

ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРОВОТОКА В ЭКСТРАКРАНИАЛЬНЫХ ОТДЕЛАХ МОЗГОВЫХ АРТЕРИЙ И СЕРДЦЕ У БОЛЬНЫХ ОККЛЮЗИЕЙ ВНУТРЕННЕЙ СОННОЙ АРТЕРИИ ПРИ АНГИОХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ

И.Л. Буховец¹, А.С. Максимова¹, Б.Н. Козлов¹, М.С. Кузнецов¹, М.П. Плотников¹,
И.Н. Ворожцова^{1,2}, В.Ю. Усов¹

¹ Научно-исследовательский институт кардиологии – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», ул. Киевская, 111А, Томск, Российская Федерация, 634012; ² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Московский тракт, 2, Томск, Российская Федерация, 634050

Основные положения

• Изучены показатели мозговой гемодинамики и функциональной способности миокарда левого желудочка у пациентов с окклюзией и стенозом контралатеральной внутренней сонной артерии при ангиохирургическом лечении. Учитывая важность состояния функциональной способности миокарда левого желудочка и вариантов коррекции для обеспечения стабильности мозгового кровообращения у больных с окклюзией и гемодинамически значимым стенозом контралатеральной сонной артерии, ее детальное исследование на этапах ангиохирургического лечения представляется необходимым.

Цель

Исследование состояния мозговой гемодинамики и функциональной способности миокарда левого желудочка (ЛЖ) у пациентов с окклюзией и стенозом контралатеральной внутренней сонной артерии (ВСА) для оптимизации лечения на этапе предоперационной подготовки.

Материалы и методы

В исследовании сравнивались гемодинамические параметры кровотока ВСА, позвоночных артерий и функциональной способности миокарда ЛЖ у пациентов с окклюзией ВСА и стенозом контралатеральной ВСА, группа 1 (12 пациентов), и пациентов с односторонним гемодинамически значимым стенозом – группа 2 (52 пациента). Состояние кровотока в экстракраниальных отделах магистральных артерий головы и сердца оценивали с использованием ультразвукового исследования, состояние артериальной сосудистой системы и структуры головного мозга – с применением магнитно-резонансной томографии и магнитно-резонансной томографии-ангиографии.

Результаты

До операции на стороне окклюзии выявлены статистически значимые различия скоростных показателей в позвоночных артериях, на контралатеральной окклюзии стороне скоростные показатели в ВСА статистически значимо отличались от соответствующих показателей в группе с односторонним стенозом. После операции на стороне окклюзии определены статистически значимые различия в общих сонных и позвоночной артериях, на контралатеральной окклюзии стороне обнаружены различия скоростных показателей в общих сонных, внутренних и позвоночных артериях в сравнении с группой с односторонним гемодинамически значимым стенозом. Из показателей функциональной способности миокарда ЛЖ статистически значимо различались только фракция выброса ЛЖ при сравнении группы пациентов с сочетанием окклюзии и стеноза ВСА и односторонним гемодинамически значимым стенозом. Кроме этого, при оценке до- и послеоперационных результатов исследования непосредственно в группе пациентов с окклюзией статистически значимые различия получены лишь для позвоночной артерии на стороне окклюзии – значительно снизились пиковая систолическая скорость и объемная скорость кровотока. В общих сонных, внутренних сонных на контралатеральной окклюзии стороне, средних мозговых артериях статистически значимых различий не выявлено.

Заключение

Комплексное ультразвуковое исследование магистральных артерий головы в сочетании с магнитно-резонансной томографией головного мозга является надежным и адекватным способом оценки мозговой гемодинамики, измененный сосудистого русла и структуры головного мозга. Учитывая чрезвычайную важность состояния функциональной способности миокарда ЛЖ для обеспечения стабильности мозгового кровообращения у пациентов с окклюзией ВСА и контралатеральным гемодинамически значимым стенозом, ее детальное исследование перед каротидной эндартерэктомией представляется необходимым для коррекции лечебных мероприятий.

Ключевые слова

Атеросклероз каротидных артерий • Ультразвуковая сонография • Каротидная эндартерэктомия

Поступила в редакцию: 25.08.2023; поступила после доработки: 16.09.2023; принята к печати: 14.10.2023

HEMODYNAMIC PARAMETERS OF EXTRACRANIAL CEREBRAL ARTERIES AND HEART IN PATIENTS WITH OCCLUSION OF THE INTERNAL CAROTID ARTERY DURING VASCULAR SURGERY

I.L. Bukhovec¹, A.S. Maksimova¹, B.N. Kozlov¹, M.S. Kuznetsov¹, M.P. Plotnikov¹,
I.N. Vorozhtsova^{1,2}, V.Yu. Usov¹

¹ Research Institute of Cardiology - Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences", 111A, Kievskaya St., Tomsk, Russian Federation, 634012; ² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberia State Medical University" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moskovsky Tract, 2, Tomsk, Russian Federation, 634050

Highlights

- We have analyzed the parameters of cerebral hemodynamics and left ventricular functional capacity in patients with occlusion and stenosis of the contralateral internal carotid artery during vascular surgery. Considering the importance of the left ventricular functional capacity and treatment options to ensure the stability of cerebral circulation in patients with occlusion and hemodynamically significant stenosis of the contralateral carotid artery, its detailed study at all stages of vascular surgery remains necessary.

Aim

To study cerebral hemodynamics and left ventricular functional capacity in patients with occlusion and stenosis of the contralateral internal carotid artery (ICA) to optimize treatment at the preoperative phase.

Methods

The study compared the hemodynamic parameters of the blood flow of the ICA, vertebral arteries and left ventricular functional capacity in patients with ICA occlusion and contralateral ICA stenosis, which formed the 1 group (12 patients), and patients with unilateral hemodynamically significant stenosis, which formed the 2 group (52 patients). The blood flow in the extracranial portions of the major arteries of the head and heart was assessed using ultrasound, and the arterial vascular system and brain structure was assessed using MRI and MRA.

