

ЦЕРЕБРАЛЬНАЯ АУТОРЕГУЛЯЦИЯ И КРОВОТОК В ПРЕЦЕРЕБРАЛЬНЫХ АРТЕРИЯХ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОКАЗАНИЙ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЭКСТРА-ИНТРАКРАНИАЛЬНОГО МИКРОАНАСТОМОЗА У БОЛЬНЫХ С ХРОНИЧЕСКОЙ КАРОТИДНОЙ ОККЛЮЗИЕЙ

В.Б. Семенютин, А.А. Никифорова, А.А. Веснина, К.А. Самочерных

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России; Россия, 197341
Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2

Контакты: Владимир Борисович Семенютин lbcp@mail.ru

Введение. Профилактику ишемического инсульта у больных с каротидными окклюзиями связывают с выполнением реваскуляризирующих операций. Однако определение показаний к ним до сих пор остается актуальной задачей. Показана информативность неинвазивной оценки состояния церебральной ауторегуляции и изменения кровотока в прецеребральных артериях у пациентов с каротидными стенозами. В то же время у пациентов с каротидными окклюзиями данные показатели изучены в меньшей степени.

Цель исследования – оценка информативности показателей церебральной ауторегуляции и кровотока в прецеребральных артериях при определении показаний к экстра-интракраниальному микроанастомозу у больных с хроническими каротидными окклюзиями.

Материалы и методы. Обследовано 54 пациента с каротидными окклюзиями в возрасте от 41 года до 83 лет. Линейную скорость кровотока в интракраниальных артериях определяли с помощью транскраниальной доплерографии (система Multi-Dop X), индекс кровотока в прецеребральных артериях – с помощью дуплексного сканирования (система Vivid E). Церебральную ауторегуляцию оценивали по величине фазового сдвига между колебаниями линейной скорости кровотока и артериального давления в диапазоне волн Майера (80–120 мГц).

Результаты. У 90 % пациентов с симптомным типом течения каротидной окклюзии церебральная ауторегуляция была нарушена с обеих сторон: фазовый сдвиг составил $0,3 \pm 0,3$ рад ипсилатерально и $0,7 \pm 0,6$ рад контрлатерально. У 79 % больных с бессимптомным типом течения заболевания церебральная ауторегуляция была сохранена: фазовый сдвиг составил $1,0 \pm 0,3$ рад ипсилатерально и $1,1 \pm 0,4$ рад контрлатерально. Повышение индекса кровотока отмечено в контрлатеральной внутренней сонной артерии (306 ± 109 мл/мин) и ипсилатеральных артериях – позвоночной (139 ± 69 мл/мин) и наружной сонной (175 ± 72 мл/мин).

Заключение. Неинвазивная предоперационная оценка состояния церебральной ауторегуляции и кровотока в прецеребральных артериях позволяет количественно оценить состояние цереброваскулярного резерва и может быть использована при определении показаний к реваскуляризирующим операциям у пациентов с хроническими каротидными окклюзиями.

Ключевые слова: каротидная окклюзия, церебральная ауторегуляция, индекс кровотока в прецеребральных артериях, цереброваскулярный резерв, экстра-интракраниальный микроанастомоз

Для цитирования: Семенютин В.Б., Никифорова А.А., Веснина А.А., Самочерных К.А. Церебральная ауторегуляция и кровоток в прецеребральных артериях при определении показаний к выполнению экстра-интракраниального микроанастомоза у больных с хронической каротидной окклюзией. Нейрохирургия 2023;25(1):21–7. DOI: 10.17650/1683-3295-2023-25-1-21-27

Cerebral autoregulation and blood flow distribution in the precerebral arteries for determining indications of extra-intracranial bypass in patients with carotid artery occlusion

V.B. Semenyutin, A.A. Nikiforova, A.A. Vesnina, K.A. Samochernykh

V.A. Almazov National Medical Research Centre, Ministry of Health of the Russia; 2 Akkuratova St., Saint Petersburg 197341, Russia

Contacts: Vladimir Borisovich Semenyutin *lbcp@mail.ru*

Background. Prevention of ischemic stroke in patients with carotid artery occlusion is conventionally associated with performing cerebral revascularization. However, determining the indications for it is still an actual problem. The informative value of noninvasive assessment of cerebral autoregulation and blood flow distribution in the precerebral arteries in patients with carotid artery stenosis is shown. At the same time, in patients with carotid artery occlusion, these indicators have been studied to a lesser extent.

Aim. To evaluate the informative value of cerebral autoregulation and blood flow distribution in the precerebral arteries for determination the indications of extra-intracranial bypass in patients with carotid occlusion.

Materials and methods. 54 patients (aged from 41 to 83 y. o.) with carotid artery occlusion were studied. Blood flow velocity in intracranial arteries was determined with transcranial Doppler (system Multi-Dop X), whereas flow velocity index in precerebral arteries – with duplex scanning (system Vivid E). Cerebral autoregulation was assessed based on phase shift between spontaneous oscillations of blood flow velocity in basal cerebral arteries and systemic blood pressure within the range of Mayer's waves (80–120 mHz).

