

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 617.7-007.681

doi: <https://doi.org//10.19163/1994-9480-2025-22-4-151-157>

## Первые результаты каналодилатации при непроникающей хирургии первичной открытоугольной глаукомы

Бента Гайозовна Джаша<sup>1</sup>, Сергей Викторович Балалин<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup> Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Волгоградский филиал, Волгоград, Россия

<sup>2</sup> Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

**Аннотация.** Хирургия Шлеммова канала относится к малоинвазивной хирургии первичной открытоугольной глаукомы, и поэтому данное направление в офтальмологии интенсивно развивается и является приоритетным. Цель – разработать методику каналодилатации, выполняемой в ходе непроникающей глубокой склеректомии, а также оценить ее влияние на состояние Шлеммова канала и показатели гидродинамики глаза. **Материал и методы.** Представлен анализ результатов непроникающей хирургии с дилатацией Шлеммова канала у 30 больных (30 глаз) первичной открытоугольной далекозашедшей стадией глаукомы (основная группа) в сравнении со стандартной технологией малоинвазивной непроникающей хирургии (30 пациентов, 30 глаз). Всем пациентам выполнялась офтальмоскопия, биомикроскопия, кераторефрактометрия, компьютерная периметрия, тонометрия, тонография, гониоскопия, пахиметрия, оптическая когерентная томография диска зрительного нерва и переднего отрезка с определением диаметра продольной и поперечной осей, а также площади сагиттального сканирования Шлеммова канала. **Результаты и обсуждение.** Гипотензивный эффект после операции был более выраженным у пациентов основной группы: снижение внутриглазного давления составило 45,3 % от исходного уровня, а в контрольной группе – 39,3 % ( $p < 0,05$ ). Гипотензивный эффект у пациентов основной группы был обусловлен достоверным более выраженным оттоком внутриглазной жидкости. Различие между средними значениями коэффициента легкости оттока внутриглазной жидкости у пациентов основной группы,  $(0,3 \pm 0,05)$   $\text{мм}^3/\text{мм}$  рт. ст.  $\times$  мин, и у пациентов контрольной группы,  $(0,24 \pm 0,04)$   $\text{мм}^3/\text{мм}$  рт. ст.  $\times$  мин, было статистически значимым ( $p < 0,001$ ). Через 6 мес. после операции среднее значение площади Шлеммова канала было на 41,7 % больше, чем у пациентов контрольной группы. Различие между средними значениями площади Шлеммова канала у пациентов основной группы,  $(1996,7 \pm 232,4)$   $\mu\text{м}^2$ , и у пациентов контрольной группы,  $(1163,4 \pm 226,9)$   $\mu\text{м}^2$ , было статистически значимым ( $p < 0,001$ ). **Заключение.** Каналодилатация при непроникающей хирургии глаукомы позволяет безопасно устраниć коллапс Шлеммова канала, достоверно расширяя его просвет, нормализовать показатели гидродинамики глаза, способствовать стабилизации зрительных функций.

**Ключевые слова:** первичная открытоугольная глаукома, непроникающая глубокая склеректомия, дилатация Шлеммова канала

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания на тему «Повышение эффективности лечения различных форм глаукомы, сочетанных с патологией переднего и заднего отрезков глазного яблока на основе разработки и внедрения современных методов диагностики, комплексных лазерных и хирургических вмешательств», рег. № 125042505522-3 от 25 апреля 2025 г.

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

doi: <https://doi.org//10.19163/1994-9480-2025-22-4-151-157>

## First results of channel dilation in non-penetrating surgery for primary open-angle glaucoma

Benta G. Dzhashi<sup>1</sup>, Sergey V. Balalin<sup>1,2</sup> 

<sup>1</sup> S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Volgograd, Russia