Results

Before surgery, statistically significant differences in velocity parameters in the vertebral arteries on the occlusion side were found; on the contralateral occlusion side, velocity parameters in ICA were significantly different from the corresponding indicators in the group with unilateral stenosis; after surgery, statistically significant differences were found in the common carotid and vertebral arteries on the occlusion side; on the contralateral occlusion side, differences in velocity parameters in the common carotid, internal, and vertebral arteries were revealed in comparison with the group with unilateral stenosis. Of the indicators of the left ventricular functional capacity, only left ventricular ejection fraction differed significantly when comparing the group of patients with occlusion and stenosis of ICA and the group of patients with unilateral stenosis. Moreover, when evaluating pre- and postoperative outcomes in the group of patients with occlusion, significant differences were obtained only regarding the vertebral artery on the side of occlusion – the peak systolic blood flow velocity and the volumetric blood flow velocity significantly decreased. There were no significant differences between the common carotid, internal carotid arteries on the contralateral occlusion side, and middle cerebral arteries.

Conclusion

Carrying out a comprehensive ultrasound examination of the main arteries of the head in combination with magnetic resonance imaging of the brain is a reliable and adequate way to assess cerebral hemodynamics, changes in the vascular bed and structure of the brain. Given the extreme importance of the left ventricular functional capacity to ensure the stability of cerebral circulation in patients with occlusion of the internal carotid artery and contralateral hemodynamically significant stenosis, its detailed study before carotid endarterectomy is necessary to adjust therapeutic measures.

Keywords

Carotid endarterectomy • Ultrasound diagnostics • Carotid atherosclerosis

Received: 25.08.2023; received in revised form: 16.09.2023; accepted: 14.10.2023

Список сокращений

ВСА – внутренняя сонная артерия	МРТ – магнитно-резонансная томография
КЭЭ – каротидная эндартерэктомия	ЧСС – частота сердечных сокращений
ЛЖ – левый желудочек	

Введение

Заболевания магистральных артерий головы являются одной из основных проблем ангиохирургии, цель которой состоит в своевременном проведении превентивного лечения для предотвращения нарушений мозгового кровообращения [1]. Цереброваскулярные заболевания нередко вызывают осложнения, приводящие к снижению качества жизни или даже летальному исходу заболевших [2]. Основная причина окклюзий и стенозов экстракраниальных отделов магистральных артерий головного мозга – неблагоприятное течение атеросклероза, способствующее формированию стеноза и/или облитерации просвета внутренних сонных артерий (ВСА) [3, 4]. На сегодняшний день каротидная эндартерэктомия (КЭЭ) считается одним из основных вариантов хирургического лечения больных с окклюдизирующей патологией сонных артерий [5–7]. Широкое распространение реконструктивной хирургии брахиоцефальных артерий обуславливает проблему объективной оценки состояния церебральной гемодинамики на всех этапах кардиохирургического лечения и последующего наблюдения на амбулаторном этапе [8, 9]. В ситуации когда, с одной стороны, произошла закупорка ВСА, а с другой, степень стеноза становится критической, выполняется КЭЭ – реконструктивная операция при атеросклеротическом поражении ВСА, позволяющая восстановить адекватный кровоток в единственной функционирующей артерии [4, 9, 10]. Своевременная и комплексная диагностика атеросклеротического поражения магистральных артерий головного мозга приобретает решающее значение при постановке точного диагноза и назначении оптимального лечения для конкретного пациента, что позволит предотвратить и/или минимизировать развитие осложнений на этапах ангиохирургического лечения [11, 12].

Состояние кровотока в экстракраниальных от-

делах магистральных артерий головы и сердца при атеросклеротическом поражении сосудов шеи и головного мозга на сегодняшний день оценивается с использованием ультразвукового исследования, состояние артериальной сосудистой системы и структуры головного мозга – с применением магнитно-резонансной томографии (МРТ) и МРТ-ангиографии [5, 13–15]. Целью нашего исследования стало изучение состояния мозговой гемодинамики и функциональной способности миокарда левого желудочка (ЛЖ) у пациентов с окклюзией и стенозом контралатеральной ВСА при ангиохирургическом лечении.

Материалы и методы

Данное ретроспективное (2018–2020 гг.) исследование выполнено на базе отделения рентгеновских и томографических методов диагностики НИИ кардиологии Томского НИМЦ. В исследование включены 64 пациента, 12 из них составили основную группу исследования с окклюзией и стенозом контралатеральной ВСА (более 70%), средний возраст – $61,8 \pm 7,2$ года. Предварительный расчет размера выборки не выполнялся, т. к. исследование носило пилотный характер. Проведена количественная оценка кровотока в артериях головного мозга. Показатели церебрального кровотока определены до и через 6–10 дней после каротидной эндартерэктомии. В контрольную группу вошли 52 пациента с односторонним гемодинамически значимым стенозом ВСА, средний возраст – $62,8 \pm 7,1$ года. Исследование одобрено локальным этическим комитетом НИИ кардиологии Томского НИМЦ (протокол № 115 от 21 декабря 2013 г.). Все включенные в исследование больные подписывали официальное информированное согласие.

Пациенты обеих групп были сопоставимы по основным клинико-анамнестическим характеристикам: возрасту, уровню артериального давления,

наличию сопутствующих заболеваний и их осложнений (табл. 1).

Для оценки состояния мозговой гемодинамики и функциональной способности миокарда ЛЖ использована ультразвуковая диагностическая система GE Vivid E9 (GE HealthCare, США). Сонография сосудов и эхокардиография проведена по общепринятой методике в положении больного лежа на спине. Комплексное ультразвуковое исследование магистральных артерий головного мозга включало оценку кровотока в общих сонных, внутренних сонных, позвоночных (сегмент V2) и средних мозговых артериях. У всех пациентов в процессе исследования оценивали систолическое и диастолическое артериальное давление и частоту сердечных сокращений (ЧСС), ультразвуковое исследование сосудов головного мозга синхронизировалось с работой сердца.

Для оценки перестройки церебральной гемодинамики до и после ангиохирургического лечения определяли диаметр сосуда, основные скоростные показатели, объемную скорость кровотока, для оценки функционального состояния – пульсационный и индекс периферического сопротивления.

Параметры функциональной способности миокарда ЛЖ рассчитывали в абсолютных цифрах и индексированных к площади поверхности тела в обе фазы сердечного цикла. При проведении трансторакальной эхокардиографии для расчета брали следующие основные показатели: конечные систолический и диастолический объем ЛЖ, фракцию выброса ЛЖ, ударный объем ЛЖ, минутный объем кровообращения, систолический индекс ЛЖ, ЧСС.

