

Влияние хирургического лечения глаукомы на состояние ретинального кровотока по данным лазерной спекл-флоуграфии

Петров С. Ю.

д.м.н., начальник отдела глаукомы, врач-офтальмолог¹

ORCID 0000-0001-6922-0464-4314

Охоцимская Т. Д.

к.м.н., врач-офтальмолог отделения патологии сетчатки и зрительного нерва¹

ORCID 0000-0003-1121-4314

Косакян С. М.

к.м.н., врач-офтальмолог отделения глаукомы¹

ORCID 0000-0002-6180-960X

Маркелова О. И.

младший научный сотрудник отдела глаукомы¹

ORCID 0000-0002-8090-6034

1 – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней имени Гельмгольца» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 105062, Россия, Москва, ул. Садовая-Черногрязская, д. 14/19.

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 является одним из факторов, инициирующих развитие и поддерживающих прогрессирование глаукомной оптической нейропатии. Целью данной работы является исследование влияния хирургического лечения глаукомы на состояние ретинального кровотока и ДЗН по данным лазерной спекл-флоуграфии. Изменение кровотока исследовали на 40 пациентах с развитой и далекозашедшей стадией ПОУГ на приборе «лазерный анализатор кровотока глазного дна LSFG-RetFlow». Анализировали количественный интегральный параметр объемной скорости кровотока в исследуемых зонах - MBR за неделю до и через 1,5 месяца после трабекулоэктомии. В ходе исследования в 1 и 2 группах выявлены статистически значимые ($p \leq 0,05$) изменения показателей MV и MT ДЗН и перипапиллярной области сетчатки, имеющие сходные тенденции: увеличение через 1,5 месяца после хирургического лечения. Отмечена значимая обратная корреляционная взаимосвязь MV и MT с показателями ВГД после трабекулоэктомии. Результаты исследования свидетельствуют об улучшении гемодинамических показателей после трабекулоэктомии. Однако влияние глазной микроциркуляции на прогноз прогрессирования глаукомной оптической нейропатии требует дальнейшего изучения.

Ключевые слов: первичная открытоугольная глаукома, внутриглазное давление, глазная гемодинамика, ретинальный кровоток, трабекулоэктомия

doi: 10.29234/2308-9113-2025-13-4-121-129

Для цитирования: Петров С. Ю., Охоцимская Т. Д., Косакян С. М., Маркелова О. И. Влияние хирургического лечения глаукомы на состояние ретинального кровотока по данным лазерной спекл-флоуграфии. *Медицина* 2025; 13(4): 121-129

Введение

Глаукома — это мультифакторное заболевание, в качестве ведущих факторов риска которого отмечают возраст (старше 40 лет) [1], аномалии рефракции (миопия средней и высокой степени увеличивает частоту возникновения глаукомы в 2-3 раза) [2] и наследственность [3]. Стоит отметить, что повышенный офтальмотонус играет важную роль в повреждении ганглиозных клеток сетчатки (ГКС), однако, в то же время, нормализация внутриглазного давления (ВГД) у ряда пациентов не всегда сопровождается замедлением прогрессирования глаукомной оптической нейропатии (ГОН) [4-6]. Это предполагает наличие других факторов в иницировании и поддержании патологического процесса, в том числе связанных с глазным кровотоком [7-9].

Лазерная спекл-флоуграфия (ЛСФГ) — это метод комплексной оценки глазного кровотока, в котором используется явление интерференции для создания двумерной карты исследуемого кровотока [10]. Показатель средней скорости размытия спекл-изображений (MBR) обладает высокой воспроизводимостью у здоровых добровольцев и пациентов с глаукомой [11-14]. MBR - важный параметр ЛСФГ, определяющий относительную скорость эритроцитов, измеренную в условных единицах. На основе интегрального показателя MBR отдельно вычисляют MBR для всей исследуемой области (MBR of all area, MA), MBR для крупных сосудов (MBR of Vascular area, MV) и микроциркуляторного русла (MBR of Tissue area, MT) исследуемой области [15]. В глазах с первичной открытоугольной глаукомой (ПОУГ) с помощью ЛСФГ выявили снижение показателей кровотока в диске зрительного нерва, предшествующее уменьшению толщины слоя перипапиллярных нервных волокон сетчатки [16]. В предыдущем исследовании сообщалось, что более высокие показатели сосудистого сопротивления по данным ЛСФГ были связаны с быстрой функциональной потерей у пациентов с подозрением на глаукому [17].

