

# ЭХОГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ИЗМЕНЕНИЙ КРОВотоКА В СОСУДАХ ГЛАЗА И СОННЫХ АРТЕРИЯХ У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМОЙ

Малишевская Т.Н.<sup>1</sup>, Киселева Т.Н.\*<sup>1</sup>, Рензяк Е.В.<sup>2</sup>

DOI: 10.25881/20728255\_2025\_20\_1\_41

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр глазных болезней им. Гельмгольца», Москва

<sup>2</sup> БУ ХМАО – Югры «Окружная клиническая больница», Ханты-Мансийск

**Резюме.** Обоснование. Доказано, что в механизме развития первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ) значимую роль играют изменения гемодинамики в сосудах глаза. В течение последних десятилетий дискутируется вопрос о влиянии окклюзионно-стенотических поражений сонных артерий на прогрессирование ПОУГ.

Цель: изучить особенности кровотока в сосудах глаза и наличие изменений сонных артерий у пациентов с разными стадиями ПОУГ.

Материалы и методы: Обследовано 125 больных (210 глаз) ПОУГ в возрасте от 51 до 79 лет с различными стадиями заболевания: с начальной стадией – 65 глаз (1 группа), с развитой стадией – 126 глаз (2 группа) и с далекозашедшей – 19 глаз (3 группа). Контрольную группу составили 20 здоровых добровольцев (40 глаз) без офтальмопатологии и сердечно-сосудистых заболеваний. Для УЗИ кровотока в сосудах глаза в ретробульбарном пространстве применяли цветное доплеровское картирование (ЦДК) и импульсно-волновую доплерографию. Исследовали кровоток в глазной артерии (ГА), центральной артерии сетчатки (ЦАС), параневральных медиальных и латеральных задних коротких цилиарных артериях (ЗКЦА) с регистрацией основных параметров гемодинамики: максимальной систолической скорости (Vsyst), конечной диастолической скорости (Vdiast) и индекса резистентности или периферического сопротивления (RI). При проведении УЗИ оценивали степень стеноза внутренней сонной артерии (ВСА) по классификации NASCET.

Результаты. На глазах с далекозашедшей ПОУГ отмечалось статистически достоверное снижение показателей Vsyst и V diast и повышение RI в ГА по сравнению с группой контроля и 1-й группой ( $p < 0,05$ ). В случаях развитой и далекозашедшей ПОУГ имело место достоверное снижение Vdiast и увеличение RI в ЦАС и параневральных ЗКЦА по сравнению с таковыми показателями при начальной стадии ПОУГ и группой контроля, что свидетельствовало о дефиците ретинального и хориоидального кровотока при продвинутых стадиях глаукомы. УЗИ с оценкой кровотока сонных артерий показало наличие критического стеноза ВСА с ипсилатеральной стороны в 7,1% и в 21,1% случаев во 2-й и 3-й группах, соответственно. В большинстве глаз (90,8%) с начальной стадией ПОУГ отмечался малый стеноз ВСА

Заключение: УЗИ с оценкой кровотока является неинвазивным, доступным и высокоинформативным методом диагностики патологических изменений гемодинамики в сосудах глаза у пациентов с ПОУГ. Своевременное выявление нарушений регионарного кровотока и патологии сонных артерий при глаукоме будет способствовать определению дальнейшей тактики ведения пациентов с ПОУГ.

**Ключевые слова:** первичная открытоугольная глаукома, ультразвуковое исследование, цветное доплеровское картирование, импульсно-волновая доплерография, кровоток, сосуды глаза, внутренняя сонная артерия.

В офтальмологической литературе имеется целый ряд публикаций о роли поражений брахиоцефальных артерий в развитии первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ), которая, по мнению многих исследователей, является локальным проявлением общей сосудистой патологии с преимущественным поражением внутренней

## ULTRASONIC FEATURES OF THE OCULAR BLOOD FLOW IMPAIRMENT AND THE CHANGES OF CAROTID ARTERIES IN PATIENTS WITH PRIMARY OPEN-ANGLE GLAUCOMA

Malishevskaya T.N.<sup>1</sup>, Kiseleva T.N.\*<sup>1</sup>, Renzyak E.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Helmholtz National Medical Research Center of Eye Diseases, Moscow

<sup>2</sup> Country clinical hospital, Khanty-Mansiisk

**Abstract.** Rationale. It is proved that the changes of ocular blood flow play an important role in the mechanism of primary open-angle glaucoma (POAG) development. The impact of occlusive-stenotic lesions of carotid arteries on POAG progression has been discussed in the course of the last ten years.

