

<https://doi.org/10.17116/neiro20198303129>

Локальная гемодинамика после создания ЭИКМА у пациентов с симптоматическими окклюзиями сонных артерий

Д.м.н. В.А. ЛУКШИН, проф. Д.Ю. УСАЧЕВ, асп. А.А. ШУЛЬГИНА*, к.м.н. Е.В. ШЕВЧЕНКО

ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко», Москва, Россия

Цель исследования — оценка изменений параметров локальной гемодинамики у пациентов с симптоматическими окклюзиями внутренней сонной артерии (ВСА) и болезнью моя-моя после создания экстра-интракраниального микроанастомоза (ЭИКМА). **Материал и методы.** В исследование вошли 112 пациентов, которым проведено хирургическое лечение в НМИЦ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко с 1999 по 2015 г. Среди них были 105 пациентов с окклюзией ВСА и 7 — с болезнью моя-моя. У всех пациентов во время основного этапа создания ЭИКМА были изучены локальные показатели гемодинамики с использованием методов интраоперационной контактной доплерографии (89, 72%) и флоуметрии (56, 50%). В 33 (29%) случаях использовались оба метода. У 42 пациентов имелись данные о степени перфузионного дефицита на основании предоперационного СКТ-перфузионного исследования. У 6 пациентов выявлен I тип цереброваскулярной недостаточности (острая олигемия), у 25 — II тип перфузионного дефицита (сохраняющаяся олигемия), у 11 — перфузионный дефицит III типа (хроническая олигемия). До создания анастомоза оценивались направление кровотока и значения гемодинамических параметров в корковых артериях, после создания анастомоза оценивались значения и направление кровотока в корковой артерии проксимальнее и дистальнее области анастомоза.

Результаты. Всего выполнено 112 операций по созданию ЭИКМА без периоперационных осложнений и летальности. Функционирование анастомоза было подтверждено в 108 (96,3%) случаях, тромбоз анастомоза наблюдался в 4 (3,7%). У пациентов с окклюзиями ВСА во всех случаях до ЭИКМА наблюдалось дистальное направление кровотока. У 5 (71%) из 7 пациентов с болезнью моя-моя чаще отмечалось проксимальное направление кровотока. Полученные в ходе исследования параметры мозгового кровотока достоверно отличались в зависимости от исходной степени перфузионного дефицита. У больных с цереброваскулярной недостаточностью I типа скорость кровотока имела наименьшие значения. Локальная гемодинамика в корковых артериях после реvascularизации существенно зависела от способности ЭИКМА развернуть кровоток в проксимальных отделах акцепторной артерии. Изменение направления кровотока наблюдалось в 86 (77%) случаях. Средний объемный кровоток по ЭИКМА составил $34,2 \pm 5,7$ мл/мин.

Выводы. Знание исходных параметров гемодинамики и их изменений после реvascularизации играет важную роль в обосновании правильной техники операции, контроле дальнейшего функционирования анастомоза и, как следствие, клинического состояния после операции.

Ключевые слова: экстра-интракраниальный микроанастомоз, реvascularизация головного мозга, ишемический инсульт, перфузионный дефицит.

Local cerebral hemodynamics following STA-MCA bypass in patients with symptomatic carotid occlusions

V.A. LUKSHIN, D.YU. USACHEV, A.A. SHULGINA, E.V. SHEVCHENKO

Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery, Moscow, Russia

The purpose — of this study is to assess changes in local hemodynamic parameters in patients with symptomatic ICA occlusions and moyamoya disease after placement of extracranial-intracranial bypass (EC-IC bypass).

Material and methods. The study included 112 patients who underwent surgical treatment at the National Scientific and Practical Center for Neurosurgery in the period between 1999 and 2015. Of these, 105 patients had ICA occlusions, and 7 patients had moyamoya disease. During the main stage of EC-IC bypass placement, all patients were monitored for local hemodynamic parameters using intraoperative contact Doppler ultrasonography — 89 (72%) patients (72%) and flowmetry — 56 (50%). In 33 (29%) cases, both techniques were used. Forty two patients underwent preoperative SCT perfusion to assess the degree of perfusion deficit. Grade 1 cerebrovascular insufficiency (acute oligemia) was detected in 6 patients; grade 2 perfusion deficit (persistent oligemia) was found in 25 patients; grade 3 perfusion deficit (chronic oligemia) was present in 11 patients. Measurements were performed before bypass placement: the blood flow direction and hemodynamic parameters in the cortical arteries were evaluated; and after bypass placement: blood flow values and directions in the cortical artery, proximal and distal to the bypass area, were assessed.

Results. A total of 112 EC-IC bypasses were placed without perioperative complications and deaths. Bypass functioning was confirmed in 108 (96.3%) cases; bypass thrombosis occurred in 4 (3.7%) cases. The distal blood flow direction was observed in patients with ICA occlusions (105 patients) in all cases before EC-IC bypass placement. Patients with moyamoya disease had more often the proximal blood flow direction — 5 (71%) out of 7 cases. The cerebral blood flow parameters obtained in this study differed significantly, depending on the baseline degree of perfusion deficit. The blood flow rate was minimal in patients with grade 1 cerebrovascular insufficiency. After revascularization, local hemodynamics in the cortical arteries was significantly dependent on the ability of EC-IC bypass to reverse blood flow in the proximal acceptor artery. A change in the blood flow direction was observed in 86 (77%) cases. The mean volumetric blood flow in EC-IC bypass was 34.2 ± 5.7 mL/min.