У большинства пациентов отмечена общемозговая симптоматика: головокружение, головная боль, нарушение памяти, при этом, по данным МРТ, у всех выявлены признаки хронической ишемии головного мозга. По данным анамнеза, ишемический инсульт выявлен у 5 больных. Лишь у двух пациентов определен остаточный неврологический дефицит в виде легкого гемипареза. У 4 пациентов регистрировались повторные транзиторные ишемические атаки на стороне окклюзии. У 6 пациентов, по

данным МРТ, отсутствовала задняя соединительная артерия. На послеоперационном этапе таких осложнений, как транзиторные ишемические атаки либо ишемический инсульт, не зарегистрировано.

Статистический анализ

Полученные данные обработаны с использованием программы Statistica 10 (StatSoft, Inc., США). Для проверки нормальности распределения исследуемых выборок использован критерий Шапиро – Уилка. В случае нормального распределения значений зависимых данных применяли парный t-критерий Стьюдента; для значений, закон распределения которых отличался от нормального, – критерий Уилкоксона. При сравнении независимых групп (основная и контрольная) в случае нормально распределенных данных использован t-критерий Стьюдента, при отсутствии нормального распределения – критерий Манна – Уитни. Категориальные переменные представлены в виде абсолютных и относительных (в процентах) частот. Непрерывные переменные представлены в виде среднего и стандартного отклонения (SD) или медианы и межквартильного размаха. Статистически значимыми считали различия данных при $p < 0,05$.

Результаты

При анализе группы пациентов с окклюзией ВСА, с одной стороны, и гемодинамически значимым стенозом, с другой, и группы пациентов с односторонним гемодинамически значимым стенозом получены следующие результаты. Статистически значимые различия диаметра, пульсационного и индекса периферического сопротивления на дооперационном этапе выявлены в позвоночной артерии на стороне окклюзии, в сравнении с показателями группы с односторонним гемодинамически значимым стенозом. В ВСА на контралатеральной окклюзии стороне статистически значимо отличались пиковая систолическая, максимальная конечная диастолическая, усредненная по времени максимальная и объемная скорость кровотока (табл. 2). В общих сонных и средних мозговых артериях до

Таблица 1. Клинико-anamnestическая характеристика исследуемых групп пациентов
Table 1. Clinical and anamnestic characteristics of patients

Показатель / Parameter	Группа исследования / Study group, n = 12	Группа контроля / Control group, n = 52
Возраст, лет / Age, years	61,2±6,2	62,9±7,1
Мужчины / Men, n (%)	10 (83)	39 (75)
Индекс массы тела, кг/м ² / Body mass index, kg/m ²	27,7±2,1	28,4±1,7
Сахарный диабет / Diabetes mellitus, n (%)	4 (33)	16 (31)
Гипертоническая болезнь / Hypertension, n (%)	11 (92)	47 (90)
Инфаркт миокарда / Myocardial infarction, n (%)	1 (8)	4 (8)
Хроническая сердечная недостаточность / Heart failure, n (%)	11 (92)	49 (94)
Ишемическая болезнь сердца / Coronary artery disease, n (%)	11 (92)	49 (94)

операции статистически значимых различий не выявлено.

После операции на стороне окклюзии выявлены статистически значимые различия отдельных показателей в общих сонных и позвоночных артериях; на контралатеральной стороне обнаружены различия показателей в общих, внутренних сонных, а также позвоночных артериях (табл. 3, 4). В ВСА на контралатеральной окклюзии стороне определены статистически значимые различия следующих показателей: $d = 0,55 \pm 0,015$ см, $RI = 0,63 \pm 0,07$, $PI = 1,15 \pm 0,36$ в сравнении с $d = 0,47 \pm 0,012$ см, $RI = 0,72 \pm 0,10$, $PI = 1,54 \pm 0,52$ для второй группы.

Оценка ряда параметров функциональной способности миокарда ЛЖ показала статистически более значимо низкую фракцию выброса ЛЖ

($60,6 \pm 7,1$ и $65,2 \pm 3,7$ %, $p < 0,05$), а также более низкие минутный объем кровообращения и ЧСС в группе пациентов с окклюзией и контралатеральным стенозом при сравнении с группой с односторонним гемодинамически значимым стенозом.

Кроме этого, при сравнении до- и послеоперационных результатов исследования в группе пациентов с окклюзией значимые различия выявлены только в позвоночной артерии на стороне окклюзии – значительно снизились пиковая систолическая скорость кровотока (с $75,72 \pm 18,63$ до $54,50 \pm 12,49$ см/с, $p < 0,05$) и объемная скорость кровотока (с $302,44 \pm 84,23$ до $82,76 \pm 44,31$ мл/мин, $p < 0,05$). В общих, внутренних сонных на контралатеральной окклюзии стороне и средних мозговых артериях статистически значимых различий не найдено. Ниже

Таблица 2. Показатели кровотока в позвоночной и внутренней сонной артериях до каротидной эндартерэктомии
Table 2. Parameters of vertebral artery and internal carotid artery blood flow before carotid endarterectomy

Показатель / Parameter	Позвоночная артерия (сторона окклюзии) / Vertebral artery (occlusion side)			Внутренняя сонная артерия (контралатеральная сторона) / Internal carotid artery (contralateral side)		
	Группа исследования / Study group	Группа контроля / Control group	P	Группа исследования / Study group	Группа контроля / Control group	P
d, см / cm	0,42±0,09	0,35±0,07*	0,043	0,45±0,15	0,41±0,15	0,071
Vps, см/с / cm/s	54,66±19,72	57,67±30,95	0,122	268,68±198,60	130,39±85,75*	0,001
Ved, см/с / cm/s	21,64±12,38	16,04±8,31	0,196	87,56±16,04	40,89±18,39*	0,001
TAMX, см/с / cm/s	34,45±17,71	30,48±16,16	0,304	148,01±27,57	71,71±56,82*	0,001
TAV, см/с / cm/s	18,99±9,24	16,80±7,88	0,427	77,38±17,54	39,34±29,61	0,048
RI	0,60±0,08	0,70±0,10*	0,032	0,68±0,12	0,69±0,11	0,721
PI	0,94±0,23	1,39±0,45*	0,010	1,39±0,58	1,40±0,55	0,604
ОСК / VBF, мл/ мин / mL/min	195,75±145,99	104,56±77,19*	0,003	588,12±167,12	263,78±142,62*	0,001

Примечание. Здесь и далее в табл. 3, 4: * критический уровень значимости $p < 0,05$; ОСК – объемная скорость кровотока; d – диаметр; PI – пульсационный индекс; RI – индекс периферического сопротивления; TAMX – усредненная по времени максимальная скорость кровотока; TAV – усредненная по времени средняя скорость кровотока; Ved – максимальная конечная диастолическая скорость кровотока; Vps – пиковая систолическая скорость кровотока.

