в настоящее время возможно ее применение при далекозашедшей стадии процесса, а также при сочетанных вмешательствах при экстракции катаракты [13, 32]. Проведение вмешательств непроникающего типа позволяет контролируемо снижать уровень

ВГД до целевого уровня при помощи дополнительной инстилляцией гипотензивных капель, с помощью лазерных манипуляций или проведения механической модификации фильтрующей «системы» [32]. Снижение бремени постоянной инстилляцией глазных капель пациентами благоприятно влияет на качество жизни пациента, в том числе и в отношении снижения экономических затрат на лечение [38]. По этой причине технологию MIGS можно рассматривать как альтернативу и/или дополнение местной гипотензивной терапии для пациентов с начальной и развитой стадиями глаукомы, а также вспомогательный компонент лечения при далекозашедшей глаукоме.

При сравнении различных стентов, используемых для лечения глаукомы, наиболее важными учитывать следующие факторы: являются ли контроль ВГД краткосрочным или долгосрочным, требуется ли дополнительное использование гипотензивных препаратов и возможные послеоперационные осложнения [39]. Степень снижения ВГД является важнейшим показателем успешной терапии глаукомы, поскольку ВГД является единственным известным управляемым фактором риска прогрессирования заболевания [6]. Таким образом, снижение ВГД служит важной мерой хирургического успеха и хорошим показателем эффективности работы дренажного устройства у пациентов с глаукомой.

Ввиду вышесказанного, обычные имплантаты для лечения глаукомы обычно предпочтительнее для пациентов с рефрактерной глаукомой, а устройства MIGS в настоящее время следует рассматривать, когда цели снижения ВГД являются более скромными и глаукома диагностирована впервые. Причина этого заключается в том, что при использовании большинства устройств MIGS достигается меньшее снижение ВГД по сравнению с более традиционными операциями фильтрующего типа и при использовании дренажей [13, 32, 39]. Возможным исключением из этого является PRESERFLO MicroShunt, субконъюнктивальное устройство MIGS, которое может быть столь же эффективным, как и обычные имплантаты для снижения ВГД [13, 32, 39]. В устройствах MIGS для шлеммова канала риск гипотонии значительно снижается, так как послеоперационное ВГД не может упасть ниже эписклерального венозного давления, что является основным преимуществом таких устройств MIGS [22]. Однако по той же причине следует избегать устройств шлеммова канала в глаукоматозных глазах с повышенным эписклеральным венозным давлением, поскольку они дают неудовлетворительные результаты с точки зрения снижения ВГД [13, 32, 39].

Другим важным ограничением MIGS с применением стентов, оптимизирующих отток жидкости по физиологическим путям, может быть чрезмерный процесс репарации тканей, который может

приводить к обструкции устройства, что впоследствии приводит к увеличению ВГД и необходимости дополнительных вмешательств. Также, учитывая малый диаметр просвета стента, он подвержен наиболее высокому риску закупорки фибрином, пигментом радужной оболочки, кровью, стекловидным телом и/или фрагментами хрусталика [39].

До сих пор имеются только ограниченные данные о долгосрочной эффективности и безопасности MIGS. Кроме того, отсутствие стандартизации и достаточного числа рандомизированных контролируемых исследований, а также отсутствие полного понимания выбора той или иной категории вмешательств для пациента затрудняют получение надежных выводов. При этом одновременное применение различных методов лечения в клинических исследованиях имплантатов MIGS, например, в сочетании с операцией по удалению катаракты, затрудняет правильную оценку и сравнение полученных результатов, а большинство экономических исследований не учитывают качество жизни и косвенные затраты, например, связанные с послеоперационными осложнениями и последующим наблюдением [13, 32, 39]. Все эти факторы затрудняют возможность полного понимания и определения места MIGS-хирургии в алгоритмах лечения глаукомы.