Results. The state of cerebral autoregulation was impaired on both sides in 90 % patients with the symptomatic carotid occlusion (0.3 ± 0.3 rad ipsilateral, 0.7 ± 0.6 rad contralateral). The state of cerebral autoregulation was not impaired in 79 % patients with asymptomatic carotid occlusion (1.0 ± 0.3 rad ipsilateral, 1.1 ± 0.4 rad contralateral). The flow velocity index in the contralateral internal carotid artery (306 ± 109 ml/min) and the ipsilateral vertebral (139 ± 69 ml/min) and external carotid (175 ± 72 ml/min) arteries was increased.

Conclusions. Noninvasive preoperative assessment of cerebral autoregulation and blood flow distribution in the precerebral arteries makes to evaluate the state of the cerebrovascular reserve to quantify and can be used to determining indications for cerebral revascularization in patients with carotid occlusion.

Keywords: carotid artery occlusion, cerebral autoregulation, flow velocity index, cerebrovascular reserve, extra-intracranial bypass

For citation: Semenyutin V.B., Nikiforova A.A., Vesnina A.A., Samochernykh K.A. Cerebral autoregulation and blood flow distribution in the precerebral arteries for determining indications of extra-intracranial bypass in patients with carotid artery occlusion. *Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2023;25(1):21–7. (In Russ.). DOI: 10.17650/1683-3295-2023-25-1-21-27

ВВЕДЕНИЕ

Перспективу профилактики первичного и повторного ишемического инсульта и улучшения результатов лечения и функциональных исходов у больных с хроническими каротидными окклюзиями связывают с выполнением реваскуляризирующих операций, в частности с наложением экстра-интракраниального микроанастомоза (ЭИКМА) [1–4]. Вместе с тем следует отметить, что, по данным некоторых авторов, выполнение ЭИКМА в большинстве случаев не имеет преимуществ перед оптимальной медикаментозной терапией и показано ограниченному числу пациентов с симптомным типом течения хронической каротидной окклюзии [2, 4–6]. Стратификация данной группы больных с целью более обоснованного отбора (как патогенетически, так и клинически) для проведения ЭИКМА до сих пор остается актуальной проблемой. Это прежде всего обусловлено тем, что в подавляющем большинстве наблюдений существует достаточная компенсация церебральной гемодинамики через естественные интра- и экстракраниальные анастомозы [3, 4, 7, 8]. По-видимому, активация системы коллатерального мозгового кровообращения в условиях возникшего тромбоза прецеребрального сегмента внутренней сонной артерии (ВСА) обеспечивает адекватное потребностям головного мозга церебральное перфузионное давление в бассейне окклюзированной артерии, и в связи с этим показания к проведению ЭИКМА представляются

сомнительными. Среди критериев включения к проведению ЭИКМА (наряду с градиентом давления в донорском и реципиентном сосудах, отсутствием обширных ишемических очагов и грубого неврологического дефицита, адекватным диаметром целевых артерий [3, 4]) важное значение имеют объективное подтверждение сниженного цереброваскулярного резерва (ЦВР) и определение степени компенсации церебральной гемодинамики [8–11].

Различные авторы предлагают выделять стадийность гемодинамической недостаточности мозгового кровообращения на основе комплексной оценки показателей мозгового кровотока, играющих решающую роль в выборе показаний к проведению ЭИКМА [12]. Многие считают, что увеличение экстракции O_2 служит независимым предиктором ишемического инсульта у пациентов с хроническими каротидными окклюзиями [6, 12]. Результаты данных исследований свидетельствуют, что ЭИКМА при каротидных окклюзиях показан при 2-й (субкомпенсированной) стадии гемодинамической недостаточности [7, 12]. При 1-й и 3-й стадиях гемодинамической недостаточности проведение ЭИКМА окажется малоэффективным либо будет сопряжено с высоким риском послеоперационных гемодинамических осложнений.

Очевидно, что решающее значение в формировании стадии гемодинамической недостаточности в скомпрометированном бассейне имеет степень выраженности

коллатерального кровообращения [4]. Показана информативность оценки кровотока в прецеребральных артериях и состояния церебральной ауторегуляции (ЦА) для оптимизации тактики хирургического лечения и прогнозирования исходов у больных с каротидными стенозами [13]. Вместе с тем информативность показателей состояния системы мозгового кровообращения у больных с хроническими каротидными окклюзиями изучена в меньшей степени.

