Состояние ретробульбарного кровотока у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой после трабекулэктомии

Петров С. Ю.
д.м.н., начальник, отдел глаукомы

Киселева Т. Н.
д.м.н., профессор, начальник, отдел ультразвуковой диагностики

Косакян С. М.
к.м.н., врач-офтальмолог, отделение глаукомы

Маркелова О. И.
младший научный сотрудник, отдел глаукомы

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней имени Гельмгольца» Минздрава России, Москва, Российская Федерация

Автор для корреспонденции: *Маркелова Оксана Игоревна;* ***e-mail:*** *levinaoi@mail.ru*
Финансирование. *Исследование не имело спонсорской поддержки.*
Конфликт интересов. *Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

Глазной кровоток может использоваться в качестве «диагностического окна» при хирургическом лечении первичной открытоугольной глаукомы. Целью данной работы является исследование параметров ретробульбарного кровотока пациентов с ПОУГ после проведения трабекулэктомии. Проведено обследование ретробульбарного кровотока 50 пациентов с развитой стадией ПОУГ на приборе VOLUSON E8. Анализировали величину показателей максимальной систолической скорости, конечной диастолической скорости и индекса резистентности в ретробульбарных сосудах за неделю до хирургического лечения и через 1,5 месяц после трабекулэктомии. В ходе исследования выявлены статистически значимые ($p \leq 0{,}05$) изменения показателей ретробульбарного кровотока: увеличение показателей максимальной систолической скорости и конечной диастолической скорости ЦАС и ЗКЛЦА, снижение индекса резистентности ЦАС и ЗКЛЦА. Результаты исследования показали, что трабекулэктомия статистически значимо снижает внутриглазное давление у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой. Параллельно с этим было зафиксировано существенное улучшение показателей ретробульбарного кровотока.

Ключевые слова: первичная открытоугольная глаукома, внутриглазное давление, ретробульбарный кровоток, глазной кровоток, трабекулэктомия

doi: 10.29234/2308-9113-2025-13-3-114-122

Для цитирования: Петров С. Ю., Киселева Т.Н., Косакян С. М., Маркелова О. И. Состояние ретробульбарного кровотока у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой после трабекулэктомии. *Медицина* 2025; 13(3): 114-122

Введение

Глаукома представляет собой заболевание, вызванное гибелью ганглиозных клеток сетчатки (ГКС) и сопровождающееся типичными изменениями диска зрительного нерва (ДЗН). При данной офтальмопатологии ключевым фактором риска, поддающимся коррекции, является внутриглазное давление (ВГД) [1,2]. Тем не менее, у части пациентов глаукома прогрессирует даже при достижении целевых показателей внутриглазного давления. Это свидетельствует о наличии других патогенетических механизмов, помимо повышенного давления, участвующих в развитии болезни. В настоящее время активно исследуется сосудистая теория, объясняющая развитие глаукоматозной оптической нейропатии (ГОН) [2-4].

Согласно данной теории, недостаточное кровоснабжение приводит к ишемии ДЗН вследствие нарушения его ауторегуляции [5]. Cherecheanu A. предположил, что первичное изменение гемодинамики происходит на уровне ДЗН. Сочетание повышенного внутриглазного давления (ВГД) и ишемии в постламинарной области диска зрительного нерва (ДЗН) оказывает деструктивное воздействие на аксоны ганглиозных клеток сетчатки (ГКС). Это приводит к снижению их энергетического потенциала, делая ГКС более подверженными вторичным повреждениям. К таким повреждениям относится, в частности, гипоперфузия глаза, когда ауторегуляторные механизмы не способны поддерживать адекватное кровоснабжение. Это, наряду с окислительным стрессом, в конечном итоге может привести к гибели ГКС [3].

Используя современный неинвазивный метод – ультразвуковое исследование в режимах цветового допплеровского картирования (ЦДК) и импульсной допплерографии (ИД), можно оценить кровоток в ретробульбарных сосудах [1,4,6-9]. С помощью режимов данного метода проводят количественную оценку кровотока, определяя следующие показатели: максимальная систолическая (пиковая) скорость кровотока (PSV), конечная диастолическая скорость (EDV) и индекс сопротивления, или индекс резистентности Pourselot (RI). Результаты многочисленных исследований показали, что параметры УЗИ в режимах ЦДК и ИД изменяются у пациентов при первичной открытоугольной глаукоме [10-12].