<sup>2</sup> Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

**Abstract.** The surgery of Schlemm's canal is related to microinvasive surgery for primary open-angle glaucoma, which is why this area in ophthalmology is rapidly advancing and is a priority. The goal is to develop a technique for canal dilation performed during non-penetrating deep sclerectomy, as well as to assess its impact on the condition of Schlemm's canal and the hydrodynamic parameters of the eye. **Materials and methods:** This paper presents an analysis of the results of non-penetrating surgery with Schlemm's canal dilation in 30 patients (30 eyes) with advanced primary open-angle glaucoma (main group) compared to standard technology for minimally invasive non-penetrating surgery (30 patients, 30 eyes). All patients underwent ophthalmoscopy, biomicroscopy, keratorefractometry, computer perimetry, tonometry, tonography, gonioscopy, pachymetry, optical coherence tomography of the optic nerve head and anterior segment with measurement of the longitudinal and transverse axis diameters, as well as the area of sagittal scanning of Schlemm's canal. **Results and discussion:** The hypotensive effect after surgery was more pronounced in the main group of patients at 45.3 %, compared to 39.3 % in the control group ( $p < 0.05$ ). The hypotensive effect in the main group was due to a significantly greater outflow of intraocular fluid. The difference between the mean values of the outflow

facility coefficient of intraocular fluid in the main group,  $(0.3 \pm 0.05) \text{ mm}^3/\text{mm Hg} \times \text{min}$ , and the control group,  $(0.24 \pm 0.04) \text{ mm}^3/\text{mm Hg} \times \text{min}$ , was statistically significant ( $p < 0.001$ ). Six months after surgery, the average area of Schlemm's canal was 41.7 % larger than that of the control group patients. The difference between the mean values of the area of Schlemm's canal in the main group,  $(1996.7 \pm 232.4) \mu\text{m}^2$ , and the control group  $(1163.4 \pm 226.9) \mu\text{m}^2$ , was statistically significant ( $p < 0.001$ ). **Conclusion:** Canal dilation during non-penetrating glaucoma surgery allows for the safe elimination of Schlemm's canal collapse, significantly expanding its lumen, normalizing intraocular hydrodynamics, and contributing to the stabilization of visual functions.

**Keywords:** primary open-angle glaucoma, non-penetrating deep sclerectomy, Schlemm's canal dilation

**Funding.** The work was performed within the framework of the state assignment on "Improving the effectiveness of treatment of various forms of glaucoma combined with pathology of the anterior and posterior segments of the eyeball based on the development and implementation of modern diagnostic methods, complex laser and surgical interventions", reg. No. 125042505522-3 dated April 25, 2025.

Глаукома – инвалидизирующее заболевание, занимающее высшие строки в ряду тяжелой офтальмопатологии. С учетом ожидаемого роста числа пожилых людей к 2040 г. прогнозируемое количество случаев глаукомы – 112 млн [1]. Поиск методов лечения глаукомы не представляется возможным без рассмотрения патогенетических механизмов ее развития.

В 1983 г. свет увидела лекция Аркадия Павловича Нестерова «Первичная глаукома. Достижения, нерешиенные вопросы». Труд ознакомил читателя с теорией блока дренажных путей, согласно которой А.П. Нестеров выделял претрабекулярный, трабекулярный и посттрабекулярный блок. Одним из поступатов теории стала идея о том, что глаукома возникает значительно чаще в глазах, анатомически предрасположенных к блокаде склерального синуса [2]. Автор предположил, что сбой в дренажной системе приводит к сдавлению стенок склерального синуса, что более вероятно при возрастном снижении эластичности склеры, а проведенные перфузионные эксперименты показали, что при тонометрическом внутриглазном давлении (ВГД) свыше 60 мм рт. ст. склеральный синус спадается и ток жидкости в нем прекращается [2, 3].

Оценка содержания коллагена в структурах дренажной системы показана в работах Энгеля Дж. с соавт. в 1987 г. [4]. Позже иммуноцитохимические исследования показали изменение структуры и содержания коллагена в возрастных глазах. Было выявлено сокращение содержания коллагена 4-го типа и полное отсутствие ламина в тканях дренажных путей оттока [5]. С появлением современных методов визуализации Шлеммова канала (ШК) появились возможности его прижизненной оценки [6, 7, 8, 9, 10]. Так, исследования от 2014 г. Кагеманна Л. с соавт. показали динамическое уменьшение площади поперечного канала по данным оптической когерентной томографии у лиц с повышением ВГД на 32 % по сравнению с исходным состоянием [6]. Однако корреляции глаукомной экскавации и состояния ШК отмечено не было [6].