Цель работы — оценка информативности показателей ЦА и кровотока в прецеребральных артериях при определении показаний к ЭИКМА у больных с хроническими каротидными окклюзиями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 54 пациента (45 мужчин, 9 женщин) с хроническими каротидными окклюзиями, средний возраст больных — 61 ± 9 лет. Окклюзия верифицирована по данным дуплексного сканирования, а также мультиспиральной компьютерной или церебральной ангиографии. Пациентов с острым тромбозом ВСА, а также в острый период инсульта в исследовании не было. Бессимптомный тип течения наблюдался у 14, симптомный (ранний восстановительный период) — у 40 пациентов. Функциональные исходы оценивали по модифицированной шкале Рэнкина (англ. Modified Rankin scale, mRS). У 29 пациентов выявлен стеноз контрлатеральной ВСА, у 10 — стеноз ипсилатеральной позвоночной артерии (ПА), у 26 — разомкнутый артериальный круг большого мозга (АКБМ) в разных его отделах.

Для оценки ЦА проводили одновременный неинвазивный мониторинг линейной скорости кровотока (ЛСК) в обеих средних мозговых артериях (СМА) методом транскраниальной доплерографии (система Multi-Dop X, DWL, Германия) и системного артериального давления (САД) с помощью пальцевой фотоплетизмографии (система CNAP). Далее оценивали ЦА с помощью кросс-спектрального анализа спонтанных колебаний ЛСК в обеих СМА и САД в диапазоне волн Майера (80–120 мГц). Значение фазового сдвига (ФС) между ними определяли при когерентности не менее 0,6. При ФС менее 0,8 рад наблюдалось нарушение ЦА [13]. Индекс кровотока (ИК) в прецеребральных артериях рассчитывали с помощью дуплексного сканирования (ультразвуковая система Vivid E system, GE, USA), как произведение площади поперечного сечения каждой артерии на средневзвешенную ЛСК (TAMEAN) в ней (на прямом участке, угол локации не более 60°) [13]. Нормальными считали значения ИК в ВСА от 170 до 280 мл/мин, в ПА — от 35 до 120 мл/мин, в наружной сонной артерии (НСА) — от 80 до 190 мл/мин [14].

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью стандартных статистических программ Statistica 10.0 (Windows, Excel), использовали параметрические (t-критерий Стьюдента) и непара-

метрические (Колмогорова—Смирнова) критерии. Уровень статистической значимости различий считали при $p < 0,05$ (p — достигнутый уровень значимости).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во время проведения транскраниальной доплерографии, дуплексного сканирования прецеребральных артерий и билатерального мониторинга ЛСК в СМА существенных изменений САД не выявлено. Среднее САД — в пределах 65–115 мм рт. ст. (91 ± 13 мм рт. ст.).

Транскраниальная доплерография

На диаграмме средних значений ЛСК в артериях, участвующих в кровоснабжении головного мозга (рис. 1), отмечена значимая асимметрия ЛСК в СМА ($p < 0,01$). Достоверное ($p < 0,01$) повышение ЛСК в контрлатеральной передней мозговой артерии (ПМА) и ВСА свидетельствует об активации коллатерального кровообращения через передние отделы АКБМ, что отмечено у большинства пациентов. Также у большей части ($n = 33$) больных определяли повышение ЛСК в ипсилатеральной задней мозговой артерии (ЗМА) с достоверной асимметрией с контрлатеральной ЗМА ($p < 0,02$). У 30 пациентов отмечено функционирование назоглазничного анастомоза (НГА) с ретроградным кровотоком в ипсилатеральной глазной артерии.

Индекс кровотока в прецеребральных артериях

На диаграмме средних значений ИК в прецеребральных артериях (рис. 2) достоверное ($p < 0,05$)

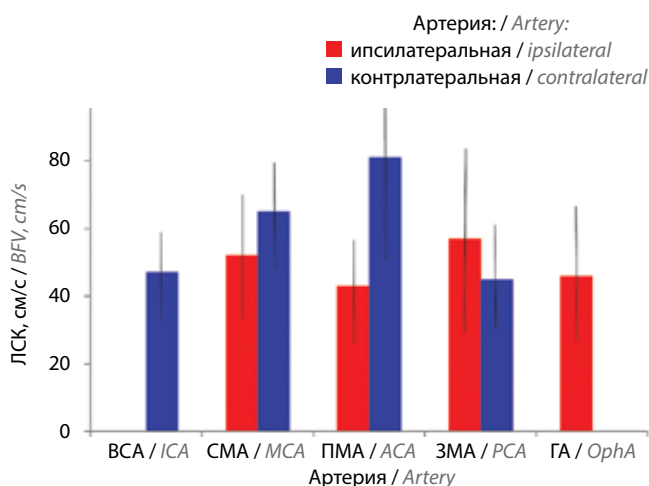


Рис. 1. Средние данные линейной скорости кровотока (ЛСК) в артериях, участвующих в кровоснабжении головного мозга у больных с хроническими каротидными окклюзиями: ВСА — внутренняя сонная артерия, СМА — средняя мозговая артерия, ПМА — передняя мозговая артерия, ЗМА — задняя мозговая артерия, ГА — глазная артерия у больных с функционирующим назоглазничным анастомозом