Если внутриглазное давление не удается стабилизировать, и глаукомная оптическая нейропатия продолжает прогрессировать, рекомендуется хирургическое вмешательство. Эффективная операция способствует существенному снижению ВГД и улучшению кровоснабжения глаза. Тем не менее, данные о влиянии антиглаукомной хирургии на кровоток в глазу у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой остаются неоднозначными [13-18].

Цель исследования

Целью данной работы является исследование параметров ретробульбарного кровотока пациентов с ПОУГ после проведения трабекулэктомии.

Материалы и методы

В исследование были включены: 50 пациентов (50 глаз, средний возраст 67,3±4,8 года) с развитой стадией ПОУГ.

Все обследуемые имели нормальные параметры артериального давления на момент исследования (123±4,1/85±3,5 мм рт. ст.). По поводу глаукомы пациенты обеих групп получали местную гипотензивную терапию (36 человек – комбинированную терапию аналогами простагландина и неселективным блокатором бета-адренорецепторов, 14 человека – комбинированную терапию аналогами простагландина, неселективным блокатором бета-адренорецепторов и ингибиторами карбоангидразы), отмечалась декомпенсация ВГД на гипотензивном режиме и прогрессирование глаукомной оптической нейропатии по данным оптической когерентной томографии и статической периметрии.

Подбор пациентов по стадиям глаукомы проводили с учётом морфологических изменений ДЗН, выявляемых при офтальмоскопии (патологическое отклонение от нормы пропорций неврального ободка, глаукомная экскавация ДЗН, перипапиллярная атрофия), и нарушений в полях зрения. Стандартную автоматизированную периметрию выполняли на периметре Octopus (Швейцария), критериями для развитой стадии глаукомы являлись MD от -6,03 до -17,28 дБ (среднее MD -13,29±9,76 дБ, M±m). Все обследуемые в анамнезе не имели антиглаукоматозных операций.

Все исследуемые были сопоставимы по возрасту, полу, общему состоянию, системным и перенесённым глазным заболеваниям.

Критерии исключения: курение, зрелая катаракта, другие заболевания сетчатки или зрительного нерва, близорукость высокой степени (аномалия рефракции выше -6,00 Д), системные заболевания, которые могут повлиять на офтальмологический кровоток, такие как системная гипертензия с некомпенсированным артериальным давлением, гипотония, сахарный диабет.

Состояние глазного кровотока оценивали с помощью ультразвукового исследования в режимах цветового допплеровского картирования (ЦДК) и импульсной допплерографии (ИД) с помощью прибора «Система ультразвуковая диагностическая медицинская VOLUSON E8». Регистрировали величину показателей максимальной систолической скорости (PSV), конечной диастолической скорости (EDV) и индекса резистентности (RI) в ретробульбарных сосудах за неделю до хирургического лечения и через 1,5 месяца после трабекулэктомии.

Все оперативные вмешательства были выполнены одним хирургом. Послеоперационная терапия была аналогичной для всех пациентов, и состояла из интенсивного местного противовоспалительного лечения (глюкокортикостероидные, нестероидные противовоспалительные и антибактериальные препараты).

Пациенты включались в исследование в том случае, если все послеоперационные осмотры (1-2 недели и 1,5 месяца после хирургического лечения) сопровождались компенсацией ВГД без гипотензивного режима.

Статистическая обработка результатов исследования выполнена с использованием приложения Microsoft Excel. Выборки соответствовали распределению пациентов по группам. Рассчитывали средние величины параметров (M) и среднеквадратическое отклонение (σ). Все выборки подчинялись нормальному закону распределения. Для проверки достоверности различий между средними значениями выборок использовали параметрический двусторонний t-критерий Стьюдента. Различия считали достоверными на уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

Результаты исследования представлены в Таблице 1. В группе исследуемых отмечаются статистически значимые ($p \leq 0,05$) изменения показателей ретробульбарного кровотока: увеличение показателей максимальной систолической скорости и конечной диастолической скорости ЦАС и ЗКЛЦА, снижение индекса резистентности ЦАС и ЗКЛЦА.

Наибольшие изменения характерны для показателей кровотока ЗКЛЦА: увеличение показателей максимальной систолической скорости и конечной диастолической скорости на 15% и 29%, снижение индекса резистентности на 8%. Параметры кровотока ЦАС – увеличение максимальной систолической скорости и конечной диастолической скорости – 12% и 25%, снижение индекса резистентности на 6%, увеличение конечной диастолической скорости ЗКМЦА – на 8%.

