

Стресс тест с физической нагрузкой: особенности гемодинамики и кинетики сонных артерий при стенозах атеросклеротического генеза

Федорина М. А., Давыдкин И. Л., Германова О. А.

Цель. Анализ влияния физических нагрузок на гемодинамику сосудов головного мозга при пограничных стенозах устья внутренней сонной артерии (ВСА) (40-69%) у бессимптомных пациентов.

Материал и методы. 120 больных: I группа (40) — без признаков атеросклероза каротидной бифуркации; II (40) — с гемодинамически не значимыми стенозами устья ВСА (40-69%); IIA — со стенозом устья ВСА 40-59% (18); IIB — 60-69% (22); III (40) — с гемодинамически значимыми стенозами устья ВСА ($\geq 70\%$, без окклюзии). Всем пациентам выполнялись гемостазиограммы, определение липидного профиля; ультразвуковая доплерография брахиоцефальных сосудов, цифровая сфигмография (СГ) общей сонной артерии (ОСА), компьютерная томография головного мозга, транскраниальная доплерография, стресс-эхокардиография с велоэргометрией с определением гемодинамики в стенозе ВСА.

Результаты. На фоне стресс теста у большинства (29 (72,5%)) пациентов II группы возникало снижение объемного кровотока в ВСА, показателей кинетики ОСА по СГ по сравнению с I группой, прослеживалась прямая корреляционная связь между степенью стеноза и снижением объемного кровотока. Показатели приближались к данным пациентов III группы.

Заключение. При стенозе ВСА (40-69%) при достижении субмаксимальной частоты сердечных сокращений (ЧСС) развивается "функциональный гемодинамически значимый стеноз" ВСА. Дополнительное показание к каротидной эндартерэктомии — сочетание стеноза 40-69% и "функционального гемодинамически значимого стеноза" при достижении субмаксимальной ЧСС. Пациентам со стенозом устья ВСА (40-69%) необходимо проведение стресс теста для оценки развития "функционального гемодинамически значимого стеноза" при достижении субмаксимальной ЧСС.

Ключевые слова: функциональный гемодинамически значимый стеноз ВСА, стресс-тест, стеноз каротидной бифуркации.

Отношения и деятельность: нет.

ФГБОУ ВО Самарский государственный медицинский университет Минздрава России, Самара, Россия.

Федорина М. А.* — ведущий специалист международного НОЦ кардиоваскулярной патологии и кардиовизуализации, ORCID: 0000-0003-3472-9855, Давыдкин И. Л. — д.м.н., профессор, проректор по научной и инновационной работе, зав. кафедрой госпитальной терапии с курсом поликлинической терапии и трансфузиологии, ORCID: 0000-0003-0645-7645, Германова О. А. — к.м.н., доцент, директор международного НОЦ кардиоваскулярной патологии и кардиовизуализации, ORCID: 0000-0003-4833-4563.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): selihovama@gmail.com

ВСА — внутренняя сонная артерия, ИИ — ишемический инсульт, КЭАЭ — каротидная эндартерэктомия, ЛСК — линейная скорость кровотока, ОСА — общая сонная артерия, СГ — сфигмография, СМА — средняя мозговая артерия, ТИА — транзиторная ишемическая атака, ЧСС — частота сердечных сокращений, УЗДГ БЦС — ультразвуковая доплерография брахиоцефальных артерий.

Рукопись получена 14.11.2022

Рецензия получена 11.01.2023

Принята к публикации 01.02.2023



Для цитирования: Федорина М. А., Давыдкин И. Л., Германова О. А. Стресс тест с физической нагрузкой: особенности гемодинамики и кинетики сонных артерий при стенозах атеросклеротического генеза. *Российский кардиологический журнал*. 2023;28(6):5286. doi:10.15829/1560-4071-2023-5286. EDN MQXSBM

Stress test with physical activity: features of hemodynamics and kinetics of carotid arteries in atherosclerotic stenosis

Fedorina M. A., Davydkin I. L., Germanova O. A.

Aim. To analyze the effect of exercise on cerebral hemodynamics in borderline stenosis of internal carotid artery (ICA) (40-69%) in asymptomatic patients.