Fig. 1. Mean values of blood flow velocity (BFV) in the arteries involved in the blood supply of the brain in patients with carotid occlusion: ICA — internal carotid artery, MCA — middle cerebral artery, ACA — anterior cerebral artery, PCA — posterior cerebral artery, OphA — ophthalmic artery to patients with functioning naso-orbital anastomosis

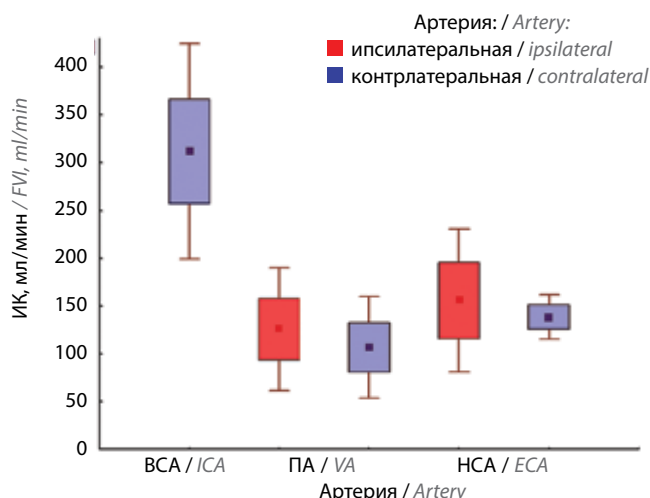


Рис. 2. Средние значения индекса кровотока (ИК) в прецеребральных артериях у больных с хроническими каротидными окклюзиями: BSA – внутренняя сонная артерия; ПА – позвоночная артерия; HCA – наружная сонная артерия

Fig. 2. Mean values of the flow velocity index (FVI) in the precerebral arteries in patients with carotid occlusion: ICA – internal carotid artery; VA – vertebral artery; ECA – external carotid artery.

повышение ИК отмечено в контрлатеральной BSA и ипсилатеральной ПА. У 22 из 30 пациентов с функционирующим НГА повышение ИК наблюдали также в ипсилатеральной HCA (у 8 больных достоверно определить ИК не представлялось возможным ввиду стеноза HCA). Вместе с тем большой разброс данных ИК в контрлатеральной BSA и ипсилатеральных ПА и HCA обусловлен стенозом данных артерий, разомкнутым АКБМ или отсутствием функционирования НГА. При этом отмечено достоверное отличие ИК в HCA ($p < 0,02$). В контрлатеральных ПА и HCA ИК оставался в пределах нормы (см. рис. 2).

Церебральная ауторегуляция

У большинства (90 %) пациентов с симптомным типом каротидной окклюзии скорость ЦА была снижена с обеих сторон (рис. 3). На ипсилатеральной стороне ФС находился в пределах от 0,1 до 0,6 рад, на контрлатеральной – от 0,1 до 2,5 рад ($p < 0,01$). САД, ЛСК и пульсационный индекс (ПИ) в ипси- и контрлатеральной СМА оказались в пределах нормы без достоверной асимметрии ($p > 0,05$). У 4 больных с симптомным течением заболевания ЦА была сохранена как в ипси-, так и в контрлатеральном бассейнах. У данных пациентов не отмечен неврологический дефицит (0–1 балл по mRS), не функционировал НГА, не было стенозов контрлатеральной BSA и обеих ПА, АКБМ был замкнут.

У большинства (79 %) пациентов с бессимптомными каротидными окклюзиями была сохранена ЦА (см. рис. 3). На ипсилатеральной стороне ФС составил от 0,7 до 1,8 рад, на контрлатеральной – от 0,7 до 2,2 рад. Достоверного отличия ФС на ипси- и контрлатеральной сторонах не выявлено ($p > 0,3$). В пределах нормы