Возможности и перспективы MIGS-хирургии

За последнее десятилетие все большую актуальность приобретает вопрос о выборе лечения, ориентированного на пациента и основанного на данных доказательной медицины. Чтобы обеспечить более объективные критерии в оценке хирургии глаукомы и лучше оценивать эффективность инноваций, была установлена цель «10-10-10». В соответствии с этими критериями идеальная хирургическая техника должна занимать менее 10 минут, обеспечивать постоянное достижение ВГД 10 мм рт.ст. и быть эффективной в течение более 10 лет без каких-либо значительных осложнений. Эти цели изначально были поставлены с целью их достижения к 2020 году [40]. Обычная хирургическая процедура обычно занимает гораздо больше времени. При этом MIGS в настоящее время не является достаточно простой процедурой, которую каждый хирург, выполняющий антиглаукомные операции, может выполнить менее чем за 10 минут. С точки зрения потенциала снижения ВГД, учитывая, что среднестатистический кандидат на MIGS-вмешательство имеет предоперационное

ВГД в диапазоне от 20 до 25 мм рт.ст., для достижения целевого послеоперационного давления требуется снижение не менее чем на 10 мм рт.ст. [39, 40].

В этой связи ожидается появление новых технологий, включающих новые устройства, которые представляют собой варианты существующих методов либо совершенно новые подходы, такие как устройства с лекарственным покрытием или «поверхностные» шунты глаза [39]. Разработка новых способов применения антифибротических средств для этих устройств наиболее целесообразна. В качестве альтернативы может быть предложено использование оптимальных биосовместимых материалов, вызывающих минимальную реакцию тканей.

Также ведутся исследования в отношении профиля безопасности и эффективности субконъюнктивальных устройств [13, 32, 39, 40]. Чтобы уменьшить воспалительную реакцию на субконъюнктивальные устройства MIGS, как альтернативу местной интраоперационной аппликации растворов антиметаболитов предлагается пропитывать антиметаболитом биодеградируемую пленку, которую помещают в субконъюнктивальное пространство в момент имплантации устройства. В послеоперационном периоде биоразлагаемая пленка высвобождает антиметаболит контролируемым образом, что может улучшить реакцию тканей [39]. Другим фактором, влияющим на местную реакцию, является структура поверхности имплантата, так как он представляет собой основное место взаимодействия с окружающей тканью [13, 32, 39]. Таким образом, правильное регулирование топографических особенностей, а также тканевой реакции на имплант может дополнительно улучшить процесс заживления послеоперационной раны.

В будущем снижение частоты послеоперационных осложнений и повышение профиля безопасности существующих устройств MIGS при сохранении эффективного снижения ВГД может быть достигнуто за счет:

- 1) внедрения механизма контроля оттока ВГЖ, который должен обеспечивать очень точную «настройку» уровня ВГД, адаптированную в соответствии с потребностями каждого пациента с учетом целевых значений офтальмотонуса и профилактики гипотонии;
- 2) использования систем доставки лекарственных средств, которые высвобождают антифибротические агенты контролируемым и пролонгированным образом;
- 3) оптимизации топографии поверхности и расположения имплантата.