Note. Here and further in Tables 3, 4: * p-value < 0.05; d – diameter; PI – pulsatility index; RI – resistance index; TAV – time-averaged velocity; VBF – volumetric blood flow; Ved – end-diastolic velocity; Vps – peak systolic velocity; TAMX – time-averaged maximum velocity.

Таблица 3. Показатели кровотока в общей сонной артерии после каротидной эндартерэктомии
Table 3. Parameters of common carotid artery blood flow after carotid endarterectomy

Показатель / Parameter	Позвоночная артерия (сторона окклюзии) / Vertebral artery (occlusion side)			Внутренняя сонная артерия (контралатеральная сторона) / Internal carotid artery (contralateral side)		
	Группа исследования / Study group	Группа контроля / Control group	P	Группа исследования / Study group	Группа контроля / Control group	P
d, см / cm	0,75±0,18	0,69±0,13	0,181	0,74±0,14	0,68±0,10	0,102
Vps, см/с / cm/s	66,13±28,84	70,66±24,81*	0,035	81,56±27,33	68,94±24,23*	0,047
Ved, см/с / cm/s	13,44±11,33	17,24±7,3	0,096	27,21±8,33	17,43±7,92*	0,007
TAMX, см/с / cm/s	26,27±16,86	34,01±11,69	0,112	44,94±13,65	32,89±12,24*	0,011
TAV, см/с / cm/s	14,40±10,48	17,67±5,92	0,132	24,51±8,45	17,28±6,48*	0,014
RI	0,80±0,10	0,74±0,08*	0,028	0,66±0,04	0,74±0,06*	0,021
PI	2,24±1,40	1,60±0,49*	0,012	1,20±0,18	1,60±0,39*	0,015
ОСК / VBF, мл/ мин / mL/min	369,79±102,93	375,01±188,61	0,177	642,88±300,30	374,69±127,28*	0,001

приведены данные конкретного пациента, который представлял собой типичную картину описания группы в целом (рис. 1–3).

Обсуждение

Сравнение основной и контрольной групп до операции продемонстрировало, что на контралатеральной окклюзии стороне скоростные показатели в ВСА были статистически значимо выше соответствующих показателей в группе с односторонним стенозом, так как при окклюзии стенозированная ВСА берет на себя основную нагрузку. При этом и позвоночная артерия на стороне окклюзии выполняет большую часть работы, что и объясняет статистически значимо более высокие скоростные показатели [4, 11, 13].

После «открытого» хирургического вмешательства на ВСА у пациентов основной и контрольной групп определено выраженное снижение скоро-

сти кровотока в ВСА на стороне стеноза, что подтверждает успешность ангиохирургической реконструкции. При этом у больных с облитерирующим поражением ВСА объемная скорость кровотока и диаметр позвоночной артерии были статистически значимо выше, чем у пациентов с односторонним гемодинамически значимым стенозом. У пациентов с окклюзией ВСА позвоночная артерия берет на себя большую нагрузку, чем та же артерия при одностороннем стенозе.

У всех лиц, включенных в данное исследование, на стороне окклюзии ВСА после КЭЭ отмечено уменьшение изучаемых показателей, что, вероятно, является следствием снижения перфузионного давления выше места облитерации просвета и снижения тонуса сосуда [9, 12]. Следует отметить, что изменения церебрального кровотока, выявленные у больных стенозом, были значительно менее выраженными, чем при окклюзии ВСА. При этом, учи-

Таблица 4. Показатели кровотока в позвоночной артерии после каротидной эндартерэктомии
Table 4. Parameters of vertebral artery blood flow after carotid endarterectomy

Показатель / Parameter	Позвоночная артерия (сторона окклюзии) / Vertebral artery (occlusion side)			Внутренняя сонная артерия (контралатеральная сторона) / Internal carotid artery (contralateral side)		
	Группа исследования / Study group	Группа контроля / Control group	P	Группа исследования / Study group	Группа контроля / Control group	P
d, см / cm	0,34±0,10	0,39±0,09	0,151	0,31±0,13	0,35±0,06	0,067
Vps, см/с / cm/s	78,55±57,86	51,58±22,26*	0,011	67,77±17,77	50,64±14,47*	0,032
Ved, см/с / cm/s	25,39±10,38	13,92±6,59*	0,016	21,31±4,28	15,26±5,42*	0,026
TAMX, см/с / cm/s	44,54±21,41	26,15±11,16*	0,020	36,48±8,05	27,78±8,12*	0,015
TAV, см/с / cm/s	22,72±12,34	14,08±6,21*	0,013	19,63±5,81	16,71±6,14	0,074
RI	0,63±0,13	0,72±0,08*	0,021	0,66±0,12	0,69±0,08	0,241
PI	1,09±0,48	1,49±0,45*	0,008	1,24±0,36	1,29±0,29	0,357
ОСК / VBF, мл/ мин / mL/min	588,12±367,12	263,78±142,62*	0,001	642,88±300,30	374,69±127,28*	0,001