Шлеммов канал (склеральный синус) был впервые описан Фридрихом Шлеммом (F. Schlemm) в 1830 г. [11]. Это циркулярная щель в глубине лимба, протяженностью 34–36 мм. Оценка просвета ШК долгое время была доступна только на кадаверных глазах. Согласно данным исследований констатировался овальный просвет,

поперечный диаметр 200–800 мкм [1]. Современные данные разнятся, но известно, что поперечный срез составляет 150–350 мкм, а профиль канала щелевидный. В редких случаях канал может быть сегментирован – дву- или трехчастный, или иметь перегородки [1, 10, 12, 13, 14].

Знания о динамической лабильности склерального синуса и возможных причинах прогрессирования глаукомного процесса явились толчком в развитии направления хирургии глаукомы, ориентированного на вмешательствах на дренажной системе. В 1994 году R. Stegmann предложил методику вискоэндоскопии, которая заключалась во введении вискоэластика в просвет ШК для его растяжения и восстановления оттока внутрглазной жидкости [15]. В дальнейшем авторами предлагались различные дренирующие просвет ШК устройства (микрокатетеры, стенты), материалы (гидрогель, коллаген, силикон) и методики [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]. Однако проблема колапса ШК остается открытой.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать методику каналодилатации, выполняемой в ходе непроникающей глубокой склерэктомии, а также оценить ее влияние на состояние Шлеммова канала и показатели гидродинамики глаза.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проспективное. В основную группу вошли 30 случаев непроникающей глубокой склерэктомии (НГСЭ), включая каналодилатацию (30 пациентов, 30 глаз). Контрольная группа была представлена 30 случаями выполнения НГСЭ по стандартной методике (30 пациентов, 30 глаз). Во всех случаях у пациентов диагностирована первичная открытоугольная глаукома в далеко зашедшей стадии. Пациенты ранее по поводу глаукомы оперированы не были, находились на комбинированной гипотензивной терапии.

В рамках предоперационного обследования всем пациентам выполнялась офтальмоскопия, биомикроскопия, кераторефрактометрия, компьютерная периметрия, тонометрия, тонография, гониоскопия, пахиметрия, оптическая когерентная томография переднего отрезка с определением диаметра продольной и поперечной осей ШК. Для ОКТ-диагностики применялось

исследование на приборе Topcon DRI OCT Triton. Для съемки переднего сегмента глаза использовали специальную насадку, инфракрасный режим, рабочая дистанция 17 мм. Исследование проводилось в положении сидя, диаметр зрачка 3 мм. С помощью программы 3D Anterior seg. 3.0\*3.0 мм проводилось сканирование во внутреннем и наружном отделах роговицы в зоне угла передней камеры, соответственно на 3 и 9 часах, на полученных снимках томограммы визуализировали ШК в виде окружной тени низкой эхогенности. При помощи встроенного инструмента Measure проводили измерение его внутреннего диаметра в микронах, по вертикальной и горизонтальной оси. Помимо осей среза ШК выполнялся расчет площади среза. Для расчета использовалась формула

$$S = \pi \times A \times B / 4,$$

где S – площадь эллипса ( $\text{мкм}^2$ ); A – полуось эллипса по оси X (мм); B – полуось эллипса по оси Y (мм).

Полученные цифровые значения фиксировали в бланке обследования.

В качестве антиглаукомной хирургии выполнялась НГСЭ по стандартной методике.

В основной группе исследования пациентам выполнялась модифицированная НГСЭ, включающая каналодилатацию. Методика заключается в выполнении стандартной процедуры НГСЭ, где после удаления юкстаканалиурной ткани выполняется этап расширения просвета ШК. Для этого используют нить полипропилен 6,0, один конец которой коагулируют до формирования утолщения, вводят нить подготовленным концом

с утолщением вперед в просвет ШК и, продвигая с усилием, выводят нить с противоположной его стороны, после чего нить вытягивают в обратном направлении из ШК и завершают манипуляцию.

На «Способ расширения просвета Шлеммова канала при непроникающей глубокой склерэктомии» получен патент РФ RU2837194C1, приоритет от 2024-05-21.

Диагностика, лечение и ведение пациентов до и после хирургического лечения согласованы с Локальным этическим комитетом ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России (выписка из протокола № 128.1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходные показатели основной и контрольной групп исследования представлены в табл. 1. Статистически значимых различий между группами по показателям выявлено не было, что указывало на их однородность.