Литература

1. Cai C.X., Wang J., Ahmad S., et al. National trends in surgical subspecialisation in ophthalmology in the USA. *Br J Ophthalmol* 2022. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-320295>
2. Ong H.S., Ang M., Mehta J. Evolution of therapies for the corneal endothelium: past, present and future approaches. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(4):454-467. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316149>
3. Grajewski L., Grajewski O., Carstens J., Krause L. Incidence of Retinal Detachment after Macular Surgery. *Klin Monbl Augenheilkd* 2021; 238(5):580-583. <https://doi.org/10.1055/a-1353-5436>
4. Marcos S., Martinez-Enriquez E., Vinas M. et al. Simulating Outcomes of Cataract Surgery: Important Advances in Ophthalmology. *Annu Rev Biomed Eng.* 2021; 23:277-306. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-082420-035827>
5. Luebke J., Boehringer D., Anton A. et al. Trends in Surgical Glaucoma Treatment in Germany Between 2006 and 2018. *Clin Epidemiol* 2021; 13:581-592. <https://doi.org/10.2147/CLEP.S310542>
6. ICO Guidelines for Glaucoma Eye Care. International Council of Ophthalmology; 2016.
7. Диордийчук С.В., Куроедов А.В., Фомин Н.Е. и др. Своевременная диагностика и влияние приверженности лечению на прогноз и прогрессирование глаукомной оптической нейропатии. *РМЖ Клиническая офтальмология* 2021; 21(1):34-39. <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2021-21-1-34-39>
8. Абышева Л.Д., Александров А.С., Арапиев М.У. и др. Оптимизация лечебно-диагностического процесса у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. *Национальный журнал глаукома* 2016; 15(2):19-35.
9. Петров С.Ю., Вострухин С.В., Асламзова А.Э., Шерстнева Л.В. Современная микроинвазивная хирургия глауком. *Вестник офтальмологии* 2016; 132(3):96-102. <https://doi.org/10.17116/oftalma2016132396-102>
10. Мовсисян А.Б., Куроедов А.В., Архаров М.А. и др. Эпидемиологический анализ заболеваемости и распространенности первичной открытоугольной глаукомы в Российской Федерации. *РМЖ Клиническая офтальмология* 2022; 22(1):3-10. <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2022-22-1-3-10>
11. Петров С.Ю. Принципы современной хирургии глаукомы согласно IV изданию Европейского глаукомного руководства (аналитический комментарий). *РМЖ Клиническая офтальмология* 2017; 18(3):184-189.
12. Saheb H., Ahmed I.I. Micro-invasive glaucoma surgery: current perspectives and future directions. *Curr Opin Ophthalmol* 2012; 23(2):96-104.
13. Minimally Invasive Glaucoma Surgery. Editors: Chelvin C. A. Sng., Keith Barton. Springer Nature, 2021: 204. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-5632-6>
14. Birnbaum F.A., Neeson C., Valle D.S. Microinvasive Glaucoma Surgery: An Evidence-Based Review. *Semin Ophthalmol* 2021; 36(8):772-786. <https://doi.org/10.1080/08820538.2021.1903513>
15. Национальное руководство по глаукоме для практикующих врачей. Под ред. Е.А. Егоров, В.П. Еричева. М: ГЭОТАР-Медиа 2019; 384.
16. Старикова Д.И., Чурносков М.И. Современные представления о молекулярных основах этиопатогенеза первичной открытоугольной глаукомы. *Офтальмохирургия* 2017; (3):80-83. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2017-3-80-83>
17. Andrew N.H., Akkash S., Casson R.J. A review of aqueous outflow resistance and its relevance to micro-invasive glaucoma surgery. *Surv Ophthalmol* 2020; 65:18-31. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2019.08.002>
18. Ellingsen B.A., Grant W.M. Trabeculotomy and sinusotomy in enucleated human eyes. *Invest Ophthalmol* 1972; 11:21-28.
19. Hann C.R., Vercnocke A.J., Bentley M.D., Jorgensen S.M., Fautsch M.P. Anatomic changes in Schlemm's canal and collector channels in normal and primary open-angle glaucoma eyes using low and high perfusion pressures. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55:5834-5841. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-14128>
20. Gillmann K., Bravetti G.E., Mermoud A. et al. A prospective analysis of iStent inject microstent positioning: Schlemm canal dilatation and intraocular pressure correlations. *J Glaucoma* 2019; 28:613-621. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001273>