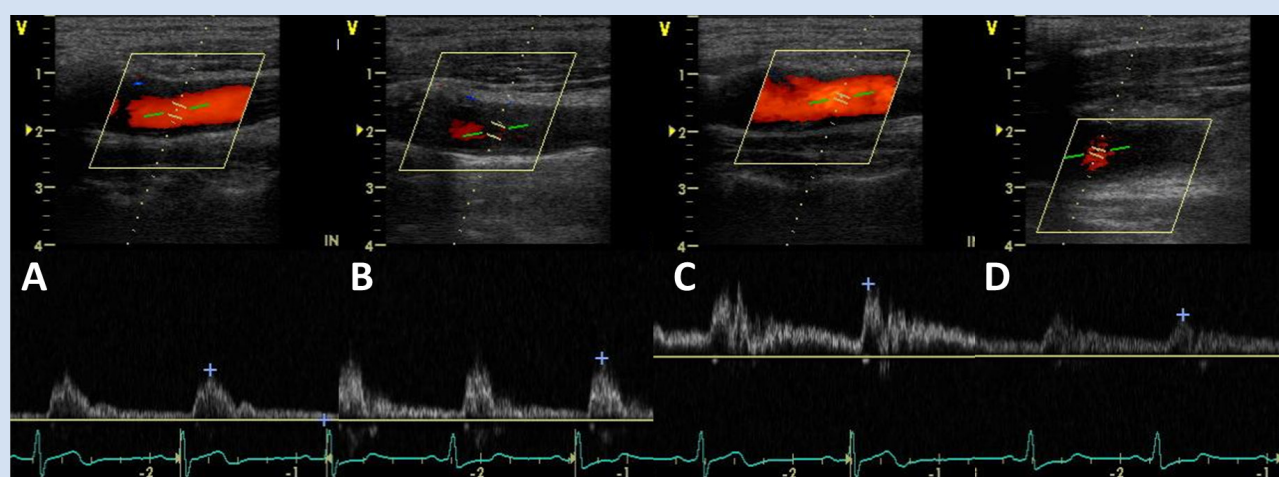


Рисунок 1. УЗИ общих сонных артерий (ОСА) у пациента П. до (А, С) и после (В, D) КЭЭ. После операции наблюдается снижение Vps с обеих сторон, больше слева: А – правая ОСА до операции, Vps = 50 см/с; В – правая ОСА после операции, Vps = 45 см/с; С – левая ОСА до операции, Vps = 75 см/с; D – левая ОСА после операции, Vps = 50 см/с

Figure 1. Ultrasound of CCA in patient P. After surgery, there is a decrease in Vps on both sides, more on the left. A – Right CCA before operation Vps = 50 cm/s; B – Right CCA after surgery Vps = 45 cm/s; C – Left CCA before operation Vps = 75 cm/s; D – Left CCA after surgery Vps = 50 cm/s.

тывая тот факт, что кровоток у пациентов со стенозом ВСА, как правило, происходит без выраженных изменений гемодинамического равновесия, у части больных все же выявляется асимметрия линейной скорости мозгового кровотока, что, вероятно, свидетельствует о наличии гемодинамической неустойчивости в системе стенозированной ВСА у этих пациентов [8, 11]. У больных с сочетанным стенозирующим поражением магистральных артерий головного мозга наблюдались более выраженные изменения кровотока. Тогда как скоростные показатели в средней мозговой артерии у пациентов обеих групп не имели статистически значимых различий, что, вероятнее всего, связано с достаточным развитым коллатеральным кровообращением.

Тромбооблитерирующее поражение одной или нескольких магистральных артерий головного мозга вызывает ряд процессов, которые ведут к «запуску» механизмов компенсации кровообращения. Такая ситуация приводит к увеличению притока крови по другим сосудам, компенсирующим резко сниженный кровоток в основных сосудах. Другим звеном компенсации кровотока может быть увеличение минутного объема сердца [3, 11]. Важнейшим фактором, определяющим компенсацию мозгового кровообращения при облитерирующих поражениях брахиоцефальных артерий, является состояние коллатерального сосудистого русла [10, 16–18]. Недостаточное развитие коллатерального кровотока, как правило в ситуации дисрегуляции, приводит к развитию ишемического инсульта, что и определено по данным анамнеза у 5 пациентов в нашем исследовании. Клинические проявления при окклюзирующей патологии ВСА могут протекать по типу компенсированной или относительно

компенсированной сосудисто-мозговой недостаточности в зависимости от степени развития коллатерального русла, что и отмечено у остальных наших пациентов. У больных окклюзией большое значение имеет анатомическое строение Виллизиева круга; в нашем исследовании у 6 пациентов по данным МРТ отсутствовала задняя соединительная артерия, у них же зарегистрировано переходящее нарушение мозгового кровообращения с периваскулярным отеком 0–1 степени и мелкими очагами или их отсутствием, то есть МРТ-картина не соответствовала тяжести процесса. По мнению В.М. Чертока и А.Е. Коцюбы, это, вероятно, можно объяснить с позиций гуморально-метаболической концепции регуляции мозговой гемодинамики, в основе которой лежит предположение о том, что первичное снижение перфузионного давления ве-

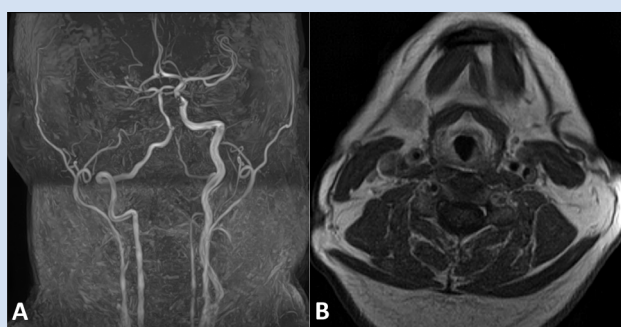


Рисунок 3. МРТ головного мозга у пациента П. с окклюзией правой сонной, левой сонной артерий и гипоплазией левой позвоночной артерии до КЭА: *A* – МР-ангиография сосудов головного мозга, *B* – T1-взвешенное изображение, аксиальный срез

Figure 3. Brain MRI in patient P. with occlusion of the right internal carotid artery, stenosis of the left internal carotid artery and hypoplasia of the left vertebral artery before the CEA. *A* – MR angiography of cerebral vessels, *B* – axial T1 weighted image