Objective: to study the characteristics of ocular blood flow and the changes of carotid arteries in patients with various stages of POAG.

Methods: 125 patients (210 eyes) with various stages of POAG, 65 eyes of them with early stage of POAG (1st group), 126 eyes with moderate stage (2nd group) and 19 eyes with advanced stage (3rd group) were examined. 20 healthy individuals (40 eyes) without ocular pathology and cardiovascular diseases constituted the control group. Ultrasound examination including Color Doppler imaging and pulse dopplerography were used for investigation of blood flow in ocular vessels in the retrobulbar region. The peak systolic velocity (PSV), end diastolic velocity (EDV) and resistance index (RI) were measured in the ophthalmic artery (OA), central retinal artery (CRA) and paraneural medial and lateral short posterior ciliary arteries (sPSA). According to the NASCET criteria, carotid stenosis is categorized.

Results: There was a statistically significant decrease of PSV, EDV in OA and the increase of RI in OA in eyes with advanced stage of POAG compared to control group and the 1st group ( $p < 0,05$ ). The results showed significant decrease of EDV and the increase of RI in CRA, medial and lateral sPSA compared to control and the 1st group that might indicate reduced retinal and choroidal blood flow. Ultrasound examination of carotid arteries showed critical stenosis of internal carotid artery (ICA) on ipsilateral side in 7,9% and 31,5% of cases in the 2nd and the 3rd groups, respectively. The mild stenosis of ICA was detected in the most cases (90,8%) of early POAG

Conclusion: Ultrasound examination with the assessment of blood flow is noninvasive, available and high-informative method for the diagnostics of pathological changes of blood flow in ocular vessels in patients with POAG.

Early detection of impaired local blood flow and the pathology of carotid arteries in patients with glaucoma might contribute to determine the patient care management.

**Keywords:** primary open-angle glaucoma, ultrasound examination, color Doppler imaging, pulse dopplerography, blood flow, ocular vessels, internal carotid artery.

сонной артерии (ВСА) [1-3]. Еще в 1966 г. на основании анализа результатов обследования 123 пациентов с глаукомой Московченко К.П. обнаружила, что у одной трети больных с ПОУГ наряду с местными нарушениями циркуляции внутриглазной жидкости и прогрессированием поражения зрительного нерва имеют значение расстрой-

\* e-mail: tkisseleva@yandex.ru

ства кровообращения ВСА и нарушение гемодинамики в глазной артерии [4].

Федоров С.Н. и соавт. [5] установили взаимосвязь между степенью развития окклюзионно-стенотических поражений ВСА и стадией ПОУГ. Завгородняя Н.Г. и Поплавская И.А. [6] выделили два типа ПОУГ: ишемический тип (при поражении экстракраниального отдела ВСА) и неишемический тип (при поражении интракраниального отдела ВСА), а также определили необходимость оценки патологии мозгового кровообращения при развитии глаукоматозного процесса. По данным авторов функциональная разобщенность Виллизиева круга мозга отмечалась у 98% пациентов с глаукомой.

С помощью доплеровских методов Марченко Л.Н. и соавт. [7] определили снижение показателей максимальной систолической скорости кровотока и повышение индекса резистентности в ВСА у пациентов с ПОУГ. По мнению авторов значимые изменения каротидной гемодинамики наблюдались со стороны глаз с развитой и далекозашедшей стадиями глаукомы. У пациентов с низкой скоростью кровотока в ВСА, передней и средней мозговых артериях отмечалось снижение толщины слоя нервных волокон и показателей светочувствительности сетчатки.

В конце 90-х гг. прошлого века были опубликованы сведения о выраженном снижении показателей скорости кровотока (максимальной систолической и конечной диастолической) и увеличении индекса периферического сопротивления (RI) в ГА и ЦАС у пациентов с глаукомной оптической нейропатией [8].

С использованием УЗИ брахиоцефальных артерий, выполненного у 30 пациентов со стабилизированным течением ПОУГ и у 34 пациентов (59 глаз) с глаукомой нормального давления (ГНД), Киселева Т.Н. и соавт. выявили высокую частоту атеросклеротического поражения ВСА, однако характер его был различен. В 56% случаев ГНД наблюдался выраженный стеноз с наличием гиперэхогенных с неровной изъязвленной поверхностью атеросклеротических бляшек, потенциально опасных в плане сосудистых эмболий. У 6 (17 %) пациентов этой группы стенозирующий атеросклероз сочетался с патологической извитостью ВСА. [9].