Трабекулоэктомия проводится пациентам с глаукомой и некомпенсированным внутриглазным давлением. Лишь в нескольких исследованиях изучалось влияние хирургического лечения глаукомы на глазной кровоток с помощью лазерной спекл-флоуграфии, были описаны существенные изменения в показателях MBR, преимущественно в параметрах формы пульсовой волны – BOS, RI и ATI. Данные показатели непосредственно связаны с кровотоком в диске зрительного нерва [18, 19].

Цель исследования

Целью данной работы является исследование влияния хирургического лечения глаукомы на состояние ретинального кровотока по данным лазерной спекл-флоуграфии.

Материалы и методы

В исследование были включены: 40 пациентов (40 глаз, средний возраст $69,2 \pm 4,3$ года) с развитой (1 группа) и далекозашедшей (2 группа) стадиями ПОУГ.

По поводу глаукомы пациенты обеих групп получали местную гипотензивную терапию (16 человек – комбинированную терапию аналогами простагландина и неселективным блокатором бета-адренорецепторов, 24 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 и нарушений в полях зрения. Стандартную автоматизированную периметрию выполняли на периметре Octopus (Швейцария), критериями для глаукомы являлись MD от $-6,03$ до $-17,28$ дБ (среднее MD $-14,13 \pm 8,56$ дБ, $M \pm m$). Все обследуемые в анамнезе не имели антиглаукоматозных операций.

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

Состояние глазного кровотока оценивали с помощью лазерной спекл-флоуграфии (ЛСФГ) на приборе «лазерный анализатор кровотока глазного дна LSVG-RetFlow» («Nidek», Япония) с целью объективной количественной оценки кровообращения ДЗН, перипапиллярной области сетчатки.

Основной показатель, определяемый с помощью ЛСФГ, носит название «средний показатель нечеткости (размытости) изображения» (Mean Blur Rate, MBR), и является количественным интегральным параметром объемной скорости кровотока в исследуемых зонах. Показатель MBR вычисляют для следующих зон:

- MBR для крупных сосудов (MBR of vascular area, MV);
- MBR для микроциркулярного русла (MBR of tissue area, MT);
- MBR для всей исследуемой области (MBR of all area, MA).

Исследование проводили за неделю до хирургического лечения и через 1,5 месяца после трабекулоэктомии.

Все оперативные вмешательства были выполнены одним хирургом. Послеоперационное лечение было аналогичным для всех пациентов, состоящих из интенсивного местного противовоспалительного лечения (глюкокортикостероидные, нестероидные противовоспалительные и антибактериальные препараты).

Пациенты были включены 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 $p \leq 0,05$. Выполняли корреляционный анализ: для вычисления линейной зависимости между непрерывными признаками использовали коэффициент корреляции Пирсона. Степень показателя тесноты связи между параметрами качественно оценивалась по шкале Чеддока (0,1-0,3 – слабая, 0,3-0,5 – умеренная, 0,5-0,7 – заметная, 0,7-0,9 – высокая, 0,9-0,99 – весьма высокая).

Результаты

Выявлены достоверно значимые ($p \leq 0,05$) изменения внутриглазного давления в исследуемых группах, которые сохранялись через 1,5 месяца после проведения хирургического лечения.