Material and methods. The study included 120 patients: group I (n=40) — without signs of carotid bifurcation atherosclerosis; II (40) — with hemodynamically insignificant stenosis of ICA (40-69%); IIA — with ICA stenosis of 40-59% (18); IIB — 60-69% (22); III (40) — with hemodynamically significant stenosis of ICA ($\geq 70\%$, without occlusion). All patients underwent following investigations: blood coagulation and lipid profile tests; doppler ultrasound of extracranial vessels, sphygmography of the common carotid artery (CCA), brain computed tomography, transcranial doppler ultrasound, cycle ergometer stress echocardiography with determination of ICA stenosis hemodynamics.

Results. In most (29 (72,5%)) patients of group II, stress test revealed a decrease in ICA flow, CCA kinetics according to sphygmography compared with group I, as well as a direct correlation between the degree of stenosis and a blood flow decrease. The indicators approached the data of group III patients.

Conclusion. With stenosis of the ICA (40-69%), when a submaximal heart rate (HR) is reached, a functional hemodynamically significant stenosis of the ICA develops. An additional indication for carotid endarterectomy is a combination of 40-69% stenosis and functional hemodynamically significant stenosis when submaximal heart rate is reached. Patients with ICA stenosis (40-69%) require

a stress test to assess functional hemodynamically significant stenosis when submaximal heart rate is reached.

Keywords: functional hemodynamically significant stenosis of ICA, stress test, carotid bifurcation stenosis.

Relationships and Activities: none.

Samara State Medical University, Samara, Russia.

Fedorina M. A.* ORCID: 0000-0003-3472-9855, Davydkin I. L. ORCID: 0000-0003-0645-7645, Germanova O. A. ORCID: 0000-0003-4833-4563.

*Corresponding author: selihovama@gmail.com

Received: 14.11.2022 **Revision Received:** 11.01.2023 **Accepted:** 01.02.2023

For citation: Fedorina M. A., Davydkin I. L., Germanova O. A. Stress test with physical activity: features of hemodynamics and kinetics of carotid arteries in atherosclerotic stenosis. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(6):5286. doi:10.15829/1560-4071-2023-5286. EDN MQXSBM

Ключевые моменты

- Асимптомным пациентам с атеросклеротическим поражением каротидной бифуркации при наличии гемодинамически не значимого стеноза устья внутренней сонной артерии (40-69%) рекомендовано проведение стресс теста для оценки наличия у них функционального гемодинамически значимого стеноза.
- Дополнительным показанием к проведению операции каротидной эндартерэктомии у асимптомных пациентов может быть сочетание гемодинамически не значимого стеноза (40-69%) и функционального гемодинамически значимого стеноза.
- Требуется продолжение исследования с увеличением выборки пациентов.

Key messages

- Asymptomatic patients with carotid bifurcation atherosclerosis in the presence of hemodynamically insignificant stenosis of internal carotid artery (40-69%) are considered a stress test to assess functional hemodynamically significant stenosis.
- An additional indication for carotid endarterectomy in asymptomatic patients may be a combination of hemodynamically insignificant stenosis (40-69%) and functional hemodynamically significant stenosis.
- Continuation of the study with an increase in sample size is required.

Инсульт является одной из основных проблем здоровья взрослого населения и занимает второе место среди причин смерти во всем мире [1]. Согласно данным эпидемиологического исследования инсульта методом территориально-популяционного регистра, заболеваемость инсультом в 2010г составила 3,27 случая на 1 тыс. населения, смертность — 0,96 на 1 тыс. населения. Отношение ишемических инсультов (ИИ) к геморрагическим составило 5:1 [2].

Атеросклероз сонных артерий является одной из основных причин ИИ и транзиторных ишемических атак (ТИА). Чаще всего встречается атеросклеротический стеноз в бифуркации общей сонной артерии (ОСА), вовлекая дистальную часть ОСА и проксимальную часть внутренней сонной артерии (ВСА). Другими локализациями, где чаще диагностируется атеросклеротический стеноз, являются место отхождения ОСА и интракраниальный кавернозный сегмент ВСА [3]. Распространенность атеросклеротического поражения сонных артерий увеличивается с возрастом и выше у мужчин, чем у женщин [4].

Наиболее частым механизмом инсульта вследствие стеноза сонных артерий является разрыв бляшки и тромбоэмболия. Клинически это проявляется инсультом, ТИА или преходящим амаврозом. Стеноз сонной артерии, даже тяжелый, часто протекает бессимптомно. Наиболее разрушительным проявлением заболевания сонных артерий является внезапная окклюзия крупных сосудов из-за тромбоэмбола, застрявшего в крупном внутричерепном сосуде, таком как терминальный отдел ВСА или средняя мозговая артерия (СМА) [5].

