

Гипотензивное лечение глаукомы — малоинвазивная хирургия. Обзор литературы



М.А. Мельник

О.А. Шмелева-
Кенуфи

А.И. Муха

Медицинский научно-образовательный центр Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
Ломоносовский проспект, 27/10, Москва, 119234, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(1):5–14

Глаукома остается лидирующим заболеванием, приводящим к инвалидности по зрению и слепоте. В настоящее время для стойкой компенсации внутриглазного давления как главной причины развития оптической глаукомной нейропатии предлагаются различные варианты лечения. В последнее десятилетие активно развиваются технологии минимально инвазивной глаукомной хирургии, представляя для пациентов хорошую альтернативу медикаментозной гипотензивной терапии и традиционным хирургическим подходам при минимальной травме, эффективности и быстрой реабилитации. В обзоре кратко рассматриваются различные устройства и способы их имплантации, применяемые в малоинвазивной хирургии глаукомы, с примерами исследований, в которых приведены отдаленные клинические результаты.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома, минимально инвазивная глаукомная хирургия, микростент, факто-эмульсификация

Для цитирования: Мельник М.А., Мамиконян В.Р., Шмелева-Кенуфи О.А., Муха А.И. Гипотензивное лечение глаукомы — малоинвазивная хирургия. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2022;19(1):5–14. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-5-14>

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует

Hypotensive Treatment of Glaucoma — Minimally Invasive Surgery. Literature review

M.A. Melnik, V.R. Mamikonyan, O.A. Shmeleva-Kenoufi, A.I. Mukha

Medical Research and Education Center of the Moscow State University named after M.V. Lomonosov
Lomonosovsky ave., 27/10, Moscow, 119234, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2022;19(1):5–14

Glaucoma continues to be the disease leading to vision loss and blindness. Currently, various treatment options are offered for persistent compensation of intraocular pressure, as the main cause of the glaucoma optic neuropathy development. In the last decade, technologies for minimally invasive glaucoma surgery have been actively developing, presenting for patients a good alternative to drug antihypertensive therapy and traditional surgical approaches with minimal trauma, efficiency and quick rehabilitation. The review briefly discusses the various devices and implantation methods used in minimally invasive glaucoma surgery, with examples of studies showing long-term clinical results.

Keywords: primary open-angle glaucoma, minimal invasive glaucoma surgery, microstent, phacoemulsification

For citation: Melnik M.A., Mamikonyan V.R., Shmeleva-Kenoufi O.A., Mukha A.I. Hypotensive Treatment of Glaucoma — Minimally Invasive Surgery. Literature review. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(1):5–14. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-5-14>

Financial Disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

There is no conflict of interests



Центральное место в патогенетическом механизме глаукомного процесса занимает повышенное внутриглазное давление (ВГД) как главная причина развития и прогрессирования глаукомной оптической нейропатии. В связи с этим именно на стойкую компенсацию ВГД направлены в основном известные в настоящее время принципы и подходы в лечении глаукомы [1].

Современная медикаментозная терапия, обладающая арсеналом эффективных гипотензивных препаратов различных фармакологических групп и механизмов действия, до настоящего времени остается наиболее широко применяемым видом лечения первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ). Вместе с тем хорошо известен ряд факторов, часто ограничивающих возможности применения медикаментозного лечения глаукомы. К таковым относятся: индивидуальная непереносимость отдельных препаратов; системные побочные эффекты, присущие средствам определенного фармакологического ряда; неспособность пожилых пациентов соблюдать требуемый режим инстилляций различных капель, что обозначается как проблема недостаточной комплаентности или приверженности к лечению; низкая гипотензивная эффективность длительно применяемого медикаментозного режима (эффект привыкания) [2].

В последние десятилетия лазерные гипотензивные вмешательства широко внедряются в практику лечения ПОУГ, главным образом благодаря относительной безопасности таких процедур и возможности их амбулаторного применения. Среди них в настоящее время наибольшее распространение получили вариации лазерной трабекулопластики (ЛТП), и в частности усовершенствованная модификация операции — селективная лазерная трабекулопластика (СЛТ). Тем не менее известны зависимость эффективности СЛТ от длительности заболевания и степени пигментации трабекулярной сети, а также ограниченные гипотензивные возможности процедуры при экстремально высоких значениях ВГД [3].

Хирургические методы представляют наиболее радикальный подход к достижению стойкой компенсации ВГД в лечении глаукомы. Очевидно, что в каждой конкретной ситуации, ограничения, касающиеся назначения медикаментозного или лазерного лечения, чаще всего и служат основанием для выбора в пользу хирургического вмешательства. Вместе с тем следует отметить, что операция трабекулэктомии, долгие годы служившая «золотым стандартом» фистулизирующих вмешательств при глаукоме, в настоящее время не вполне удовлетворяет специалистов из-за высокой частоты связанных с операцией осложнений. Получившая в последние годы распространение операция непроникающей глубокой склерэктомии (НГСЭ) при своей действительно малой травматичности не обладает достаточной гипотензивной эффективностью [4].

Данные литературы свидетельствуют о наметившихся в последнее время поиске и попытках разработки эффективных гипотензивных вмешательств минимальной

инвазивности, позволяющих расширить показания к применению радикального хирургического подхода в лечении ПОУГ.

В 2008 г. I. Ahmed впервые предложил новое направление минимального объема хирургической помощи при глаукоме, заключенное в термин «минимально инвазивная глаукомная хирургия» (МИГХ), или “minimal invasive glaucoma surgery” (MIGS), обозначающий вмешательство на трабекуле и шлеммовом канале *ab interno*, используя стентирующие устройства, действие которых направлено на увеличение физиологического оттока внутриглазной жидкости (ВГЖ) без создания фильтрационной подушки. Данная группа хирургических процедур предпочтительно должна обладать такими характеристиками, как микроразрез *ab interno*, минимальная травма, биосовместимость имплантируемых устройств, эффективность, высокий профиль безопасности, простота в исполнении и быстрая реабилитация пациента [5]. Первоначально термин относился только к стентирующим устройствам, имплантируемым доступом *ab interno*, но в дальнейшем был расширен как клиницистами, так и производителями устройств для охвата также доступа *ab externo*. Минимально инвазивная хирургия глаукомы разделяется на категории в зависимости от механизма воздействия вмешательства на различные структуры дренажной системы глаза [6].

МИКРОИНВАЗИВНЫЕ ГИПОТЕНЗИВНЫЕ ВМЕШАТЕЛЬСТВА AB INTERNO

Методы, используемые в данном виде микроинвазивной хирургии глаукомы, направлены на снижение сопротивления оттоку ВГЖ на уровне трабекулярной ткани и шлеммова канала и проводятся при интраоперационной гониоскопической визуализации. К таковым относятся: имплантация микростентирующих устройств или дренажей; различные виды трабекулотомии или трабекулэктомии; каналопластика [7].

iStent (Glaucos, Лагуна Хиллс, США) является первым имплантированным устройством МИГХ, выполненным в США в 2005 г. и представляет собой микрошунт с заостренным концом, изготовленный из медицинского титана с гепариновым покрытием, который имплантируют с помощью инжектора через трабекулярную ткань в шлеммов канал [8]. В последующих исследованиях было увеличено количество имплантируемых микрошунтов за одну операцию, что способствовало увеличению гипотензивного эффекта и сокращению использования медикаментозной терапии в сравнении с имплантацией одного микрошунта [9–11]. Ранее рядом авторов были проведены исследования, в которых пациентов разделили на основную и контрольную группы, в одной из них проводилось комбинированное оперативное вмешательство в виде факоэмульсификации катаракты (ФЭК) с имплантацией ИОЛ и *iStent*, а в другой — только ФЭК с имплантацией ИОЛ. В полученных А. Феа результатах спустя 15 месяцев среднее значение ВГД составило $14,8 \pm 1,2$ мм рт. ст.

в основной и $15,7 \pm 1,1$ мм рт. ст. в контрольной группе; среднее количество используемых гипотензивных препаратов было ниже в основной группе, чем в контрольной ($0,4 \pm 0,7$ и $1,3 \pm 1,0$ соответственно), как и доля пациентов, принимавших гипотензивную терапию — 33 и 76 % соответственно [12]. В другом исследовании, изучая 240 глаз с ПОУГ на протяжении года, T. Samuelson и соавт. разделили пациентов на группы по такому же принципу, как приведено выше. Согласно результатам этого исследования в 72 % по сравнению с 50 % ВГД составляло ≤ 21 мм рт. ст. без гипотензивной терапии; в 66 % случаев по сравнению с 48 % было достигнуто снижение ВГД ≥ 20 % без гипотензивной терапии [13]. Далее, продолжая исследование, E. Craven и соавт. в 2012 г. заключили, что гипотензивный эффект спустя 24 месяца сохранялся в обеих группах, но разница ВГД больше не была статистически значимой [14].