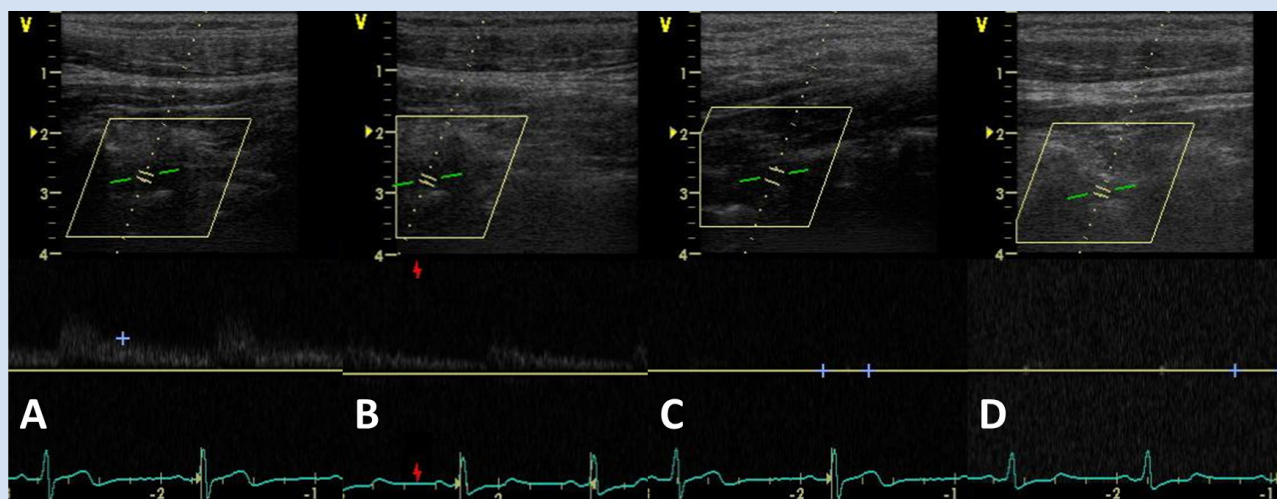


Рисунок 2. УЗИ позвоночных артерий у пациента П. до (*A, C*) и после (*B, D*) операции. Справа после операции наблюдается снижение V_{ps} , слева кровоток не определяется, однако при проведении МРТ у данного пациента визуализируется значительная гипоплазия позвоночной артерии (ПА) слева: *A* – правая ПА до операции, $V_{ps} = 45$ см/с; *B* – правая ПА после операции, $V_{ps} = 30$ см/с; *C* – левая ПА до операции, кровоток не определяется; *D* – левая ПА после операции, кровоток не определяется

Figure 2. Patient P., ultrasound of the vertebral arteries before (*A, C*) and after (*B, D*) surgery. On the right after the operation, there is a decrease in V_{ps} , on the left, the blood flow is not detected, however, during magnetic resonance imaging in this patient, significant hypoplasia of VA on the left is noted. *A* – Right VA before the operation $V_{ps} = 45$ cm/s; *B* – Right VA after surgery $V_{ps} = 30$ cm/s; *C* – the left VA before the operation, the blood flow is not determined; *D* – Left VA after surgery, blood flow is not determined

дет к ослаблению кровотока, вызывая уменьшение вымывания вазоактивных метаболитов, в частности газотрансмиттеров, к которым относится оксид азота. Оксид азота находится в эндотелиальных клетках большинства сосудов. На химическую или механическую стимуляцию эндотелий реагирует усилением синтеза этого газа, который обеспечивает необходимую величину локального кровотока, в том числе в головном мозге [19].

Следует отметить, что оценка ряда параметров работы сердца показала статистически более значимо низкую фракцию выброса ЛЖ, более низкие минутный объем кровообращения и ЧСС в группе пациентов с окклюзией и контралатеральным стенозом в отличие от группы с гемодинамически значимым стенозом. Известно, что существует система взаимодействия основных звеньев кровообращения: так, сердечный выброс влияет на баро- и хеморецепторы синокаротидной зоны, что приводит к восприятию сигнала в головном мозге и отсюда исходит регулирующий сигнал, приводящий в том числе к изменению ЧСС; другой механизм реализуется через влияние на тонус сосудов, вызывающий реакцию системы кровообращения головного мозга, приводящую к передаче соответствующих импульсов в высшие центры головного мозга, отвечающие за координацию функций. В то же время раздражение барорецепторов синокаротидной зоны через рефлекторное влияние угнетает активность симпатических нервов и приводит к активации вагусных эфферентных волокон и, как следствие, к урежению ЧСС [4, 11, 12]. Стенозирующие изменения в сосудах головного мозга могут иметь самостоятельное значение в ограничении притока к мозгу наряду с тромбозами и эмболиями. Критической величиной стеноза считается сужение артерий до 70–80% площади их поперечного сечения, вызывающее снижение мозгового кровотока, компенсация которого посредством усиления сердечного выброса по мере увеличения степени стеноза становится невозможной, как показано в нашем исследовании; это еще в большей степени

Информация об авторах

Буховец Ирина Львовна, доктор медицинских наук старший научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-9466-6097

Максимова Александра Сергеевна, кандидат медицинских наук научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-4871-3283

касается ситуации, когда у пациента имеются окклюзия ВСА и гемодинамически значимый стеноз контралатеральной артерии.

У пациентов с окклюзией ВСА и контралатеральным стенозом изменения кровотока в ВСА и позвоночной артерии выражены больше, чем у пациентов только с гемодинамически значимым стенозом ВСА, а также они имеют статистически значимо более низкие фракцию выброса ЛЖ, минутный объем кровообращения и ЧСС.

Заключение

Таким образом, комплексное ультразвуковое исследование магистральных артерий головы в сочетании с магнитно-резонансной томографией головного мозга является надежным и адекватным способом оценки мозговой гемодинамики, изменений сосудистого русла и структуры головного мозга. Учитывая чрезвычайную важность состояния функциональной способности миокарда ЛЖ для обеспечения стабильности мозгового кровообращения у пациентов с окклюзией ВСА и контралатеральным гемодинамически значимым стенозом, ее детальное исследование перед КЭЭ представляется необходимым для коррекции лечебных мероприятий, а в дальнейшем может быть использовано при катamnестическом контроле.

Конфликт интересов

И.Л. Буховец заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.С. Максимова заявляет об отсутствии конфликта интересов. Б.Н. Козлов заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.С. Кузнецов заявляет об отсутствии конфликта интересов. М.П. Плотноков заявляет об отсутствии конфликта интересов. И.Н. Ворожцова заявляет об отсутствии конфликта интересов. В.Ю. Усов заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Авторы заявляют об отсутствии финансирования исследования.