Conclusion. The knowledge of baseline hemodynamic parameters and their changes after revascularization plays an important role in choosing the correct surgical technique, further bypass functioning, and, as a result, improvement of the clinical outcome after surgery.

Keywords: extracranial-intracranial bypass, brain revascularization, ischemic stroke, perfusion deficit.

С момента первой операции по созданию экстра-интракраниального микроанастомоза (ЭИКМА) между теменной ветвью ПВА и корковой ветвью средней мозговой артерии (СМА), выполненной Г. Язергилом в 1967 г. [1], ее хирургическая техника претерпела минимальные изменения. Тем не менее до настоящего времени среди специалистов не закончена дискуссия об условиях устойчивого функционирования созданного анастомоза, его гемодинамической значимости и роли в общем кровоснабжении головного мозга. Одна из причин разногласий заключается в необеспечиваемых результатах крупных многоцентровых исследований эффективности хирургической реваскуляризации головного мозга у больных с хронической церебральной ишемией [2], они создают предпосылки для продолжения научного поиска [3] с целью улучшения результатов операции по созданию ЭИКМА и снижения частоты периоперационных осложнений. Последующие наблюдения продемонстрировали эффективность ЭИКМА в определенной группе пациентов при условии хорошего функционирования анастомоза [4, 5]. Одним из направлений нынешних научных исследований является выявление механизмов перестройки мозгового кровообращения на фоне функционирования ЭИКМА, в частности изучение локальной церебральной гемодинамики в донорской и акцепторной артериях. В мировой литературе [6–10] существуют лишь единичные публикации, посвященные данной проблеме.

Основным методом исследования локальной церебральной гемодинамики на протяжении длительного времени являлась селективная церебральная ангиография, благодаря которой удалось выявить влияние анастомозов на мозговой кровоток [11–14]. Были сформулированы ангиографические критерии гемодинамической эффективности в зависимости от степени заполнения бассейна СМА через анастомоз [13]. Однако данные работы представляли собой лишь качественный анализ локальной гемодинамики и не давали количественной информации об изменениях мозгового кровотока в бассейне реваскуляризации.

Опыт использования инструментальных методов исследования локальной гемодинамики одним из первых представил R. Spetzler в 1979–1980 гг. в серии работ, посвященных созданию ЭИКМА у пациентов с гигантскими аневризмами внутренней сонной артерии (ВСА). На основании прямой манометрии в донорской и акцепторной артериях был выявлен градиент давления между бассейном наружной и внутренней сонных артерий, существующий даже в норме, возрастающий при окклюзии ВСА и определяющий кровоток по анастомозу [15, 16].

Внедрение в клиническую практику методов интраоперационной контактной доплерографии (ИКД) и интраоперационной контактной флоумет-

рии (ИКФ) [17] позволило количественно исследовать локальное кровообращение в бассейне реваскуляризации непосредственно после создания ЭИКМА, тем самым расширить знания по патофизиологии мозгового кровообращения у больных с хронической церебральной ишемией [7, 10, 18]. В частности, выявлен ретроградный и антероградный типы кровотока в корковых артериях у пациентов с болезнью моя-моя [19], получены референсные значения кровотока в корковых артериях у больных с признаками церебральной ишемии до и после наложения ЭИКМА [7].

Тем не менее остаются открытыми многие вопросы относительно механизмов перестройки локального кровоснабжения в области реваскуляризации, решение которых может иметь большое теоретическое и практическое значение.

Цель данного исследования — изучение гемодинамической эффективности и устойчивости функционирования анастомоза, выявление критериев развития локальной гиперперфузии в области реваскуляризации, а также определение параметров церебральной гемодинамики в зависимости от исходной величины перфузионного дефицита на основании данных ИКФ, доплерографии и прямого измерения давления в донорской и акцепторной артериях.

Материал и методы

Исследования выполнены на материале 112 пациентов с односторонними симптоматическими тотальными окклюзиями артерий каротидного бассейна, проходивших лечение в НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко с 1999 по 2015 г. Среди них были 105 пациентов с окклюзиями ВСА и 7 пациентов с болезнью моя-моя. Показаниями к хирургической реваскуляризации головного мозга являлись нестабильная неврологическая симптоматика в сочетании с грубым перфузионным дефицитом и сниженным цереброваскулярным резервом в бассейне каротидной окклюзии при отсутствии гемодинамически значимых стенозов в бассейне наружной сонной артерии. Показания к операции во всех случаях обсуждались на междисциплинарном консилиуме с получением согласия больных и их родственников.

Реваскуляризация головного мозга осуществлялась путем наложения ЭИКМА между теменной ветвью ПВА и корковыми ветвями СМА по классической методике. У всех пациентов на основном этапе операции по созданию ЭИКМА исследовались параметры локальной гемодинамики с помощью методик ИКД — 89 (72%) наблюдений и ИКФ — 56 (50%). В 33 (29%) случаях использовались обе методики.