Позднее был создан iStent 2-го поколения — iStent *inject*, самый маленький медицинский имплант длиной 360 мкм, имеющий в апикальной части четыре отверстия для отведения ВГЖ. При помощи инъектора, в который входят два iStent *inject*, проводится последовательная имплантация стентов через трабекулярную ткань в шлеммов канал на расстоянии $30\text{--}60^\circ$ друг от друга [15, 16]. В исследовании P. Arriola-Villalobos и соавт. в 2016 г. была проведена ФЭК и имплантация двух iStent *inject* у 20 пациентов со средним сроком наблюдения $47,4 \pm 18,46$ мес., при этом среднее исходное значение ВГД до операции составляло $19,95 \pm 3,71$ мм рт. ст. и в послеоперационном периоде — $16,25 \pm 1,99$ мм рт. ст., среднее количество гипотензивных препаратов значительно сократилось — от $1,3 \pm 0,66$ до $0,75 \pm 0,79$, и в 45 % случаев они не применялись совсем [17]. J. Zhou в 2005 г. установил, что в нормальных здоровых глазах возможность оттока ВГЖ увеличивается на 13 % при наличии однонаправленного и на 26 % при двунаправленном трабекулярном обходе соответственно, при котором ВГД может быть снижено до физиологического уровня с улучшенным оттоком [18]. В исследовании С.К. Bahler в 2012 г. был проанализирован 21 кадаверный глаз, в которые имплантировали от одного до четырех iStent *inject*. В результате среднее значение ВГД снизилось с $21,4 \pm 3,8$ до $12,4 \pm 4,2$ мм рт. ст., что соответствовало увеличению оттока на 84 % при имплантации только одного стента, а последующее дополнительное имплантирование стентов в семи из девяти глаз еще больше снизило ВГД, составляя $10,0 \pm 4,3$ мм рт. ст. [19].

В 2019 г. было выпущено усовершенствованное устройство iStent *inject W*, которое представляет собой модификацию iStent *inject* с увеличением ширины фланца, что позволяет улучшить визуализацию во время имплантации, сводя к минимуму риск «чрезмерной имплантации» и предотвращая закупорку входного отверстия трабекулярной тканью [20].

Компания Glaukos также разработала iStent третьего поколения — iStent *supra* (Glaukos Corporation, Сан-

Клементе, США), который изготовлен из покрытого гепарином полиэфирсульфона и титанового рукава в виде ребристой трубки, предназначенного для имплантации в супрахориоидальное пространство [21]. J.S. Myers и соавт. исследовали эффективность одномоментной имплантации iStent *supra* и iStent *inject* с послеоперационной инстилляцией Травопроста. В исследовании участвовали 80 пациентов с рефрактерной открытоугольной глаукомой, у которых заранее была проведена трабекулэктомия и среднее ВГД составляло $22,0 \pm 3,1$ мм рт. ст. По результатам исследования среди глаз без дополнительной хирургии или лечения ≥ 91 % имели снижение ВГД ≥ 20 % на одном гипотензивном препарате по сравнению с предоперационным медикаментозным ВГД, через 4 года в 97 и 98 % глаз уровень ВГД был ≤ 15 и ≤ 18 мм рт. ст. соответственно при приеме одного препарата [22].

CyPass *Micro-Stent* (Alcon Laboratories, Inc., Форт-Уэрт, США) представляет собой фенестрированное устройство из полиамида, которое имплантируют под контролем гониоскопии в супрахориоидальное пространство. Действие микростента направлено на улучшение оттока ВГЖ по увеосклеральному пути. CyPass был одобрен для имплантации пациентам с ПОУГ (степень 3 или 4 по Шафферу) [23]. Имплантация второго микростента CyPass в тот же глаз обычно выполняется не ранее чем через 2 часа от первого. Н. Hoeh и соавт. провели исследование, в котором разделили пациентов на группы с контролируемым ВГД ≤ 21 мм рт. ст. и неконтролируемым ВГД ≥ 21 мм рт. ст., которым была проведена ФЭК с имплантацией CyPass *Micro-Stent*. Во второй группе ВГД снизилось на 37 %, а количество гипотензивных препаратов уменьшилось более чем на 50 % через 6 месяцев. У пациентов первой группы количество гипотензивных препаратов снизилось на 71,4 % [24]. В похожем исследовании Н. Höeh и соавт. были исследованы 136 пациентов, причем в группе с неконтролируемым ВГД через 24 месяца средние его значения составляли $15,8 \pm 3,8$ мм рт. ст., а в группе с контролируемым ВГД — $16,1 \pm 3,2$ мм рт. ст. [25]. В исследовании J. García-Feijóo и соавт. (DUEETE) пациентам с ПОУГ и неконтролируемым исходным ВГД $24,5 \pm 2,8$ мм рт. ст. была выполнена имплантация CyPass *Micro-Stent*. В итоге через 12 месяцев ВГД составляло $16,4 \pm 5,5$ мм рт. ст. (снижение на 34,7 %), а использование гипотензивных препаратов снизилось до $1,4 \pm 1,3$ [26].

В крупном двухлетнем исследовании COMPASS оценивали безопасность и эффективность CyPass *Micro-Stent* у пациентов с ПОУГ легкой и средней степени, перенесших операцию по удалению катаракты. Соотношение пациентов в группе, в которой была проведена только ФЭК и в которой дополнительно имплантировали микростент, составляло 1:3. Исходные средние значения ВГД в группах были одинаковыми: $24,5 \pm 3,0$ и $24,4 \pm 2,8$ мм рт. ст. Отмечалось раннее и устойчивое снижение ВГД: 60 % при выполненной ФЭК по сравнению

с 77 % в группе с дополнительной имплантацией микро-стента, в которой ≥ 20 % достигли немедикаментозного снижения ВГД через 24 месяца. По окончании исследования у 85 % глаз с проведенным комбинированным вмешательством не использовалась гипотензивная терапия [27]. Исследование COMPASS-XT (расширенное исследование после одобрения рандомизированного клинического исследования COMPASS) показало, что у пациентов в течение 5 лет после операции, перенесших комбинированную имплантацию CyPass Micro-Stent и ФЭК, было значительно большее снижение количества эндотелиальных клеток, чем у пациентов, которым была проведена только ФЭК. Основываясь на этих выводах, производитель Alcon добровольно снял CyPass Micro-Stent с мирового рынка в августе 2018 г. [28].

MINIject (iSTAR Medical, Isnes, Belgium) — новейшее устройство для супрахориоидального введения MIGS, изготовлено из материала STAR*, который состоит из мягкого и гибкого медицинского силикона с микропористой структурой, препятствующего избыточному фиброзу и рубцеванию. В проведенном исследовании P. Denis и соавт. у 26 пациентов с ПОУГ и неконтролируемым исходным ВГД $23,2 \pm 2,9$ мм рт. ст. и гипотензивным режимом $2,0 \pm 1,1$ препарата была проведена имплантация MINIject. Через 2 года после операции среднее ВГД снизилось до $13,8 \pm 3,5$ мм рт. ст. (40,7 %) и прием гипотензивных препаратов — на $1,0 \pm 1,3$, при этом в 48 % случаев гипотензивная терапия не применялась [29].

Hydrus Microstent (Ivantis, Ирвайн, США) представляет собой внутриканаликулярный каркас длиной 8 мм (модификация более ранней конструкции длиной 15 мм). Hydrus Microstent содержит четыре микроотверстия, изготовлен из высокоэластичного материала нитинола (сплав никеля с титаном), обладающего свойствами памяти формы, который широко используется в сосудистой микрохирургии [30]. Имплантация микростента осуществляется с помощью канюли инжектора через трабекулярную ткань в просвет шлеммова канала, расширяя его по длине шунта в 7 мм на 166 мкм, а в области входного отверстия длиной в 1 мм — на 241 мкм (в 4–5 раз больше естественной площади поперечного сечения канала), способствуя оттоку ВГЖ в обход трабекулярной ткани, увеличивая круговой поток в шлеммовом канале за счет поддержания его просвета в раскрытом состоянии, тем самым усиливая отток в коллекторные каналы [31, 32]. Как правило, Hydrus Microstent вводят в назальный квадрант, в котором присутствует самая высокая концентрация коллекторных каналов [33]. Для оценки удачной имплантации стента используется интраоперационный признак наличия волны эписклеральной венозной жидкости — побледнение эписклерального венозного сплетения при введении сбалансированного солевого раствора в переднюю камеру, что указывает на доступность оттока ВГЖ по нижележащим каналам коллектора и водяным венам [34], а также признак рефлюкса крови в переднюю камеру из просвета микростента, когда