В группах 1 и 2 отмечаются статистически значимые ($p \leq 0,05$) изменения количественных показателей объемного кровотока, имеющие сходные тенденции: увеличение показателей MV, MT и MA.

Наибольшие изменения характерны для показателей кровотока крупных сосудов и микроциркуляторного русла: для 1 группы – увеличение на 10% и 22% соответственно; для 2 группы – увеличение данных показателей на 11% и 18%.

Таблица 1. Параметры ВГД и кровотока диска зрительного нерва в исследуемых группах до и через 1,5 месяца после трабекулоэктомии.

Параметры кровотока	Показатели кровотока в исследуемых группах (см/с) до трабекулоэктомии		Показатели кровотока в исследуемых группах (см/с) через 1,5 месяца после трабекулоэктомии	
	Группа 1	Группа 2	Группа 1	Группа 2
ВГД	31,3±3,6	28,9±4,3	14,8±2,8*	13,7±3,6**
MV	29,47±2,24	26,4±2,35	32,4±2,5*	29,3±2,4**
MT	10,04±1,83	8,7±1,3	12,24±1,98*	10,3±1,46**
MA	16,40±0,85	14,2±0,94	17,3±0,65	15,1±0,77

Примечание: * $p < 0,05$, разница статистически достоверна с группой 1 до хирургического лечения, ** $p < 0,05$, разница статистически достоверна с группой 2 до хирургического лечения; MV - MBR для крупных сосудов, MT - MBR для микроциркулярного русла, MA - MBR для всей исследуемой области.

Корреляционный анализ параметров кровотока диска зрительного нерва и перипапиллярной области сетчатки по данным ЛСФГ и показателей ВГД у пациентов с ПОУГ развитой и далекозашедшей стадии показал следующее (табл. 2).

Выявлена значимая обратная корреляционная взаимосвязь MV и МТ с показателями ВГД ($r=-0,71$, $r=-0,73$; $r=-0,67$, $r=-0,71$ соответственно для группы 1 и 2).

Таб. 2. Корреляционный анализ данных кровотока по данным ЛСФГ с параметрами ВГД в исследуемых группах

Параметры кровотока по данным УЗДГ	Параметры ВГД 1 группы	Параметры ВГД 2 группы
MV	-0,71	-0,67
MT	-0,73	-0,71
MA	-0,61	-0,59

Примечание: MV - MBR для крупных сосудов, MT - MBR для микроциркуляторного русла, MA - MBR для всей исследуемой области.

Обсуждение

В проведенном исследовании трабекулоэктомия привела к статистически значимому и устойчивому изменению количественных показателей объемного кровотока диска зрительного нерва и перипапиллярной области сетчатки: наблюдалось статистически значимое увеличение преимущественно MBR микроциркуляторного русла исследуемых зон.

Все 40 пациентов успешно перенесли трабекулоэктомию без необходимости дополнительной медикаментозной гипотензивной терапии. В первую неделю после операции ВГД снизилось примерно на 58% по сравнению с предоперационными показателями. При последующих визитах отмечалось повышение ВГД по сравнению с вышеописанными результатами, однако оно оставалось значительно ниже (на 44%) исходных значений. Выявлена значимая корреляционная взаимосвязь между данными показателями кровотока и ВГД.

Вышеописанные результаты нашего исследования подтверждают выводы, полученные в других научных работах. Например, Kiyota N. сообщил, что в глазах с глаукомой в верхнем и височном секторах ДЗН дефектам толщины слоя нервных волокон с большей вероятностью предшествует снижение МТ [16]. Наши результаты показали, что МТ ДЗН был значительно увеличен через 1,5 месяца после операции, что соответствует результатам исследования Takeshima S., где обнаружили стабильное изменение показателей пульсовой волны по данным ЛСФГ после трабекулоэктомии [19]. Tribble J.R. с помощью УЗИ в режимах ЦДК и ИД обнаружил увеличение скорости кровотока и уменьшение сосудистого