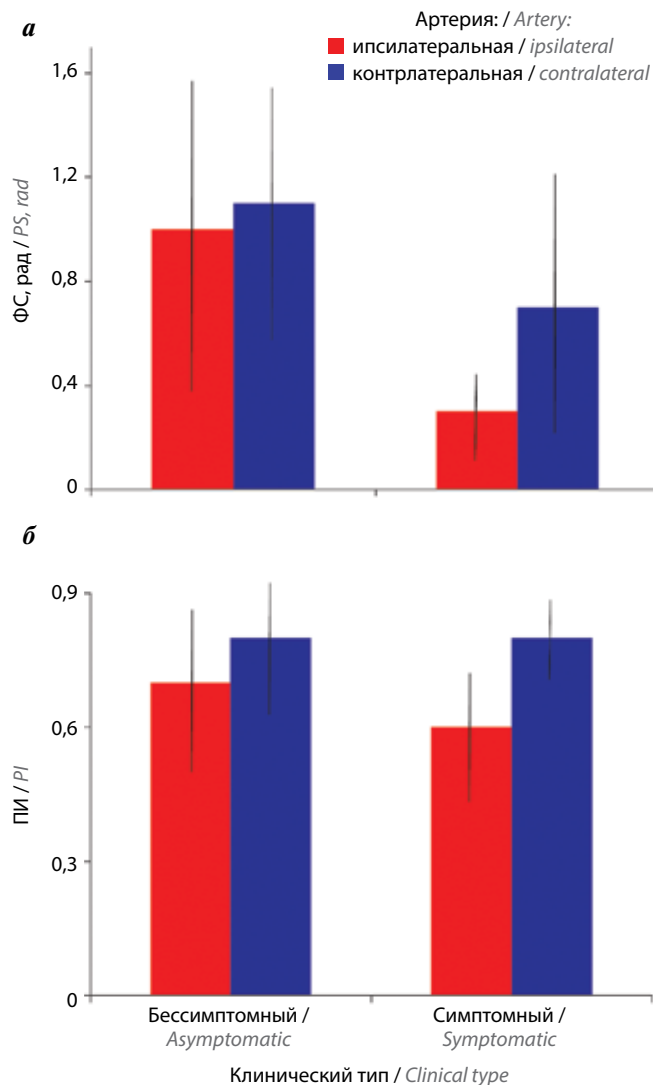


Рис. 3. Средние значения фазового сдвига (ФС) (а) между спонтанными колебаниями линейной скорости кровотока в ипсилатеральной средней мозговой артерии (СМА) и системным артериальным давлением в диастазе волн Майера и пульсационного индекса (ПИ) (б) в обеих СМА у пациентов с хроническими каротидными окклюзиями при разных типах течения

Fig. 3. Mean values of the phase shift (PS) between Mayer's waves of the blood flow velocity in the ipsilateral middle cerebral artery (MCA) and systemic blood pressure and pulsation index (PI) in both MCA in accordance with different clinical type of carotid occlusion

находились САД и скоростные показатели в обеих СМА. Неврологический статус соответствовал 0–1 баллу по mRS. У 3 пациентов с бессимптомным типом течения ЦА была нарушена как в ипси-, так и в контрлатеральном бассейнах. У данных больных выявлен критический стеноз (тромбоз в 1 случае) контрлатеральной BSA, отмечено функционирование НГА; у 2 пациентов АКБМ оказался разомкнут.

ОБСУЖДЕНИЕ

Реваскуляризирующие операции следует рассматривать как целенаправленные вмешательства в естественное