Author Information Form

Bukhovec Irina L., PhD, Senior Researcher at the Department of Diagnostic Imaging, Research Institute of Cardiology – Branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-9466-6097

Maksimova Alexandra S., PhD, Researcher at the Department of Diagnostic Imaging, Research Institute of Cardiology – Branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-4871-3283

Козлов Борис Николаевич, доктор медицинских наук заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии научно-исследовательского института кардиологии – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-0217-7737

Кузнецов Михаил Сергеевич, кандидат медицинских наук старший научный сотрудник отделения сердечно-сосудистой хирургии Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-1975-043X

Плотников Михаил Павлович, кандидат медицинских наук врач-невролог общеклинического отделения Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0003-3209-9423

Ворожцова Ирина Николаевна, доктор медицинских наук профессор кафедры факультетской терапии с курсом клинической фармакологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Томск, Российская Федерация; ведущий научный сотрудник лаборатории ультразвуковых и функциональных методов исследования Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-1610-0896

Усов Владимир Юрьевич, доктор медицинских наук, профессор заведующий отделением рентгеновских и томографических методов диагностики Научно-исследовательского института кардиологии – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук», Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-7352-6068

Вклад авторов в статью

БИЛ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

МАС – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

КБН – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

КМС – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Kozlov Boris N., PhD, Head of the Department of Cardiovascular Surgery, Research Institute of Cardiology - Branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-0217-7737

Kuznetsov Mikhail S., PhD, Senior Researcher at the Department of Cardiovascular Surgery, Research Institute of Cardiology - Branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-1975-043X

Plotnikov Mikhail P., PhD, Neurologist at the General Clinical Department, Research Institute of Cardiology - Branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0003-3209-9423

Vorozhtsova Irina N., PhD, Professor at the Departmental of Intermediate Course of Therapy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Siberian State Medical University” of the Ministry of Health of the Russian Federation, Tomsk, Russian Federation; Leading Researcher at the Laboratory of Functional Ultrasound Imaging, Research Institute of Cardiology - Branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-1610-0896

Usov Vladimir Yu., PhD, Professor, Head of the Department of Diagnostic Imaging, Research Institute of Cardiology – Branch of the Federal State Budgetary Institution “Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences”, Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-7352-6068

Author Contribution Statement

BIL – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

MAS – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

KBN – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

KMS – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

ПМП – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ВИН – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

ВВЮ – вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание и корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

PMP – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

VIN – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

VVYu – contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокерия Л.А., Гудкова Р.Г. Сердечно-сосудистая хирургия – 2005. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения. М.: НЦССХ им. А.Н.Бакулева Министерства здравоохранения Российской Федерации; 2006. 114.
2. Kleindorfer D., Panagos P., Pancioli A., Khoury J., Kissela B., Woo D., Schneider A., Alwell K., Jauch E., Miller R., Moomaw C., Shukla R., Broderick J.P. Incidence and short-term prognosis of transient ischemic attack in a population-based study. *Stroke*. 2005; 36:720-723. doi: 10.1161/01.STR.0000158917.59233.b7.
3. Дудко В.А., Карпов Р.С. Атеросклероз сосудов сердца и головного мозга. Томск: STT; 2003. 416.
4. Malhotra K., Goyal N., Tsivgoulis G. Internal Carotid Artery Occlusion: Pathophysiology, Diagnosis, and Management. *Current Atherosclerosis Reports*. 2017; 19(10):41. doi: 10.1007/s11883-017-0677-7.
5. Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями брахиоцефальных артерий. М.; 2013. 72.
6. Lee J.I., Jander S., Oberhuber A., Schelzig H., Hänggi D., Turowski B., Seitz R.J. Stroke in patients with occlusion of the internal carotid artery: options for treatment. *Expert Rev Neurother*. 2014; 14(10):1153-67. doi: 10.1586/14737175.2014.955477.
7. Paty P.S., Adeniyi J.A., Mehta M., Darling R.C. 3rd, Chang B.B., Kreienberg P.B., Ozsvath K.J., Roddy S.P., Shah D.M. Surgical treatment of internal carotid artery occlusion. *Journal of vascular surgery*. 2003; 37(4):785-8. doi:10.1067/mva.2003.203.
8. Ghogawala Z., Amin-Hanjani S., Curran J., Ciarleglio M., Berenstein A., Stabile L., Westerveld M. The effect of carotid endarterectomy on cerebral blood flow and cognitive function. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2013; 7:1029-1037. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2012.03.016.
9. Джибладзе Д.Н., Бархатов Д.Ю., Никитин Ю.М. Значение гемодинамических факторов при различных формах атеросклеротического поражения магистральных артерий головы. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 1998; 2:36-46.
10. Фокин А.А., Мудрякова М.И. Непосредственные результаты хирургической профилактики ишемического инсульта у больных с контралатеральной окклюзией внутренней сонной артерии. *Медицинский альманах*. 2015; 4 (39): 145-148.
11. Морман Д., Хеллер Л. Физиология сердечно-сосудистой системы. СПб.: Питер; 2000. 256.
12. Thanvi B., Robinson T. Complete occlusion of extracranial internal carotid artery: clinical features, pathophysiology, diagnosis and management. *Postgrad Med J*. 2007; 83(976):95-99. doi: 10.1136/pgmj.2006.048041.
13. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. М.: Реальное время; 2003. 324.
14. Naqvi J., Yap K.H., Ahmad G., Jonathan Ghosh Transcranial Doppler Ultrasound: A Review of the Physical Principles and Major Applications in Critical Care. *International Journal of Vascular Medicine*. 2013; 2013:629378. doi:10.1155/2013/629378.
15. Буховец И. Л., Максимова А. С., Плотников М. П., Козлов Б.Н., Ворожцова И.Н., Усов В.Ю. Ультразвуковой контроль мозгового кровотока у больных со стенозом брахиоцефальных артерий до и после каротидной эндартерэктомии. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2018; 24(1):66-71.
16. Вишнякова М.В. Алгоритмы комплексной лучевой диагностики окклюзирующего поражения внутренней сонной артерии для определения тактики ведения пациентов. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2017; 98 (5): 231-237. doi:10.20862/0042-4676-2017-98-5-231-237
17. Мамедов Ф.Р., Арутюнов Н.В., Усачев Д.Ю., Лукшин В.А., Мельникова-Пицхелаури Т.В., Фадеева Л.М., Пронин И.Н., Корниенко В.Н. Современные методы нейровизуализации при стенозирующей и окклюзирующей патологии сонных артерий. *Лучевая диагностика и терапия*. 2012; 3(3):109-116.
18. Буховец И. Л., Максимова А. С., Плотников М. П., Кузнецов М. С., Козлов Б. Н., Ворожцова И. Н., Усов В. Ю. Комплексная ультразвуковая оценка параметров артериального и венозного кровотока у пациентов со стенозом брахиоцефальных артерий до и после операции каротидной эндартерэктомии. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2016. 31(3):44-49. doi:10.29001/2073-8552-2016-31-3-44-49
19. Черток В.М., Коцюба А.Е. Эндотелиальный (интимальный) механизм регуляции мозговой гемодинамики: трансформация взглядов. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2012; 2:17-26.