ИКФ выполнялась с использованием 16 Mhz меггерцевого датчика (RIMED DigiLite, Израиль). Для исключения угловых погрешностей измерения датчик плотно прижимали к стенке максимально выделенной артерии под минимальным к ней углом. Глубина ло-

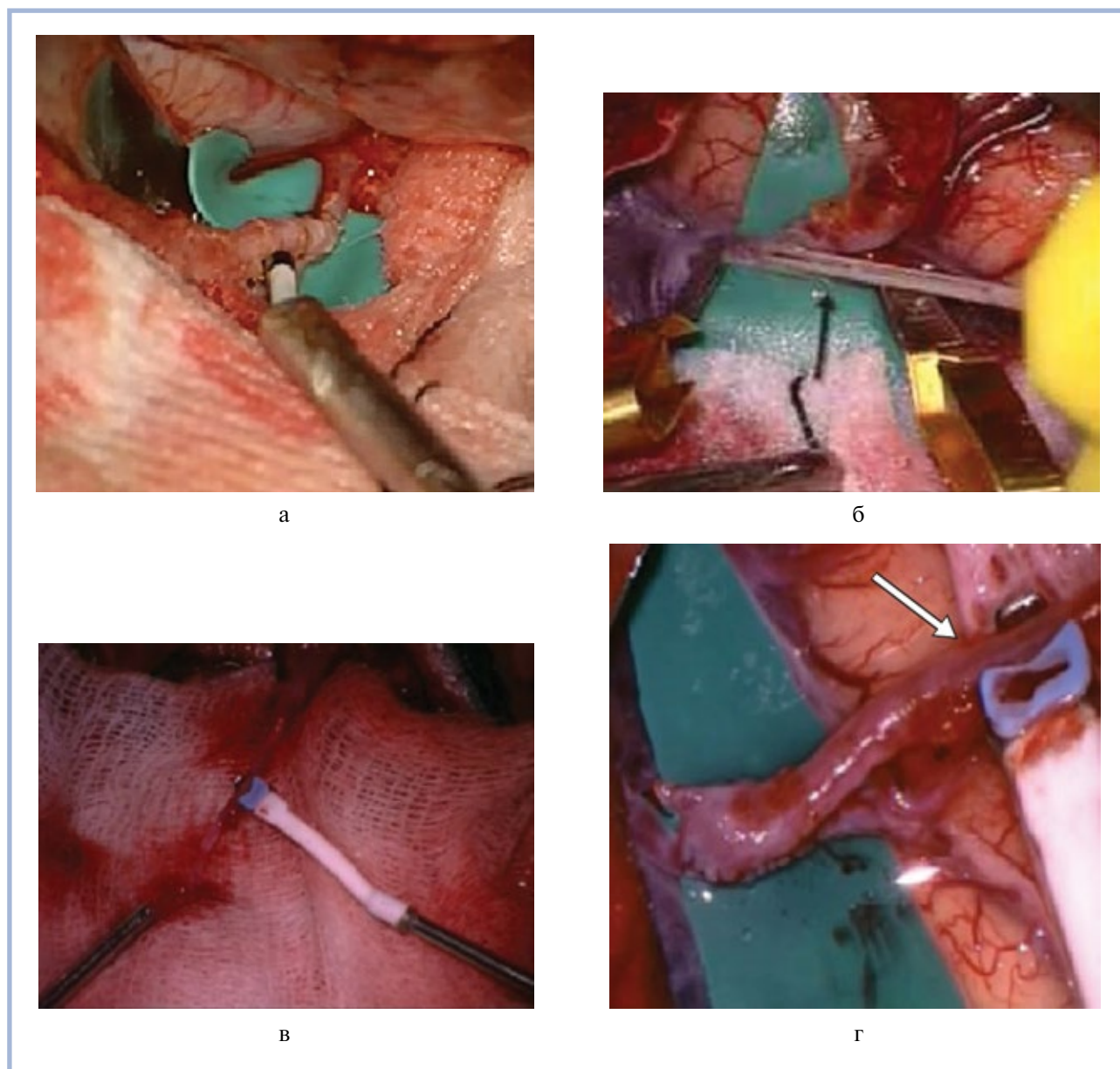


Рис. 1. Методы исследования локальной гемодинамики при наложении экстра-интракраниального анастомоза.

а — интраоперационная контактная доплерография; б — прямое внутрисосудистое измерение давления в акцепторной артерии; в — исследование свободного кровотока (Cut Flow) с помощью флоуметра; г — контроль функции ЭИКМА с помощью флоуметра.

Пояснения в тексте.

кации была 3—5 мм. Проводилось измерение абсолютных величин линейной скорости кровотока (ЛСК) в корковой артерии до создания ЭИКМА, на основании которых вычислялся пульсационный индекс по стандартной методике (отношение разницы величин систолической и диастолической ЛСК к средней ЛСК), определялось исходное направление кровотока. После создания ЭИКМА измерялась ЛСК в созданном анастомозе, в дистальном и проксимальном концах корковой артерии, а также оценивалось изменение направления кровотока в корковой артерии (рис. 1, а).