References

1. Cai C.X., Wang J., Ahmad S., et al. National trends in surgical subspecialisation in ophthalmology in the USA. *Br J Ophthalmol* 2022. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2021-320295>
2. Ong H.S., Ang M., Mehta J. Evolution of therapies for the corneal endothelium: past, present and future approaches. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(4):454-467. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316149>
3. Grajewski L., Grajewski O., Carstens J., Krause L. Incidence of Retinal Detachment after Macular Surgery. *Klin Monbl Augenheilkd* 2021; 238(5):580-583. <https://doi.org/10.1055/a-1353-5436>
4. Marcos S., Martinez-Enriquez E., Vinas M. et al. Simulating Outcomes of Cataract Surgery: Important Advances in Ophthalmology. *Annu Rev Biomed Eng.* 2021; 23:277-306. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-082420-035827>
5. Luebke J., Boehringer D., Anton A. et al. Trends in Surgical Glaucoma Treatment in Germany Between 2006 and 2018. *Clin Epidemiol* 2021; 13:581-592. <https://doi.org/10.2147/CLEP.S310542>
6. ICO Guidelines for Glaucoma Eye Care. International Council of Ophthalmology; 2016.
7. Diordiychuk S.V., Kuroyedov A.V., Fomin N.E. et al. Early diagnosis and the effect of treatment compliance on the prognosis and progression of glaucomatous optic neuropathy. *RMJ Clinical Ophthalmology* 2021; 21(1):34-39. <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2021-21-1-34-39>
8. Aysheva L.D., Alexandrov A.S., Arapiev M.U. et al. Optimization of diagnosis and treatment options in primary open-angle glaucoma patients. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2016; 15(2):19-35.
9. Petrov S.Iu., Vostukhin S.V., Aslamazova A.E., Sherstneva L.V. Modern methods of minimally invasive glaucoma surgery. *Vestnik Oftalmologii.* 2016;132(3):96-102. <https://doi.org/10.17116/oftalma2016132396-102>
10. Movsisyan A.B., Kuroedov A.V., Arkharov M.A. et al. Epidemiological analysis of primary open-angle glaucoma incidence and prevalence in Russia. *RMJ Clinical Ophthalmology.* 2022;22(1):3-10. <https://doi.org/10.32364/2311-7729-2022-22-1-3-10>
11. Petrov S.Yu. Principles of modern incisional surgery for glaucoma by the 4th Edition of the Terminology and Guidelines for Glaucoma of the European Glaucoma Society. *RMJ Clinical ophthalmology* 2017; 18(3):184-189.
12. Saheb H., Ahmed I.I. Micro-invasive glaucoma surgery: current perspectives and future directions. *Curr Opin Ophthalmol* 2012; 23(2):96-104.
13. Minimally Invasive Glaucoma Surgery. Editors: Chelvin C. A. Sng., Keith Barton. Springer Nature, 2021: 204. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-5632-6>
14. Birnbaum F.A., Neeson C., Valle D.S. Microinvasive Glaucoma Surgery: An Evidence-Based Review. *Semin Ophthalmol* 2021; 36(8):772-786. <https://doi.org/10.1080/08820538.2021.1903513>
15. Natsional'noe rukovodstvo po glaukome dlya praktikuyushchikh vrachei [National glaucoma guidelines for practitioners]. Edited by Egorov E.A., Elichev V.P. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2019. 384 p.
16. Starikova D.I., Churnosov M.I. Modern views on the molecular basis of etiopathogenesis of primary open angle glaucoma. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery* 2017; (3):80-83. <https://doi.org/10.25276/0235-4160-2017-3-80-83>
17. Andrew N.H., Akkash S., Casson R.J. A review of aqueous outflow resistance and its relevance to micro-invasive glaucoma surgery. *Surv Ophthalmol* 2020; 65:18-31. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2019.08.002>
18. Ellingsen B.A., Grant W.M. Trabeculotomy and sinusotomy in enucleated human eyes. *Invest Ophthalmol* 1972; 11:21-28.
19. Hann C.R., Vercnocke A.J., Bentley M.D., Jorgensen S.M., Fautsch M.P. Anatomic changes in Schlemm's canal and collector channels in normal and primary open-angle glaucoma eyes using low and high perfusion pressures. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55:5834-5841. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-14128>
20. Gillmann K., Bravetti G.E., Mermoud A. et al. A prospective analysis of iStent inject microstent positioning: Schlemm canal dilatation and intraocular pressure correlations. *J Glaucoma* 2019; 28:613-621. <https://doi.org/10.1097/IJG.0000000000001273>