Основным методом лечения стенозов сонных артерий является каротидная эндартерэктомия (КЭАЭ) — операция, заключающаяся в удалении

атеросклеротической бляшки, которая сужает просвет сонной артерии, с восстановлением кровотока.

По данным действующих отечественных и зарубежных рекомендаций (Европейского общества кардиологов, Американского общества сосудистой хирургии, национальных рекомендаций по ведению пациентов с заболеваниями брахиоцефальных артерий^{1,2}) показания к оперативному лечению основываются на анализе неврологической симптоматики и степени стеноза сонной артерии. Так, согласно рекомендациям, выполнение КЭАЭ показано пациентам со стенозом ВСА от 50% до 60% с учетом морфологической нестабильности атеросклеротической бляшки (изъязвление, кровоизлияние в бляшку, флотация интимы, пристеночный тромб) и с учетом неврологической симптоматики — ТИА или инсульт в течение последних 6 мес. Также КЭАЭ может быть рекомендована бессимптомным пациентам со стенозами от 70% до 99%, если операционный риск составляет <3%. Таким образом, оперативное лечение не рекомендовано бессимптомным пациентам с пограничными стенозами ВСА [6-13].

В нашей клинической практике мы наблюдали случаи развития ИИ у бессимптомных больных с пограничными стенозами (40-69%) ВСА.

В литературе имеются данные о влиянии увеличения частоты сердечных сокращений (ЧСС) на риск возникновения ИИ, влияния различных функциональных тестов (пробы с дипиридамолом, нитроглицерином; стресс-тест с чреспищеводной электрической стимуляцией левого предсердия; антиортостати-

¹ Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями брахиоцефальных артерий. Ангиология и сосудистая хирургия. 2013;2(19):2-68. https://www.angiolsurgery.org/recommendations/2013/recommendations_brachiocephalic.pdf.

² Министерство здравоохранения Российской Федерации. Закупорка и стеноз сонной артерии. Клинические рекомендации. Москва. 2013. Occlusion-and-stenosis.pdf (racvs.ru).

ческая проба) на гемодинамику сосудов головного мозга при атеросклеротическом стенозе каротидной бифуркации³ [14–16]. В то же время в литературе не описано влияние физических нагрузок на гемодинамику и кинетику сосудов головного мозга при пограничном атеросклеротическом стенозе каротидной бифуркации. Понятие "функциональный гемодинамически значимый стеноз устья ВСА" не применяется. При этом многие пациенты в обычной жизни в течение дня выполняют нагрузки различной степени интенсивности, у них увеличивается ЧСС до субмаксимальных и максимальных цифр.

В связи с этим целью исследования является анализ влияния физических нагрузок на гемодинамику сосудов головного мозга при пограничных стенозах устья ВСА (40–69%) у бессимптомных пациентов.

Материал и методы

В исследование включены 120 больных.

Критерии включения пациентов в исследование:

1. Возраст от 18 лет и старше.
2. Госпитализация на обследование или лечение в клиники СамГМУ.

3. Отсутствие признаков атеросклероза области каротидной бифуркации, гемодинамически не значимый стеноз устья ВСА (40–69%) или гемодинамически значимый стеноз устья ВСА (>70%, без окклюзии) по данным ультразвуковой доплерографии брахиоцефальных артерий (УЗДГ БЦС).

4. Наличие подписанного информированного согласия на участие в исследовании.

Критерии исключения:

1. Устойчивая артериальная гипертензия с уровнем артериального давления, превышающим 160 и 100 мм рт.ст.
2. Наследственная гиперхолестеринемия.
3. Хроническая болезнь почек со скоростью клубочковой фильтрации <80 мл/мин.
4. Хроническая сердечная недостаточность >II функционального класса (NYHA).
5. Хронические очаги инфекции.
6. Хроническая обструктивная болезнь легких более, чем легкой степени тяжести.
7. Гематологические заболевания, ассоциированные с синдромом гиперкоагуляции.
8. Невозможность участия в исследовании по какому-либо другим причинам.
9. Беременность.
10. Возраст до 18 лет.
11. Тяжелые психические заболевания.
12. Врожденная патология сосудистой системы (аневризмы).