Ни в одном случае хирургического лечения в группах исследования интраоперационных, постоперационных осложнений не выявлено. Срок наблюдения составил 6 мес.

У пациентов основной группы, которым выполнялась НГСЭ, включающая каналодилатацию, было отмечено через 6 мес. после операции существенное снижение истинного внутриглазного давления ( $P_0$ , мм рт. ст.) на 45,3 %, с  $(22,1 \pm 3,9)$  до  $(12,1 \pm 1,1)$  мм рт. ст.

Таблица 1

Исходные морфофункциональные показатели  
у пациентов основной (30 глаз) и контрольной (30 глаз) групп,  $M \pm \sigma$

| Показатели                                             | Основная группа    | Контрольная группа | T     | P       |
|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------|---------|
| ВГД тонометрическое, мм рт. ст.                        | $26,7 \pm 4,9$     | $26,3 \pm 4,4$     | 0,41  | $>0,05$ |
| $P_0$ , мм рт. ст.                                     | $22,1 \pm 3,9$     | $21,1 \pm 4,7$     | 0,88  | $>0,05$ |
| $C$ , $\text{мм}^3/\text{мм рт. ст.} \cdot \text{мин}$ | $0,08 \pm 0,02$    | $0,070 \pm 0,022$  | 1,8   | $>0,05$ |
| МКОЗ                                                   | $0,30 \pm 0,12$    | $0,26 \pm 0,11$    | 1,32  | $>0,05$ |
| ПЭК                                                    | $2148,7 \pm 344,8$ | $2279,0 \pm 303,5$ | -1,53 | $>0,05$ |
| Ось X ШК по ОКТ, мкм                                   | $52,5 \pm 15,2$    | $51,5 \pm 19,6$    | 0,22  | $>0,05$ |
| Ось Y ШК по ОКТ, мкм                                   | $96,3 \pm 38,9$    | $93,75 \pm 20,40$  | 0,32  | $>0,05$ |
| Площадь ШК, $\text{мкм}^2$                             | $981,4 \pm 182,5$  | $968,3 \pm 192,2$  | 0,27  | $>0,05$ |
| MD, dB                                                 | $-19,43 \pm 3,60$  | $-21,78 \pm 4,80$  | 1,1   | $>0,05$ |
| PSD, dB                                                | $6,75 \pm 3,70$    | $7,16 \pm 2,40$    | 0,44  | $>0,05$ |
| CHBC                                                   | $58,0 \pm 7,2$     | $56,8 \pm 6,9$     | 1,36  | $>0,05$ |
| Э/Д                                                    | $0,83 \pm 0,06$    | $0,85 \pm 0,05$    | 1,3   | $>0,05$ |
| Количество гипотензивных препаратов                    | $2,67 \pm 0,50$    | $3,0 \pm 0,7$      | 1,8   | $>0,05$ |

У пациентов контрольной группы гипотензивный эффект составил 39,3 %, истинное внутриглазное давление снизилось с  $(21,1 \pm 4,7)$  до  $(12,8 \pm 1,39)$  мм рт. ст. При сравнительном анализе были отмечены статистически значимые межгрупповые различия между значениями офтальмотонуса через 6 мес. после операции ( $p < 0,05$ ). Данные приведены в табл. 2.

Гипотензивный эффект у пациентов основной группы был обусловлен статистически значимо более выраженным оттоком внутриглазной жидкости. Отмечалось увеличение коэффициента легкости оттока внутриглазной жидкости от исходного значения у пациентов основной группы в 3,7 раза, а у пациентов контрольной группы – в 3,4 раза ( $p < 0,05$ ).

Таблица 2

**Морфофункциональные показатели у пациентов основной (30 глаз) и контрольной (30 глаз) групп через 6 мес. после хирургического лечения,  $M \pm \sigma$**