Статистически значимых изменений ($p<0,05$) показателей максимальной систолической скорости, конечной диастолической скорости, индекса резистентности глазной артерии и задних коротких медиальных цилиарных артерий не отмечено.

Таблица 1. Параметры ВГД и ретробульбарного кровотока в исследуемых группах до и через 1,5 месяца после трабекулэктомии.

Параметры кровотока	Показатели кровотока в исследуемых группах (см/с) до трабекулэктомии	Показатели кровотока в исследуемых группах (см/с) через 1 месяц после трабекулэктомии
	Группа 1	Группа 1
ВГД	29,7±3,6	14,3±2,5*
PSV ГА	34,78±3,05	35,03±2,73
EDV ГА	8,25±1,75	8,65±1,93
RI ГА	0,77±0,06	0,76±0,05
PSV ЦАС	11,24±1,25	12,58±1,34*
EDV ЦАС	3,45±0,69	4,3±0,71*
RI ЦАС	0,70±0,07	0,65±0,07*
PSV ЗКЛЦА	11,32±1,39	13,05±1,33*
EDV ЗКЛЦА	4,12±0,66	5,31±0,55*
RI ЗКЛЦА	0,66±0,05	0,60±0,04*
PSV ЗКМЦА	11,93±1,27	12,11±1,24
EDV ЗКМЦА	4,54±0,83	4,93±0,75*
RI ЗКМЦА	0,65±0,06	0,62±0,04

Примечание: *$p<0,05$, разница статистически достоверна с группой 1 до хирургического лечения; ГА – глазная артерия, ЦАС - центральная артерия сетчатки, ЗКЛЦА – задние короткие латеральные цилиарные артерии, ЗКМЦА – задние короткие медиальные цилиарные артерии

Обсуждение

В проведенном исследовании антиглаукоматозное хирургическое лечение – трабекулэктомия, привело к статистически значимому и устойчивому изменению показателей ретробульбарного кровотока: наблюдалось статистически значимое увеличение преимущественно конечной диастолической скорости в центральной артерии сетчатки и задней короткой латеральной цилиарной артерии.

Все 50 пациентов успешно перенесли трабекулэктомию без необходимости дополнительной медикаментозной гипотензивной терапии. В первую неделю после операции ВГД снизилось примерно на 60% по сравнению с предоперационными показателями. При последующих визитах отмечалось повышение ВГД по сравнению с вышеописанными результатами, однако оно оставалось значительно ниже (на 47%) исходных значений.

Вышеописанные результаты нашего исследования подтверждают выводы, полученные в других научных работах. Например, исследование Trible J. показало, что у 20 пациентов после операции наблюдалось значительное улучшение кровотока: увеличилась конечная диастолическая скорость, а сопротивление сосудов в центральной артерии сетчатки и задних коротких цилиарных артериях (в латеральной и медиальной ветвях) снизилось. При этом в глазной артерии существенных изменений не зафиксировано [16]. Аналогичные результаты были получены Januleviciene I., исследовано 16 пациентов с открытоугольной глаукомой (ПОУГ) после трабекулэктомии. Она также отметила значительное увеличение кровотока в ретробульбарных сосудах, в частности, в центральной артерии сетчатки (ЦАС), и увеличение конечной диастолической скорости в задних коротких цилиарных артериях (ЗКЛЦА) уже через месяц после операции [1]. Сопоставляя наши данные с исследованиями Poinoosawmy D. и von Schulthess S., можно отметить, что они также зафиксировали увеличение скорости кровотока в ретробульбарных сосудах не только у пациентов с ПОУГ после трабекулэктомии, но и у пациентов с глаукомой нормального давления после хирургического лечения [14,15]. Таким образом, большинство исследований обнаружили увеличение параметров глазного кровотока у пациентов с глаукомой вследствие значительного снижения ВГД после трабекулэктомии [13-17].

Несмотря на то, что влияние улучшения кровообращения в глазу на развитие глаукомы в долгосрочной перспективе пока недостаточно изучено и требует дальнейших исследований, интерес к этой теме растет.