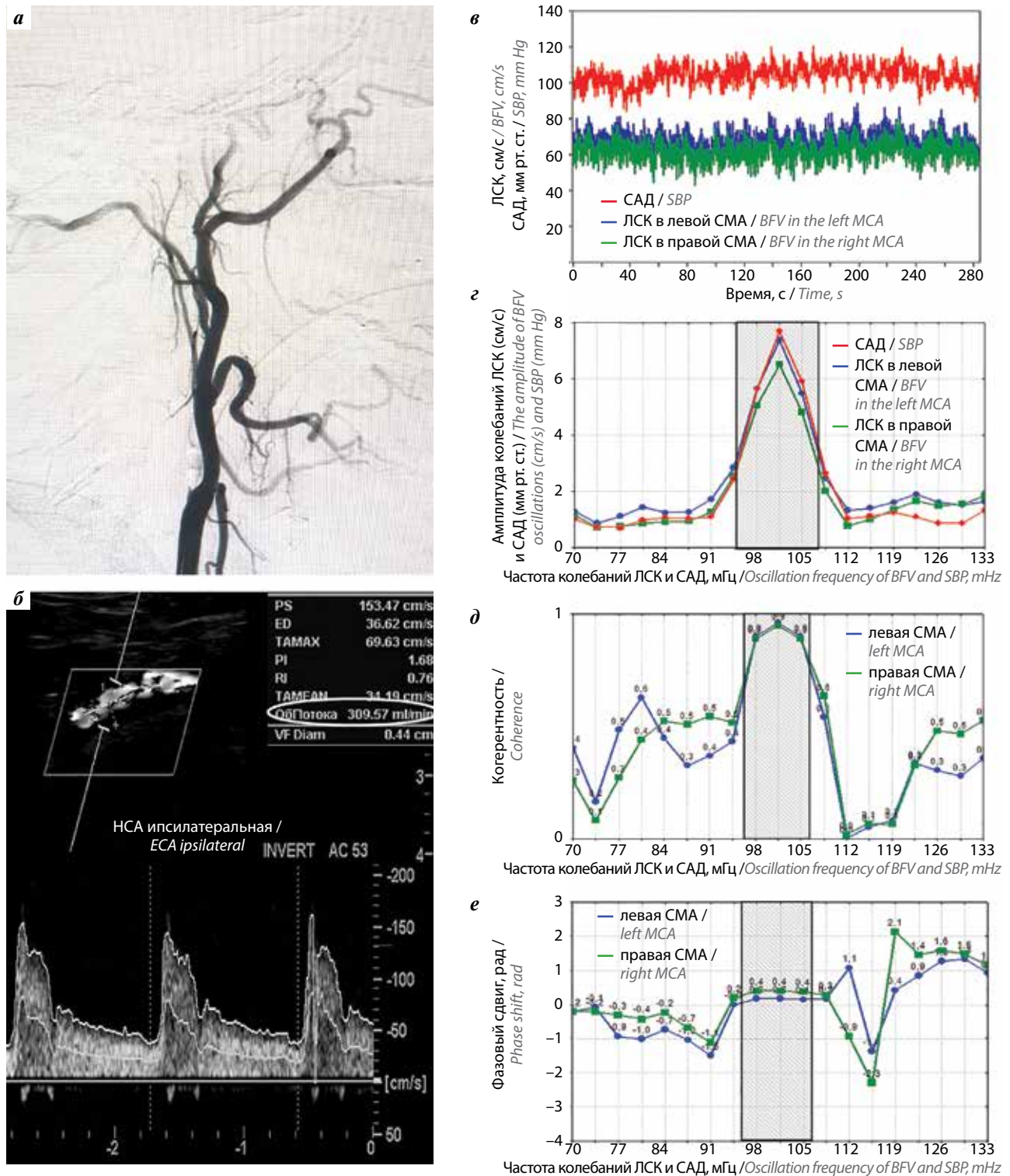


Рис. 4. Результаты обследования пациента, 60 лет, с симптомной хронической каротидной окклюзией слева со смещением гемодинамического равновесия справа налево: а — каротидная ангиограмма слева; б — триплексное сканирование ипсилатеральной наружной сонной артерии (НСА); в — 5-минутный мониторинг системного артериального давления (САД) и линейной скорости кровотока (ЛСК) в обеих средних мозговых артериях (СМА); г — амплитудный спектр; д — когерентность; е — фазовый сдвиг между спонтанными колебаниями ЛСК в ипсилатеральной СМА и САД в диапазоне волн Майера 80–120 мГц. Заштрихована область спектра с высокой когерентностью (г–е).

Fig. 4. The results of the examination of a 60-year-old patient with a left carotid occlusion: а — carotid angiogram on the left; б — triplex scanning of the ipsilateral external carotid artery (ECA); в — 5-minute monitoring of systemic blood pressure (SBP) and blood flow velocity (BFV) in both middle cerebral arteries (MCA); г — amplitude spectrum; д — coherence; е — the phase shift between BFV and SBP within the range of Mayer waves 80–120 mHz. A region of the spectrum with high coherence is shaded (г–е).

течение атеросклеротического процесса, способствующие компенсации церебральной перфузии благодаря функционирующим микроанастомозам.

После опубликования результатов рандомизированных исследований применение ЭИКМА стало более ограниченным. Данные ряда работ показали одинаковый эффект как от выполнения ЭИКМА, так и от консервативной терапии [2, 5, 15]. Результаты другого рандомизированного контролируемого исследования говорят о том, что частота повторных инсультов после выполнения ЭИКМА составила только 5 % по сравнению с 14 % у пациентов без реваскуляризации [1]. Однако позже, в исследовании Н. Катаока и соавт. [16], отмечено, что риск инсульта на фоне консервативной терапии остается более низким либо сравним с риском при выполнении ЭИКМА. Ввиду неоднозначных результатов проведенных исследований определение группы пациентов с хроническими каротидными окклюзиями, для которой выполнение ЭИКМА будет целесообразным и эффективным, до сих пор остается актуальной задачей [4, 11, 17]. Проведенный R.L. Jr Grubb и соавт. [5] анализ свидетельствует, что оценка ЦВР — неотъемлемая часть алгоритма определения тактики лечения пациентов с каротидными окклюзиями. При снижении ЦВР (2-я стадия гемодинамической недостаточности) риск инсульта существенно выше, поэтому данная группа больных получит максимальную пользу от реваскуляризирующей операции [5]. Результаты исследования Н. Катаока и соавт. [16] демонстрируют, что при истощении ЦВР (3-я стадия гемодинамической недостаточности) выполнение ЭИКМА неэффективно. Авторы также приходят к выводу, что только при снижении ЦВР оправдано выполнение реваскуляризирующей операции [16]. У пациентов с достаточным ЦВР (сохраненная ЦА либо неизмененная CO_2 -реактивность) подобные операции считаются неэффективными и нецелесообразными [16, 18, 19].