Z. Vasontai и соавт. [10] при проведении доплеровской оценки кровотока в брахиоцефальных артериях регистрировали достоверное увеличение показателей ригидности сосудистой стенки сонных артерий у пациентов с ПОУГ по сравнению с нормой ( $p = 0,002$ ).

Другие авторы при обследовании пациентов с разными стадиями ПОУГ на обоих глазах определили увеличение показателей индекса резистентности и пульсационного индекса в ВСА на стороне глаз с более продвинутой стадией глаукомы при отрицательной динамике изменений полей зрения, высоком уровне ВГД и низким перфузионным давлением [11]. Gutman J. и соавт. [12] обнаружили стенозирующий атеросклероз интракраниального отдела ВСА у 90,3% пациентов с ГНД, у 45%

больных была выявлена патологическая экскавация ДЗН, размер которой достоверно коррелировал со степенью выраженности стеноза ВСА.

Однако в литературе есть сведения о том, что окклюзионно-стенотические поражения сонных артерий наблюдаются с одинаковой частотой как у пациентов с глаукомой, так и у лиц, не страдающих данным заболеванием [13; 14].

Таким образом, в течение последних десятилетий роль поражений сонных артерий в патогенезе ПОУГ остается дискуссионной.

Целью нашей работы явилось исследование особенностей кровотока в сосудах глаза и наличия изменений сонных артерий у пациентов с разными стадиями ПОУГ.

## Материал и методы

Обследовано 125 больных (210 глаз) с ПОУГ (женщин – 78 и 47 – мужчин) в возрасте 51 – 79 лет с различными стадиями заболевания: с начальной стадией – 65 глаз (1 группа), с развитой стадией – 126 глаз (2 группа) и с далекозашедшей – 19 глаз (3 группа). Средний возраст пациентов составил  $65,8 \pm 4,2$  лет. Нормализация внутриглазного давления (ВГД) была достигнута на 97 (46,2%) глазах с помощью местных гипотензивных препаратов и на 113 (53,8%) глазах в результате проведения лазерных и хирургических вмешательств. У всех пациентов имела место стабилизированная ПОУГ.

Контрольную группу составили 20 здоровых добровольцев (40 глаз) соответствующего возраста и пола без офтальмопатологии и сердечно-сосудистых заболеваний. Критериями исключения были различные виды лечения, требующие применения бета-блокаторов и блокаторов кальциевых каналов, а также наличие у больных хронических аутоиммунных заболеваний и сахарного диабета. Из исследования также исключались глаза с аметропической рефракцией, превышающей 6,0 D, а также астигматическим компонентом более 3,0 D.

Помимо традиционных методов исследования всем пациентам выполняли компьютерную периметрию при помощи стандартных тестов на анализаторе полей зрения KOWA. Оценивались общепринятые критерии: MD – средняя разница между нормальными значениями с поправкой на возраст, измеренными во всех точках теста; PSD – стандартное шаблонное отклонение (вариабельность дефектов), которое применяется для динамического контроля за развитием глаукоматозных дефектов; показатель суммарной чувствительности.

Для оценки морфометрических параметров ДЗН применялась лазерная сканирующая томография зрительного нерва (Heidelberg Engineering). Оценивалась динамика наиболее клинически значимых параметров: площадь и объем нейротеринального пояса (НПП), соотношение площади ДЗН и экскавации, средняя толщина нервных волокон сетчатки.

Для исследования кровотока в сосудах глаза в ретробульбарном пространстве применяли цветное доплеровское картирование (ЦДК) и импульсно-волновую доплерографию с использованием многофункционального ультразвукового диагностического прибора VOLUSON E8 GE Healthcare и линейного датчика частотой 11 МГц. В соответствии с рекомендациями международных профессиональных организаций во время исследований снижали параметры акустической мощности согласно следующим нормативам: термический индекс (TIS) не более 1,0; механический индекс (MI) не более 0,23, интенсивность ультразвукового потока не более 50 мВ/см<sup>2</sup> [15]. Метод ЦДК позволил визуализировать цветовой паттерн кровотока в глазной артерии (ГА), центральной артерии сетчатки (ЦАС), параневральных медиальных и латеральных задних коротких цилиарных артериях (ЗКЦА). Метод импульсно-волновой доплерографии применяли для регистрации спектра кровотока в сосудах и определения основных параметров гемодинамики: максимальной систолической скорости ( $V_{syst}$ ), конечной диастолической скорости ( $V_{diast}$ ) и индекса резистентности или периферического сопротивления (RI).