| Показатели                                          | Основная группа    | Контрольная группа | T     | P        |
|-----------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------|----------|
| ВГД тонометрическое, мм рт. ст.                     | $18,2 \pm 1,75$    | $18,9 \pm 1,86$    | -1,47 | $>0,05$  |
| P0, мм рт. ст.                                      | $12,1 \pm 1,1$     | $12,8 \pm 1,39$    | -2,2  | $<0,05$  |
| C, $\text{мм}^3/\text{мм рт. ст.} \cdot \text{мин}$ | $0,3 \pm 0,05$     | $0,24 \pm 0,04$    | 5,0   | $<0,001$ |
| МКОЗ                                                | $0,33 \pm 0,13$    | $0,28 \pm 0,12$    | 1,52  | $>0,05$  |
| ПЭК                                                 | $2077,8 \pm 212,0$ | $2128 \pm 248,6$   | 0,83  | $>0,05$  |
| Ось X ШК, мкм                                       | $73,7 \pm 10,5$    | $60,25 \pm 9,2$    | 5,1   | $<0,001$ |
| Ось Y ШК, мкм                                       | $136,8 \pm 16,9$   | $98,6 \pm 18,5$    | 8,5   | $<0,001$ |
| Площадь ШК, $\text{мкм}^2$                          | $1996,7 \pm 232,4$ | $1163,4 \pm 226,9$ | 13,8  | $<0,001$ |
| MD, dB                                              | $-18,82 \pm 5,30$  | $-20,65 \pm 3,10$  | 1,6   | $>0,05$  |
| PSD, dB                                             | $13,06 \pm 4,07$   | $12,58 \pm 2,60$   | 0,53  | $>0,05$  |
| CHBC                                                | $62,0 \pm 7,4$     | $60,8 \pm 7,9$     | 0,6   | $>0,05$  |
| Э/Д                                                 | $0,72 \pm 0,06$    | $0,74 \pm 0,05$    | -1,37 | $>0,05$  |
| Количество гипотензивных препаратов                 | $0,24 \pm 0,12$    | $0,36 \pm 0,2$     | -2,7  | $<0,05$  |

Важной составляющей оценочных критериев результативности предлагаемой методики лечения стали ОКТ-показатели ШК. Более высокие значения коэффициента легкости оттока водянистой влаги были связаны с максимальным расширением ШК после каналодилатации при выполнении непроникающей хирургии у пациентов основной группы ( $p < 0,01$ ). Среднее значение площади ШК через 6 мес. после операции увеличилось в 2 раза и было на 41,7 % больше, чем у пациентов контрольной группы.

Оценка показателей периметрии и морфометрии зрительного нерва указывала на компенсацию глаукомы в двух группах. Различие между средними значениями показателей ОКТ диска зрительного нерва между группами было статистически незначимым ( $p > 0,05$ ).

Анализ применения инстилляционных гипотензивных препаратов в послеоперационном периоде показал количественное их снижение применения на 91,1 % от исходного значения в основной группе и на 88 % в контрольной группе. Различие было статистически значимым ( $p < 0,05$ ). Для анализа безопасности выполняемой методики проводилась оценка

остроты зрения – в 100 % случаях без потери строк в основной и контрольной группах, и показателей плотности эндотелиальных клеток – без статистической значимой отрицательной динамики за период наблюдения. Отклонение от исходного значения ПЭК у пациентов основной группы составило 3,3 %, а у лиц контрольной группы – 6,6 %.

Склеральный синус подвержен коллапсу в результате снижения эластичности тканей, сокращения количества гигантских вакуолей на поверхности трабекулы, накопления трабекулярного дебриса в трабекулярных щелях, повышения внутриглазного давления, как причины и следствия описанных процессов, а также вторично на фоне спаечного процесса и обтурации просвета склерального синуса дебрисом [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. При этом наибольшее сопротивление давлению оказывает внутренняя стенка ШК и внеклеточный матрикс [23, 24]. Исходя из результатов исследований, показывающих корреляцию между уровнем ВГД и динамическим изменением просвета ШК, можно предположить, что коллапс обратим и в случае освобождения синуса от структур и дебриса, возможно