ВГД ниже, чем давление в эписклеральных венах [35]. Используя спектральную оптическую когерентную томографию глаза (ОКТ), можно неинвазивно оценивать шлеммов канал, коллекторные каналы и интрасклеральное венозное сплетение с дальнейшим планированием оптимального размещения стента [36]. В исследовании V. Gulati и соавт. сравнивали действие микростентов 15 мм и модифицированного стента 7 мм, при этом в последнем увеличение возможности оттока ВГЖ было более значительным при повышенном ВГД. Это означало, что в глазах с более высоким сопротивлением оттоку можно ожидать большего улучшения оттока и, следовательно, большего снижения ВГД [37]. В 2015 г. в исследовании HYDRUS II 100 пациентов были рандомизированы для хирургии катаракты в сочетании с имплантацией Hydrus Microstent или только для операции по удалению катаракты, а затем наблюдались в течение двух лет. Доля пациентов со снижением ВГД на 20 % от исходного уровня ≤ 24 мм рт. ст. была значительно выше в группе с комбинированным хирургическим вмешательством через 24 месяца по сравнению с группой, в которой проводили только ФЭК (80 % против 46 %). Через один год наблюдений средний уровень ВГД в группах составлял — $16,9 \pm 3,3$ мм рт. ст. против $19,2 \pm 4,7$ мм рт. ст., а доля пациентов, не применяющих гипотензивные средства, была выше в первой группе, составляя 73 %, во второй — 38 %. Через 2 года наблюдений эффект снижения ВГД сохранялся в первой группе, во второй произошло повышение ВГД до 19,2 мм рт. ст. [38]. В 2019 г. T. Samuelson и соавт. в исследовании Horizon сравнили показатели ВГД после операции ФЭК с имплантацией Hydrus Microstent в 369 глазах и выполнении только ФЭК в 187 глазах. Через 24 месяца уровень ВГД без медикаментозной терапии снизился на ≥ 20 % в 77,3 % глаз в первой группе и в 57,8 % — во второй группе соответственно, а среднее количество гипотензивных препаратов уменьшилось с $1,7 \pm 0,9$ на исходном уровне до $0,3 \pm 0,8$ в первой группе и до $0,7 \pm 0,9$ — во второй [39].

Trabectome (NeoMedix Corporation, Тастин, США) — устройство, сочетающее в своем наконечнике электрокоагуляцию, ирригацию и аспирацию и предназначенное для удаления сегмента трабекулярной ткани и внутренней стенки шлеммова канала на протяжении до 180° без повреждения его внешней стенки. При сочетании Trabectome и ФЭК первым этапом осуществляется трабекулэктомия [40]. В исследовании H. Akil и соавт. в первой группе использовали только Trabectome, а во второй — в сочетании с ФЭК, среднее ВГД снизилось с $35,6 \pm 6,3$ до $16,8 \pm 3,8$ мм рт. ст. спустя 12 месяцев, а количество гипотензивных препаратов — с $3,1 \pm 1,3$ до $1,8 \pm 1,4$ [41]. В другом исследовании у 27 пациентов (54 глаза) с ПОУГ и катарактой на одном глазу проводили трабекулэктомию с помощью Trabectome и ФЭК, а на парном глазу имплантировали два iStent inject также в сочетании с ФЭК. Среднее ВГД на протяжении 12 месяцев снизилось с $22,3 \pm 3,7$ и $21,3 \pm 4,1$ до $15,6 \pm 3,6$ мм рт. ст.

без разницы в двух группах [42]. В аналогичном исследовании в группе, в которой имплантировали два iStent inject, среднее ВГД через один год снизилось до $14,3 \pm 3,1$ мм рт. ст. с достижением успеха в 39 %, а в группе с использованием Trabectome успех был достигнут в 14 % случаев со снижением ВГД до $17,3 \pm 6,5$ мм рт. ст. [43]. В исследовании T. Mizoguchi и соавт. на протяжении двух лет изучали пациентов, из которых у 43 была ПОУГ, а у 39 — ПЭГ и у которых была выполнена трабекулэктомия с помощью Trabectome. Операция считалась неудачной при выполнении хотя бы одного из критериев: ВГД ≥ 21 мм рт. ст. и <20 % снижение ВГД от исходного уровня на контрольных визитах через 3 месяца и более после операции, необходимость проведения дополнительной антиглаукомной операции (АГО) и увеличение количества гипотензивных препаратов в сравнении с исходным уровнем. По результатам полный успех был достигнут в 51,2 % для всех случаев, а среднее ВГД снизилось до $14,0 \pm 3,9$ мм рт. ст., что составляло 23,0 % от исходного ВГД [44].

Kahook Dual Blade (New World Medical, Ранчо Кукамонга, США) — инструмент с двойным лезвием, предназначенный для трабекулэктомии *ab interno* [45]. При оценке влияния на удаление трабекулярной ткани в ряду с Trabectome и микровитреальным лезвием Kahook Dual Blade продемонстрировал более полное ее удаление без повреждения окружающих тканей и большее снижение ВГД с $18,3 \pm 3,0$ до $11,0 \pm 2,2$ мм рт. ст. [46]. В исследовании E.G. Sieck и соавт. проводилось сравнение групп с выполнением только трабекулэктомии с помощью Kahook Dual Blade и в сочетании с ФЭК. В первой группе ВГД было снижено с 20,4 до 14,1 мм рт. ст., а во второй — с 16,7 до 13,8 мм рт. ст., а использование гипотензивных препаратов — с 1,9 до 1,5 в первой и с 3,1 до 2,3 во второй группе соответственно [47]. В многоцентровом ретроспективном исследовании S. Dorairaj и соавт. сравнивали группы, в которых выполняли ФЭК и гониотомию с помощью Kahook Dual Blade в одной группе, а в другой — ФЭК с имплантацией iStent. По результатам среднее ВГД снизилось с $17,9 \pm 4,4$ до $13,6 \pm 2,7$ мм рт. ст. через 6 месяцев в первой группе, а во второй — с $16,7 \pm 4,4$ до $13,9 \pm 2,7$ мм рт. ст. Количество гипотензивных препаратов уменьшилось до $0,6 \pm 1,0$ в первой группе и во второй до $1,0 \pm 1,0$ [48]. В другом исследовании Kahook Dual Blade применяли при гониотомии на 111 глазах, из них в комбинации с ФЭК было 100 глаз. Предоперационное ВГД составляло $17,1 \pm 4,7$ мм рт. ст. при использовании $2,4 \pm 1,3$ гипотензивного препарата, после операции — 14,9; 13,9; 14,1; 14,4 и 14,7 мм рт. ст. в 1, 3, 6, 9 и 12-й месяцы соответственно, а использование гипотензивных капель к 12-му месяцу было снижено с $2,4 \pm 1,3$ до $1,6$ [49].

TRAB 360 (Sight Sciences, Менло Парк, США) — устройство, предназначенное для канюлирования шлемового канала нейлоновой нитью 4-0 с последующим разрезанием трабекулярной сети на протяжении 360° [50].

В исследовании M. Hirabayashi и соавт. сравнивали результаты групп, в которых одномоментно была проведена ФЭК с трабекулотомией с помощью Kahook Dual Blade и TRAB 360 или GATT. Критерием успеха было снижение уровня ВГД ≥ 20 % или прием гипотензивных препаратов ≥ 1 без дополнительных процедур его снижения на протяжении 6 месяцев. По результатам исследования в первой группе успех был достигнут в 81,7 % случаев, во второй группе — в 84,6 %. Однако в 80 % глаз, входящих в первую группу, целевое ВГД составляло ≤ 18 мм рт. ст., а во второй группе в 59,3 % ВГД ≤ 15 мм рт. ст. было в 61,4 % против 25,9 % соответственно [51].

iSciences (Ellex, Аделаида, Австралия) представляет собой микрокатетер с освещаемым наконечником и предназначен для проведения транслуминальной трабекулотомии с гониоскопической визуализацией (Gonioscopy-Assisted Transluminal Trabeculotomy — GATT) для удаления трабекулярной ткани через гониотомический разрез на протяжении 360° . В случае имеющегося препятствия для микрокатетера в одном направлении следует провести его в противоположную сторону. В исследовании D. Grover и соавт. 85 пациентов с ПОУГ и средним уровнем ВГД ≥ 18 мм рт. ст. без ранее проведенных АГО были разделены на пять групп: проведение только GATT, без предшествующей ФЭК и имплантации ИОЛ у пациентов с ПОУГ; без предшествующей ФЭК и имплантации ИОЛ, комбинированное вмешательство с GATT у пациентов с ПОУГ; проведение только GATT с предшествующей ФЭК и имплантацией ИОЛ у пациентов с ПОУГ; проведение только GATT без предшествующей ФЭК и имплантации ИОЛ у пациентов с другим видом глаукомы и комбинированное вмешательство GATT без предшествующей ФЭК и имплантации ИОЛ у пациентов с другим видом глаукомы. У пациентов с ПОУГ среднее снижение ВГД было 7,7 мм рт. ст. через 12 месяцев, что составляло 30 % к шестому месяцу и 39,8 % — к 12-му месяцу. Группы пациентов с предшествующей ФЭК и имплантацией ИОЛ до GATT или в комбинации статистически не отличались от группы пациентов с первичной GATT по уровню снижения ВГД. У пациентов в группе с другим видом глаукомы в среднем ВГД снизилось на 17,2 мм рт. ст. через 6 месяцев и на 19,9 мм рт. ст. через один год, составляя 56,8 %, а количество гипотензивных препаратов уменьшилось на 1,9. Также не отмечалось в 4-й и 5-й группах статистического различия в отношении снижения ВГД. В результате GATT вмешательство было безопасно и эффективно в 68–90 % глаз, а успех равен ранее опубликованным результатам проведения трабекулотомии *ab externo* [52].