Локализацию стенозирования и степень сужения сонных артерий верифицировали с помощью УЗИ с оценкой кровотока на аппарате VOLUSON E8 GE Healthcare. Степень сужения сонных артерий определялась по классификации NASCET: отсутствие стенозов, стенозы менее 30% (малые), 30–49% (умеренные), 50–69% (выраженные), 70–99% (критические) и окклюзия [16].

Все пациенты были консультированы неврологом и терапевтом. При подозрении на интракраниальную патологию выполняли МРТ головного мозга.

Статистический анализ результатов исследования проводился с использованием стандартного пакета программы GraphPad Prism, версия 8.00 для Windows (GraphPad Software, Inc). Для определения распределения полученных данных использовался Shapiro-Wilk's тест. Межгрупповые различия множественных данных анализировали с применением однофакторного ANOVA теста с поправкой Tukey. Для сравнения групп применяли t-критерий Стьюдента. Результаты статистической обработки всех данных были представлены в виде таблиц с указанием среднего арифметического и стандартного отклонения или медианы с 95% доверительным интервалом для нормально и ненормально распределенных данных соответственно. Уровень достоверности данных был установлен при значении  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Острота зрения в обеих группах больных варьировала от 1,0 до 0,01. Границы поля зрения в 1 группе были нормальные или отмечались скотомы в парацентральных участках, во 2 группе в поле зрения отмечалось сужение поля зрения с носовой стороны на 10–15 град. и парацентральные скотомы, в 3-й группе – сужение ПЗ с носовой стороны (или концентрически) менее чем в 15 град. от

точки фиксации. При морфометрическом исследовании области ДЗН в 1 группе было выявлено расширение экскавации и ее вертикально-овальная форма, не доходящая до края ДЗН, во 2 группе – значительное расширение экскавации и в 3 группе – краевая субтотальная экскавация ДЗН.

Анализ результатов исследования кровотока в ГА не выявил значимых изменений показателей гемодинамики в 1-й и 2-й группах по сравнению с группой контроля (Табл. 1). Однако в 3-й группе на глазах с далекозашедшей стадией глаукомы отмечалось статистически достоверное снижение показателей скорости кровотока  $V_{syst}$  и  $V_{diast}$  и повышение индекса периферического сопротивления в ГА по сравнению с группой контроля и 1-й группой ( $p < 0,05$ ). На глазах с развитой и далекозашедшей стадиями ПОУГ имело место достоверное снижение конечной диастолической скорости кровотока и повышение RI в ЦАС по сравнению с таковыми показателями при начальной стадии ПОУГ и группой контроля (Табл. 2). В 7 (36,8%) из 19 глаз 3-й группы отмечалось отсутствие диастолического компонента спектра кровотока в ЦАС ( $V_{diast} = 0$ ), что могло свидетельствовать о недостаточности кровообращения в ретинальном русле и признаках локальной ишемии (Рис. 1 А, Б).

Табл. 1. Средние показатели скорости кровотока в ГА у пациентов с ПОУГ

Группы	Максимальная систолическая скорость ( $V_{syst}$ ) см/сек	Конечная диастолическая скорость кровотока ( $V_{diast}$ ) см/сек	Индекс резистентности (RI)
1-я группа n = 65	43,6±4,9 [37,6–48,2]	10,8 ±2,2 [7,3–12,1]	0,75±0,05 [0,64–0,80]
2-я группа n = 126	39,5±4,1 [33,8–43,0]	6,9±1,2 [4,2–9,0]	0,78±0,04 [0,69–0,85]
3-я группа n = 19	29,2±3,9*, ** [23,7–36,3]	4,7±1,3*, ** [3,3–7,7]	0,81±0,04*, ** [0,70–0,88]
Контроль n = 40	41,8±5,8 [38,1–51,2]	9,3±1,8 [7,1–11,9]	0,72±0,03 [0,65–0,77]

Примечание: n – количество глаз; \* $p < 0,05$  – достоверность относительно показателей в группе контроля; \*\*  $p < 0,05$  – достоверность относительно показателей в 1-й группе.