деблокирование и восстановление системы оттока внутрглазной жидкости. Косвенным подтверждением выдвинутого предположения может служить сравнительный анализ состояния ШК до и после антиглauкомного вмешательства с дилатирующим компонентом, в результате которого достигнуто не только достоверное увеличение площади сечения просвета ШК согласно данным ОКТ-диагностики, но и более выраженное улучшение коэффициента легкости оттока водянистой влаги у пациентов основной группы в сравнении с пациентами контрольной группы, которым каналодилатация не выполнялась ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, в данном исследовании показатели гидродинамики достоверно улучшились после антиглauкомного вмешательства с каналодилатирующим компонентом и значимо превысили аналогичные показатели пациентов, которым каналодилатация не выполнялась.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Каналодилатация при первичной открытоугольной глаукоме обоснована как метод, позволяющий безопасно устраниć коллапс Шлеммова канала, достоверно расширять его просвет, увеличить гипотензивный эффект непроникающей хирургии, улучшить показатели гидродинамики глаза, способствовать стабилизации зрительных функций.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shan S., Wu J., Cao J., Feng Y., Zhou J., Luo Z. et al. Global Health Epidemiology Research Group (GHERG). Global incidence and risk factors for glaucoma: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Journal of Global Health*. 2024;8:14:04252. doi: 10.7189/jogh.14.04252.
2. Нестеров А.П., Бунин А.Я., Кацнельсон Л.А. Внутриглазное давление. Физиология и патология. М., 1974. 381 с.
3. Нестеров А.П. Глаукома. М., 1995. 256 с.
4. Engel J., Furthmayr H. Electron microscopy and other physical methods for the characterization of extracellular matrix components: Laminin, fibronectin, collagen IV, collagen VI, and proteoglycans. *Methods in Enzymology*. 1987;145:3–78. doi: 10.1016/0076-6879(87)45003-9.
5. Marshall G.E., Konstas A.G., Lee W.R. Immunogold localization of type IV collagen and laminin in the aging human outflow system. *Experimental eye research*. 1990;51(6):691–699.
6. Kagemann L., Wang B., Wollstein G., Ishikawa H., Nevins J. E., Nadler Z. et al. IOP elevation reduces schlemm's canal cross-sectional area. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2014;55(3):1805–1809. doi: 10.1167/iovs.13-13264.
7. Hong J., Xu J., Wei A., Wen W., Chen J., Yu X. et al. Spectral-domain optical coherence tomographic assessment of Schlemm's canal in Chinese subjects with primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology*. 2013;120:709–715. doi: 10.1016/j.jophtha.2012.10.008.
8. Kagemann L., Wollstein G., Ishikawa H., Sigal I.A., Folio L.S., Xu J. et al. 3D visualization of aqueous humor outflow structures in-situ in humans. *Experimental eye research*. 2011;93:308–315. doi: 10.1016/j.exer.2011.03.019.
9. Kagemann L., Wollstein G., Ishikawa H., Bilonick R.A., Brennen P.M., Folio L.S. et al. Identification and assessment of Schlemm's canal by spectral-domain optical coherence tomography. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2010;51:4054–4059. doi: 10.1167/oivs.09-4559.
10. Haili H., Lijia T., Xinghuai S., Yuhong C. En face optical coherence tomography detection of Schlemm's canal in primary open angle glaucoma. *Journal Frontiers in Physiology*. 2023;14. doi: 10.3389/fphys.2023.1214427.
11. Schlemm F. Arteriarum capititis superficialium icon nova. Berlin, 1830.
12. Ashton N. Anatomical study of Schlemm's canal and aqueous veins by means of neoprene casts. *The British journal of ophthalmology*. 1951;35:291–303.
13. 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;153:1206–13. doi: 10.1016/j.ajo.2011.12.017.
14. Lewczuk K., Jabłońska J., Konopińska J., Mariak Z., Rękas M. Schlemm's canal: the outflow 'vessel'. *Acta ophthalmologica*. 2022;100:e881–e890. doi: 10.1111/aos.15027.
15. Stegmann R. Viscocanalostomy: a new surgical technique for open angle glaucoma. *An Inst Barraquer Spain*. 1995;25:229–232.
16. Николашин С.И., Мачехин В.А. Непроникающая глубокая склерэктомия с дренированием Шлеммова канала в лечении первичной открытоугольной глаукомы. *Офтальмохирургия*. 2002;1:17–20.
17. Шкворченко Д.О., Каштан О.В., Кислицына Н.М. Способ хирургического лечения глаукомы. Патент РФ на изобретение. № 2177288.
18. Гусев Ю.А., Трубилин В.Н. Непроникающая вискоангулореконструкция – новая технология в лечении открытоугольной глаукомы. *Актуальные проблемы офтальмологии. Сборник по материалам 5-й научно-практической конференции*. М., 2002. С. 13–14.
19. Spiegel D., Kobuch K. Trabecular meshwork bypass tube shunt: initial case series. *The British journal of ophthalmology*. 2002;86:1228–1231.
20. Бочкарев М.В. Каналодилатация венозного синуса склеры. Актуальные проблемы офтальмологии. *Сборник научных статей 8-й научно-практической конференции ФМБА России*. М., 2005. С. 46.
21. Бочкарев М.В., Рудковская Е.М. Интраканальное полидренирование венозного синуса склеры. *Тезисы докладов VIII съезда офтальмологов России*. Москва, 2005. С. 154.
22. Алексеев В.В. Трабекулодиализ: (клинико-экспериментальное обоснование нового способа хирургического лечения первичной открытоугольной глаукомы): автореф. дис. ... канд. мед. наук. Ярославль, 1992. 16 с.
23. Vranka J.A., Kelley M.J., Acott T.S., Keller K.E. Extracellular matrix in the trabecular meshwork: intraocular