XeCl Excimer Laser AIDA (Glaute AG, Нюрнберг, Германия) представляет собой эксимерный лазер с эндоскопическим наведением на хлориде ксенона с длиной волны излучения 308 нм и применяется в эксимерлазерной трабекулотомии (ЭЛТ) для создания микроперфораций в трабекулярной сети. В исследовании S. Wilmsmeyer и соавт. у 135 пациентов с ПОУГ

сравнивали гипотензивный эффект после проведенных операций ЭЛТ в первой группе и ЭЛТ в комбинации с ФЭК во второй группе в течение одного года. В первой группе наблюдалось снижение ВГД с $23,3 \pm 0,6$ до $18,8 \pm 0,8$ мм рт. ст., а во второй группе с $22,4 \pm 0,8$ до $16,4 \pm 0,4$ мм рт. ст. Количество используемых гипотензивных препаратов не различалось в обеих группах [53]. В другом исследовании S. Babighian и соавт. сравнивали эффективность и безопасность в группах, в которых было проведено ЭЛТ в одной группе и СЛТ в другой у пациентов с неконтролируемой ПОУГ на максимальном гипотензивном режиме. Успех исследования заключался в снижении ВГД ≥ 20 % без дальнейшего антиглаукомного хирургического вмешательства. По окончании исследования в первой группе полный успех был достигнут в 53,3 %, а во второй группе — в 40 %, а средний уровень ВГД снизился с $25,0 \pm 1,9$ до $17,6 \pm 2,2$ мм рт. ст. при ЭЛТ и с $23,9 \pm 0,9$ до $19,1 \pm 1,8$ мм рт. ст. при СЛТ [54].

XEN-45 Gel Stent (Allergan, Парсиппани, США) — гидрофильная коллагеновая трубка с просветом в 45 микрон, изготовленная из свиного желатина, связанного глутаральдегидом. Диаметр трубки был выбран таким образом, чтобы риск гипотонии был сведен к минимуму, обеспечивая сопротивление оттоку от 6 до 8 мм рт. ст. в соответствии с уравнением Хагена — Пуазейля [55, 56]. Предварительно загруженный в игольчатый инжектор микростент в твердом состоянии имплантируют через переднюю камеру в субконъюнктивальное пространство на расстояние 3 мм от лимба. После имплантации микростент становится мягким, набухает, и его фиксируют в заданном положении, что по окончании операции выражается в формировании фильтрационной подушки. В исследовании V. Perez-Torregrosa и соавт. оценивали эффективность и безопасность имплантации XEN-45 Gel Stent в комбинации с ФЭК у пациентов с ПОУГ и катарактой с использованием не более двух гипотензивных препаратов. Операция проводилась через 2 височных разреза, разделенных в 90° , для имплантации через нижний разрез XEN-45 Gel Stent в верхнюю носовую часть. Успех операции определялся снижением ВГД ≤ 18 мм рт. ст. После операции ВГД снизилось с $21,2 \pm 3,4$ до $15,0 \pm 2,5$ мм рт. ст. через 12 месяцев, что составляло 90 % успеха [57].

Каналопластика — малоинвазивный хирургический метод лечения глаукомы без образования фильтрационной подушки, сочетающий в себе вискоканалостомию и проведение интраканаликулярного натяжного шва Prolene 10–0 внутри шлеммова канала протяженностью в 360° , что обеспечивает круговой отток ВГЖ естественным путем и препятствует спаданию стенок внутри канала [58]. Каналопластика различается по виду хирургического доступа к шлеммову каналу — *ab interno* и *ab externo*. В двух вариантах используется микрокатетер с подсветкой *iTrack*™ (Ellex Medical Pty Ltd, Аделаида, Австралия) для доступа, катетеризации и вискодилатации проксимальной и дистальной систем оттока [59].

На протяжении года в исследовании сравнивали эффективность гипотензивного эффекта после проведения каналоластики в двух хирургических доступах, как отдельно, так и в сочетании с ФЭК, у 12 пациентов. Результаты *ab interno* и *ab externo* каналоластики были сопоставимы: в первой группе среднее предоперационное ВГД составило $18,5 \pm 3,4$ мм рт. ст. на $2,4 \pm 0,5$ гипотензивных препарата, послеоперационное ВГД — $13,8 \pm 2,2$ мм рт. ст. на $0,8 \pm 0,8$ препарата, а во второй группе среднее предоперационное ВГД составило $18,1 \pm 3,9$ мм рт. ст. на $2,4 \pm 0,5$ гипотензивных препарата, что позволило снизить ВГД до $13,5 \pm 2,2$ мм рт. ст. на $0,9 \pm 0,9$ препарата [60].

AbiC (Ellex, Аделаида, Австралия) — усовершенствованная традиционная каналопластика *ab externo*, отличием которой является отсутствие введения натяжного шва в просвет шлеммова канала при использовании только круговой вискодилатации. Данный вид каналоластики устраняет препятствие оттоку ВГЖ на уровне каналов коллектора у пациентов с ПОУГ. В выполненном исследовании у 106 пациентов с ПОУГ была проведена AbiC, при этом общее снижение ВГД составило 35 %, а применение гипотензивных препаратов отсутствовало в 100 %. Максимальное исходное ВГД у всех пациентов составляло 21 мм рт. ст., спустя один месяц у 100 пациентов среднее ВГД было 16 мм рт. ст., через 3 месяца у 48 пациентов среднее ВГД составило 15 мм рт. ст., а через 6 месяцев — 14,5 мм рт. ст. у 20 пациентов соответственно. У пациентов, которым проводилась AbiC в сочетании с ФЭК, общее среднее снижение ВГД через 6 месяцев составило 38,4 %, а у пациентов без дооперационной гипотензивной терапии до 36,4 % [61]. В марте 2021 г. в восьми хирургических центрах США началось проведение проспективного мультицентрового рандомизированного исследования MAGIC для оценки эффективности и безопасности *ab interno* каналоластики, включавшее сравнение каналопластического микрокатетера *iTrack* с хирургической системой OMNI (Sight Sciences) и влияния типа офтальмологического вискохирургического устройства [61].

VISCO360 system (Sight Sciences Inc., Менло Парк, США) — неимплантируемое хирургическое устройство, которое автоматически подает вязкоупругое средство в заданном количестве для расширения шлеммова канала. В исследовании N. Tracer и соавт. оценивали эффективность снижения ВГД у пациентов с ПОУГ после проведения круговой вискодилатации VISCO360 *ab interno* в сочетании с ФЭК, при этом в первой группе ВГД пациентов было ≥ 18 мм рт. ст., а во второй группе < 18 мм рт. ст. По результатам исследования через один год в первой группе ВГД снизилось на 22 % до 17,2 мм рт. ст. при приеме 1,0 гипотензивного препарата, во второй группе ВГД осталось на исходном уровне около 14 мм рт. ст. при приеме 0,6 гипотензивного препарата. Доля без применения гипотензивных препаратов через 12 месяцев составила 32 и 47 % в первой и второй группе соответственно [62].

МИКРОИНВАЗИВНЫЕ ГИПОТЕНЗИВНЫЕ ВМЕШАТЕЛЬСТВА *AB EXTERNO*

Stegmann Canal Expander[®] (Ophthalmos GmbH, Шаффхаузен, Швейцария) — трубчатое микроустройство с множеством отверстий и двумя расширителями с двух сторон, изготовленное из полиимида (гибкого термореактивного пластика с высокой степенью биосовместимости). Устройство обеспечивает постоянное расширение шлеммова канала и растяжение трабекулярной ткани, практически без сопротивления оттоку ВГЖ. В проспективном исследовании оценивались эффективность и безопасность *Stegmann Canal Expander*, в котором полный успех определялся как подтвержденное ВГД ≤ 21 , ≤ 18 и ≤ 16 мм рт. ст. без гипотензивных препаратов в сочетании со снижением ВГД на 30 %. Дооперационное ВГД снизилось с $26,8 \pm 5,6$ до $12,8 \pm 1,5$ мм рт. ст. через 6 месяцев, до $13,2 \pm 1,2$ мм рт. ст. через 12 месяцев и до $13,3 \pm 2,5$ мм рт. ст. через один год, что соответствовало 80 % полного успеха. Количество используемых до операции гипотензивных препаратов уменьшилось с $2,8 \pm 0,4$ до $0,2 \pm 0,5$ после операции [63].