Табл. 2. Средние показатели скорости кровотока в ЦАС у пациентов с ПОУГ

Максимальная систолическая скорость ( $V_{syst}$ ) см/сек	Конечная диастолическая скорость кровотока ( $V_{diast}$ ) см/сек	Индекс резистентности (RI)
11,9±1,9 [8,1–15,5]	3,4±0,4 [2,1–4,0]	0,71±0,04 [0,64–0,76]
10,2±1,8 [7,6–14,6]	1,7±0,4*, ** [0,2–3,0]	0,81±0,05*, ** [0,69–0,98]
8,3±1,5*, ** [4,9–10,6]	0,3±1,3*, ** [3,3–7,7]	0,95±0,04*, ** [0,70–0,88]
12,8±2,7 [16,5–10,4]	4,1±0,8 [2,1– 4,4]	0,68±0,07 [0,65–0,75]

Примечание: n – количество глаз; \* $p < 0,05$  – достоверность относительно показателей в группе контроля; \*\*  $p < 0,05$  – достоверность относительно показателей в 1-й группе.

Малишевская Т.Н., Киселева Т.Н., Рензак Е.В.  
ЭХОГРАФИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ИЗМЕНЕНИЙ КРОВОТОКА В СОСУДАХ ГЛАЗА  
И СОННЫХ АРТЕРИЯХ У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРВИЧНОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМЫ

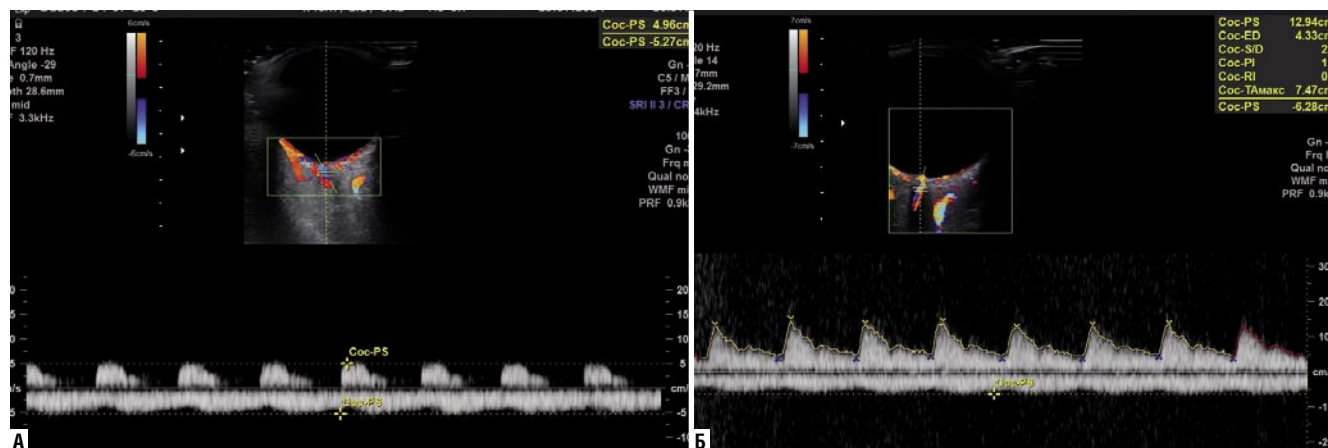


Рис. 1. А – спектр кровотока в ЦАС при далекозашедшей стадии ПОУГ: выраженное снижение максимальной систолической скорости ( $V_{syst}$ ), отсутствие диастолического компонента ( $V_{diast} = 0$ ;  $RI = 1,0$ ); Б – спектр кровотока в ЦАС в норме:  $V_{syst} = 12,9$  см/с,  $V_{diast} = 4,3$  см/с;  $RI = 0,67$ .

Табл. 3. Средние показатели скорости кровотока в ЗКЦА у пациентов с ПОУГ

Группы	Латеральные ЗКЦА			Медиальные ЗКЦА		
	$V_{syst}$ см/сек	$V_{diast}$ см/сек	RI	$V_{syst}$ см/сек	$V_{diast}$ см/сек	RI
1-я группа n = 65	13,4±1,7 [10,4–15,8]	4,6 ±0,4 [2,7–6,1]	0,65±0,03 [0,55–0,70]	12,3±1,7 [9,6–14,2]	4,4±0,3 [3,5–5,6]	0,63±0,03 [0,56–0,69]
2-я группа n = 126	11,9±1,8 [8,0–14,2]	2,9±0,2*, ** [2,5–3,4]	0,71±0,04*, ** [0,63–0,78]	11,2±1,4 [9,3–14,3]	3,0±0,3* [2,0–3,7]	0,69±0,06* [0,65–0,86]
3-я группа n = 19	10,1±1,2* [7,9–13,5]	2,3±0,4*, ** [1,2–3,8]	0,77±0,02*, ** [0,73–1,0]	9,9±1,1*, ** [7,5–12,1]	1,9±0,4*, ** [0,97–2,6]	0,81±0,04*, ** [0,68–1,0]
Контроль n = 40	14,5±2,3 [16,5–10,4]	5,3±1,3 [3,7– 6,9]	0,60±0,04 [0,55–0,66]	13,4±2,5 [15,3–11,5]	4,8±1,1 [3,1– 6,1]	0,62±0,05 [0,56–0,67]

