

Оригинальная статья / Original article

Факторы риска возникновения прогрессирования глазного ишемического синдрома при стенозе сонной артерии

П.Е. Вахратьян¹, miley7@mail.ru, С.О. Попов¹, А.В. Забаева², К.Р. Карпов², С.А. Кнапп², А.Д. Гаманилова², А.А. Феталиев³, Д.М. Шахаев³, Х.А. Абасова³, П.М. Сотавов³

¹ Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского; 119991, Россия, Москва, Абрикосовский переулок, д. 2

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

³ Российский университет медицины (РосУниМед); 127006, Россия, Москва, ул. Долгоруковская, д. 4

Резюме

Введение. Глазной ишемический синдром (ГИС) – это состояние, характеризующееся недостаточным кровоснабжением глаза из-за окклюзии или гемодинамически значимого стеноза внутренней сонной артерии.

Цель. Изучить факторы риска возникновения и прогрессирования ГИС.

Материалы и методы. В исследование вошли 91 пациент, разделенных на две группы: 1-я группа (61 пациент с ГИС) и 2-я, контрольная группа (30 пациентов). Дизайн исследования – одноцентровое ретроспективное кросс-секционное исследование, которое позволило выявить потенциальные факторы риска. Сбор данных осуществлялся с помощью стандартизированной анкеты и медицинских карт, а также дуплексного сканирования брахиоцефальных артерий.

Результаты. Основными факторами риска, повышающими вероятность ГИС, являются стеноз вертебральной сонной артерии (ВСА) более 70% (AUC = 0,968; 95% ДИ: 0,925–1,000, $p < 0,001$) и окклюзия ВСА (AUC = 0,935; 95% ДИ: 0,864–1,000, $p < 0,001$). Также выявлены никотиновая зависимость, артериальная гипертензия, дислипидемия, избыточная масса тела и сахарный диабет. Комбинация факторов риска при стенозе ВСА более 70% включает никотиновую зависимость, артериальную гипертензию, дислипидемию и избыточную массу тела с чувствительностью 88,6% и специфичностью 91,4%. При окклюзии ВСА ключевыми факторами являются артериальная гипертензия, избыточная масса тела и сахарный диабет с чувствительностью 81,3% и специфичностью 84,2%.

Обсуждение. В исследовании установлены ключевые факторы, такие как стеноз сонной артерии, артериальная гипертензия и сахарный диабет, которые способствуют развитию ГИС, что согласуется с данными других исследований. Тяжесть стеноза сонной артерии является важным предиктором ишемии глаза, т. к. она напрямую влияет на кровоснабжение глазной артерии.

Выводы. Выявлены ассоциации между факторами риска и ГИС, что может способствовать разработке стратегий профилактики и лечения, а также внедрению искусственного интеллекта для диагностики. Выявлены ключевые факторы риска, такие как артериальная гипертензия, дислипидемия и избыточная масса тела, которые значительно повышают вероятность развития ГИС при стенозе и окклюзии сонных артерий.

Ключевые слова: глазной ишемический синдром, стеноз, внутренняя сонная артерия, факторы риска, острота зрения, артериальная гипертензия, избыточная масса тела

Для цитирования: Вахратьян ПЕ, Попов СО, Забаева АВ, Карпов КР, Кнапп СА, Гаманилова АД, Феталиев АА, Шахаев ДМ, Абасова ХА, Сотавов ПМ. Факторы риска возникновения и прогрессирования глазного ишемического синдрома при стенозе сонной артерии. *Амбулаторная хирургия*. 2025;22(1):228–236. <https://doi.org/10.21518/akh2025-009>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Risk factors associated with the emergence and progression of ocular ischemic syndrome in carotid artery stenosis

Pavel E. Vakhrat'ian¹, miley7@mail.ru, Sergey O. Popov¹, Alina V. Zabaeva², Kamran R. Karpov², Semen A. Knapp², Anastasia I. Gamanilova², Abduljalil A. Fetaliev³, Dzhabrail M. Shakhhaev³, Khalisat A. Abasova³, Pasha M. Sotavov³

¹ Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky; 2, Abrikosovsky Lane, 119991, Moscow, Russia

² Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia

³ Russian University of Medicine; 4, Dolgorukovskaya St., Moscow, 127006, Russia

Abstract

Introduction. The ocular ischemic syndrome (OIS) is a condition characterized by insufficient blood supply to the eye due to occlusion or hemodynamically significant stenosis of the internal carotid artery.

Aim. To study the risk factors for the occurrence and progression of OIS.

Materials and methods. The study included 91 patients divided into two groups: Group I (61 patients with OIS) and Group II (30 control patients). The study design was cross-sectional, allowing for the identification of potential risk factors. Data collection was performed using a standardized questionnaire and medical records, as well as duplex scanning of the brachiocephalic arteries.

Results. The results showed that the main risk factors increasing the likelihood of OIS are stenosis of the vertebral carotid artery (VCA) greater than 70% (AUC = 0.968; 95% CI: 0.925–1.000, $p < 0.001$) and occlusion of the VCA (AUC = 0.935; 95% CI: 0.864–1.000, $p < 0.001$). Other identified risk factors include nicotine dependence, arterial hypertension, dyslipidemia, obesity, and diabetes mellitus. The combination of risk factors for stenosis of the VCA greater than 70% includes nicotine dependence, arterial hypertension, dyslipidemia, and obesity, with a sensitivity of 88.6% and specificity of 91.4%. For VCA occlusion, key factors include arterial hypertension, obesity, and diabetes mellitus, with a sensitivity of 81.3% and specificity of 84.2%.