21. Глаукома: национальное руководство. Под ред. Егорова Е.А. М: ГЭОТАР-Медиа, 2013; 824.
22. Vinod K., Gedde S.J. Safety profile of minimally invasive glaucoma surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2021; 32(2):160-168. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000731>
23. Rosdahl J.A., Gupta D. Prospective Studies of Minimally Invasive Glaucoma Surgeries: Systematic Review and Quality Assessment. *Clin Ophthalmol* 2020; 14:231-243. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S239772>
24. Weinreb R.N. Uveoscleral outflow: the other outflow pathway. *J Glaucoma* 2000; 9:343-345. <https://doi.org/10.1097/00061198-200010000-00001>
25. Toris C.B., Yablonski M.E., Wang Y.L. et al. Aqueous humor dynamics in the aging human eye. *Am J Ophthalmol* 1999; 127:407-412. [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(98\)00436-x](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(98)00436-x)
26. Figus M., Posarelli C., Passani A. et al. The supraciliary space as a suitable pathway for glaucoma surgery: ho-hum or home run? *Surv Ophthalmol* 2017; 62:828-837. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2017.05.002>
27. Emi K., Pederson J.E., Toris C.B. Hydrostatic pressure of the suprachoroidal space. *Invest Ophthalmol.* 1989; 30:233-238.
28. Kelly D.E., Hageman G.S., McGregor J.A. Uveal compartmentalization in the hamster eye revealed by fine structural and tracer studies: implications for uveoscleral outflow. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1983; 24:1288-1304.
29. Ring H.G., Fujino T. Observations on the anatomy and pathology of the choroidal vasculature. *Arch Ophthalmol.* 1967; 78:431-444. <https://doi.org/10.1001/archophth.1967.00980030433005>
30. Johnson M., McLaren J.W., Overby D.R. Unconventional aqueous humor outflow: a review. *Exp Eye Res* 2017; 158:94-111. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2016.01.017>
31. Coban D.T., Erol M.K., Yucel O. Hemorrhagic choroidal detachment after use of anti-glaucomatous eye drops: case report. *Arq Bras Oftalmol* 2013; 76:309-310. <https://doi.org/10.1590/s0004-27492013000500012>
32. Gillmann K., Mansouri K. Minimally Invasive Glaucoma Surgery: Where Is the Evidence? *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2020; 9(3): 203-214. <https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000294>
33. Schlunck G., Meyer-ter-Vehn T., Klink T. et al. Conjunctival fibrosis following filtering glaucoma surgery. *Exp Eye Res* 2016; 142:76-82. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2015.03.021>
34. Tan S.Z., Walkden A., Au L. One-year result of XEN45 implant for glaucoma: efficacy, safety, and postoperative management. *Eye (Lond)* 2018; 32:324-332. <https://doi.org/10.1038/eye.2017.162>
35. Нестеров А.П., Егоров Е.А., Егоров А.Е., Кац Д.В. Влияние транссклеральной лазерной циклокоагуляции на внутриглазное давление и зрительную функцию у пациентов с далеко распространенной открытоугольной глаукомой. *Вестник офтальмологии* 2001; 117(1):3-4.
36. Ходжаев Н.С., Сидорова А.В., Старостина А.В., Елисеева М.А. Микроимпульсная транссклеральная циклофотокоагуляция в лечении глаукомы. *Российский офтальмологический журнал* 2020; 13(2):105-111. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-2-105-111>
37. Клинические рекомендации. Глаукома первичная открытоугольная (H40.1). АВО, ООР, РГО; 2020; 84 (одоблено НПЦ Минздрава 10.12.2020, утверждены Минздравом РФ).
38. Ловпаче Д.Н., Завадский П.С., Зверева О.Г. и др. Комплаентность и персистенция у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой с позиции офтальмолога. *Национальный журнал глаукома* 2020; 19(2):11-21. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.02.02>
39. Pereira I.C.F., Wijdeven R., Wyss H.M. et al. Conventional glaucoma implants and the new MIGS devices: a comprehensive review of current options and future directions. *Eye (Lond)* 2021; 35(12):3202-3221. <https://doi.org/10.1038/s41433-021-01595-x>
40. Lee R.M.H., Bouremel Y., Eames I. et al. Translating Minimally Invasive Glaucoma Surgery Devices. *Clin Transl Sci* 2020; 13(1):14-25. <https://doi.org/10.1111/cts.12660>