Заключение

Результаты исследования показали, что трабекулэктомия статистически значимо снижает внутриглазное давление (ВГД) у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ). Параллельно с этим было зафиксировано существенное улучшение показателей ретробульбарного кровотока. Несмотря на выявленные значимые изменения, клиническая интерпретация полученных данных и их взаимосвязь с морфофункциональными характеристиками у пациентов с ПОУГ остаются предметом дальнейших проспективных исследований.

Авторский вклад

С.Ю. Петров – концепция и дизайн исследования, анализ полученных данных, написание текста, обзор литературы.

Т.Н. Киселева – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, написание текста, обзор литературы.

С.М. Косакян – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, написание текста, обзор литературы.

О.И. Маркелова – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста, обзор литературы.

Литература

1. Januleviciene I., Siaudvytyte L., Diliene V., et al. Effect of Trabeculectomy on Ocular Hemodynamic Parameters in Pseudoexfoliative and Primary Open-Angle Glaucoma Patients. *J Glaucoma* 2015; 24(5): e52-56, *doi:* 10.1097/IJG.0000000000000055

2. Петров С.Ю., Орлова Е.Н., Киселева Т.Н., и др. Микроциркуляция глаза при глаукоме. Часть 2. Нарушения региональной гемодинамики. *Офтальмологические ведомости* 2024: 17(4): 99-110, *doi:* 10.17816/OV630422

3. Cherecheanu A.P., Garhofer G., Schmidl D., et al. Ocular perfusion pressure and ocular blood flow in glaucoma. *Curr Opin Pharmacol.* 2013; 13(1): 36-42, *doi:* 10.1016/j.coph.2012.09.003

4. Киселева Т.Н., Петров С.Ю., Охоцимская Т.Д., и др. Современные методы качественной и количественной оценки микроциркуляции глаза. *Российский офтальмологический журнал* 2023; 16(3): 152-158, *doi:* 10.21516/2072-0076-2023-16-3-152-158

5. Hayreh S.S. Blood flow in the optic nerve head and factors that may influence it. *Prog Retin Eye Res.* 2001; 20(5): 595-624, *doi:* 10.1016/s1350-9462(01)00005-2

6. Kuerten D., Fuest M., Koch E.C., et al. Long term effect of trabeculectomy on retrobulbar haemodynamics in glaucoma. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2015; 35(2): 194-200, *doi:* 10.1111/opo.12188

7. Киселева О.А., Макуха С.А., Якубова Л.В., и др. Исследование гемодинамики глаз больных первичной открытоугольной глаукомой после фистулизирующей хирургии. *Российский офтальмологический журнал* 2014; 7(2): 94-96.

8. Петров С.Ю., Орлова Е.Н., Киселева Т.Н., и др. Микроциркуляция глаза при глаукоме. Часть 3. Влияние гипотензивного лечения. *Офтальмологические ведомости* 2025; 18(2): 95-102, *doi:* 10.17816/OV632510

9. Юсеф Ю., Казарян Э.Э., Рафаэлян А.А., и др. Особенности глазного кровотока и методы его исследования. *Офтальмология* 2023; 20(1): 33-40, *doi:* 10.18008/1816-5095-2023-1-33-40

10. Bittner M., Faes L., Boehni S.C., et al. Colour Doppler analysis of ophthalmic vessels in the diagnosis of carotic artery and retinal vein occlusion, diabetic retinopathy and glaucoma: systematic review of test accuracy studies. *BMC Ophthalmol*. 2016; 16(1): 214, *doi:* 10.1186/s12886-016-0384-0

11. Magureanu M., Stanila A., Bunescu L.V., et al. Color Doppler imaging of the retrobulbar circulation in progressive glaucoma optic neuropathy. *Rom J Ophthalmol*. 2016; 60(4): 237-248.