Discussion. Our study identified key factors such as carotid artery stenosis, arterial hypertension, and diabetes mellitus that contribute to the development of ocular ischemic syndrome, which is consistent with findings from other studies. The severity of carotid artery stenosis is an important predictor of eye ischemia, as it directly affects blood supply to the ocular artery.

Conclusions. The study allows for the identification of associations between risk factors and ocular ischemic syndrome, which may facilitate the development of prevention and treatment strategies, as well as the implementation of artificial intelligence for diagnosis. Key risk factors such as arterial hypertension, dyslipidemia, and obesity significantly increase the likelihood of developing OIS in cases of stenosis and occlusion of the carotid arteries.

Keywords: ocular ischemic syndrome, stenosis, internal carotid artery, risk factors, visual acuity, arterial hypertension, BMI

For citation: Vakhraťian PE, Popov SO, Zabaeva AV, Karpov KR, Knapp SA, Gamanilova AD, Fetaliev AA, Shakhavov DM, Abasova HA, Sotavov PM. Risk factors associated with the emergence and progression of ocular ischemic syndrome in carotid artery stenosis. *Ambulatornaya Khirurgiya*. 2025;22(1):228–236. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/akh2025-009>.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Глаз – это уникальный орган, который обладает единственной непосредственно наблюдаемой сосудистой системой в организме человека: микрососудистой системой сетчатки, которая является индикатором сердечно-сосудистых заболеваний [1]. ГИС – это состояние, характеризующееся недостаточным кровоснабжением глаза, вызванным окклюзией или гемодинамическим значимым стенозом внутренней сонной артерии [2, 3].

Офтальмологическая картина при ГИС включает сужение артериол и расширение венул сетчатки [4]. Диаметр артериол и венул сетчатки связан с различными факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний, включая гипертензию, гипергликемию, дислипидемию, ожирение, атеросклероз, возраст, пол, и рядом заболеваний, таких как хроническая почечная недостаточность и сахарный диабет [5, 6]. Понимание этих факторов имеет ключевое значение для ранней диагностики и терапии синдрома, т. к. отсутствие лечения может привести к серьезным нарушениям зрения [7].

Ежегодно у 7,5 тыс. человек на 1 млн диагностируется ГИС. Однако фактическая распространенность считается выше, поскольку ГИС часто остается недиагностированным из-за бессимптомного начала и сложных глазных проявлений [8].

В исследовании R. Poplin была произведена количественная оценка факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний, а именно: пол, возраст, индекс массы

тела, сахарный диабет, артериальная гипертензия (АД > 140/90 мм рт. ст.), исходя из изменений сосудов сетчатки глаза [9]. Группой ученых во главе с E. Vagefi [10] было показано, как курение влияет на вид сосудистой сети сетчатки, а именно приводит к увеличению диаметра вен сетчатки. H. Leung было отмечено влияние артериальной гипертензии на изменения диаметра артериол сетчатки [11].

Стратификация риска является ключевым элементом в выявлении и управлении группами, подверженными риску сердечно-сосудистых заболеваний. Так, пятилетняя выживаемость пациентов с ГИС составляет всего 60–66% [12]. Поэтому, как только поставлен диагноз ГИС, пациент должен быть системно обследован кардиологом совместно с сосудистым хирургом и офтальмологом [13].

Так как ГИС является одним из индикаторов состояния сердечно-сосудистой системы [14], а исследований, посвященных ему, недостаточно, нет конкретного понимания, какая комбинация факторов риска при глазном ишемическом исследовании является основной. Включение более раннего и более точного скрининга этих факторов риска позволит предотвратить развитие заболевания и положительно повлиять на лечение.

На сегодняшний день все большую популярность набирают алгоритмы глубокого обучения, которые используются для разработки искусственного интеллекта и анализа данных, включая медицинские изображения. Однако для их эффективного применения

необходимо знать ключевые факторы риска возникновения ГИС, что позволит улучшить точность диагностики и выявления заболеваний.

Цель – изучить комбинации факторов риска возникновения и прогрессирования ГИС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период с 11.01.2019 г. по 21.04.2024 г. на базе научного клинического центра №1 ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского» в отделении сосудистой хирургии проведено одноцентровое ретроспективное кросс-секционное исследование, направленное на выявление ключевых факторов риска, способствующих возникновению и прогрессированию ГИС.

Тип дизайна исследования кросс-секционный, т. к. данная модель позволяет выявить потенциальные факторы риска. Всего в исследование вошел 91 пациент. Они разделены на две группы: 1-я группа – 61 пациент, 2-я, контрольная – 30 пациентов. Добровольное согласие пациента на участие в клиническом исследовании было получено от всех пациентов, включенных в исследование.

Критерии включения для исследуемой группы (1-я): подтвержденный диагноз ГИС. Для глазной ишемии были установлены следующие критерии: стеноз внутренней сонной артерии, amaurosis fugax, нарушения зрения, офтальмодиния, или боль в области орбиты. Также учитывались признаки функциональной артериальной недостаточности глаза.

Критериями включения для контрольной группы было отсутствие ГИС. Критериями исключения для обеих групп было наличие онкологического заболевания в анамнезе, декомпенсированная сердечная недостаточность, нестабильная стенокардия функционального класса (ФК) III–IV, декомпенсированный сахарный диабет 1-го и 2-го типа ($HbA_{1c} > 7\%$).