Примечание: n – количество глаз; \* $p < 0,05$  – достоверность относительно показателей в группе контроля; \*\*  $p < 0,05$  – достоверность относительно показателей в 1-й группе.

Аналогичные изменения кровотока у пациентов с ПОУГ наблюдались при регистрации параметров гемодинамики в параневральных латеральных и медиальных ЗКЦА. Выявленные изменения гемодинамики глаза, включающие достоверное снижение показателей скорости кровотока в ЦАС и ЗКЦА при увеличении вазорезистентности является признаком дефицита ретинального и хориоидального кровотока при далекозашедшей стадии ПОУГ. При исследовании кровотока в ЦВС и ВГВ выявлено недостоверное снижение максимальной систолической скорости кровотока в 3-й группе по сравнению с контролем.

УЗИ с оценкой кровотока сонных артерий показало наличие критического стеноза ВСА с ипсилатеральной стороны во 2-й и 3-й группах в 7,1% и 21,1% случаев, соответственно. В большинстве глаз (90,8%) с начальной стадией ПОУГ отмечался малый стеноз ВСА. Со стороны глаз с развитой стадией ПОУГ малый стеноз ВСА был выявлен в 62,7% случаев, умеренный стеноз – в 19,0% и выраженный – 11,1% случаев (Табл. 4). В группе контроля степень стеноза ВСА с обеих сторон не превышала 40%. У большинства «здоровых» лиц (78%) соответствующего возраста регистрировали стеноз ВСА не более 20%.

Табл. 4. Частота встречаемости стеноза ипсилатеральной ВСА со стороны глаз с ПОУГ

Стадия ПОУГ	Малый стеноз ВСА		Умеренный стеноз ВСА		Выраженный стеноз ВСА		Критический стеноз ВСА	
	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
Начальная n = 65	59	90,8	5	7,7	1	1,5	0	0
Развитая n = 126	79	62,7	24	19,0	14	11,1	9	7,1
Далекозашедшая n = 19	4	21,1	5	26,3	6	31,5	4	21,1
Контроль n = 40	40	100	0	0	0	0	0	0

Примечание: n – количество глаз.

Все пациенты с выраженным стенозом ВСА были направлены на консультацию к неврологу и ангиохирургу для определения дальнейшей тактики лечения.

## Обсуждение

Результаты настоящего исследования выявили существенное снижение показателей скорости регионарного кровотока на глазах с развитой и далекозашедшей ста-



диями ПОУГ, что согласуется с многочисленными исследованиями других авторов, которые показали значимые нарушения гемодинамики на глазах с более выраженной стадией глаукомного поражения [17–19]. Кроме того, в нашем исследовании впервые было показано повышение вазорезистентности в ЦАС и параоптических ЗКЦА при развитой и далекозашедшей ПОУГ, что может указывать на ухудшение микроциркуляции сетчатки и зрительного нерва при этих стадиях заболевания и необходимость контроля состояния кровотока в микрососудах макулярной области и ДЗН с использованием специальных методов (ОКТА, лазерная спекл-флоуграфия). Наиболее высокие значения индекса периферического сопротивления в ГА, ЦАС и ЗКЦА были определены на глазах с далекозашедшей стадиями ПОУГ.

Нами была определена взаимосвязь между степенью тяжести глаукомного процесса и степенью стенозирующего атеросклероза ВСА, что подтверждает данные Chou Ch. и соавт. [20] и Lin W. и соавт. [21]. Авторы установили наиболее высокую частоту встречаемости ПОУГ у лиц со стенозирующим атеросклерозом ВСА. Однако нами впервые была установлена частота встречаемости ипсилатерального стеноза ВСА различной степени выраженности на глазах с разными стадиями ПОУГ. В нашем исследовании у большинства пациентов (более 90% случаев) с начальной стадией ПОУГ был выявлен малый стеноз, что было практически сопоставимо с группой контроля и выраженный ипсилатеральный стеноз ВСА в 31,5% случаев далекозашедшей ПОУГ. В ретроспективном когортном исследовании Lin W. et al. [21] на основании результатов обследования 19 590 пациентов с ПОУГ был определен более высокий риск развития ПОУГ у лиц с критическим стенозом ВСА и улучшение гемоперфузии глаз с достоверным снижением риска прогрессирования глаукомы после хирургического лечения (каротидная эндартерэктомия, стентирование). Авторы указывают, что каротидный стеноз относится к независимым факторам риска ПОУГ, повышение которого не зависит от возраста, пола, наличия сахарного диабета и других стандартных факторов развития патологии.