Ex-PRESS (Alcon Laboratories Inc., Форт-Уэст, США) представляет собой устройство из нержавеющей стали с заостренным концом длиной 2,64–2,96 мм, внутренний диаметр которого составляет 50 мкм и которое соединяет переднюю камеру с внутрисклеральным пространством для оттока ВГЖ субконъюнктивально. Ранее микрошунт имплантировали под конъюнктиву, но в связи с осложнениями, такими как гипотония, эрозия конъюнктивы, была предложена новая техника имплантации устройства под склеральный лоскут 5×5 мм. Также данная методика в сравнении с трабекулэктомией устраняет необходимость в проведении склеростомии и периферической иридэктомии [64, 65]. В исследовании, выполненном R. Gallego-Pinazo и соавт., оценивались успех и эффективность комбинированных хирургических вмешательств у пациентов с катарактой и ПОУГ на протяжении 10 месяцев. В первой группе была проведена ФЭК с имплантацией *Ex-PRESS*, а во второй — ФЭК с трабекулэктомией. В раннем послеоперационном периоде наблюдалось превышение среднего уровня ВГД в первой группе, а уровень осложнений — во второй. Далее после 7 дней не было выявлено различий в послеоперационном периоде [66]. В другом исследовании оценивали эффективность имплантации *Ex-PRESS* на уже прооперированных глазах по поводу катаракты или глаукомы. Критерий успеха был полным, если ВГД составляло 5–21 мм рт. ст. без приема гипотензивных препаратов. Средний период наблюдения составлял $27,0 \pm 13,2$ месяца. Средний уровень ВГД был снижен с $27,7 \pm 9,2$ до $14,0 \pm 5,1$ мм рт. ст., а количество используемых гипотензивных препаратов — с $2,7 \pm 1,1$ до $0,7 \pm 1,1$. Полный успех на протяжении 12, 24 и 36 месяцев составил 79,8, 64,4 и 55,9 %, в то же время квалифицированный успех — 94,4, 77,5 и 67,1 % соответственно [67].

Preserflo MicroShunt (Santen Pharmaceutical Co., Осака, Япония), ранее имел название *InnFocus MicroShunt*, представляет собой трубчатое устройство с диаметром 70 мкм из сверхстабильного синтетического полимера SIBS для субконъюнктивального оттока ВГЖ. После 2-часовой конъюнктивальной перитомии формируют глубокий субтенонный карман, наносят аппликации Митомицина С 0,2–0,5 мг/мл, не затрагивая область лимба. Далее формируют неглубокий склеральный туннель шириной 1 мм, через который вводят иглу 25G в переднюю камеру с продвижением затем в ней микрошунта. При помощи поперечного ребра шириной 1,1 мм, расположенного от переднего конца устройства на 4,5 мм, *Preserflo MicroShunt* надежно закрепляют в склере, и его дистальный конец укрывают тенноновой оболочкой и конъюнктивой. В исследовании Н. Beckers и соавт. оценивались эффективность и безопасность имплантации *Preserflo MicroShunt* у пациентов с ПОУГ с недостаточно контролируемым ВГД на максимальном гипотензивном режиме ≥ 18 мм рт. ст. и ≤ 35 мм рт. ст. или при условии, что прогрессирование ПОУГ требовало хирургического вмешательства. Микрошунт имплантировали с дополнительным использованием аппликаций Митомицина С (ММС) 0,2–0,4 мг/мл на 2–3 мин. В результате у 81 пациента ВГД было снижено с $21,7 \pm 3,4$ до $14,5 \pm 4,6$ мм рт. ст. в течение одного года и до $14,1 \pm 3,2$ мм рт. ст. в течение двух лет. Общий успех за первый год составлял 74,1 %. Количество используемых гипотензивных препаратов было снижено с $2,1 \pm 1,3$ до $0,5 \pm 0,9$ в течение двух лет, а 73,8 % пациентов не принимали гипотензивных препаратов совсем. В зависимости от концентрации ММС общий успех составил 78,1 % при 0,2 мг/мл и 74,4 % при 0,4 мг/мл [68]. В другом исследовании сравнивали эффективность операции после имплантации XEN-45 Gel Stent и *Preserflo MicroShunt* в сочетании с ММС у пациентов с ПОУГ. В 37 % имплантации XEN-45 Gel Stent операция была комбинирована с ФЭК и в 2 % — с *Preserflo MicroShunt*. Через 24 месяца ВГД было снижено с $19,2 \pm 4,4$ до $13,8 \pm 3,8$ мм рт. ст. в группе с использованием XEN-45 Gel Stent и с $20,1 \pm 5,0$ до $12,1 \pm 3,5$ мм рт. ст. в группе с имплантацией *Preserflo MicroShunt*, что составляло квалифицированный успех в 73 и 79 % соответственно [69]. Также эффективность имплантации *Preserflo MicroShunt* сравнивали с трабекулэктомией у 52 пациентов с ПОУГ. Через 6 месяцев среднее дневное ВГД составляло 10,8 мм рт. ст. после имплантации *Preserflo MicroShunt* и 10,3 мм рт. ст. после трабекулэктомии. Снижение дневного ВГД, пикового суточного ВГД и суточных колебаний в обеих группах не различалось, что указывает на одинаковую эффективность двух хирургических вмешательств [70].

Gold microshunt (GMS, SOLX, Бостон, США) — прямоугольное устройство, состоящее из двух пластин с дистальными выступами для фиксации в супрахориоидальном пространстве, изготовленное из 24-каратного золота. Конструкция микрошунта состоит

из 19 канальцев, через которые ВГЖ оттекает из передней камеры в супрахориоидальное пространство. В проксимальной части устройства имеется 60 отверстий и одно отверстие большего размера, а также 12 дополнительных каналов для увеличения потока ВГЖ, а в дистальном отделе устройства — 117 отверстий и 10 аналогичных каналов для той же цели. После рассечения конъюнктивы в 2 мм от лимба выполняют разрез склеры на всю ее толщину для доступа в супрахориоидальное пространство. Затем серповидным ножом в плоскости 90 % толщины склеры формируют склеральный тоннель, в который вводят микрошунт, при этом проксимальная его часть выступает в переднюю камеру на 1–1,5 мм. Далее на склеру и конъюнктиву накладывают швы нейлоном 10–0. В исследовании S. Melamed и соавт. оценивали эффективность имплантации Gold microshunt в супрахориоидальное пространство у пациентов с ПОУГ с неконтролируемым ВГД ≥ 22 мм рт. ст. на максимальном гипотензивном режиме. Спустя 11,7 месяцев ВГД снизилось с $27,6 \pm 4,7$ до $18,2 \pm 4,6$ мм рт. ст. В 79 % был достигнут хирургический успех — ВГД > 5 и < 22 мм рт. ст. [71].

Aquashunt (Opko Health Inc., Майами, США) — изогнутое по форме глаза прямоугольное устройство, изготовленное из полипропилена, размером $10 \times 4 \times 0,75$ мм, которое сужается в проксимальном отделе. Внутри устройства находится канал, который сужается в продольном направлении в проксимальной части. После рассечения в 5 мм кзади от лимба выполняется сквозной склеральный разрез, создающий доступ в супрахориоидальное пространство. Далее инструментом, подобным шпателью для циклодиализа, на который устанавливается Aquashunt, формируется тоннель в переднюю камеру. Когда проксимальная часть устройства полностью достигает передней камеры, выступы микрошунта препятствуют его дальнейшей имплантации. Затем микрошунт закрепляют швами и ушивают склеру и конъюнктиву. В 2009 г. в одном из исследований оценивали эффективность имплантации Aquashunt у 15 пациентов с ПОУГ с неконтролируемым ВГД. Спустя 12 месяцев после имплантации микрошунта у 8 пациентов ВГД снизилось на 31 %, и 4 из них — при одновременном применении гипотензивных препаратов [72].

STARflo (iSTAR, Ин, Бельгия) — устройство, предназначенное для частичной имплантации в супрахориоидальное пространство и интрасклерально, с отведением через микропоры ВГЖ. STARflo изготовлен из материала