Все пациенты прошли стандартизированное офтальмологическое обследование, которое включало измерение остроты зрения и внутриглазного давления, осмотр со щелевой лампой и исследование глазного дна при миодриазе, выполнено дуплексное сканирование брахиоцефальных артерий, которое проводилось с использованием цветного дуплексного сканера ACUSON 128 XP/10M и линейного датчика с частотой 7 МГц.

Сбор данных о пациентах осуществлялся с помощью стандартизированной анкеты ASCVD Risk Calculator [15] и медицинских карт: амбулаторной карты и истории болезни. Собранная информация включала демографические параметры, такие как возраст и пол, а также историю заболеваний, включая артериальную гипертензию $> 140/90$ (1–3-й степени), диабет

и дислипидемию. Статус курения был разделен на группы: курящие и некурящие. Наряду с этим, учитывались лабораторные показатели: уровень общего холестерина, триглицеридов, липидный спектр и уровень гликированного гемоглобина (HbA_{1c} , %). Характеристика обеих групп представлена в *табл. 1*.

В 1-ю группу был включен 61 пациент, средний возраст $67 \pm 8,4$ лет, с диагнозом ГИС. Гендерное распределение: женщин – 41 (68%), мужчин – 20 (32%). Количество пациентов с никотиновой зависимостью составило 75% ($n = 43$), с отсутствием никотиновой зависимости – 30% ($n = 18$). Артериальная гипертензия в анамнезе была выявлена у 65% ($n = 40$) пациентов. Количество пациентов, страдающих сахарным диабетом, составило 54% ($n = 33$). Дислипидемия установлена у 67% ($n = 41$) пациента, среднее значение триглицеридов составило $2,4 \pm 0,9$ ммоль/л, а среднее значение общего холестерина составило $6,4 \pm 1,8$ ммоль/л. В 1-й группе преобладали пациенты с индексом массы тела (ИМТ) 25–30 – 65%, ожирение ($ИМТ > 30$) – 30%.

В 2-ю группу (контрольную) были включены 30 пациентов, средний возраст $63,4 \pm 7,9$ лет; женщин – 14 (47%), мужчин – 16 (53%). Количество курящих пациентов составило 40% ($n = 12$), некурящих 60% ($n = 18$). Артериальная гипертензия в анамнезе была выявлена у 5 пациентов (17%). Количество пациентов, страдающих сахарным диабетом, составило 13% ($n = 4$). Дислипидемия была установлена у 2 пациентов (6%), среднее значение триглицеридов составило $1,4 \pm 0,8$ ммоль/л, а общего холестерина – $4,8 \pm 1,0$ ммоль/л. В группе преобладали пациенты с нормальным ИМТ 70%, ожирение было у 1 пациента (5%).

Анализ статистических данных осуществлялся с помощью программного обеспечения StatTech v. 4.7.1. Для определения количественных показателей при условии нормального распределения использовался критерий Шапиро – Уилка, сравнение двух групп по количественному признаку проводилось методом U-критерия Манна – Уитни. При отсутствии нормального распределения расчет велся с помощью медианы (Me) и нижнего, верхнего квартилей (Q1–Q3).

С целью прогнозирования исхода использовался метод анализа ROC-кривых. Для определения комбинации факторов риска (выявленных на основании анкетирования) развития ГИС применяли метод логистической регрессии. Мерой определенности, указывающей на ту часть дисперсии, которая может быть объяснена с помощью логистической регрессии, служил коэффициент R^2 Найджелкерка. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При анализе остроты зрения в зависимости от степени стеноза были выявлены статистически значимые различия ($p < 0,05$). Распределение по степени стеноза вертебральной сонной артерии (ВСА) и остроты зрения в 1-й группе следующее: ($<70\%$) – у 3 (5%) пациентов, а среднее значение остроты зрения составило $0,8 \pm 0,1$; ($>70\%$) у 35 (58%) пациентов, а среднее значение остроты зрения составило $0,4 \pm 0,3$; окклюзия ВСА была у 23 (37%) пациентов, а среднее значение остроты зрения составило $0,5 \pm 0,3$. Следует отметить, что в 2-й, контрольной группе случаев стеноза $> 70\%$ не отмечено, а степень стеноза ВСА и их показатели остроты зрения ($<70\%$) отмечены у 10 (35%) пациентов (табл. 2).

Наихудшие показатели остроты зрения в 1-й группе наблюдались при стенозе $> 70\%$. Стоит отметить, что при окклюзии острота зрения была лучше, чем при стенозе $> 70\%$.

Учитывая факт, что при ГИС стеноз общей сонной и внутренней сонной артерии достигает 70%, в рамках проведенного исследования построена ROC-кривая зависимости остроты зрения и степени стеноза $> 70\%$, площадь составила 0,858 (95% ДИ: 0,767–0,950) ($p < 0,001$), а чувствительность и специфичность полученной модели составили 85,7 и 80,0% соответственно (рис. 1).