Для ИКФ использовался двухканальный цифровой флоуметр (Transonic, США) с набором стерилизуемых датчиков диаметром 1,5 и 2 мм. Измерение объемного кровотока осуществлялось на этапах выделения донорской артерии (определение свободного кровотока), в корковой артерии, а также контролировался кровоток по ЭИКМА (см. рис. 1, г). При определении свободного потока по донорской артерии последняя выделялась из тканей и пересекалась дистально. Ее просвет тщательно промывался раствором папаверина до получения максимального кро-

вотока из ветви, проводилось измерение объемного кровотока методом контактной флоуметрии.

Дополнительно у 15 (13%) пациентов выполнялось прямое измерение давления в корковых и акцепторных артериях. Для этого использовались пластиковые браунюли размером 3—4F и две артериальные линии: одна для исследования кровотока в донорской и акцепторной артериях, другая, контрольная, для мониторинга системного артериального давления (АД) в лучевой артерии (см. рис. 1, б). В акцепторной артерии давление измерялось после артериотомического разреза и катетеризации ее проксимальных отделов (см. рис. 3, а). Ретроградное давление в дистальных отделах акцепторной артерии часто не поддавалось регистрации по техническим причинам.

Для изучения параметров локальной гемодинамики в зависимости от величины перфузионного дефицита у 42 пациентов выполнялось исследование мозгового кровотока с помощью КТ-перфузионной методики по стандартному протоколу [20] на фоне внутривенного болюсного введения контрастного вещества в объеме 40—60 мл (Ultravist, 300 мг/мл) в зависимости от возраста и веса пациента. Обработка данных церебральной перфузии осуществлялась на рабочей станции (GE Advantage Workstation) с применением интегрированного программного обеспечения (CT Perfusion) и численных алгоритмов обратной свертки (Single Value Decomposition).

На основании изменений параметров КТ-перфузии было выделено 3 группы пациентов с разными типами перфузионного дефицита.

1-ю группу составили 6 пациентов с острой окклюзией ВСА и признаками декомпенсации мозгового кровотока по данным КТ-перфузии в виде повышения полушарного времени транзита крови (mean transit time, МТТ) на стороне окклюзии (>180% по сравнению с противоположной стороной или более 10 с) в сочетании с повышением церебрального объема крови (>115% по сравнению с противоположной стороной) и снижением регионарного кровотока (<80% по сравнению с противоположной стороной).

Во 2-ю группу были включены 25 пациентов с последствиями инвалидизирующего ишемического инсульта, замедленной реабилитационной динамикой и ундулирующим неврологическим дефицитом. По данным КТ-перфузии, у них определялся длительно сохраняющийся перфузионный дефицит с повышением МТТ (160—180% по сравнению с противоположной стороной или >8 с) при небольших ишемических очагах (ASPECTS>8) и исчерпанных цереброваскулярных резервах.

3-ю группу составили 11 пациентов с нестабильной очаговой неврологической симптоматикой на фоне признаков субкомпенсации хронической олигемии и недостаточной эффективностью медика-

ментозной терапии. Изменения КТ-перфузии были представлены повышением МТТ (140—160% по сравнению с противоположной стороной), стойко сохраняющимися сниженными ЦВР при незначительном снижении регионарного кровотока (Cerebral Blood Flow — CBF) (в пределах 17% относительно противоположной интактной стороны).

Контроль функции анастомоза проводили на 7-е сутки после операции и далее в ходе катамнестического наблюдения. Проводилась визуализация анастомоза с кардиосинхронизированным измерением объемной скорости кровотока по нему по данным УЗИ с последующей верификацией с помощью КТ-ангиографии.

С целью обоснования выявленных в ходе исследования гемодинамических закономерностей проводился вычислительный эксперимент на геометрической модели анастомоза, наложенного под углом 45°, в зависимости от направления кровотока в донорской и акцепторной артериях. Начальные и пороговые значения были выбраны в соответствии с зарегистрированными измерениями *in vivo*. Все расчеты выполнялись в среде OpenFOAM для нестационарной модели Навье—Стокса с графической постобработкой с использованием Paraview 5.6 («Kitware Inc.», США).

Результаты

Выполнено 112 операций по созданию ЭИКМА без периоперационных осложнений и летальных исходов. В ходе контрольных обследований функционирующий анастомоз был подтвержден в 108 (96,3%) случаях. Средний объемный кровоток по ЭИКМА составил $34,2 \pm 5,7$ мл/мин. Тромбоз анастомоза в ходе катамнестического наблюдения был зафиксирован в 4 (3,7%) случаях.

1. Направление кровотока в корковых артериях до создания ЭИКМА

В ходе исследования было выявлено, что у 105 пациентов с окклюзиями ВСА во всех случаях регистрировался кровоток в дистальном направлении. Для 7 пациентов с болезнью моя-моя более характерным являлся ретроградный кровоток в корковых артериях (проксимальное направление кровотока) — 5 (71%) случаев.

2. Параметры гемодинамики в корковых артериях до создания ЭИКМА

Параметры мозгового кровотока достоверно отличались в зависимости от исходной степени перфузионного дефицита ($p=0,045$; $|z|=1,978$). При этом у всех пациентов отмечалось сниженное давление в корковых артериях, которое составило в среднем $54,6 \pm 5,4$ мм рт.ст., что было почти в 2 раза меньше системного артериального давления (табл. 1).