сопротивления в центральной артерии сетчатки и задних коротких цилиарных артериях после трабекулоэктомии [20]. Наше предыдущее исследование зафиксировало существенное улучшение показателей ретробульбарного кровотока через 1 месяц после антиглаукоматозного хирургического лечения [21]. Verisha F., используя сканирующую лазерную доплеровскую флоуметрию, оценивали изменения кровотока в ДЗН после трабекулоэктомии у пациентов с ПОУГ. Наблюдалось значительное увеличение кровотока в ДЗН через 10 недель после трабекулоэктомии, что было связано с увеличением перфузионного давления глаза [22].

Наши результаты, наряду с другими описанными методами оценки кровотока в ДЗН, свидетельствуют об улучшении гемодинамических показателей после трабекулоэктомии. Однако влияние глазной микроциркуляции на развитие глаукомы требует дальнейших исследований.

Заключение

Данное исследование позволило оценить количественные параметры объемного кровотока ДЗН и перипапиллярной области сетчатки после трабекулоэктомии с помощью ЛСФГ. После описанного хирургического лечения выявлено увеличение данных показателей, что тесно взаимосвязано с изменениями ВГД. Послеоперационные показатели кровотока свидетельствуют о более стабильной перфузии в течение одного сердечного сокращения преимущественно в тканях ДЗН. Необходимы дальнейшие исследования для определения взаимосвязи между послеоперационными гемодинамическими изменениями и структурными параметрами ДЗН для оценки прогноза прогрессирования глаукомной оптической нейропатии.

Вклад авторов

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

Т. Д. Охоцимская – 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.

Список литературы

1. Miglior G.S., Pfeiffer N., et al. Predictive factors for open-angle glaucoma among patients with ocular hypertension in the European Glaucoma Prevention Study. *European Glaucoma Prevention Study. Ophthalmology.* 2007; 114 (1): 3-9.
2. Mitchell P., Lee A. J., Rochtchina E. et al. Open-angle glaucoma and systemic hypertension: the blue mountains eye study. *J Glaucoma.* 2004; 13 (4): 319-326.
3. Abu-Amero K., Kondkar A. A., Chalam K.V. An updated review on the genetics of primary open angle glaucoma. *Int J Mol Sci.* 2015; 16 (12): 28886-28911.
4. Chauhan B.C., Drance S.M. The relationship between intraocular pressure and visual field progression in glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1992; 230 (6): 521-6.
5. Heijl A., Leske M.C., Bengtsson B., et al. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: results from the early manifest glaucoma trial. *Arch Ophthalmol.* 2002;120:1268–1279.
6. Shimazaki T., Nitta E., Nakano Y., et al. The effect of trabeculectomy on disc tissue blood flow across quadrants in open angle glaucoma. *J Glaucoma.* 2025; 34 (4): 290-296.
7. Nakazawa T. Ocular blood flow and influencing factors for glaucoma. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila).* 2016; 5: 38–44.
8. Kuerten D., Fuest M., Walter P., et al. Association of ocular blood flow and contrast sensitivity in normal tension glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2021; 259: 2251–2257.
9. Hong J.W., Sung K.R., Shin J.W. Optical coherence tomography angiography of the retinal circulation following trabeculectomy for glaucoma. *J Glaucoma.* 2023; 32: 293–3008.
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. Neroev V.V., Okhotsimskaya T.D., Zaytseva O.V., et al. Study of age-related retinal hemodynamic changes by laser speckle flowgraphy. *Ophthalmology Reports.* 2024; 17 (3): 37-46. (In Russ.)
12. Petrov S.Yu., Okhotsimskaya T.D., Markelova O.I. Assessment of age-related changes in the parameters of ocular blood flow of the optic nerve head using laser speckle flowgraphy. *Point of View. East-West.* 2022; 1: 23-26. (In Russ.)
13. Aizawa N., Yokoyama Y., Chiba N., et al. Reproducibility of retinal circulation measurements obtained using laser speckle flowgraphy-NAVI in patients with glaucoma. *Clin Ophthalmol.* 2011; 5: 1171–117.
14. Wada Y., Higashide T., Nagata A., et al. Longitudinal changes in optic nerve head blood flow in normal rats evaluated by laser speckle flowgraphy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2016; 57: 5568–5575.
15. Mursch-Edlmayr A.S., Luft N., Podkowinski D., et al. Laser speckle flowgraphy derived characteristics of optic nerve head perfusion in normal tension glaucoma and healthy individuals: a Pilot study. *Sci Rep.* 2018; 8 (1): 5343.
16. Kiyota N., Shiga Y., Omodaka K., et al. Time-course changes in optic nerve head blood flow and retinal nerve fiber layer thickness in eyes with open-angle glaucoma. *Ophthalmology.* 2021; 128: 663–671.
17. Gardiner S.K., Cull G., Fortune B. Retinal vessel pulsatile characteristics associated with vascular stiffness can predict the rate of functional progression in glaucoma suspects. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2023; 64: 30.
18. Masai S., Ishida K., Anraku A., et al. Pulse waveform analysis of the ocular blood flow using laser speckle flowgraphy before and after glaucoma treatment. *J Ophthalmol.* 2019; 2019: 1980493.
19. Takeshima S., Higashide T., Kimura M., et al. Effects of trabeculectomy on waveform changes of laser speckle flowgraphy in open angle glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2019; 60: 677–684.