По данным некоторых авторов, у большинства больных с симптомными каротидными окклюзиями ЦВР, определяемый на основании оценки скорости ЦА, снижен [4, 20]. Полученные нами результаты также подтверждают подобную зависимость. У 90 % пациентов с симптомными каротидными окклюзиями ЦА на ипсилатеральной стороне была нарушена (рис. 4). Снижение ФС в контрлатеральной СМА, вероятно, обусловлено стенозом контрлатеральной ВСА у 72 % больных. Однако у всех пациентов данной группы ак-

тивация коллатерального кровотока отмечена как через передние и задние отделы АКБМ, так и через коллатерали НСА (27 больных с функционирующим НГА), что подтверждалось увеличением ЛСК со снижением ПИ в контрлатеральной ПМА и ипсилатеральной ЗМА, а также повышением ИК в контрлатеральной ВСА и ипсилатеральных ПА и НСА.

При этом только у 9 больных с симптомными окклюзиями и 2-й стадией гемодинамической недостаточности скорость ЦА была снижена не критически (ФС от 0,4 до 0,6 рад). У данных пациентов не выявлен выраженный неврологический дефицит (1–2 балла по mRS), у всех отмечено функционирование НГА. По полученным результатам показано выполнение ЭИКМА данным больным.

У других 9 пациентов с симптомными окклюзиями и 3-й стадией гемодинамической недостаточности скорость ЦА оказалась снижена критически (ФС 0,1 рад). Неврологический статус соответствовал 3–4 баллам по mRS. Показаний для реваскуляризирующей операции не было.

У большинства (79 %) больных с бессимптомным типом течения ЦА была сохранена. Выполнение ЭИКМА в подобных случаях нецелесообразно ввиду достаточного ЦВР. Нарушение ЦА у 3 пациентов с бессимптомным типом течения было обусловлено критическим стенозом контрлатеральной ВСА, что послужило одним из показаний к выполнению реконструктивной операции данной артерии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неинвазивная предоперационная оценка ЦА и кровотока в прецеребральных артериях позволяет количественно оценить состояние ЦВР и может быть использована при определении персонализированной стратегии лечения пациентов с хроническими каротидными окклюзиями. Выполнение ЭИКМА целесообразно при умеренном нарушении ЦА с повышением ИК в ипсилатеральной НСА и функционирующем НГА у пациентов с симптомным течением заболевания. Реваскуляризирующая операция не показана больным с достаточным ЦВР при бессимптомном или симптомном течении. У пациентов с истощением ЦВР, наряду с динамическим наблюдением и консервативной терапией, перспективным может быть выполнение паллиативных операций (шейная симпатэктомия), что требует дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Ogasawara K., Ogawa A. JET study (Japanese EC—IC bypass trial). *Nihon Rinsho* 2006;64(Suppl 7):524–7. (In Jap.).
2. Powers W.J., Clarke W.R., Grubb R.L. Jr et al. Extracranial-intracranial bypass surgery for stroke prevention in hemodynamic cerebral ischemia: the Carotid Occlusion Surgery Study randomized trial. *JAMA* 2011;306(18):1983–92. DOI: 10.1001/jama.2011.1610
3. Dalainas I., Avgerinos E.D., Daskalopoulos M.E. et al. The critical role of the external carotid artery in cerebral perfusion of patients with total occlusion of the internal carotid artery. *Int Angiol* 2012;31(1):16–21.
4. Wessels L., Hecht N., Vajkoczy P. Bypass in neurosurgery—indications and techniques. *Neurosurg Rev* 2019;42(2):389–93. DOI: 10.1007/s10143-018-0966-9