STAR* (биоматериал, полученный из силиконового эластомера NuSil med-6215). После рассечения конъюнктивы формируют поверхностный склеральный лоскут прямоугольной формы (ширина 6–7 мм, длина 3 мм), затем разрезом 5–6 мм в глубоком листке склеры проникают до сосудистой оболочки и через трабекулярную ткань продвигаются до передней камеры через разрез в 3 мм. Далее проводят имплантацию STARflo в супрахориоидальное пространство с ушиванием склеры и конъюнктивы [73]. В исследовании S. Pourjavan и соавт. на протяжении одного года исследовали эффективность и безопасность имплантированного STARflo у 3 пациентов с ПОУГ. До операции средний уровень ВГД составил 37 мм рт. ст., после операции — 14,3 мм рт. ст. Также было уменьшено количество гипотензивных препаратов с 3,25 до 1,5 препарата в сутки [74]. В другом исследовании также сравнивали эффективность гипотензивного эффекта после имплантации STARflo у пациентов с ПОУГ, рефрактерной и врожденной глаукомой на протяжении 12 месяцев. Дооперационное ВГД составляло $21,08 \pm 7,29$ мм рт. ст., а через один год — $15,0 \pm 2,5$ мм рт. ст. По окончании исследования наблюдалось снижение использования гипотензивных капель на 66,7 % [75].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В клинике ПОУГ известен ряд условий, при которых хирургическое гипотензивное лечение объективно представляется оптимально необходимым для снижения ВГД. С другой стороны, очевидно, что выбор в пользу оперативного вмешательства ограничивается, в первую очередь, рисками, присущими применяемым методам антиглаукомной хирургии. Большое количество разработанных в последние годы инновационных хирургических подходов и устройств свидетельствует об эффективности и достигнутых успехах в снижении травматичности отдельных этапов новых антиглаукомных вмешательств. Тем не менее вряд ли имеющиеся в настоящее время данные позволяют отдать принципиальное предпочтение подходу *ab interno* либо *ab externo* или какому-нибудь из предложенных конкретных вмешательств. Вместе с тем вышеприведенные результаты исследований указывают на безусловную востребованность и актуальность дальнейших изысканий в области минимальной инвазивности и безопасности гипотензивной хирургии глаукомы и адекватного расширения показаний к ее применению в практике.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Петров С.Ю., Вострухин С.В., Асламазова А.Э., Шерстнева Л.В. Современная микроинвазивная хирургия глауком. *Вестник офтальмологии*. 2016;3:96–102. [Petrov S.Yu., Vostukhin S.V., Aslamazov A.E., Sherstneva L.V. Modern methods of minimally invasive glaucoma surgery. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2016;3:96–102 (In Russ.)]. DOI: 10.17116/oftalma2016132396-102
- Мамиконян В.Р., Фисенко Н.В. Хирургическое лечение глаукомы: от классической проникающей хирургии до применения методов тканевой инженерии. *Вестник офтальмологии*. 2018;5(1):111–117. [Mamikonyan V.R., Fisenko N.V. Glaucoma surgery: from traditional filtration techniques to modern principles of bioengineering. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftal'mologii*. 2018;5(1):111–117 (In Russ.)]. DOI: 10.17116/oftalma2018134051111
- Waisbourd M., Katz L.J. Selective laser trabeculoplasty as a first-line therapy: a review. *Can. J. Ophthalmol.* 2014;49(6):519–522. DOI: 10.1016/j.cjco.2014.10.003
- Анисимов С.И., Анисимова С.Ю., Арутюнян Л.Л., Вознюк А.П., Анисимова Н.С. Современные подходы к хирургическому лечению сочетанной патологии глаукомы и катаракты. *Национальный журнал глаукома*. 2019;18(4):86–95. [Anisimov S.I., Anisimova S.Y., Arutyunyan L.L., Voznyuk A.P., Anisimova N.S. Modern approaches to surgical treatment of combined pathology of glaucoma and cataract. *Natsional'nyi zhurnal glaukoma*. 2019;18(4):86–95 (In Russ.)]. DOI: 10.25700/NJG.2019.04.07
- Saheb H., Ahmed I.I. Micro-invasive glaucoma surgery: current perspectives and future directions. *Curr Opin Ophthalmol.* 2012;23(2):96–104. DOI: 10.1097/ICU.0b013e32834ff1e7