20. 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: 340–351.
21. Petrov S. Yu., Kiseleva T.N., Kosakyan S. M., Markelova O. I. Retrobulbar blood flow in patients with primary open-angle glaucoma after trabeculectomy. *Medicine*. 2025; 13(3): 114-122. (In Russ.)
22. Berisha F., Schmetterer K., Vass C., et al. Effect of trabeculectomy on ocular blood flow. *Br J Ophthalmol*. 2005; 89: 185–188.

The effect of glaucoma surgical treatment on the state of retinal blood flow according to laser speckle flowgraphy

Petrov S. Yu.¹

Okhotsimskaya T. D.¹

Kosakyan S. M.¹

Markelova O. I.¹

1 – Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, Moscow, Russia

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 is one of the factors initiating the development and maintaining the progression of glaucomatous optic neuropathy. The purpose of this study is to investigate the effect of glaucoma surgery on retinal blood flow and the optic nerve head using laser speckle flowgraphy. Blood flow changes were measured in 40 patients with developed and advanced primary open-angle glaucoma (POAG) using the LSVG-RetFlow analyzer. The quantitative integral parameter of volumetric blood flow velocity (MBR) in the studied areas was analyzed one week before and 1.5 months after trabeculectomy. Statistically significant ($p \leq 0.05$) changes in MV and MT in the optic nerve head and peripapillary retina were observed in groups 1 and 2, with similar trends: an increase in 1.5 months after surgery. A significant inverse correlation between MV and MT and IOP parameters after trabeculectomy was observed. The study results indicate an improvement in hemodynamic parameters after trabeculectomy. However, the impact of ocular microcirculation on the prognosis of glaucomatous optic neuropathy progression requires further study.

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

References

1. Miglior G.S., Pfeiffer N., et al. Predictive factors for open-angle glaucoma among patients with ocular hypertension in the European Glaucoma Prevention Study. *European Glaucoma Prevention Study*. *Ophthalmology*. 2007; 114 (1): 3-9.
2. Mitchell P., Lee A. J., Rochtchina E. et al. Open-angle glaucoma and systemic hypertension: the blue mountains eye study. *J Glaucoma*. 2004; 13 (4): 319-326.
3. Abu-Amero K., Kondkar A. A., Chalam K.V. An updated review on the genetics of primary open angle glaucoma. *Int J Mol Sci*. 2015; 16 (12): 28886-28911.
4. Chauhan B.C., Drance S.M. The relationship between intraocular pressure and visual field progression in glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 1992; 230 (6): 521-6.