Данная модель указывает на вероятность развития ГИС при стенозе $> 70\%$. Следовательно, основные мероприятия, направленные на частоту снижения ГИС,

Таблица 1. Характеристика групп исследования
Table 1. Characteristics of the groups

Параметры	Группы				p-value
	1-я (n = 61)		2-я (n = 30)		
Количество	61		30		< 0,05
Женский пол	41	68%	14	47%	< 0,05
Мужской пол	20	32%	16	53%	< 0,05
Средний возраст (Me)	67 ± 8,4		63,4 ± 7,9		> 0,05
Курящие	43	75%	12	40%	< 0,05
Некурящие	18	30%	18	60%	< 0,05
Артериальная гипертензия > 140/90 (1–3-й степени)	40	65%	5	17%	< 0,05
Сахарный диабет 1-го и 2-го типа (HbAc < 7%)	33	54%	4	13%	< 0,05
Дислипидемия I–V типа по Фредериксону	41	67%	2	6%	< 0,05
ИМТ: • Норма < 25 • Избыточная масса тела (предожирение) 25–30 • Ожирение > 30	3 40 18	5% 65% 30%	21 8 1	70% 25% 5%	< 0,05
Степень стеноза: • <70% • >70% • окклюзия	3 35 23	5% 58% 37%	10 0 0	35% 0% 0%	
Триглицериды (Me)	2,4 ± 0,9 ммоль/л		1,4 ± 0,8 ммоль/л		
Общий холестерин (Me)	6,4 ± 1,8 ммоль/л		4,8 ± 1,0 ммоль/л		< 0,05

Таблица 2. Оценка остроты зрения при различных степенях стеноза в группах исследования
Table 2. Assessment of visual acuity at different degrees of stenosis in study groups

Степень стеноза ВСА	Среднее значение остроты зрения (Me)		p
	1-я группа (n = 61)	2-я группа (n = 30)	
$<70\%$	$0,8 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,48$	$> 0,05$
$>70\%$	$0,4 \pm 0,3$	–	$< 0,05$
окклюзия	$0,5 \pm 0,3$	–	$< 0,05$

ВСА – вертебральная сонная артерия

включают модификацию факторов риска развития стеноза ВСА, т. к. высока вероятность развития ГИС при стенозе > 70% по результатам нашего исследования (Рос-анализ). В рамках проведенного исследования (табл. 1) выявлены изолированные факторы риска развития ГИС, а следовательно, и стеноза ВСА.

Предложена прогностическая модель для определения вероятности и прогрессирования стеноза > 70%, следовательно, и ГИС в зависимости от комбинации факторов риска (никотиновой зависимости, АГ, избыточной массы тела, дислипидемии) методом бинарной логистической регрессии:

$$P = 1 / (1 + e^{-z}) \times 100\%,$$

$$z = -26,524 + 2,576X_{\text{никотиновая зависимость}} - 0,539X_{\text{АГ}} + 2,726X_{\text{дислипидемия}} + 1,737X_{\text{избыточная масса тела}},$$

где P – оценка вероятности возникновения и прогрессирования стеноза ВСА > 70%, z – значение логистической функции.

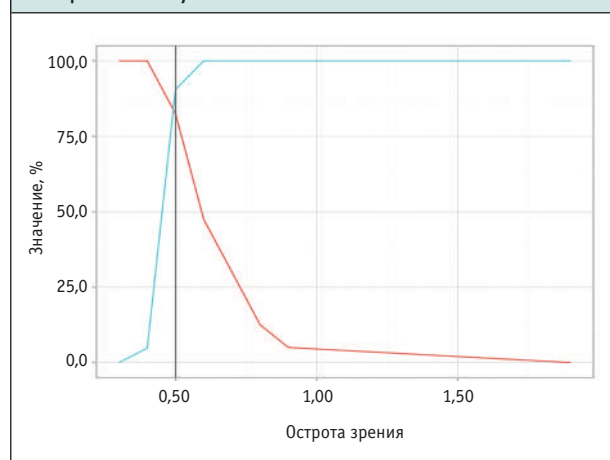
Таким образом, получилась регрессионная модель с точки зрения соответствия прогнозируемых значений наблюдаемым при включении предикторов по сравнению с моделью без предикторов ($p < 0,001$). Псевдо- R^2 Найджелкерка составил 81,3%.

При оценке дискриминационной способности регрессионной модели с помощью ROC-анализа была получена следующая кривая (рис. 2).

Комбинация факторов является статистически значимым предиктором стеноза > 70% (AUC = 0,968; 95% ДИ: 0,925–1,000, $p < 0,001$). Чувствительность и специфичность полученной прогностической модели составили 88,6 и 91,4% соответственно.

Рисунок 1. Анализ чувствительности и специфичности модели зависимости остроты зрения от вероятности стеноза > 70%

Figure 1. Analysis of sensitivity and specificity of the model depending on visual acuity to the probability of stenosis > 70%



Была разработана модель для определения вероятности возникновения и прогрессирования окклюзии ВСА в зависимости от артериальной гипертензии, избыточной массы тела, сахарного диабета методом бинарной логистической регрессии. Наблюдаемая зависимость описывается уравнением:

$$P = 1 / (1 + e^{-z}) \times 100\%,$$

$$z = -5,478 + 3,416X_{\text{артериальная гипертензия}} + 2,268X_{\text{избыточная масса тела}} + 2,408X_{\text{сахарный диабет}},$$

где P – оценка вероятности возникновения и прогрессирования окклюзии ВСА, z – значение логистической функции.

Полученная регрессионная модель с точки зрения соответствия прогнозируемых значений наблюдаемым при включении предикторов по сравнению с моделью без предикторов является статистически значимой ($p < 0,001$). Псевдо- R^2 Найджелкерка составил 78,6%.