21. Glaukoma. Natsional'noe rukovodstvo [Glaucoma. National guidelines]. Editor. Egorov E.A. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2013. 824 p.
22. Vinod K., Gedde S.J. Safety profile of minimally invasive glaucoma surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2021; 32(2):160-168. <https://doi.org/10.1097/ICU.0000000000000731>
23. Rosdahl J.A., Gupta D. Prospective Studies of Minimally Invasive Glaucoma Surgeries: Systematic Review and Quality Assessment. *Clin Ophthalmol* 2020; 14:231-243. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S239772>
24. Weinreb R.N. Uveoscleral outflow: the other outflow pathway. *J Glaucoma* 2000; 9:343-345. <https://doi.org/10.1097/00061198-200010000-00001>
25. Toris C.B., Yablonski M.E., Wang Y.L. et al. Aqueous humor dynamics in the aging human eye. *Am J Ophthalmol* 1999; 127:407-412. [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(98\)00436-x](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(98)00436-x)
26. Figus M., Posarelli C., Passani A. et al. The supraciliary space as a suitable pathway for glaucoma surgery: ho-hum or home run? *Surv Ophthalmol* 2017; 62:828-837. <https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2017.05.002>
27. Emi K., Pederson J.E., Toris C.B. Hydrostatic pressure of the suprachoroidal space. *Invest Ophthalmol.* 1989; 30:233-238.
28. Kelly D.E., Hageman G.S., McGregor J.A. Uveal compartmentalization in the hamster eye revealed by fine structural and tracer studies: implications for uveoscleral outflow. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1983; 24:1288-1304.
29. Ring H.G., Fujino T. Observations on the anatomy and pathology of the choroidal vasculature. *Arch Ophthalmol.* 1967; 78:431-444. <https://doi.org/10.1001/archophth.1967.00980030433005>
30. Johnson M., McLaren J.W., Overby D.R. Unconventional aqueous humor outflow: a review. *Exp Eye Res* 2017; 158:94-111. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2016.01.017>
31. Coban D.T., Erol M.K., Yucel O. Hemorrhagic choroidal detachment after use of anti-glaucomatous eye drops: case report. *Arq Bras Oftalmol* 2013; 76:309-310. <https://doi.org/10.1590/s0004-27492013000500012>
32. Gillmann K., Mansouri K. Minimally Invasive Glaucoma Surgery: Where Is the Evidence? *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2020; 9(3): 203-214. <https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000294>
33. Schlunck G., Meyer-ter-Vehn T., Klink T. et al. Conjunctival fibrosis following filtering glaucoma surgery. *Exp Eye Res* 2016; 142:76-82. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2015.03.021>
34. Tan S.Z., Walkden A., Au L. One-year result of XEN45 implant for glaucoma: efficacy, safety, and postoperative management. *Eye (Lond)* 2018; 32:324-332. <https://doi.org/10.1038/eye.2017.162>
35. Nesterov A.P., Egorov E.A., Egorov A.E., Kats D.V. Influence of transscleral laser cyclophotocoagulation on interocular pressure and visual function in patients with open-angle advanced glaucoma. *Vestnik oftalmologii* 2001; 117(1):3-4.
36. Khodzhaev N.S., Sidorova A.V., Starostina A.V., Eliseeva M.A. Micro-pulse transscleral cyclophotocoagulation for the treatment of glaucoma. *Russian Ophthalmological Journal* 2020; 13(2):105-111. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2020-13-2-105-111>
37. Clinical recommendations. Primary open-angle glaucoma (H40.1). 2020; 84 (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation on 10.12.2020).
38. Lovpache D.N., Zavadski P.C., Zvereva O.G. et al. Compliance and persistence in patients with primary open-angle glaucoma through the doctor opinions. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma* 2020; 19(2): 11-21. <https://doi.org/10.25700/NJG.2020.02.02>
39. Pereira I.C.F., Wijdeven R., Wyss H.M. et al. Conventional glaucoma implants and the new MIGS devices: a comprehensive review of current options and future directions. *Eye (Lond)* 2021; 35(12):3202-3221. <https://doi.org/10.1038/s41433-021-01595-x>
40. Lee R.M.H., Bouremel Y., Eames I. et al. Translating Minimally Invasive Glaucoma Surgery Devices. *Clin Transl Sci* 2020; 13(1):14-25. <https://doi.org/10.1111/cts.12660>