5. Grubb R.L. Jr, Powers W.J., Clarke W.R. et al. Surgical results of the Carotid Occlusion Surgery Study. *J Neurosurg* 2013;118(1):25–33. DOI: 10.3171/2012.9.JNS12551
6. Reynolds M.R., Derdeyn C.P., Grubb R.L. Jr et al. Extra-intracranial bypass for ischemic cerebrovascular disease: what have we learned from of Carotid Occlusion Surgery Study? *Neurosurg Focus* 2014;36(1):E9. DOI: 10.3171/2013.10.FOCUS13427
7. Neff K.W., Horn P., Dinter D. et al. Extra-intracranial arterial bypass surgery improves total brain blood supply in selected symptomatic patients with unilateral internal carotid artery occlusion and insufficient collateralization. *Neuroradiology* 2004;46(9):730–7. DOI: 10.1007/s00234-004-1252-9
8. Meyer M., Juenemann M., Braun T. et al. Impaired cerebrovascular autoregulation in large vessel occlusive stroke after successful mechanical thrombectomy: A Prospective Cohort Study. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2020;29(3):104596. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2019.104596
9. Reinhard M., Roth M., Guschlbauer B. et al. The course of dynamic cerebral autoregulation during cervical internal carotid artery occlusion. *Neurol Res* 2011;33(9):921–6. DOI: 10.1179/1743132811Y.0000000022
10. Rosen C., McKetton L., Russell J. et al. Long-term changes in cerebrovascular reactivity following EC-IC bypass for intracranial steno-occlusive disease. *J Clin Neurosci* 2018;54:77–82. DOI: 10.1016/j.jocn.2018.06.009
11. McConnell F.K., Payne S. The dual role of cerebral autoregulation and collateral flow in the circle of Willis after major vessel occlusion. *IEEE Trans Biomed Eng* 2017;64(8):1793–802. DOI: 10.1109/TBME.2016.2623710
12. Grubb R.L. Jr, Derdeyn C.P., Fritsch S.M. et al. Importance of hemodynamic factors in the prognosis of symptomatic carotid occlusion. *JAMA* 1998;280(12):1055–60. DOI: 10.1001/jama.280.12.1055
13. Semenyutin V.B., Asaturyan G.A., Nikiforova A.A. et al. Predictive value of dynamic cerebral autoregulation assessment in surgical management of patients with high-grade carotid artery stenosis. *Frontiers in Physiology* 2017;8:872. DOI: 10.3389/fphys.2017.00872
14. Zarrinkoob L., Ambarki K., Wahlin A. et al. Blood flow distribution in cerebral arteries. *J Cereb Blood Flow Metab* 2015;35(4):648–54. DOI: 10.1038/jcbfm.2014.241
15. EC/IC Bypass Study Group. Failure of extracranial-intracranial arterial bypass to reduce the risk of ischemic stroke. Results of an international randomized trial. *N Engl J Med* 1985;313(19):1191–200. DOI: 10.1056/NEJM198511073131904
16. Kataoka H., Miyamoto S., Ogasawara K. et al. Results of Prospective Cohort Study on symptomatic cerebrovascular occlusive disease showing mild hemodynamic compromise [Japanese Extracranial-Intracranial Bypass Trial (JET)-2 Study]. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2015;55:460–8. DOI: 10.2176/nmc.0a.2014-0424
17. Li C., Cao X., Ma Zh. et al. Effect of pre-surgery assessments on the prognosis of patients received extracranial-intracranial bypass surgery. *Restor Neurol Neurosci* 2018;36(5):593–604. DOI: 10.3233/RNN-180848
18. Kimiagar I., Bass A., Rabey J. et al. Long-term follow-up of patients with asymptomatic occlusion of the internal carotid artery with good and impaired cerebral vasomotor reactivity. *Eur J Neurol* 2010;17(10):1285–90. DOI: 10.1111/j.1468-1331.2010.03008.x
19. Gupta A., Chazen J.L., Hartman M. et al. Cerebrovascular reserve and stroke risk in patients with carotid stenosis or occlusion: a systematic review and meta-analysis. *Stroke* 2012;43(11):2884–91. DOI: 10.1161/STROKEAHA.112.663716
20. Chang T.Y., Kuan W.C., Huang K.L. et al. Heterogeneous cerebral vasoreactivity dynamics in patients with carotid stenosis. *PLoS One* 2013;8(9):e76072. DOI: 10.1371/journal.pone.0076072

Вклад авторов

В.Б. Семенютин: разработка концепции исследования, редактирование статьи, утверждение финального варианта статьи;
 А.А. Никифорова: сбор и обработка материала, статистическая обработка и анализ данных, редактирование статьи;
 А.А. Веснина: сбор и обработка материала, поиск и анализ литературы, статистическая обработка данных, написание статьи;
 К.А. Самочерных: научное редактирование статьи.
 Все авторы внесли существенный вклад в подготовку работы, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Authors' contributions

V.B. Semenyutin: research idea of the study, editing of the article, approval of the final version of the article;
 A.A. Nikiforova: collection and processing of material, statistical analysis, data analysis, editing of the article, preparing for printing;
 A.A. Vesnina: collection and processing of material, search and analysis for literary sources, statistical analysis, article writing;
 K.A. Samochernykh: scientific editing of the article.
 All authors made a significant contribution to the preparation of the work, read and approved the final version of the article before publication.

ORCID авторов / ORCID of authors

В.Б. Семенютин / V.B. Semenyutin: <https://orcid.org/0000-0002-9248-9821>
 А.А. Никифорова / A.A. Nikiforova: <https://orcid.org/0000-0002-2617-6739>
 А.А. Веснина / A.A. Vesnina: <https://orcid.org/0000-0002-7452-0944>
 К.А. Самочерных / K.A. Samochernykh: <https://orcid.org/0000-0001-5295-4912>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-29-01190.

Funding. This research was supported by grant No. 19-29-01190 of the Russian Foundation for Basic Research.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Протокол обследования одобрен этическим комитетом Российского научно-исследовательского нейрохирургического института им. проф. А. Л. Поленова (протокол № 1 от 02.06.2010). Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the Ethics Board of the A.L. Polenov Russian Scientific Research Institute of Neurosurgery (protocol No. 1 from 02.06.2010). All patients gave written informed consent to participate in the study.

Статья поступила: 07.11.2022. **Принята к публикации:** 24.11.2022.

Article submitted: 07.11.2022. **Accepted for publication:** 24.11.2022.