При проведении анализа дискриминационной способности регрессионной модели с помощью ROC-анализа была получена следующая кривая (рис. 3).

Оценка вероятности P является статистически значимым предиктором окклюзии (AUC = 0,935; 95% ДИ: 0,864–1,000, $p < 0,001$).

Полученная прогностическая модель показала высокую чувствительность и специфичность: 81,3 и 84,2% соответственно.

По результатам проведенного исследования выявлены основные факторы риска, которые повышают прогнозирование ГИС: стеноз ВСА > 70% (AUC = 0,968; 95% ДИ: 0,925–1,000, $p < 0,001$), окклюзия ВСА (AUC = 0,935; 95% ДИ: 0,864–1,000, $p < 0,001$), никотиновая зависимость, АГ, дислипидемия, избыточная масса тела и сахарный диабет.

Рисунок 2. ROC-кривая, показывающая дискриминационную способность модели при прогнозировании стеноза > 70%

Figure 2. ROC-curve showing the discriminatory ability of the model in predicting stenosis > 70%

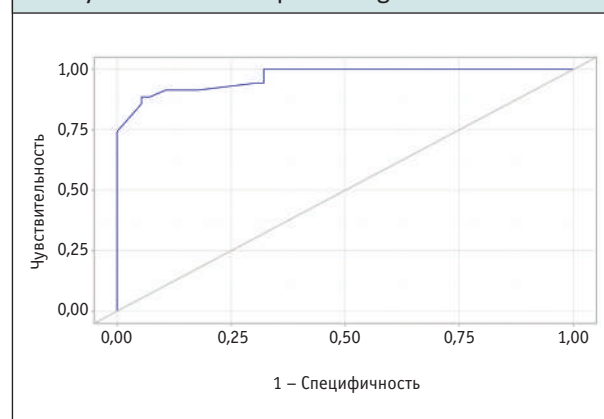
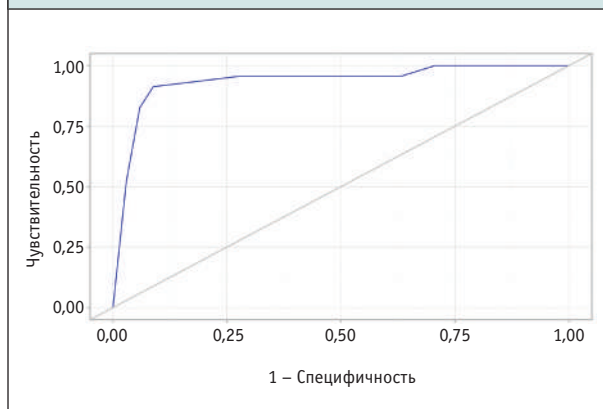


Рисунок 3. ROC-кривая, характеризующая дискриминационную способность регрессионной модели при прогнозировании окклюзии ВСА

Figure 3. ROC-curve characterizing the discriminatory ability of the regression model when predicting ICA occlusion



ОБСУЖДЕНИЕ

В проведенном исследовании определили комбинацию факторов, влияющих на возникновение и прогрессирование ГИС. Полученные данные находят подтверждения в исследованиях [16, 17], где одним из основных факторов риска развития ГИС является стеноз сонной артерии, особенно когда он превышает 50%. Степень остроты зрения при стенозе > 70% была лучше, чем при окклюзии. Данные результаты обоснованы изменчивостью глазных проявлений при стенозе сонной артерии, что зависит от здоровья коллатерального кровообращения, которое существует между внутренней сонной и наружной сонной артериями. Здоровая коллатеральная система защищает глаз от проявления ГИС даже у тех, у кого полная окклюзия, тогда как в случаях с плохими коллатеральными и стенозом < 50% может развиваться ГИС [18–20].

Степень стеноза ВСА является важным предиктором ишемии глаза, поскольку она непосредственно влияет на приток крови к глазной артерии – основному сосуду, питающему глаз. Исследования [21, 22] показали, что пациенты с полной окклюзией внутренней сонной артерии подвергаются высокому риску развития ГИС из-за снижения перфузии переднего и заднего сегментов глаза, а также установили основные факторы риска, такие как артериальная гипертензия и сахарный диабет в анамнезе. Все это согласуется с данными, полученными нами в ходе исследования.

Ссылаясь на многофакторность заболевания, в рамках данного исследования проведен бинарный регрессионный анализ с целью выделения факторов риска, которые повышают прогнозирование и развитие

стеноза ВСА > 70% и окклюзии ВСА. Выявление данных комбинаций факторов риска позволит провести модификацию факторов, что с большей вероятностью снизит риск развития ГИС.

В крупном исследовании Т.Н. Rim одним из значимых факторов риска, влияющим на картину изображения сетчатки, определен индекс массы тела, отношение шансов составило 0,36 (95% ДИ: 0,34–0,37) [23].

В последнее время искусственный интеллект преодолел значительные изменения в анализе медицинских изображений, включая изображения глазного дна. Алгоритмы глубокого обучения продемонстрировали дискриминационные характеристики, сопоставимые с квалификацией офтальмологов, при диагностике таких заболеваний, как диабетическая ретинопатия, возрастная макулярная дегенерация и глаукома, а также в прогнозировании возраста, пола и наличии сердечно-сосудистых заболеваний [24–26].

Риск возникновения ГИС возрастает из-за длительного времени, которое проходит между появлением симптомов и постановкой диагноза [27–29].