12. Петров С.Ю., Киселева Т.Н., Охоцимская Т.Д., и др. Микроциркуляция глаза при глаукоме. Часть 1. Методы исследования. *Офтальмологические ведомости* 2024; 17(3): 113-123, *doi:* 10.17816/OV628995

13. Berisha F., Schmetterer K., Vass C., et al. Effect of trabeculectomy on ocular blood flow. *Br J Ophthalmol.* 2005; 89(2): 185-188, *doi:* 10.1136/bjo.2004.048173

14. Poinoosawmy D., Indar A., Bunce C., et al. Effect of treatment by medicine or surgery on intraocular pressure and pulsatile ocular blood flow in normal-pressure glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2002; 240(9): 721-726, *doi:* 10.1007/s00417-002-0504-9

15. von Schulthess S.R., Kaufmann C., Bachmann L.M., et al. Ocular pulse amplitude after trabeculectomy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2006; 244(1): 46-51, *doi:* 10.1007/s00417-005-0065-9

16. Trible J.R., Sergott R.C., Spaeth G.L., et al. Trabeculectomy is associated with retrobulbar hemodynamic changes. A color Doppler analysis. *Ophthalmology* 1994; 101(2): 340-351, *doi:* 10.1016/s0161-6420(13)31332-3

17. James C.B. Effect of trabeculectomy on pulsatile ocular blood flow. *Br J Ophthalmol*. 1994; 78(11): 818-822, *doi:* 10.1136/bjo.78.11.818

18. Flammer J., Orgul S., Costa V.P., et al. The impact of ocular blood flow in glaucoma. *Prog Retin Eye Res.* 2002; 21(4): 359-393, doi:10.1016/s1350-9462(02)00008-3

Retrobulbar Blood Flow in Patients with Primary Open-Angle Glaucoma After Trabeculectomy

Petrov S. Yu.
Doctor of Medicine, Head, Glaucoma Department

Kiseleva T. N.
Doctor of Medicine, Professor, Head, Ultrasound Diagnostics Department

Kosakyan S. M.
MD, PhD, Ophtalmologist, Glaucoma Department

Markelova O. I.
Junior Researcher, Glaucoma Department

Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, Moscow, Russian Federation

Corresponding Author: *Markelova O.I.;* ***e-mail:*** *levinaoi@mail.ru*
Conflict of interest. *None declared.*
Funding. *The study had no sponsorship.*

Abstract

Ocular blood flow can be used as a "diagnostic window" in the surgical treatment of primary open-angle glaucoma. The aim of this study is to investigate the parameters of retrobulbar blood flow in patients with POAG after trabeculectomy. The retrobulbar blood flow of 50 patients with an advanced stage of POAG was examined using a VOLUSON E8 device. The values of the peak systolic velocity, end-diastolic velocity, and resistive index in the retrobulbar vessels were analyzed one week before surgical treatment and 1.5 months after trabeculectomy. The study revealed statistically significant (p≤0.05) changes in retrobulbar blood flow parameters: an increase in the peak systolic velocity and end-diastolic velocity in the central retinal artery (CRA) and short posterior ciliary arteries (SPCA), and a decrease in the resistive index in the CRA and SPCA.The results of the study showed that trabeculectomy statistically significantly reduces intraocular pressure in patients with primary open-angle glaucoma. Concurrently, a significant improvement in retrobulbar blood flow parameters was recorded.

Keywords: primary open-angle glaucoma, intraocular pressure, retrobulbar blood flow, ocular blood flow, trabeculectomy

References

1. Januleviciene I., Siaudvytyte L., Diliene V., et al. Effect of Trabeculectomy on Ocular Hemodynamic Parameters in Pseudoexfoliative and Primary Open-Angle Glaucoma Patients. *J Glaucoma* 2015; 24(5): e52-56, *doi:* 10.1097/IJG.0000000000000055

2. Petrov S.Y., Orlova E.N., Kiseleva T.N., et al. Mikrocirkulyaciya glaza pri glaukome. Chast' 2. Narusheniya regional'noj gemodinamiki. [Eye microcirculation in glaucoma. Part 2. Disorders of regional hemodynamics.] *Oftal'mologicheskie vedomosti [Ophthalmology Reports]* 2024: 17(4): 99-110, *doi:* 10.17816/OV630422 (In Russ.)

3. Cherecheanu A.P., Garhofer G., Schmidl D., et al. Ocular perfusion pressure and ocular blood flow in glaucoma. *Curr Opin Pharmacol.* 2013; 13(1): 36-42, *doi:* 10.1016/j.coph.2012.09.003

4. Kiseleva T.N., Petrov S.Yu., Okhotsimskaya T.D., et al. Sovremennye metody kachestvennoj i kolichestvennoj ocenki mikrocirkulyacii glaza. [State-of-the-art methods of qualitative and quantitative assessment of eye microcirculation.] *Rossijskij oftal'mologicheskij zhurnal [Russian Ophthalmological Journal]* 2023; 16(3): 152-158, *doi:* 10.21516/2072-0076-2023-16-3-152-158 (In Russ.)