Полученные результаты подтверждают зависимость параметров коркового кровотока от МТТ,

Таблица 1. Параметры локальной гемодинамики в зависимости от исходной степени перфузионного дефицита (n=42)

Table 1. Parameters of local hemodynamics depending on the initial degree of perfusion deficit (n=42)

Параметр	Степень перфузионного дефицита			Среднее
	I	II	III	
Среднее артериальное давление ¹ , мм рт.ст.:				
в корковой	42,2±7,4	53,2±7,4	61,8±6,8	54,6±5,4
в донорской	91,1±8,1	94,7±7,1	99,2±10,1	96,8±8,2
системное	105±7,4	98,3±8,9	102±9,7	101,5±7,9
ЛСК в корковой ² , см/с:				
систолическая	10,3±1,2	13,6±1,8	16,8±1,7	14,2±1,5
диастолическая	8,7±0,9	8,3±0,7	8,6±0,9	8,5±0,8
Объемный кровоток в корковой ³ , мл/мин	6,7±1,2	8,7±2,2	11,3±1,4	8,9±2,7
Всего	6	25	11	42

Примечание. ¹Прямое измерение в проксимальных отделах корковых артерий (15 пациентов); ²доплерография в группе больных с перфузионными исследованиями (42 пациента); ³флоуметрия в группе больных с перфузионными исследованиями (21 пациент).

определенного в ходе предоперационной КТ-перфузии. Так, наибольшее снижение артериального давления (АД) в акцепторной артерии регистрировалось у пациентов в остром периоде нарушения мозгового кровообращения с наибольшим перфузионным дефицитом (1-я группа) — до 42,2±7,4 мм рт.ст., в то время как у пациентов с наименьшими изменениями церебральной перфузии (3-я группа) значения АД в проксимальных отделах корковой артерии лишь незначительно уступали возрастной норме. Таким образом, результаты дооперационных КТ-перфузионных исследований позволяли корректно выявить степень снижения перфузионного давления в бассейне СМА. Следствием снижения перфузионного давления являлось уменьшение объемного кровотока в корковых артериях. По результатам флоуметрии в акцепторной артерии у больных с хронической церебральной ишемией величина кровотока варьировала от 4,8 до 12,1 мл/мин, составив в среднем 8,9±2,7 мл/мин (кровоток в М4 сегменте СМА в норме 12—18 мл/мин) [21, 22]. Величина кровотока достоверно отличалась в зависимости от исходного перфузионного дефицита. У пациентов с выраженной цереброваскулярной недостаточностью (ЦВН) (1-я группа) объемный кровоток был наименьшим и составил всего 6,7±1,2 мл/мин. Для пациентов с длительно сохраняющейся олигиемией (2-я группа) величина объемного кровотока составила в среднем 8,7±2,2 мл/мин, при этом отмечался существенный разброс значений кровотока — от 7,4 до 12,5 мл/мин. У больных с признаками хронической олигиемии регистрировались наибольшие значения кровотока — 11,3±1,4 мл/мин.

Описанным изменениям гемодинамики у больных с различным перфузионным дефицитом соответствовали данные ИКД, при этом отмечались изменения как ЛСК (систолическая/диастолическая), так и спектральные характеристики, указывающие на величину периферического сопротивления в бассейне СМА на стороне окклюзии (рис. 2).

У больных с критической ЦВН (1-я группа) отмечалось наибольшее снижение систолической ско-

рости кровотока — до 10,3±1,2 см/с. При этом в корковой артерии выявлялся коллатеральный тип кровотока (пульсационный индекс менее 0,6). Схожая доплерографическая картина наблюдалась и в группе больных с сохраняющейся выраженной ЦВН: отмечались лишь несколько большие значения систолической ЛСК — 13,6±1,8 см/с. В группе больных с хронической олигиемией кровотоки в корковой артерии были близки к нормальным значениям (17—25 см/с) [23, 24]. Влияние исходной степени перфузионного дефицита на величину кровотока в диастолу не выявлено.

Измерения после создания ЭИКМА

Значительный интерес представляют изменения локальной гемодинамики после наложения ЭИКМА и в зависимости от его гемодинамической значимости. Для их оценки определялись величины и направление кровотока в акцепторной артерии проксимальнее и дистальнее области анастомоза. Основные параметры локальной церебральной гемодинамики после наложения ЭИКМА представлены в табл. 2.

Оценка возможностей донорского сосуда производилась с помощью измерения величины свободного кровотока после ее краевого отсечения, бужирования пластиковой браунюлей для прямого измерения АД и обработки папаверином. Полученные величины свободного объемного кровотока по отсеченному сосуду с отсутствующим периферическим сопротивлением характеризовали максимально доступный на момент операции объемный кровоток по ЭИКМА. Величина свободного кровотока по донорской артерии находилась в пределах от 11 до 42 мл/мин, составив в среднем 27,3±14,8 мл/мин ($p<0,05$).