³ Васильцева О.Я. Функциональная оценка системного и мозгового кровообращения при атеросклерозе коронарных и сонных артерий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Томск. 1995. <https://medical-diss.com/docreader/405508/a#?page=1>.

13. Наличие ультразвуковых критериев нестабильности атеросклеротической бляшки.

Лабораторные анализы включали гемостазиограммы, определение липидного профиля. В числе инструментальных методов диагностики использовали УЗДГ БЦС, цифровую сфигмографию (СГ) ОСА, компьютерную томографию головного мозга, транскраниальную доплерографию СМА, стресс-эхокардиографию с велоэргометрией с определением гемодинамики в стенозе ВСА. При УЗДГ БЦС рассчитывали линейную скорость кровотока (ЛСК) и объемный кровоток в ОСА, а также в зоне максимального атеросклеротического стеноза ВСА. Процент стеноза определялся с использованием критериев ECST, NASCET и St. Mary's ratio. При анализе данных УЗДГ БЦС мы обращали внимание на тип обнаруженных бляшек, особенно на признаки их нестабильности (гетерогенная структура, включение кальция, неровная поверхность бляшки и др.). Для определения типа бляшек мы использовали международную ультразвуковую классификацию Gray-Weale-Nicolaides. При цифровой СГ ОСА рассчитывали важные параметры стенки артериального сосуда, характеризующие механическое движение наружного артериального контура (скорость, ускорение, мощность, работа).

В зависимости от наличия и гемодинамической значимости выявленного стеноза устья ВСА все больные были разделены на 3 основные группы. I группа (40 человек) — пациенты без признаков атеросклероза каротидной бифуркации; II группа (40 человек) — пациенты с гемодинамически не значимыми стенозами устья ВСА (40–69%): ПА — пациенты со стенозом устья ВСА 40–59% (18 человек); ПБ — пациенты со стенозом устья ВСА 60–69% (22 человека); III группа (40 человек) — пациенты с гемодинамически значимыми стенозами устья ВСА (≥70%, без окклюзии).

Всем пациентам была проведена стресс-эхокардиография с велоэргометрией с определением исходно и при нагрузке показателей гемодинамики: ЛСК, резистивного и пульсаторного индексов в зоне стеноза, объемного кровотока за зоной стеноза; ЛСК, резистивного и пульсаторного индексов в ипсилатеральной СМА. В дальнейшем проводилось сравнение показателей исходно в покое и при нагрузке у одного и того же пациента, а также сравнение между группами.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием принципов доказательной медицины, по стандартной методике с использованием программы Statistica 6.0. Проводилось сравнение анализируемых групп (I, ПА, ПБ, III) ANOVA по основным показателям гемодинамики в области стеноза ВСА и кинетики ОСА. Статистически достоверно значимыми отличия между группами мы считали, если критерий Стьюдента $p < 0,05$.

Таблица 1

Клинико-демографическая характеристика пациентов

Параметр	Группа I, n=40	Подгруппа IIA, n=18	Подгруппа IIB, n=22	Группа III, n=40	p
Средний возраст, М±σ, лет	60,8±6,1	63±7,7	67±7,5	63,6±9,6	>0,05
Женщины, n (%)	5 (12,5)	5 (27,7)	4 (18,2)	9 (22,5)	>0,05
Мужчины, n (%)	35 (87,5)	13 (72,3)	18 (81,8)	31 (77,5)	
АГ 1 степени, n (%)	32 (80)	13 (72,2)	14 (63,6)	29 (72,5)	>0,05
АГ 2 степени, n (%)	8 (20)	5 (27,8)	8 (36,4)	11 (27,5)	>0,05
ХСН NYHA I, n (%)	36 (90)	16 (88,9)	16 (72,7)	30 (75)	>0,05
ХСН NYHA II, n (%)	4 (10)	2 (11,1)	6 (27,3)	10 (25)	>0,05
Сахарный диабет II типа, n (%)	6 (15)	4 (22,2)	4 (18,2)	7 (17,5)	>0,05
ФВ по Симпсону ≥50%, n (%)	38 (95)	17 (94,4)	19 (86,4)	37 (92,5)	>0,05
ФВ по Симпсону 40-49%, n (%)	2 (5)	1 (5,6)	2 (9,1)	3 (7,5)	>0,05
ФВ по Симпсону <40%, n (%)	0	0	1 (4,5)	0	>0,05
Наличие стенозов коронарных артерий по данным КАГ, гемодинамически не значимых, n (%)	33 (82,5)	15 (83,3)	22 (100)	40 (100)	>0,05
Общий холестерин ≥5,0 ммоль/л, n (%)	13 (32,5)	7 (38,9)	7 (31,8)	12 (30)	>0,05
ЛНП ≥4 ммоль/л, n (%)	19 (47,5)	7 (38,9)	11 (50)	23 (57,5)	>0,05
ЛВП <1 ммоль/л, n (%)	8 (20)	5 (27,8)	7 (31,8)	12 (30)	>0,05