pressure regulation and dysregulation in glaucoma. *Experimental eye research.* 2015;133:112–125. doi: 10.1016/j.exer.2014.07.014.

24. Fan Y., Wei J., Guo L., Zhao S., Xu C., Sun H., Guo T. Osthole reduces mouse IOP associated with ameliorating extracellular matrix expression of trabecular meshwork cell. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2020;61:38. doi: 10.1167/iovs.61.10.38.

## REFERENCES

- Shan S., Wu J., Cao J., Feng Y., Zhou J., Luo Z. et al. Global Health Epidemiology Research Group (GHERG). Global incidence and risk factors for glaucoma: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Journal of Global Health.* 2024;8:14:04252. doi: 10.7189/jogh.14.04252.
- Nesterov A.P., Bunin A.Ya., Katsnelson L.A. Intraocular pressure. Physiology and pathology. Moscow, 1974. 381 p. (In Russ.).
- Nesterov A.P. Glaucoma, Moscow, 1995. 256 p. (In Russ.).
- Engel J., Furthmayr H. Electron microscopy and other physical methods for the characterization of extracellular matrix components: Laminin, fibronectin, collagen IV, collagen VI, and proteoglycans. *Methods in Enzymology.* 1987;145:3–78. doi: 10.1016/0076-6879(87)45003-9.
- Marshall G.E., Konstas A.G., Lee W.R. Immunogold localization of type IV collagen and laminin in the aging human outflow system. *Experimental eye research.* 1990;51(6):691–699.
- Kagemann L., Wang B., Wollstein G., Ishikawa H., Nevins J. E., Nadler Z. et al. IOP elevation reduces Schlemm's canal cross-sectional area. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2014;55(3):1805–1809. doi: 10.1167/iovs.13-13264.
- Hong J., Xu J., Wei A., Wen W., Chen J., Yu X. et al. Spectral-domain optical coherence tomographic assessment of Schlemm's canal in Chinese subjects with primary open-angle glaucoma. *Ophthalmology.* 2013;120:709–715. doi: 10.1016/j.ophtha.2012.10.008.
- Kagemann L., Wollstein G., Ishikawa H., Sigal I.A., Folio L.S., Xu J. et al. 3D visualization of aqueous humor outflow structures in-situ in humans. *Experimental eye research.* 2011;93:308–315. doi: 10.1016/j.exer.2011.03.019.
- Kagemann L., Wollstein G., Ishikawa H., Bilonick R.A., Brennen P.M., Folio L.S. et al. Identification and assessment of Schlemm's canal by spectral-domain optical coherence tomography. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2010;51:4054–4059. doi: 10.1167/iovs.09-4559.
- Haili H., Lijia T., Xinghuai S., Yuhong C. En face optical coherence tomography detection of Schlemm's canal in primary open angle glaucoma. *J. Frontiers in Physiology.* 2023;14. doi: 10.3389/fphys.2023.1214427.
- Schlemm F. Arteriarum capititis superficialium icon nova. Berlin, 1830.
- Ashton N. Anatomical study of Schlemm's canal and aqueous veins by means of neoprene casts. *The British journal of ophthalmology.* 1951;35:291–303.
- 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;153:1206–13. doi: 10.1016/j.ajo.2011.12.017.
- Lewczuk K., Jabłońska J., Konopińska J., Mariak Z., Rękas M. Schlemm's canal: the outflow 'vessel'. *Acta ophthalmologica.* 2022;100:e881-e890. doi: 10.1111/aos.15027.
- Stegmann R. Viscocanalostomy: a new surgical technique for open angle glaucoma. *An Inst Barraquer Spain.* 1995;25:229–232.
- Nikolashin S.I., Machekhin V.A. Non-penetrating deep sclerectomy with Schlemm canal drainage in the treatment of primary open-angle glaucoma. *Oftal'mokhirurgiya = Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery.* 2002;1:17–20. (In Russ.).
- Shkvorchenko D.O., Kashtan O.V., Kislytsyna N.M. Method of surgical treatment of glaucoma. RF Patent for invention No. 2177288. (In Russ.).
- Gusev Yu.A., Trublin V.N. Non-penetrating viscoangular reconstruction – a new technology in the treatment of open-angle glaucoma. *Aktual'nye problemy oftal'mologii. Sbornik po materialam 5-i nauchno-prakticheskoi konferentsii = Current problems of ophthalmology. Collection based on the materials of the 5th scientific and practical conference.* Moscow, 2002:13–14. (In Russ.).
- Spiegel D., Kobuch K. Trabecular meshwork bypass tube shunt: initial case series. *The British journal of ophthalmology.* 2002;86:1228–1231.
- Bochkarev M.V. Channelodilation of the venous sinus of the sclera. Current problems of ophthalmology. *Sbornik nauchnykh statei 8-i nauchno-prakticheskoi konferentsii FMBA Rossii = Collection of scientific articles of the 8th scientific and practical conference of the FMBA of Russia.* Moscow, 2005:46. (In Russ.).
- Bochkarev M.V., Rudkovskaya E.M. Intracanal polydrenation of the venous sinus of the sclera. *Tezisy dokladov VIII s"ezda oftal'mologov Rossii = Abstracts of the VIII Congress of Ophthalmologists of Russia.* Moscow, 2005:154. (In Russ.).
- Alekseev V.V. Trabeculodialysis: (clinical and experimental substantiation of a new method of surgical treatment of primary open-angle glaucoma) Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Medical Sciences. Yaroslavl, 1992. 16 p. (In Russ.).
- Vranka J.A., Kelley M.J., Acott T.S., Keller K.E. Extracellular matrix in the trabecular meshwork: intraocular pressure regulation and dysregulation in glaucoma. *Experimental eye research.* 2015;133:112–125. doi: 10.1016/j.exer.2014.07.014.
- Fan Y., Wei J., Guo L., Zhao S., Xu C., Sun H., Guo T. Osthole reduces mouse IOP associated with ameliorating extracellular matrix expression of trabecular meshwork cell. *Investigative ophthalmology & visual science.* 2020;61:38. doi: 10.1167/iovs.61.10.38.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этические требования соблюдены. Текст не сгенерирован нейросетью.