Как видно из табл. 2, локальная гемодинамика в корковых артериях после реваскуляризации существенно зависела от способности ЭИКМА развернуть кровотоки в проксимальных отделах акцепторной артерии. Несмотря на наличие градиента давления между донорской артерией (бассейн наружной сонной артерии) и проксимальными отделами акцепторной артерии во всех случаях, изменение направления кровотока

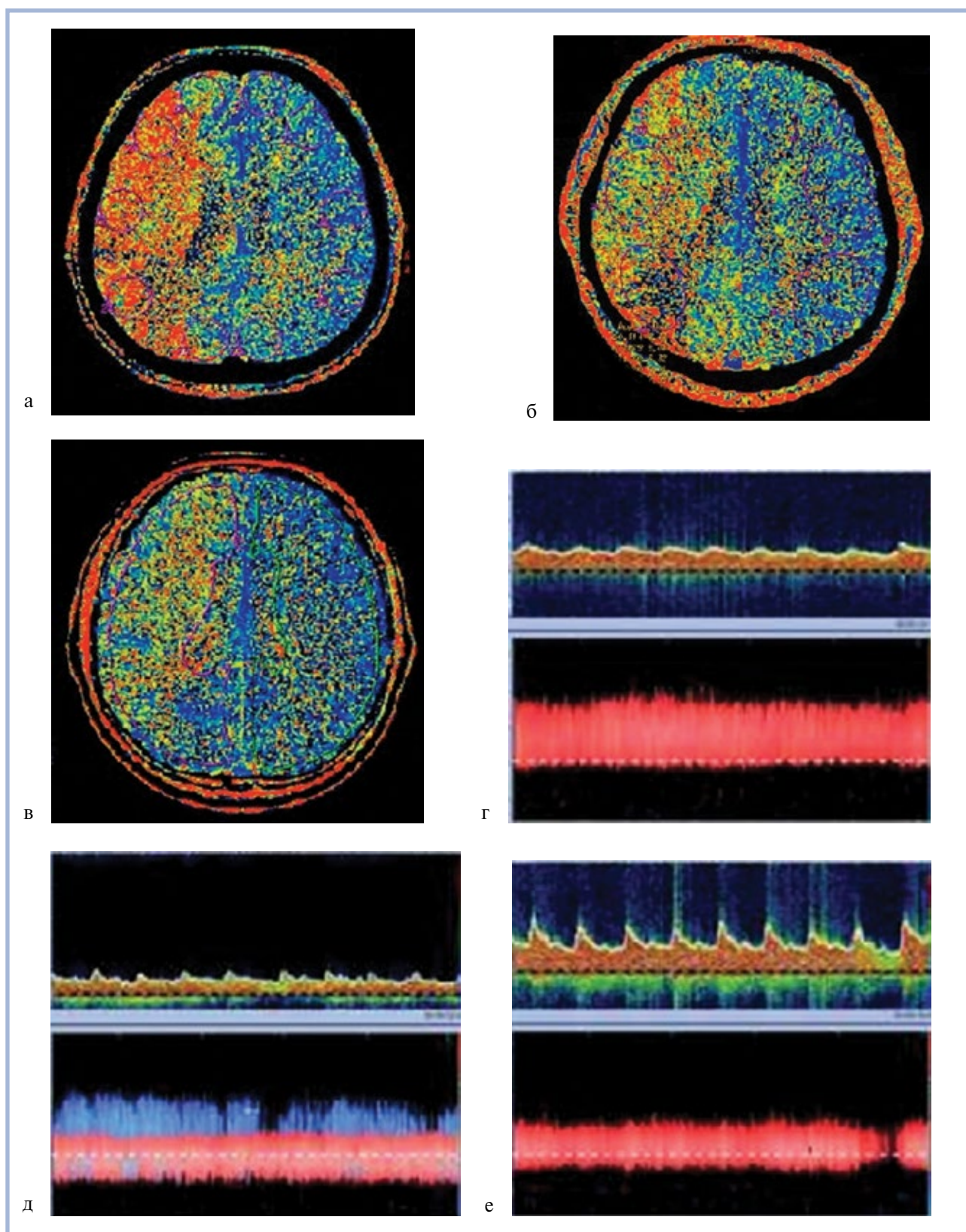


Рис. 2. Допплерографические паттерны кровотока в корковых ветвях СМА 4-го порядка (M4) в зависимости от выраженности перфузионного дефицита (по данным КТ-перфузии).

а — острый критический перфузионный дефицит с МТТ более 14 с и соответствующая низкая скорость кровотока коллатерального типа в корковой артерии с ЛСК до 10 см/с (D); б — стойкий тяжелый перфузионный дефицит (по данным СКТ-перфузии) с пролонгацией МТТ более 8 с (>160% по сравнению с контралатеральными значениями) и соответствующий кровоток магистрального типа в корковой артерии с ЛСК 10–15 см/с (E); в — умеренный перфузионный дефицит (по данным СКТ-перфузии) с пролонгацией МТТ более 6 с (>140% по сравнению с контралатеральными значениями) и соответствующий кровоток магистрального типа в корковой артерии с ЛСК более 15 см/с (F).