Сокращения: АГ — артериальная гипертензия, КАГ — коронарная ангиография, ЛВП — липопротеиды высокой плотности, ЛНП — липопротеиды низкой плотности, ФВ — фракция выброса, ХСН NYHA — хроническая сердечная недостаточность по Нью-Йоркской ассоциации сердца.

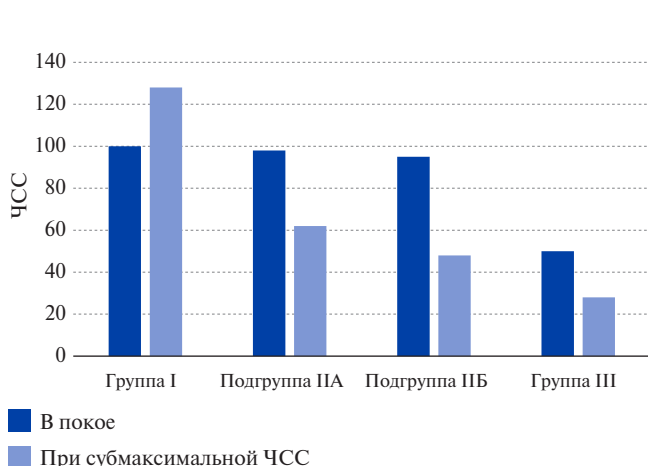


Рис. 1. Показатели объемного кровотока в группах при достижении субмаксимальной ЧСС.

Сокращение: ЧСС — частота сердечных сокращений.

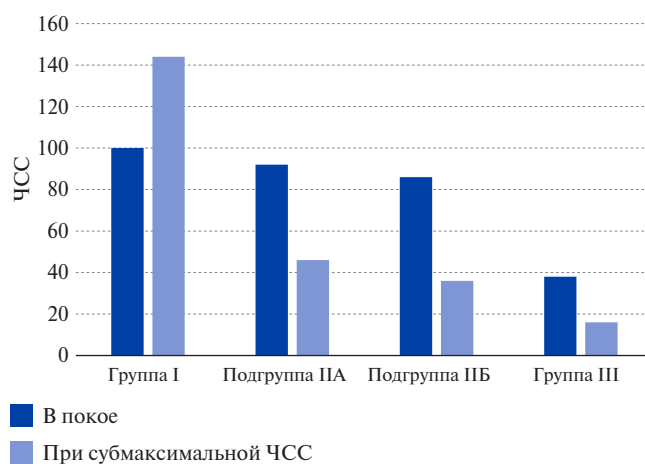


Рис. 2. Показатели параметра "работа" в группах при достижении субмаксимальной ЧСС.

Сокращение: ЧСС — частота сердечных сокращений.

Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice) и принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен этическими комитетами всех участвующих клинических центров. До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Результаты

Исходно по большинству основных клинических, лабораторных и инструментальных методов исследо-

вания выделенные группы пациентов были равнозначны (табл. 1).

При достижении субмаксимальной ЧСС на фоне стресс-теста с велоэргометрией у большинства (29 (72,5%)) пациентов II группы возникало снижение объемного кровотока в ВСА по сравнению с I группой, прослеживалась прямая корреляционная связь между степенью стеноза и снижением объемного кровотока. Показатели приближались к данным пациентов III группы (рис. 1).

Подобная тенденция прослеживалась и для показателей кинетики ОСА. Так, во II группе происхо-

дило снижение показателей кинетики артериальной сосудистой стенки (скорости, ускорения, мощности, работы), по данным цифровой СГ ОСА, при субмаксимальной ЧСС. На рисунке 2 представлено изменение наиболее интегрального параметра работы.