Ограничением нашего исследования явился малый объем клинического материала при далекозашедшей ПОУГ, группы сравнения были не сопоставимы по количеству глаз. Кроме того, мы не проводили специального исследования микроциркуляции сетчатки и области ДЗН с помощью таких методов, как оптическая когерентная томография в ангиорежиме и лазерная спекл-флоуграфия наряду с определением структурно-функциональных характеристик зрительного нерва. Вероятно, это будет перспективным направлением будущих исследований.

## Заключение

Полученные нами результаты исследования глазного кровотока с помощью неинвазивного, доступного и высокоинформативного ультразвукового доплеров-

ского метода указывают на необходимость определения количественных параметров скорости кровотока и вазорезистентности в сосудах глаза у пациентов с ПОУГ. Взаимосвязь между степенью выраженности стеноза ВСА и тяжестью глаукомного процесса свидетельствует о наличии показаний к проведению УЗИ с оценкой кровотока брахиоцефальных артерий пациентам с глаукомой, в особенности с далекозашедшей стадией заболевания. Своевременное выявление нарушений регионарного и магистрального кровотока при глаукоме будет способствовать определению дальнейшей тактики ведения пациентов с ПОУГ.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).**

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Flammer J, Orgül S, Costa VP, et al. The impact of ocular blood flow in glaucoma. *Prog. Retin. Eye Res.* 2002; 21: 359-393. doi: 10.1016/S1350-9462(02)00008-3.
2. Петров С.Ю., Киселева Т.Н., Охотимская Т.Д., Маркелова О.И. Микроциркуляция глаза при глаукоме. Часть 1. Методы исследования // Офтальмологические ведомости. – 2024. – №17(3). – С.113-123. [Petrov SYU, Kiseleva TN, Okhotsimskaya TD, Markelova OI. Eye microcirculation in glaucoma. Part 1. Diagnostic methods. *Ophthalmology reports.* 2024; 17(3): 113-123. (In Russ.)] doi: 10.17816/OV628995.
3. Zarzecki M, Obuchowska I, Ustymowicz A, Konopińska J. Glaucoma Surgery and Ocular Blood Flow in Colour Doppler Imaging: Is There a Link? *Clinical Ophthalmology.* 2024; 18: 49-60. doi: 10.2147/OPTH.S441805.
4. Московченко К.П. О развитии глаукомы у пациентов с нарушением кровообращения в системе сонных артерий // Вестн.офтальмол. – 1966. – №79(6). – С.48-50. [Moskovchenko KP. On the development of glaucoma in patients with disturbed blood circulation in the carotid artery system. *Vestn Oftalmol.* 1966; 79(6): 48-51. (In Russ.)]
5. Федоров С.Н., Ивашина А.И., Михайлова Г.Д. Вопросы патогенеза и лечения глаукомы, 1981. – С.59-63. [Fedorov SN, Ivashina AI, Mikhailova GD. Matters of pathogenesis and treatment of glaucoma, 1981. P.59-63. (In Russ.)]
6. Завгородняя Н.Г., Поплавская И.А. Патология мозгового кровообращения у больных первичной глаукомой и ее роль в развитии патогенетических механизмов заболевания М., 1999. – С.24-27. [Zavgorodnyaya NG, Poplavskaya IA. Patologiya mozgovogo krovoobrashcheniya u bol'nykh pervichnoi glaukomoj i ee rol' v razvitiij patogeneticheskikh mekhanizmov zabollevaniya. M., 1999. P.24-27. (In Russ.)]
7. Марченко Л.Н. Федулов А.С., Рожко Ю.И., Дамидович А.А., Родина Е.В. Брахиоцефальная гемодинамика при открытоугольной глаукоме // Кубанский научный медицинский вестник. – 2011. – №1(124). – С.18-21. [Marchenko LN, Fedulov AS, Rozhko Yul, Dalidovich AA, Rodina EV. Brachiocephalic hemodynamics in patients with open-angle glaucoma. *Kuban Scientific Medical Bulletin.* 2011; 1(124): 18-21. (In Russ.)]
8. Kaiser HJ, Flammer J, Hendrickson Ph. *Ocular blood flow.* Basel: Karger, 1996.
9. Киселева Т.Н., Григорьева Е.Г., Тарасова Л.Н. Глаукоматозная нейропатия в сочетании с патологией сонных артерий: особенности патогенеза и диагностики // Вестник офтальмологии. – 2003. – №119(6). – С.5-7. [Kiseleva TN, Grigor'eva EG, Tarasova LN. Glaucomatous neuropathy, combined with carotid disease: specificity of pathogenesis and diagnostics. *Vestnik oftalmologii.* 2003; 119(6): 5-7. (In Russ.)]
10. Vasontai Z, Mersich B, Gabor H. Carotid artery elasticity and baroreflex sensitivity in patients with glaucoma. *Journal of Glaucoma.* 2005; 14(1): 30-35. doi: 10.1097/O1.jg.0000145814.46848.76.
11. O'Brien C, Saxton V, Crick RP, Meire H. Doppler carotid artery studies in asymmetric glaucoma. *Eye (Lond).* 1992; 6(3): 273-6. doi: 10.1038/eye.1992.51.
12. Gutman J, Melamed S, Ashkenazy J, Blumenthal M. Optic nerve compression by carotid arteries in low-tension glaucoma. *Graefes. Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* 1993; 231(12): 711-717. doi: 10.1007/BF00919286.