Таблица 2. Локальная гемодинамика после наложения ЭИКМА

Table 2. Local hemodynamics after the bypass

Параметр	Корковая артерия проксимально		p
	развернулся	не развернулся	
Свободный кровоток в донорской артерии, мл/мин	31,3±4,1 [18—42]	15,7±2,3 [11—21]	<0,031 z =2,198
ЛСК в корковой артерии:			<0,047
систолическая	11,7±2,5	18,6±2,2	z =1,974
диастолическая	8,1±1,2	7,7±0,9	
Направление ЭИКМА ¹ :			
проксимально	55 (69%)	11 (42%)	н/з
дистально	31 (31%)	15 (58%)	
Кровоток после ЭИКМА (корковая артерия)			
Допплерография:			
дистально, см/с	23,7±2,8	21,3±3,6	н/з
проксимально, см/с	27,9±6,9 (обр.)	14,7±1,9 (прям.)	<0,001
Флоуметрия:			
дистально, мл/мин	16,7±1,8	14,3±0,9	н/з
проксимально, мл/мин	18,2±4,1 (обр.)	10,6±0,8 (прям.)	<0,001
Кровоток в ЭИКМА ² , мл/мин	38,5±9,7	19,3±4,6	<0,05
Тромбоз ЭИКМА	—	4	<0,001
Всего (112)	86 (77%)	(23%)	

Примечание. ¹ Анастомоз накладывался под углом 45° к дистальному или проксимальному отделу акцепторной артерии; ² по данным послеоперационного УЗИ-исследования.

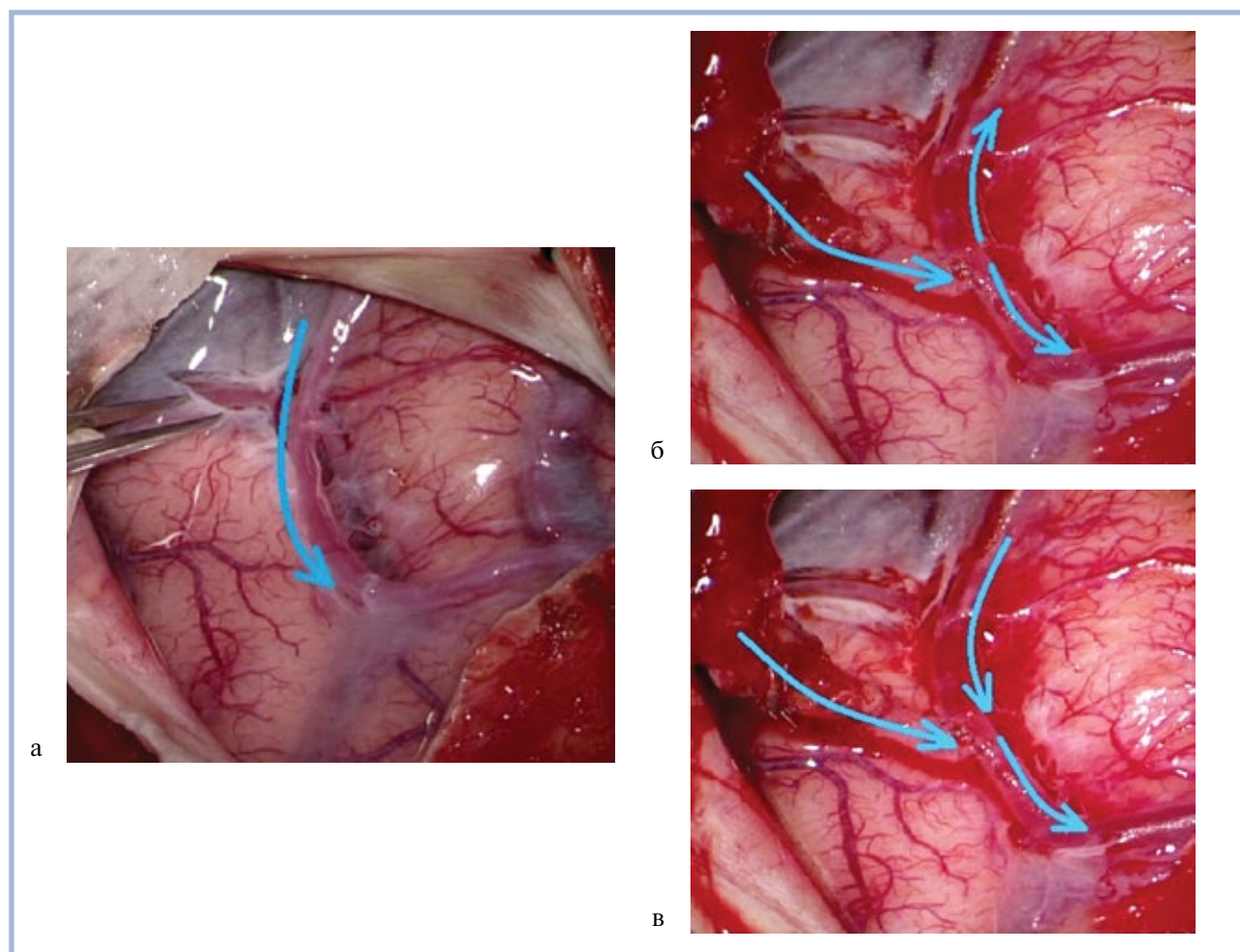


Рис. 3. Изменение направления кровотока в корковой артерии после создания ЭИКМА.