5. Hayreh S.S. Blood flow in the optic nerve head and factors that may influence it. *Prog Retin Eye Res.* 2001; 20(5): 595-624, *doi:* 10.1016/s1350-9462(01)00005-2

6. Kuerten D., Fuest M., Koch E.C., et al. Long term effect of trabeculectomy on retrobulbar haemodynamics in glaucoma. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2015; 35(2): 194-200, *doi:* 10.1111/opo.12188

7. Kiseleva O.A., Makukha S.A., Yakubova L.V., et al. Issledovanie gemodinamiki glaz bol'nyh pervichnoj otkrytougol'noj glaukomoj posle fistuliziruyushchej hirurgii. [Ocular Hemodynamics of patients with primary open-angle glaucoma after fistulizing surgery.] *Rossijskij oftal'mologicheskij zhurnal [Russian Ophthalmological Journal]* 2014; 7(2): 94-96. (In Russ.)

8. Petrov S.Y., Orlova E.N., Kiseleva T.N., et al. Mikrocirkulyaciya glaza pri glaukome. Chast' 3. Vliyanie gipotenzivnogo lecheniya. [Eye microcirculation in glaucoma. Part 3. Hypotensive therapy effect.] *Oftal'mologicheskie vedomosti [Ophthalmology Reports]* 2025; 18(2): 95-102, *doi:* 10.17816/OV632510 (In Russ.)

9. Yusef N.Yu., Kazaryan E.E., Rafaelyan A.A., et al. Osobennosti glaznogo krovotoka i metody ego issledovaniya. [Features of ocular blood flow and methods for it's study.] *Oftal'mologiya [Ophthalmology in Russia]* 2023; 20 (1): 33-40, *doi:* 10.18008/1816-5095-2023-1-33-40 (In Russ.)

10. Bittner M., Faes L., Boehni S.C., et al. Colour Doppler analysis of ophthalmic vessels in the diagnosis of carotic artery and retinal vein occlusion, diabetic retinopathy and glaucoma: systematic review of test accuracy studies. *BMC Ophthalmol*. 2016; 16(1): 214, *doi:* 10.1186/s12886-016-0384-0

11. Magureanu M., Stanila A., Bunescu L.V., et al. Color Doppler imaging of the retrobulbar circulation in progressive glaucoma optic neuropathy. *Rom J Ophthalmol*. 2016; 60(4): 237-248.

12. Petrov S.Y., Kiseleva T.N., Okhotsimskaya T.D., et al. Mikrocirkulyaciya glaza pri glaukome. Chast' 1. Metody issledovaniya. [Eye microcirculation in glaucoma. Part 1. Diagnostic methods.] *Oftal'mologicheskie vedomosti [Ophthalmology Reports]* 2024; 17(3): 113-123, *doi:* 10.17816/OV628995 (In Russ.)

13. Berisha F., Schmetterer K., Vass C., et al. Effect of trabeculectomy on ocular blood flow. *Br J Ophthalmol.* 2005; 89(2): 185-188, *doi:* 10.1136/bjo.2004.048173

14. Poinoosawmy D., Indar A., Bunce C., et al. Effect of treatment by medicine or surgery on intraocular pressure and pulsatile ocular blood flow in normal-pressure glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2002; 240(9): 721-726, *doi:* 10.1007/s00417-002-0504-9

15. von Schulthess S.R., Kaufmann C., Bachmann L.M., et al. Ocular pulse amplitude after trabeculectomy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2006; 244(1): 46-51, *doi:* 10.1007/s00417-005-0065-9

16. Trible J.R., Sergott R.C., Spaeth G.L., et al. Trabeculectomy is associated with retrobulbar hemodynamic changes. A color Doppler analysis. *Ophthalmology* 1994; 101(2): 340-351, *doi:* 10.1016/s0161-6420(13)31332-3

17. James C.B. Effect of trabeculectomy on pulsatile ocular blood flow. *Br J Ophthalmol*. 1994; 78(11): 818-822, *doi:* 10.1136/bjo.78.11.818

18. Flammer J., Orgul S., Costa V.P., et al. The impact of ocular blood flow in glaucoma. *Prog Retin Eye Res.* 2002; 21(4): 359-393, doi:10.1016/s1350-9462(02)00008-3