Обсуждение

Одной из приоритетных задач практического здравоохранения является предупреждение развития кардиоцеребральных осложнений, в частности, инсультов. Перед практикующим кардиологом и сосудистым хирургом каждый раз возникает вопрос наиболее рационального ведения пациента с пограничными стенозами (40-69%) устья ВСА. Если в анамнезе нет инсульта или ТИА, и стеноз не сопровождается клиническими неврологическими проявлениями, то фактически врач придерживается выжидательной тактики, назначая липидснижающие препараты (чаще всего, высокие дозы статинов), контролирует липидный профиль пациента и отслеживает рост и характеристики атеромы по УЗДГ БЦС. Так пациент может наблюдаться годами. На хирургическую коррекцию он будет направлен после развития неврологических осложнений, при появлении признаков нестабильности атеромы или при достижении стеноза ВСА гемодинамической значимости ($\geq 70\%$). Однако в повседневной жизни нередко возникают ситуации, когда пациент выполняет физические нагрузки различной степени интенсивности, достигая при этом субмаксимальной и максимальной ЧСС. Кроме того, часть пациентов имеет устойчивую синусовую тахикардию. Остается открытым вопрос — как меняется мозговое кровообращение у пациентов с пограничными стенозами устья ВСА атеросклеротического генеза при физической нагрузке? В стандарты диагностики кардиологических больных входит выполнение стресс-эхокардиографии для уточнения наличия недостаточности коронарного кровотока. При этом недостаточность мозгового кровообращения при

физической нагрузке никогда ранее не диагностировалась.

В нашей работе мы определили, что у большинства бессимптомных пациентов со стенозами устья ВСА 40-69% при достижении субмаксимальной ЧСС возникает снижение показателей объемного кровотока в бассейне ВСА, снижение показателей кинетики артериальной сосудистой стенки ОСА (скорости, ускорения, мощности, работы), что приближает их к данным параметрам при гемодинамически значимом стенозе устья ВСА. Мы охарактеризовали комплекс этих изменений термином "функциональный гемодинамически значимый стеноз", при этом подчеркивая гемодинамическое значение введенного понятия при выполнении физической нагрузки. У данной категории пациентов может быть рациональным выполнение стресс теста для определения дальнейшей тактики и рассмотрения вопроса о хирургической коррекции стеноза ВСА.

Заключение

1. У большинства пациентов (72,5%) с гемодинамически не значимым стенозом (40-69%) ВСА при достижении субмаксимальной ЧСС развивается "функциональный гемодинамически значимый стеноз" ВСА.

2. Дополнительным показанием к проведению операции КЭАЭ может быть сочетание гемодинамически не значимого стеноза (40-69%) и "функционального гемодинамически значимого стеноза" при достижении субмаксимальной ЧСС.

3. Пациентам с гемодинамически не значимым стенозом устья ВСА (40-69%) необходимо проведение стресс теста для оценки развития "функционального гемодинамически значимого стеноза" при достижении субмаксимальной ЧСС.

Отношения и деятельность: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- GBD 2015 Neurological Disorders Collaborator Group. Global, regional, and national burden of neurological disorders during 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet Neurol.* 2017;16(11):877-97. doi:10.1016/S1474-4422(17)30299-5.
- Stakhovskaya LV, Klyuchikhina OA, Bogatyreva MD, et al. Epidemiology of stroke in Russia according to the results of the territorial-population register (2009-2010). *Journal of Neurology and Psychiatry.* 2013;(5):4-10. (In Russ.) Стаховская Л.В., Ключихина О.А., Богатырева М.Д. и др. Эпидемиология инсульта в России по результатам территориально-популяционного регистра (2009-2010). *Журнал неврологии и психиатрии.* 2013;(5):4-10.
- Mach F, Baigent C, Catapano AL, et al. 2019 ESC/EAS Guidelines for the management of dyslipidaemias: lipid modification to reduce cardiovascular risk. *Eur Heart J.* 2020;41:111-8. doi:10.1093/eurheartj/ehz455.
- Vishnyakova AY, Berdalin AB, Golovin DA, et al. Echographic features of atherosclerotic lesions of extracranial carotid arteries in carotid ischemic stroke. *Preventive medicine.* 2020;23(4):88-93. (In Russ.) Вишнякова А.Ю., Бердалин А.Б., Головин Д.А. и др. Эхографические особенности атеросклеротического поражения экстракраниальных отделов сонных артерий при каротидном ишемическом инсульте. *Профилактическая медицина.* 2020;23(4):88-93.
- Heck D, Jost A. Carotid stenosis, stroke and carotid artery revascularization. *Prog Cardiovasc Dis.* 2021;65:49-54. doi:10.1016/j.pcad.2021.03.005.
- Bonati LH, Kakkos S, Berkefeld J, et al. European Stroke Organisation guideline on endarterectomy and stenting for carotid artery stenosis. *European Stroke Journal.* 2021;6(2):1-47. doi:10.1177/23969873211012121.
- AbuRahma AF, Avgerinos ED, Chang RW, et al. Society for Vascular surgery clinical practice guidelines for management of extracranial cerebrovascular disease. *Journal of Vascular Surgery.* 2021;75(1):4-22. doi:10.1016/j.jvs.2021.04.073.
- Schermerhorn ML, Liang P, Dakour-Aridi H, et al. In-hospital outcomes of transcatheter artery revascularization and carotid endarterectomy in the Society for Vascular Surgery Vascular Quality Initiative. *Journal of vascular surgery.* 2020;71(1):87-95. doi:10.1016/j.jvs.2018.11.029.
- Kazantsev AN, Tarasov RS, Burkov NN, et al. Carotid endarterectomy: three-year results of follow up within the framework of a single-centre register. *Angiology and Vascular Surgery.* 2018;24(3):101-8. (In Russ.) Казанцев А.Н., Тарасов Р.С., Бурков Н.Н.