В своей работе Y. Kim et al. привели результаты исследования с использованием алгоритмов глубокого обучения для прогнозирования влияния возраста, пола, статуса курения, а также наличия гипертензии и сахарного диабета на изменения картины глазного дна, анализируя именно сосудистые структуры глаза [30]. В результате исследования было установлено, что изменения в сетчатке, вызванные старением и системными сосудистыми заболеваниями, происходят по-разному. Данное исследование имеет практическую ценность, но по причине отсутствия согласованного подхода между офтальмологами и сосудистыми хирургами учет степени стеноза сонной артерии как фактор риска в работе не рассматривался.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование позволяет эффективно выявлять ассоциации между факторами риска и ГИС, что может быть полезно для дальнейшей разработки стратегий профилактики и лечения.

Данное исследование является актуальным как с научной, так и с практической точки зрения, т. к. в будущем оно упростит внедрение искусственного интеллекта для диагностики ГИС в группе сердечно-сосудистых заболеваний. Это станет возможным благодаря существующему на сегодняшний день скринингу картины глазного дна и его оценке, что позволит внести в алгоритм результаты ультразвуковой диагностики брахиоцефальных сосудов, а также дополнительные признаки, такие как статус курения,

артериальная гипертензия, индекс массы тела > 25, дислипидемия I–V типа и сахарный диабет в анамнезе.

Была выявлена комбинация факторов риска, которые значительно повышают вероятность развития ГИС при стенозе ВСА > 70%: никотиновая зависимость, АГ, дислипидемия и избыточная масса тела. При окклюзии

ВСА и ГИС выявлена следующая комбинация факторов риска, таких как артериальная гипертензия, избыточная масса тела и сахарный диабет.