**Информация об авторах**

Б.Г. Джашви – кандидат медицинских наук, врач-офтальмолог, заведующая отделением по лечению глаукомы, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Волгоградский филиал, Волгоград, Россия; bental@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5763-888X>

С.В. Балалин – доктор медицинских наук, профессор кафедры офтальмологии, Волгоградский государственный медицинский университет; заведующий научным отделом, Микрохирургия глаза имени академика С.Н. Фёдорова, Волгоградский филиал, Волгоград, Россия;  s.v.balalin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5250-3692>

Статья поступила в редакцию 30.09.2025; одобрена после рецензирования 11.11.2025; принята к публикации 18.11.2025.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.  
Ethical requirements are met. The text is not generated by a neural network.

**Information about the authors**

B.G. Dzhashi – Candidate of Medical Sciences, Ophthalmologist, Head of the Glaucoma Treatment Department, Academician S.N. Fedorov Eye Microsurgery, Volgograd Branch, Volgograd, Russia; bental@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5763-888X>

S.V. Balalin – MD, Professor of the Department of Ophthalmology, Volgograd State Medical University; Head of the Scientific Department, Eye Microsurgery named after Academician S.N. Fedorov, Volgograd Branch, Volgograd, Russia;  s.v.balalin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5250-3692>

The article was submitted 30.09.2025; approved after reviewing 11.11.2025; accepted for publication 18.11.2025.