6. Bovee C.E., Pasquale L.R. Evolving surgical interventions in the treatment of glaucoma. *Semin Ophthalmol.* 2017;32:91–95. DOI: 10.1080/08820538.2016.1228393
7. Francis B.A., Akil H., Bert B.B. Ab interno Schlemm's Canal surgery. *Dev Ophthalmol.* 2017;59:127–146. DOI: 10.1159/000458492
8. Malvankar-Mehta M.S., Iordanous Y., Chen Y.N. iStent with phacoemulsification versus phacoemulsification alone for patients with glaucoma and cataract: a meta-analysis. *PLoS One.* 2015;10(7):1–23. DOI: 10.1371/journal.pone.0131770
9. Fernandez-Barrientos Y., Garcia-Feijoo J., Martinez-de-la-Casa J.M., Pablo L.E., Fernandez-Perez C., Garcia Sanchez J. Fluorophotometric study of the effect of the glaukos trabecular microbypass stent on aqueous humor dynamics. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2010;51(7):3327–3332. DOI: 10.1167/iovs.09-3972
10. Hunter K.S., Fjeld T., Heitzmann H., Shandas R., Kahook M.Y. Characterization of micro-invasive trabecular bypass stents by ex vivo perfusion and computational flow modeling. *Clinical ophthalmology.* 2014;8:499–506. DOI: 10.2147/OPHTH.S56245
11. Belovay G.W., Naqi A., Chan B.J., Rateb M., Ahmed I.I. Using multiple trabecular micro-bypass stents in cataract patients to treat open-angle glaucoma. *Journal of cataract and refractive surgery.* 2012;38(11):1911–1917. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.07.017
12. Fea A.M. Phacoemulsification versus phacoemulsification with micro-bypass stent implantation in primary open-angle glaucoma: randomized doublemasked clinical trial. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36:407–412. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.10.031
13. Samuelson T.W., Katz L.J., Wells J.M., Duh Y.J., Giamporcaro J.E.; US iStent Study Group. Randomized evaluation of the trabecular micro-bypass stent with phacoemulsification in patients with glaucoma and cataract. *Ophthalmology.* 2011;118(3):459–467. DOI: 10.1016/j.opht.2010.07.007
14. Craven E.R., Katz L.J., Wells J.M., Giamporcaro J.E.; iStent Study Group. Cataract surgery with trabecular micro-bypass stent implantation in patients with mild-to-moderate open-angle glaucoma and cataract: two-year follow-up. *J Cataract Refract Surg.* 2012;38(8):1339–1345. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.03.025
15. Bahler C.K., Hann C.R., Fjeld T., Haffner D., Heitzmann H., Fautsch M.P. Second-generation trabecular meshwork bypass stent (iStent inject) increases outflow facility in cultured human anterior segments. *American journal of ophthalmology.* 2012;153(6):1206–1213. DOI: 10.1016/j.ajo.2011.12.017
16. Voskanyan L., Garcia-Feijoo J., Belda J.L., Fea A., Junemann A., Baudouin C., Synergy Study G. Prospective, unmasked evaluation of the iStent(R) inject system for open-angle glaucoma: synergy trial. *Advances in therapy.* 2014;31(2):189–201. DOI: 10.1007/s12325-014-0095-y
17. Arriola-Villalobos P., Martinez-de-la-Casa J.M., Diaz-Valle D., Morales-Fernandez L., Fernandez-Perez C., Garcia-Feijoo J. Glaukos iStent inject* Trabecular Micro-Bypass Implantation Associated with Cataract Surgery in Patients with Coexisting Cataract and Open-Angle Glaucoma or Ocular Hypertension: A Long-Term Study. *Journal of Ophthalmology.* 2016;1056573:7. DOI: 10.1155/2016/1056573
18. Zhou J., Smedley G.T. A trabecular bypass flow hypothesis. *J Glaucoma.* 2005;14:74–83. DOI: 10.1097 / 01.jig.0000146360.07540.ml
19. Bahler C.K., Smedley G.T., Zhou J., Johnson D.H. Trabecular bypass stents decrease intraocular pressure in cultured human anterior segments. *Am J Ophthalmol.* 2004;138:988–994. DOI: 10.1016 / j.ajo.2004.07.035
20. Samuelson T.W. A cataract surgeon's guide to iStent inject W. *Euro Times.* Supplement December 2019/January 2020.
21. Vinod K., Gedde S.J. Clinical investigation of new glaucoma procedures. *Curr Opin Ophthalmol.* 2017;28(2):187–193. DOI: 10.1097 / icu.0000000000000336
22. Myers J.S., Masood I., Hornbeak D.M. Prospective evaluation of two iStent* trabecular stents, one iStent SUPRA* 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
23. Sameh Mosaed. Minimally invasive glaucoma surgery and CyPass Micro-Stent — a new era in glaucoma surgery. *US Ophthalmic Review.* 2017;10(1):39–41. DOI: 10.17925/USOR.2017.10.01.39
24. Hoeh H., Ahmed I.I., Grisanti S., Grisanti S., Grabner G., Nguyen Q.H., Rau M., Yoo S., Ianchulev T. Early postoperative safety and surgical outcomes after implantation of a suprachoroidal micro-stent for the treatment of open-angle glaucoma concomitant with cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2013;39(3):431–437. DOI: 10.1016 / j.jcrs.2012.10.040
25. Höeh H., Grisanti S., Grisanti S., Rau M., Ianchulev S. Two-year clinical experience with the CyPass micro-stent: safety and surgical outcomes of a novel supraciliary micro-stent. *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 2014;231(4):377–381. DOI: 10.1055 / s-0034-1368214
26. Garcia-Feijoo J., Rau M., Grisanti S. Supraciliary micro-stent implantation for open angle glaucoma failing topical therapy: 1 year results of a multicenter study. *Am J Ophthalmol.* 2015;159:1075–1081. DOI: 10.1016 / j.ajo.2015.02.018
27. Vold S., Ahmed I.I., Craven E.R. Two-year COMPASS trial results: supraciliary microstenting with phacoemulsification in patients with open-angle glaucoma and cataracts. *Ophthalmology.* 2016;123(10):2103–2112. DOI: 10.1016 / j.opht.2016.06.032
28. Reiss G., Clifford B., Vold S., He J., Hamilton C., Dickerson J., Lane S. Safety and Effectiveness of CyPass Supraciliary Micro-Stent in Primary Open-Angle Glaucoma: 5-Year Results from the COMPASS XT Study. *Am J Ophthalmol.* 2019;208:219–225. DOI: 10.1016/j.ajo.2019.07.015
29. Denis P., Hirneiß C., Durr G.M., Reddy K.P., Kamarthy A., Calvo E., Hussain Z., Ahmed I.K. Two-year outcomes of the MINject drainage system for uncontrolled glaucoma from the STAR-I first-in-human trial. *Br J Ophthalmol.* 2020;0:1–6. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2020-316888
30. Pfeiffer N. A randomized trial of a Schlemm's canal microstent with phacoemulsification for reducing intraocular pressure in open-angle glaucoma. *Ophthalmology.* 2015;122(7):1283–1293. DOI: 10.1016 / j.opht.2015.03.031
31. Grierson I., Saheb H., Kahook M.Y., Johnstone M.A., Ahmed I.I., Schieber A.T., Toris C.B. A Novel Schlemm's canal scaffold: histologic observations. *J Glaucoma.* 2015;24(6):460–468. DOI: 10.1097 / JIG.0000000000000012
32. Gandolfi S.A. Comparison of surgical outcomes between canaloplasty and Schlemm's canal scaffold at 24 Months' follow-up. *J Ophthalmol.* 2016;2016:3410469. DOI: 10.1155 / 2016/3410469
33. Bill A. Some aspects of aqueous humour drainage. *Eye (Lond).* 1993;7(Pt 1):14–19. DOI: 10.1038 / eye.1993.4
34. Fellman R.L., Grover D.S. Episcleral venous fluid wave: intraoperative evidence for patency of the conventional outflow system. *J Glaucoma.* 2014;23(6):347–350. DOI: 10.1097 / JIG.0b013e31827a06d8
35. Grieshaber M.C. Clinical evaluation of the aqueous outflow system in primary open-angle glaucoma for canaloplasty. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010;51(3):1498–1504. DOI: 10.1167 / iovs.09-4327
36. Kagemann L. Identification and assessment of Schlemm's canal by spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010;51(8):4054–4059. DOI: 10.1167 / iovs.09-4559
37. Gulati V. A novel 8-mm Schlemm's canal scaffold reduces outflow resistance in a human anterior segment perfusion model. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013;54(3):1698–1704. DOI: 10.1167 / iovs.12-11373
38. Pfeiffer N. A randomized trial of a Schlemm's canal microstent with phacoemulsification for reducing intraocular pressure in open-angle glaucoma. *Ophthalmology.* 2015;122(7):1283–1293. DOI: 10.1016 / j.opht.2015.03.031
39. Samuelson T. A Schlemm Canal Microstent for Intraocular Pressure Reduction in Primary Open-Angle Glaucoma and Cataract: The HORIZON Study. *Ophthalmology.* 2019 Jan;126(1):29–37. DOI: 10.1016/j.opht.2018.05.012
40. Kaplowitz K., Schuman J.S., Loewen N.A. Techniques and outcomes of minimally invasive trabecular ablation and bypass surgery. *Br J Ophthalmol.* 2014;98:579–585. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2013-304256
41. Akil H., Chopra V., Huang A.S., Swamy R., Francis B.A. Short-term clinical results of ab interno trabeculotomy using the Trabectome with or without cataract surgery for open-angle glaucoma patients of high intraocular pressure. *J Ophthalmol.* 2017;2017:8248710. DOI: 10.1155 / 2017/8248710
42. Gonnermann J., Bertelmann E., Pahlitzsch M., Maier-Wenzel A.B., Torun N., Klamann M.K. Contralateral eye comparison study in MICS & MIGS: Trabectome(R) vs. iStent inject(R). *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2017;255(2):359–365. DOI: 10.1007 / s00417-016-3514-8
43. Khan M., Saheb H., Neelakantan A., Fellman R., Vest Z., Harasymowycz P. Efficacy and safety of combined cataract surgery with 2 trabecular microbypass stents versus ab interno trabeculotomy. *J Cataract Refract Surg.* 2015;41(8):1716–1724. DOI: 10.1016 / j.jcrs.2014.12.061
44. Mizoguchi T., Nishigaki S., Sato T., Wakiyama H., Ogino N. Clinical results of Trabectome surgery for open-angle glaucoma. *Clin Ophthalmol.* 2015;9:1889–1894. DOI: 10.2147/OPHTH.S83958
45. Oterendorp C., Bahlmann D., Kahook Dual Blade: An instrument for microincisional trabecular meshwork surgery. *Ophthalmologie.* 2019;116(6):580–584. DOI: 10.1007/s00347-018-0844-4
46. Seibold L., Soohoo J., Ammar D., Kahook M. Preclinical investigation of ab interno trabeculotomy using a novel dual-blade device. *Am J Ophthalmol.* 2013;155(3):524–529. DOI: 10.1016/j.ajo.2012.09.023
47. Sieck E., Epstein R., Kennedy J., Soohoo J., Pantcheva M., Patnaik J., Wagner B., Lynch A., Kahook M., Seibold L. Outcomes of Kahook Dual Blade Goniotomy with and without Phacoemulsification Cataract Extraction. *Ophthalmol Glaucoma.* 2018;1(1):75–81. DOI: 10.1016/j.ogla.2018.06.006
48. Dorairaj S., Kahook M., Williamson B., Seibold L., ElMallah M., Singh I. A multicenter retrospective comparison of goniotomy versus trabecular bypass device implantation in glaucoma patients undergoing cataract extraction. *Clin Ophthalmol.* 2018;12:791–797. DOI: 10.2147/OPHTH.S158403
49. Kornmann H., Fellman R., Feuer W., Butler M., Godfrey D., Smith O., Emanuel M., Grover D. Early Results of Goniotomy with the Kahook Dual Blade, a Novel Device for the Treatment of Glaucoma. *Clin Ophthalmol.* 2019;13:2369–2376. DOI: 10.2147/OPHTH.S224643
50. Chen D., Sng C. Safety and Efficacy of Microinvasive Glaucoma Surgery. *Hindawi Journal of Ophthalmology.* 2017;2017:3182935. DOI: 10.1155 / 2017/3182935
51. Hirabayashi M., Lee D., King J., Thomsen S., An J. Comparison Of Surgical Outcomes Of 360° Circumferential Trabeculotomy Versus Sectoral Excisional Goniotomy With The Kahook Dual Blade At 6 Months. *Clin Ophthalmol.* 2019;13:2017–2024. DOI: 10.2147/OPHTH.S208468
52. Grover D., Godfrey D., Smith O., Feuer W., Oca I., Fellman R. Gonioscopy-assisted transluminal trabeculotomy, ab interno trabeculotomy: technique report and preliminary results. *Ophthalmology.* 2014;121(4):855–861. DOI: 10.1016/j.opht.2013.11.001
53. Wilmsmeyer S., Philippin H., Funk J. Excimer laser trabeculotomy: a new, minimally invasive procedure for patients with glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2006;244(6):670–676. DOI: 10.1007/s00417-005-0136-y
54. Babighian S., Caretti L., Tavoloto M., Cian R., Galan A. Excimer laser trabeculotomy vs 180 degrees selective laser trabeculoplasty in primary open-angle glaucoma. A 2-year randomized, controlled trial. *Eye (Lond).* 2010;24(4):632–638. DOI: 10.1038/eye.2009.172