Поступила / Received 29.01.2025

Поступила после рецензирования / Revised 01.02.2025

Принята в печать / Accepted 28.02.2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Wong TY, Klein R, Klein BE, Tielsch JM, Hubbard L, Nieto FJ. Retinal microvascular abnormalities and their relationship with hypertension, cardiovascular disease, and mortality. *Surv Ophthalmol*. 2001;46(1):59–80. [https://doi.org/10.1016/s0039-6257\(01\)00234-x](https://doi.org/10.1016/s0039-6257(01)00234-x).
- Cheung CY, Tay WT, Mitchell P, Wang JJ, Hsu W, Lee ML et al. Quantitative and qualitative retinal microvascular characteristics and blood pressure. *J Hypertens*. 2011;29(7):1380–1391. <https://doi.org/10.1097/HJH.0b013e328347266c>.
- Sabanayagam C, Shankar A, Koh D, Chia KS, Saw SM, Lim SC et al. Retinal microvascular caliber and chronic kidney disease in an Asian population. *Am J Epidemiol*. 2009;169(5):625–632. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn367>.
- Zeng Y, Duan J, Ge G, Zhang M. Therapeutic management of ocular ischemia in takayasu's arteritis: a case-based systematic review. *Front Immunol*. 2022;12:791278. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.791278>.
- Wang J, Cheng X, Meng Z, Wang Y. Impact of total cerebral small vessel disease score on ophthalmic artery morphologies and hemodynamics. *J Transl Med*. 2023;21(1):65. <https://doi.org/10.1186/s12967-023-03908-y>.
- Yan Y, Zhang X, Yang Y, Han L, Wang H, Hu J. Analysis and curative effect of ocular ischemic diseases caused by carotid artery stenosis. *Exp Ther Med*. 2013;5(5):1310–1314. <https://doi.org/10.3892/etm.2013.979>.
- Iorga ER, Costin D. Vascular emergencies in neuro-ophthalmology. *Rom J Ophthalmol*. 2020;64(4):323–332. <https://doi.org/10.22336/rjo.2020.54>.
- Kim Y, Sung M, Park S. Clinical features of ocular ischemic syndrome and risk factors for neovascular glaucoma. *Korean J Ophthalmol*. 2017;31(4):343–350. <https://doi.org/10.3341/kjo.2016.0067>.
- Poplin R, Varadarajan AV, Blumer K, Liu Y, McConnell MV, Corrado GS et al. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deeplearning. *Nat Biomed Eng*. 2018;2(3):158–164. <https://doi.org/10.1038/s41551-018-0195-0>.
- Vaghefi E, Yang S, Hill S, Humphrey G, Walker N, Squirrell D. Detection of smoking status from retinal images; A Convolutional Neural Network study. *Sci Rep*. 2019;9:7180. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43670-0>.
- Leung H, Wang JJ, Rochtchina E, Wong TY, Klein R, Mitchell P. Impact of current and past blood pressure on retinal arteriolar diameter in an older population. *J Hypertens*. 2004;22(8):1543–1549. <https://doi.org/10.1097/01.hjh.0000125455.28861.3f>.
- Ma F, Su J, Shang Q, Ma J, Zhang T, Wang X et al. Changes in Ocular Hemodynamics after Carotid Artery Angioplasty and Stenting (CAAS) in Patients with Different Severity of Ocular Ischemic Syndrome. *Curr Eye Res*. 2018;43(2):266–272. <https://doi.org/10.1080/02713683.2017.1390771>.
- Nusinovici S, Rim TH, Yu M, Lee G, Tham YC, Cheung N et al. Retinal photograph-based deeplearning predicts biological age, and stratifies morbidity and mortality risk. *Age Ageing*. 2022;51(4):afac065. <https://doi.org/10.1093/ageing/afac065>.
- Касимова МС, Махкамова ДК, Хамраева ГХ. Особенности течения глазного ишемического синдрома при хронической цереброваскулярной ишемии. *Офтальмология*. 2013;10(3):63–67. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2013-3-63-67>.
- Kasimova MS, Makhkamova DK, Hamraeva GH. Peculiarities of the course of ocular ischemic syndrome in chronic cerebrovascular ischemia. *Oftalmologiya*. 2013;10(3):63–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2013-3-63-67>.
- Hayreh SS, Zimmerman MB. Ocular arterial occlusive disorders and carotid artery disease. *Ophthalmol Retina*. 2017;1(1):12–18. <https://doi.org/10.1016/j.oret.2016.08.003>.
- de Havenon A, Meyer C, McNally JS, Alexander M, Chung L. Subclinical Cerebrovascular Disease: Epidemiology and Treatment. *Curr Atheroscler Rep*. 2019;21(10):39. <https://doi.org/10.1007/s11883-019-0799-1>.
- Terelak-Borys B, Skonieczna K, Grabska-Liberek I. Ocular ischemic syndrome – a systematic review. *Medical Science Monitor*. 2012;18(8):138–144. <https://doi.org/10.12659/msm.883260>.
- Suhail S, Tallarita T, Kanzafarova I, Lau J, Mansukhani S, Olatunji S et al. Ocular Ischemic Syndrome and the Role of Carotid Artery Revascularization. *Ann Vasc Surg*. 2024;105:165–176. <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2023.12.098>.
- Park S, Choi N, Yang B, Park K, Lee J, Jung S et al. Risk and risk periods for stroke and acute myocardial infarction in patients with central retinal artery occlusion. *Ophthalmology*. 2015;122(11):2336–2343.e2. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.07.018>.
- Zhang X, Hao X, Wang C, Xie L. Incidence and risk factors for ocular ischemic syndrome in patients with complete internal carotid artery occlusion. 25 October 2021, Preprint (Version 1). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-984715/v1>.
- Huang M, Han N, Wu Y, Gao Z, Zhang Z, Huang S. Identification of risk factors associated with developing ocular ischemia syndrome in patients with carotid artery occlusion. 14 June 2019, Preprint (Version 1). <https://doi.org/10.21203/rs.2.10311/v1>.
- Zhang L, Yuan M, An Z, Zhao X, Wu H, Li H et al. Prediction of hypertension, hyperglycemia and dyslipidemia from retinal fundus photographs via deeplearning: A cross-sectional study of chronic diseases in central China. *PLoS ONE*. 2020;15(5):e0233166. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233166>.
- Rim TH, Lee G, Kim Y, Tham YC, Lee CJ, Baik SJ et al. Prediction of systemic biomarkers from retinal photographs: development and validation of deep-learning algorithms. *Lancet Digit Health*. 2020;2(10):526–536. [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(20\)30216-8](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(20)30216-8).
- Нероев ВВ, Зайцева ОВ, Петров СЮ, Брагин АА. Применение искусственного интеллекта в офтальмологии: настоящее и будущее. *Российский офтальмологический журнал*. 2024;17(2):135–141. <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-2-135-141>.
- Neroev VV, Zaytseva OV, Petrov SYu, Bragin AA. Artificial intelligence in ophthalmology: the present and the future. *Rossiiskii Oftal'mologicheskii Zhurnal*. 2024;17(2):135–141. (In Russ.) <https://doi.org/10.21516/2072-0076-2024-17-2-135-141>.
- Grassmann F, Mengelkamp J, Brandl C, Harsch S, Zimmermann ME, Linkohr B et al. A Deep Learning Algorithm for Prediction of Age-Related Eye Disease Study Severity Scale for Age-Related Macular Degeneration from Color Fundus Photography. *Ophthalmology*. 2018;125(9):1410–1420. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.02.037>.

26. Gulshan V, Peng L, Coram M, Stumpe MC, Wu D, Narayanaswamy A et al. Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA*. 2016;316(22):2402–2410. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>.
27. Xiangyu Chen, Yanwu Xu, Damon Wing Kee Wong, Tien Yin Wong, Jiang Liu. Glaucoma detection based on deep convolutional neural network. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2015;2015:715–718. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7318462>.
28. Махкамова ДК. Этиопатогенез развития глазного ишемического синдрома. *Вестник офтальмологии*. 2017;133(2):120–124. <https://doi.org/10.17116/oftalma20171332120-124>.
Makhkamova DK. Etiopathogenesis of ocular ischemic syndrome. *Vestnik Oftalmologii*. 2017;133(2):120–124. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/oftalma20171332120-124>.
29. Фролов МА, Саховская НА, Фролов АМ, Прямиков АД. Особенности глазного ишемического синдрома при сердечно-сосудистой патологии. Обзор литературы. *Офтальмология*. 2020;17(2):188–194. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-2-188-194>.
Frolov MA, Sakhovskaya NA, Frolov AM, Pryamnikov AD. Feature of Ocular-Ischemic Syndrome in Patients with Cardiovascular Pathology. Literature Review. *Oftalmologiya*. 2020;17(2):188–194. (In Russ.) <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2020-2-188-194>.
30. Kim YD, Noh KJ, Byun SJ, Lee S, Kim T, Sunwoo L et al. Effects of Hypertension, Diabetes, and Smoking on Age and Sex Prediction from Retinal Fundus Images. *Sci Rep*. 2020;10(1):4623. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61519-9>.