13. Muller M, Kessler C, Wessel K, Mehdorn E, Kompf D. Low-tension glaucoma: a comparative study with retinal ischemic syndromes and anterior ischemic optic neuropathy *Ophthalmol. Surg.* 1993; 24(12): 835-838.
14. Choi J, Kook MS. Systemic and Ocular Hemodynamic Risk Factors in Glaucoma. *Biomed Res Int.* 2015: 141905. doi: 10.1155/2015/141905.
15. Нероев В.В., Киселева Т.Н. Ультразвуковые исследования в офтальмологии: руководство для врачей. 1-е изд. – М.: ИКАР, 2019. [Neroev VV, Kiseleva TN. Ultrasound in Ophthalmology: A Guide for Physicians. M.: IKAR, 2019. (In Russ.)]
16. Сырова И.Д., Коваленко А.В., Трубникова О.А. и др. Цереброваскулярные осложнения у пациентов гемодинамически незначимыми стенозами сонных артерий в госпитальном периоде коронарного шунтирования с использованием искусственного кровообращения // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2022. – №122(8). – С.73-79. [Syrova ID, Kovalenko AV, Trubnikova OA, et al. Cerebrovascular complications in patients with moderate and small stenosis of the carotid arteries in the hospital period of coronary artery bypass grafting using cardiopulmonary bypass. *Zhurnal nevrologii i psikhiiatrii imeni S.S. Korsakova.* 2022; 122(8): 73-79. (In Russ.)] doi: 10.17116/jnevro202212208173.
17. Wu X, Konieczka K, Liu X, et al. The role of ocular blood flow in normal tension glaucoma. *Adv Ophthalmol. Pract. Res.* 2022; 2(1): 100036. doi: 10.1016/j.aopr.2022.100036.
18. Funk RO, Hodge DO, Kohli D, Roddy GW. Multiple Systemic Vascular Risk Factors Are Associated With Low-Tension Glaucoma. *J. Glaucoma.* 2022; 31: 15-22. doi: 10.1097/IJG.0000000000001964.
19. Banou L, Dastiridou A, Giannoukas A, Kouvelos G, Baros Ch, Androudi S. The Role of Color Doppler Imaging in the Diagnosis of Glaucoma: A Review of the Literature. *Diagnostics.* 2023; 13: 588. doi: 10.3390/diagnostics13040588.
20. Chou ChCh, Hsu MY, Lin ChH, et al. Risk of developing open-angle glaucoma in patients with carotid artery stenosis: A nationwide cohort study. 2018; 13(4): e0194533. doi: 10.1371/journal.pone.0194533.
21. Lin WYu, Wang JJ, Chen ChY, et al. The Relationship Between Carotid Artery Stenosis and the Development of Open-Angle Glaucoma: A Long-term Cohort Study in Taiwan. *Ophthalmic Epidemiol.* 2024: 1-9. doi: 10.1080/09286586.2024.2371467.