5. Heijl A., Leske M.C., Bengtsson B., et al. Reduction of intraocular pressure and glaucoma progression: results from the early manifest glaucoma trial. *Arch Ophthalmol*. 2002;120:1268–1279.
6. Shimazaki T., Nitta E., Nakano Y., et al. The effect of trabeculectomy on disc tissue blood flow across quadrants in open angle glaucoma. *J Glaucoma*. 2025; 34 (4): 290-296.
7. Nakazawa T. Ocular blood flow and influencing factors for glaucoma. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*. 2016; 5: 38–44.
8. Kuerten D., Fuest M., Walter P., et al. Association of ocular blood flow and contrast sensitivity in normal tension glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2021; 259: 2251–2257.
9. Hong J.W., Sung K.R., Shin J.W. Optical coherence tomography angiography of the retinal circulation following trabeculectomy for glaucoma. *J Glaucoma*. 2023; 32: 293–3008.
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. Neroev V.V., Okhotsimskaya T.D., Zaytseva O.V., et al. Study of age-related retinal hemodynamic changes by laser speckle flowgraphy. *Ophthalmology Reports*. 2024; 17 (3): 37-46. (In Russ.)
12. Petrov S.Yu., Okhotsimskaya T.D., Markelova O.I. Assessment of age-related changes in the parameters of ocular blood flow of the optic nerve head using laser speckle flowgraphy. *Point of View. East-West*. 2022; 1: 23-26. (In Russ.)
13. Aizawa N., Yokoyama Y., Chiba N., et al. Reproducibility of retinal circulation measurements obtained using laser speckle flowgraphy-NAVI in patients with glaucoma. *Clin Ophthalmol*. 2011; 5: 1171–117.
14. Wada Y., Higashide T., Nagata A., et al. Longitudinal changes in optic nerve head blood flow in normal rats evaluated by laser speckle flowgraphy. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016; 57: 5568–5575.
15. Mursch-Edlmayr A.S., Luft N., Podkowinski D., et al. Laser speckle flowgraphy derived characteristics of optic nerve head perfusion in normal tension glaucoma and healthy individuals: a Pilot study. *Sci Rep*. 2018; 8 (1): 5343.
16. Kiyota N., Shiga Y., Omodaka K., et al. Time-course changes in optic nerve head blood flow and retinal nerve fiber layer thickness in eyes with open-angle glaucoma. *Ophthalmology*. 2021; 128: 663–671.
17. Gardiner S.K., Cull G., Fortune B. Retinal vessel pulsatile characteristics associated with vascular stiffness can predict the rate of functional progression in glaucoma suspects. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2023; 64: 30.
18. Masai S., Ishida K., Anraku A., et al. Pulse waveform analysis of the ocular blood flow using laser speckle flowgraphy before and after glaucoma treatment. *J Ophthalmol*. 2019; 2019: 1980493.
19. Takeshima S., Higashide T., Kimura M., et al. Effects of trabeculectomy on waveform changes of laser speckle flowgraphy in open angle glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2019; 60: 677–684.
20. Tribble J.R., Sergott R.C., Spaeth G.L., et al. Trabeculectomy is associated with retrobulbar hemodynamic changes. A color Doppler analysis. *Ophthalmology*. 1994; 101: 340–351.
21. Petrov S. Yu., Kiseleva T.N., Kosakyan S. M., Markelova O. I. Retrobulbar blood flow in patients with primary open-angle glaucoma after trabeculectomy. *Medicine*. 2025; 13(3): 114-122. (In Russ.)
22. Berisha F., Schmetterer K., Vass C., et al. Effect of trabeculectomy on ocular blood flow. *Br J Ophthalmol*. 2005; 89: 185–188.