Вклад авторов

Концепция и дизайн исследования – П.Е. Вахратьян, С.О. Попов

Написание текста – С.А. Кнапп, Д.М. Шахаев, Х.А. Абасова

Сбор и обработка материала – А.В. Забаева, К.Р. Карпов, А.Д. Гаманилова, А.А. Феталиев, П.М. Сотавов

Редактирование – А.А. Феталиев, П.М. Сотавов

Утверждение окончательного варианта статьи – П.Е. Вахратьян

Contribution of authors:

Study concept and design – Pavel E. Vakhrat'ian, Sergey O. Popov

Text development – Semen A. Knapp, Dzhabrail M. Shakhayev, Khalisat A. Abasova

Collection and processing of material – Alina V. Zabaeva, Kamran R. Karpov, Anastasia I. Gamanilova, Abduljalil A. Fetaliev, Pasha M. Sotavov

Editing – Abduljalil A. Fetaliev, Pasha M. Sotavov

Approval of the final version of the article – Pavel E. Vakhrat'ian

Информация об авторах:

Вахратьян Павел Евгеньевич, д.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург отделения сосудистой хирургии, Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского; 119991, Россия, Москва, Абрикосовский переулок, д. 2; <https://orcid.org/0000-0001-6590-2425>; miley7@mail.ru

Попов Сергей Олегович, к.м.н., врач сердечно-сосудистый хирург, главный врач, Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского; 119991, Россия, Москва, Абрикосовский переулок, д. 2; <https://orcid.org/0000-0002-4488-1597>

Забаева Алина Владиславовна, студент, факультет «Лечебное дело», Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0005-0497-5272>; alina_zabaeva@mail.ru

Карпов Кямран Равильевич, студент, факультет «Лечебное дело», Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0006-3008-9052>; K.Kyamran2001@mail.ru

Кнапп Семен Александрович, студент, факультет «Лечебное дело», Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0000-3554-1606>; knappnnn@gmail.com

Гаманилова Анастасия Игоревна, студент, факультет «Лечебное дело», Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет); 119991, Россия, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2; <https://orcid.org/0009-0005-1789-1772>; gamanilova02@mail.ru

Феталиев Абдулжалил Алиханович, студент, факультет «Лечебное дело», Российский университет медицины (РосУниМед); 127006, Россия, Москва, улица Долгоруковская, д. 4; fetaliev.00@mail.ru

Шахаев Джабраил Мусаевич, студент, факультет «Лечебное дело», Российский университет медицины (РосУниМед); 127006, Россия, Москва, улица Долгоруковская, д. 4; <https://orcid.org/0009-0004-5384-0879>; dzhashakh@mail.ru

Абасова Халисат Арсеновна, студент, факультет «Лечебное дело», Российский университет медицины (РосУниМед); 127006, Россия, Москва, улица Долгоруковская, д. 4; <https://orcid.org/0009-0005-0308-104X>; halisatabasova@gmail.com

Сотавов Паша Муратпашаевич, студент, факультет «Лечебное дело», Российский университет медицины (РосУниМед); 127006, Россия, Москва, улица Долгоруковская, д. 4; <https://orcid.org/0009-0008-6200-2323>; boss.sotavov@mail.ru

Information about the authors:

Pavel E. Vakhrat'ian, Dr. Sci. (Med.), Vascular Surgeon, Vascular Surgery Department, Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky; 2, Abrikosovsky Lane, 119991, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-6590-2425>; miley7@mail.ru

Sergey O. Popov, Cand. Sci. (Med.), Cardiovascular Surgeon, Chief Physician, Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky; 2, Abrikosovsky Lane, 119991, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-4488-1597>

Alina V. Zabaeva, Student of the Faculty of General Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0005-0497-5272>; alina_zabaeva@mail.ru
Kamran R. Karpov, Student of the Faculty of General Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0006-3008-9052>; K.Kyamran2001@mail.ru
Semen A. Knapp, Student of the Faculty of General Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0000-3554-1606>; knappnnn@gmail.com
Anastasia I. Gamanilova, Student of the Faculty of General Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University); 8, Bldg. 2, Trubetskaya St., Moscow, 119991, Russia; <https://orcid.org/0009-0005-1789-1772>; gamanilova02@mail.ru
Abduljalil A. Fetaliev, Student of the Faculty of General Medicine, Russian University of Medicine (ROSUNIMED); 4, Dolgorukovskaya St., Moscow, 127006, Russia; fetaliev.00@mail.ru
Dzhabrail M. Shakhayev, Student of the Faculty of General Medicine, Russian University of Medicine (ROSUNIMED); 4, Dolgorukovskaya St., Moscow, 127006, Russia; <https://orcid.org/0009-0004-5384-0879>; dzhashakh@mail.ru
Khalisat A. Abasova, Student of the Faculty of General Medicine, Russian University of Medicine (ROSUNIMED); 4, Dolgorukovskaya St., Moscow, 127006, Russia; <https://orcid.org/0009-0005-0308-104X>; halisatabasova@gmail.com
Pasha M. Sotavov, Student of the Faculty of General Medicine, Russian University of Medicine (ROSUNIMED); 4, Dolgorukovskaya St., Moscow, 127006, Russia; <https://orcid.org/0009-0008-6200-2323>; boss.sotavov@mail.ru