REFERENCES

1. Bokeria L.A., Gudkova R.G. Cardiovascular surgery-2005. Diseases and congenital anomalies of the circulatory system. Moscow: A.N.Bakulev National Medical Research Center of Cardiovascular Surgery; 2006.114. (In Russian)
2. Kleindorfer D., Panagos P., Pancioli A., Khoury J., Kissela B., Woo D., Schneider A., Alwell K., Jauch E., Miller R., Moomaw C., Shukla R., Broderick J.P. Incidence and short-term prognosis of transient ischemic attack in a population-based study. *Stroke*. 2005; 36:720-723. doi: 10.1161/01.STR.0000158917.59233.b7.
3. Dudko V. A., Karpov R. S. Atherosclerosis: pathogenesis, clinic, functional diagnosis, treatment. Tomsk: STT; 2003. 416. (In Russian)
4. Malhotra K., Goyal N., Tsivgoulis G. Internal Carotid Artery Occlusion: Pathophysiology, Diagnosis, and Management. *Current Atherosclerosis Reports*. 2017; 19(10):41. doi: 10.1007/s11883-017-0677-7.
5. National guidelines for the management of patients

with brachiocephalic artery diseases. Moscow; 2013. 72. (In Russian)

6. Lee J.I., Jander S., Oberhuber A., Schelzig H., Hänggi D., Turowski B., Seitz R.J. Stroke in patients with occlusion of the internal carotid artery: options for treatment. *Expert Rev Neurother.* 2014; 14(10):1153-67. doi: 10.1586/14737175.2014.955477.
7. Paty P.S., Adeniyi J.A., Mehta M., Darling R.C. 3rd, Chang B.B., Kreienberg P.B., Ozsvath K.J., Roddy S.P., Shah D.M. Surgical treatment of internal carotid artery occlusion. *Journal of vascular surgery.* 2003; 37(4):785-8. doi:10.1067/mva.2003.203.
8. Ghogawala Z., Amin-Hanjani S., Curran J., Ciarleglio M., Berenstein A., Stabile L., Westerveld M. The effect of carotid endarterectomy on cerebral blood flow and cognitive function. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2013; 7:1029-1037. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2012.03.016.
9. Dzhibladze D.N., Barkhatov D.Yu., Nikitin Yu.M. The importance of hemodynamic factors in different forms of atherosclerotic lesion of the great arteries of the head. *Angiology and vascular surgery.* 1998; 2:36-46. (In Russian)
10. Fokin A.A., Mudryakova M.V. Direct results of surgical prophylaxis of ischemic stroke in the case of patients with contralateral occlusion of inner carotid artery. 2015; 4 (39): 145-148. (In Russian)
11. Marman D., Heller L. Physiology of the cardiovascular system. St. Petersburg: Peter; 2000. 256. (In Russian)
12. Thanvi B., Robinson T. Complete occlusion of extracranial internal carotid artery: clinical features, pathophysiology, diagnosis and management. *Postgrad Med J.* 2007; 83(976):95-99. doi: 10.1136/pgmj.2006.048041.
13. Lelyuk V. G., Lelyuk S. E. Ultrasound angiology. Moscow: Real time; 2003. 324. (in Russian)
14. Naqvi J., Yap K.H., Ahmad G., Jonathan Ghosh Transcranial Doppler Ultrasound: A Review of the Physical Principles and Major Applications in Critical Care. *International Journal of Vascular Medicine.* 2013; 2013:629378. doi:10.1155/2013/629378.
15. Bukhovets I.L., Maksimova A.S., Plotnikov M.P., Kozlov B.N., Vorozhtsova I.N., Usov V.Yu. Ultrasonographic control of cerebral blood flow in patients with stenosis of brachiocephalic arteries before and after carotid endarterectomy. 2018; 24(1):66-71. (In Russian)
16. Vishnyakova M.V. Imaging algorithms for occlusive carotid disease in treatment strategy. 2017; 98 (5): 231-237. doi:10.20862/0042-4676-2017-98-5-231-237 (In Russian)
17. Mamedov F.R., Arutyunov N.V., Usachev D. Yu., Lukshin V.A., VMelnikova-Pitshelauri T., Fadeyeva L.M., Pronin I.N., Kornienko V.N. Modern neuroimaging methods in carotid arteries stenosis and occlusion. 2012; 3(3):109-116. (In Russian)
18. Bukhovets I.L., Maksimova A.S., Plotnikov M.P., Kuznetsov M.S., Kozlov B.N., Vorozhtsova I.N., Usov W.Yu. Quantification of arterial and venous blood flow parameters in patients with carotid atherosclerosis before and after carotid endarterectomy. *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine* 2016. 31(3):44-49. doi:10.29001/2073-8552-2016-31-3-44-49 (In Russian)
19. Chertok V.M., Kotsyuba A.E. Endothelial (intimal) mechanism of cerebral hemodynamics regulation: changing views. 2012; 2:17-26. (in Russian)

Для цитирования: Буховец И.Л., Максимова А.С., Козлов Б.Н., Кузнецов М.С., Плотников М.П., Ворожцова И.Н., Усов В.Ю. Гемодинамические параметры кровотока в экстракраниальных отделах мозговых артерий и сердце у больных окклюзией внутренней сонной артерии при ангиохирургическом лечении. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2023;12(4): 163-173. DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-4-163-173

To cite: Bukhovec I.L., Maksimova A.S., Kozlov B.N., Kuznetsov M.S., Plotnikov M.P., Vorozhtsova I.N., Usov V.Yu. Hemodynamic parameters of extracranial cerebral arteries and heart in patients with occlusion of the internal carotid artery during vascular surgery. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2023;12(4): 163-173. DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-4-163-173