55. Lewis R. Ab interno approach to the subconjunctival space using a collagen glaucoma stent. *J Cataract Refract Surg.* 2014;40(8):1301–1306. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.01.032
56. Sheybani A., Reitsamer H., Ahmed I. Fluid Dynamics of a Novel Micro-Fistula Implant for the *Surgical Treatment of Glaucoma.* IOVS. 2015;56(8):4789–4795. DOI: 10.1167/jovs.15-16625
57. Perez-Torregrosa V., Olate-Perez A., Cerda-Ibanez M. Combined phacoemulsification and XEN45 surgery from a temporal approach and 2 incisions. *Arch Soc Esp Ophthalmol.* 2016;91(9):415–421. DOI: 10.1016/j.oftal.2016.02.006
58. Matlach J., Dhillon C., Hain J., Schlunck G., Grehn F., Klink T. Trabeculectomy versus canaloplasty (TVC study) in the treatment of patients with open-angle glaucoma: a prospective randomized clinical trial. *Acta Ophthalmol.* 2015;93(8):753–761. DOI: 10.1111/aos.12722
59. Grieshaber M., Pienaar A., Olivier J., Stegmann R. Comparing two tensioning suture sizes for 360 degrees viscocanalostomy (canaloplasty): a randomised controlled trial. *Eye (Lond).* 2010;24(7):1220–1226. DOI: 10.1038/eye.2009.317
60. Gallardo M., Supnet R., Ahmed I. Circumferential viscodilation of Schlemm's canal for open-angle glaucoma: ab-interno vs ab-externo canaloplasty with tensioning suture. *Clin Ophthalmol.* 2018;12:2493–2498. DOI: 10.2147/OPHTH.S178962
61. Khaimi M.A. Ab interno canaloplasty. *Glaucoma Today.* 2015;13:13–15.
62. Tracer N., Dickerson J., Radcliffe N. Circumferential Viscodilation Ab Interno Combined with Phacoemulsification for Treatment of Open-Angle Glaucoma: 12-Month Outcomes. *Clin Ophthalmol.* 2020;14:1357–1364. DOI: 10.2147/OPHTH.S252965
63. Grieshaber M., Stegmann Canal Expander for canaloplasty: A novel technique. *Eur J Ophthalmol.* 2018;28(4):472–478. DOI: 10.1177/1120672117753699
64. Stewart R., Diamond J., Ashmore E., Ayyala R. Complications following Ex-PRESS glaucoma shunt implantation. *Am. J. Ophthalmol.* 2005;140(2):340e1–340e2. DOI: 10.1016/j.jajo.2005.02.033
65. Nicolai M., Franceschi A., Pelliccioni P., Pirani V., Mariotti C. EX-PRESS Glaucoma Filtration Device: Management of Complications. *Vision (Basel).* 2020;4(3):39. DOI: 10.3390/vision4030039
66. Gallego-Pinazo R., Lopez-Sanchez E., Marin-Montiel J. Postoperative outcomes after combined glaucoma surgery. Comparison of ex-press miniature implant with standard trabeculectomy. *Archivos de la Sociedad Espanola de Oftalmologia.* 2009;84(6):293–297. DOI: 10.4321/s0365-66912009000600004
67. Lankaranian D., Razeghinejad M., Prasad A., Fakhraie G., Freitas D., Ichhpujani P., Moster M. Intermediate-term results of the Ex-PRESS miniature glaucoma implant under a scleral flap in previously operated eyes. *Clinical & experimental ophthalmology.* 2011;39(5):421–428. DOI: 10.1111/j.1442-9071.2010.02481.x
68. Beckers H., Aptel F., Webers C., Bluwol E., Martínez-de-la-Casa J., García-Feijóo J., Lachkar Y., Méndez-Hernández C., Riss I., Shao H., Pinchuk L., Angeles R., Sadruddin O., Shaarawy T. Safety and Effectiveness of the PRESERFLO® MicroShunt in Primary Open-Angle Glaucoma: Results from a 2-Year Multicenter Study. *Ophthalmol Glaucoma.* 2021;S2589-4196(21)00179-4. DOI: 10.1016/j.ogla.2021.07.008
69. Scheres L., Kujovic-Aleksov S., Ramdas W., Crom R., Roelofs L., Berendschot T., Webers C., Beckers H. XEN® Gel Stent compared to PRESERFLO® MicroShunt implantation for primary open-angle glaucoma: two-year results. *Acta Ophthalmol.* 2021;99(3):e433–e440. DOI: 10.1111/aos.14960
70. Pillunat K., Herber R., Haase M., Jamke M., Jasper C., Pillunat L. PRESERFLO® MicroShunt versus trabeculectomy: first results on efficacy and safety. *Acta Ophthalmol.* 2021 Jul. DOI: 10.1111/aos.14968
71. Melamed S., Simon G., Goldenfel M., Simon G. Efficacy and safety of gold micro shunt implantation to the supraciliary space in patients with glaucoma: a pilot study. *Arch Ophthalmol.* 2009;127(3):264–269. DOI: 10.1001/archophthalmol.2008.611
72. Gigon A., Shaarawy T. The Suprachoroidal Route in Glaucoma Surgery. *Journal of Current Glaucoma Practice.* 2016;10(1):13–20. DOI: 10.5005/jp-journals-10008-1197
73. König S., Hirnei C. STARflo — a suprachoroidal drainage implant in glaucoma surgery. *Ophthalmologie.* 2018;115(8):670–675. DOI: 10.1007/s00347-017-0565-0
74. Pourjavan S., Collignon N., De Groot V. STARflo™ Glaucoma Implant: 12 month clinical results. *Acta Ophthalmologica (Copenh).* 2013;91. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2013.3723.x
75. Fili S., Wölfelschneider P., Kohlhaas M. The STARflo glaucoma implant: preliminary 12 months results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2018;256(4):773–781. DOI: 10.1007/s00417-018-3916-x

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Медицинский научно-образовательный центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
Мельник Мария Анатольевна
врач-офтальмолог отделения офтальмологии
Ломоносовский проспект, 27/10, Москва, 119234, Российская Федерация

Медицинский научно-образовательный центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
Мамиконян Вардан Рафаэлович
доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделением офтальмологии
Ломоносовский проспект, 27/10, Москва, 119234, Российская Федерация

Медицинский научно-образовательный центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
Шмелева-Кенуфи Ольга Аркадьевна
кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог
Ломоносовский проспект, 27/10, Москва, 119234, Российская Федерация

Медицинский научно-образовательный центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
Муха Александр Иванович
доктор медицинских наук, врач-офтальмолог
Ломоносовский проспект, 27/10, Москва, 119234, Российская Федерация

ABOUT THE AUTHORS

Moscow State University named after M.V. Lomonosov: Medical Research and Education Center
Melnik Mariya A.
ophthalmologist of the ophthalmology department
Lomonosovskiy ave., 27/10, Moscow, 119234, Russian Federation

Moscow State University named after M.V. Lomonosov: Medical Research and Education Center
Mamikonyn Vardan R.
MD, Professor, head of the of the ophthalmology department
Lomonosovskiy ave., 27/10, Moscow, 119234, Russian Federation

Moscow State University named after M.V. Lomonosov: Medical Research and Education Center (MREC).
Shmeleva-Kenoufi Olga A.
PhD, ophthalmologist of the ophthalmology department
Lomonosovskiy ave., 27/10, Moscow, 119234, Russian Federation

Moscow State University named after M.V. Lomonosov: Medical Research and Education Center
Mukha Alexander I.
MD, ophthalmologist of the consultative and diagnostic department
Lomonosovskiy ave., 27/10, Moscow, 119234, Russian Federation



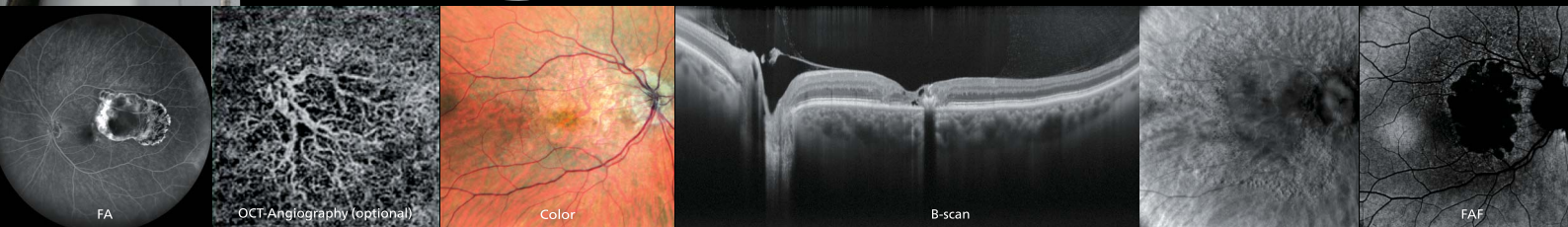
Сканирующий лазерный офтальмоскоп Mirante



Мультимодальная универсальная ультра 4K HD система для визуализации глазного дна и переднего сегмента. Mirante позволяет использовать несколько различных технологий визуализации в одном приборе: оптическая когерентная томография (OCT) с высоким разрешением и конфокальный сканирующий лазерный офтальмоскоп (cSLO), обе технологии с возможностью ультраширокой визуализации; OCT - ангиография (OCTA); цветная фотография глазного дна, флюоресцентная (FA) и индоцианин-зеленая ангиография (ICGA); аутофлуоресценция глазного дна (FAF) в зеленом и синем свете; ретро режим.

cSLO имеет 4 отдельных лазерных источника, способных проникать на разную глубину, что позволяет использовать их в разных технологиях диагностики. Синий лазер участвует в формировании цветного изображения глазного дна, используется для FAF в синем свете и при FA. Зеленый лазер участвует в формировании цветного изображения глазного дна и используется для FAF в зеленом свете. Красный лазер участвует в формировании цветного изображения глазного дна и используется в системе фиксации. Инфракрасный лазер применяется для визуализации в ретро-режиме (создание псевдо-3D изображения), для инфракрасной визуализации глазного дна и для ICGA.

Благодаря программному обеспечению NAVIS-EX возможно интегрировать данные, полученные с помощью системы Mirante, с другими диагностическими приборами компании NIDEK.



Mirante
FA/ICG/OCT



Компания МД ВИЖН
эксклюзивный дистрибьютор NIDEK Co. Ltd
в России и странах СНГ
117312, Россия, Москва, ул.Губкина, д.14
Тел.: +7 (495) 988-22-67 (многоканальный)
www.nidek.ru