- и др. Каротидная эндартерэктомия: трехлетние результаты наблюдения в рамках одноцентрового регистра. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2018;24(3):101-8. doi:10.33529/ANGIO2019311.
10. Bockeria LA, Bakhmet'ev AS, Kovalenko VI, et al. The choice of carotid endarterectomy method in atherosclerotic disease of internal carotid artery. *Russian Journal of Surgery = Annaly Khirurgii*. 2017;22(5):265-71. (In Russ.) Бокерия Л.А., Бахметьев А.С., Коваленко В.И. и др. Выбор метода каротидной эндартерэктомии при атеросклеротическом поражении внутренней сонной артерии. *Анналы хирургии*. 2017;22(5):265-71. EDN:ZRBNQH.
11. Kazantsev AN, Khubulava GG, Kravchuk VN. Evolution of carotid endarterectomy. Literature review. *Circulatory pathology and cardiac surgery*. 2020;24(4):22-32. (In Russ.) Казанцев А.Н., Хубулава Г.Г., Кравчук В.Н. и др. Эволюция каротидной эндартерэктомии. Обзор литературы. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2020;24(4):22-32. doi:10.21688/1681-3472-2020-4-22-32.
12. Yarikov AV, Balyabin AV, Yashin KS. Surgical methods of treatment of carotid artery stenosis (review). *Modern technologies in medicine*. 2015;4(7):189-99. (In Russ.) Яриков А.В., Балябин А.В., Яшин К.С. и др. Хирургические методы лечения стеноза сонных артерий (обзор). *Современные технологии в медицине*. 2015;4(7):189-99. doi:10.17691/stm2015.7.4.25.
13. Tvorogova TV, Bulgakova ES, Shukurov FB, et al. Endovascular treatment of carotid atherosclerosis: questions and perspectives. *Rational pharmacotherapy in cardiology*. 2017;13(1):80-7. (In Russ.) Творогова Т.В., Булгакова Е.С., Шукуров Ф.Б. и др. Эндоваскулярные методы лечения каротидного атеросклероза: вопросы и перспективы. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2017;13(1):80-7. doi:10.20996/1819-6446-2017-13-1-80-87.
14. Perucki W, Becerra A, Blezek O, et al. The safety of carotid stenosis during vasodilator pharmacologic stress testing. *Jornal of Nuclear Cardiology*. 2022;29(5): doi:10.1007/s12350-022-03113-2.
15. O'Neal TW, Qureshi TW, Judd ES. Heart rate and ischemic stroke: the reasons for geographic and racial differences in stroke (REGARDS) study. *Int J Stroke*. 2015;10(8):1229-35. doi:10.1111/ijss.12620.
16. Lette J, Tatum LJ, Fraser S, et al. Safety of dipyridamole testing in 73,806 patients: The Multicenter Dipyridamole Safety Study. *Jornal of Nuclear Cardiology*. 1995;2:3-17. doi:10.1016/S1071-3581(05)80003-0.