а — изначальное направление кровотока; б — изменение направления кровотока; в — нет изменения кровотока.

ка наблюдалось лишь в 86 (77%) случаях (**рис. 3, в**). У 26 (23%) пациентов направление кровотока в корковой артерии не изменилось.

Направление анастомоза по отношению к исходному направлению кровотока

Большое значение имели качество наложенного анастомоза и его направление по отношению к исходному направлению кровотока в акцепторной артерии. В анализируемой группе анастомоз накладывался под углом 45° (по типу «рыбий рот») как в проксимальном — 66 (59%) наблюдений, так и в дистальном — 46 (41%) — направлении по отношению к кровотоку в корковой артерии. В начале исследования направление анастомоза выбиралось случайным образом, без учета сопутствующих факторов. В дальнейшем, на основании полученных результатов исследования, направление анастомоза определялось на основании параметров свободного кровотока и кровотока в донорской артерии. В результате хирургической реваскуляризации у больных с изменением направления кровотока в проксимальных отделах акцепторной артерии во всех случаях удалось добиться хорошего функционирования анастомоза без признаков его тромбоза в отдаленном послеоперационном периоде. При этом не выявлено статистически значимого влияния направления анастомоза на конечную величину объемного кровотока по ЭИКМА ($39,1 \pm 8,9$ мл/мин при проксимальном направлении ЭИКМА, $36,9 \pm 9,1$ мл/мин при дистальном направлении).

Несколько иные результаты были получены у больных с сохранившимся после наложения ЭИКМА дистальным направлением кровотока в акцепторной артерии. Так, в ходе катамнестического наблюдения было зафиксировано 4 тромбоза ЭИКМА в отдаленном послеоперационном периоде, при этом лишь в одном (3,8%) случае при наложении анастомоза под углом 45° в дистальном направлении, что могло объясняться возможной технической погрешностью шва. В 3 (11%) случаях тромбозы развивались при проксимальном направлении ЭИКМА, несмотря на то что во всех случаях интраоперационно кровотоки в донорской артерии были инструментально подтверждены. Также у больных с сохранившимся после наложения ЭИКМА направлением кровотока в акцепторной артерии выявлено достоверное снижение объемного кровотока в анастомозах при их проксимальном направлении (против тока крови в акцепторной артерии) — $16,8 \pm 2,9$ мл/мин по сравнению с $21,1 \pm 3,6$ мл/мин для дистального направления анастомоза (по току крови в акцепторной артерии) ($p < 0,05$; $|z| = 1,9697$; t -критерий Стьюдента). Причиной тому, по всей видимости, являлись гемодинамические факторы, препятствующие кровотоку по анастомозу и связанные с физическими явлениями, сопутствующими столкновению потоков в области анастомоза.

Для исследования причин снижения эффективности анастомоза при его наложении под углом 45° против сохраняющегося кровотока по акцепторной артерии была проведена серия математических расчетов для соответствующей двухмерной модельной задачи (**рис. 4**). Было выявлено, что при сохранении направления кровотока в акцепторной артерии наложение анастомоза в проксимальном направлении может приводить к столкновению потоков с образованием зоны турбулентности и формированием гемодинамического стеноза (указан красной стрелкой на **рис. 4**). Это может служить причиной снижения кровотока как в анастомозе, так и в корковой артерии (**см. рис. 4, в**). При моделировании анастомоза по течению корковой артерии (**см. рис. 4, а**) зоны гемодинамического стеноза не возникает, напротив, наблюдается расширение профиля скоростей в области анастомоза, что способствует увеличению кровотока как в дистальных отделах корковой артерии, так и в самом анастомозе. При сопоставлении расчетов величина кровотока в корковой артерии после наложения анастомоза в дистальном направлении в среднем на 11—13% превышала величину кровотока в анастомозе, установленном в проксимальном направлении.

Обсуждение

Современные методы нейровизуализации позволяют с высокой точностью определить больных, нуждающихся в реваскуляризации головного мозга, однако противоречивые результаты многоцентровых исследований указывают на необходимость дополнительного, более детального изучения данной проблемы. Очевидно, что результаты оперативного вмешательства зависят не только от правильных показаний к хирургии, но и от качества выполненной реваскуляризации, гемодинамической эффективности создаваемых анастомозов, их способности компенсировать имеющийся перфузионный дефицит и предотвращать возможные осложнения хирургического лечения. В связи с этим исследования локальной гемодинамики приобретают большое теоретическое и практическое значение, что подтверждается серией работ, посвященных данной проблеме [6—10].

При планировании операции по созданию ЭИКМА важное значение имеет предоперационная диагностика ЦВН. В нашем исследовании в качестве основного метода определения перфузионного дефицита выбрана широко распространенная в клинической практике методика КТ-перфузии. При измерении кровотока в корковых артериях был валидизирован параметр МТТ как маркер выраженной церебральной ишемии, степень пролонгации которого достоверно влияла на величины и спектральные характеристики кровотока в корковых артериях. Так, ЛСК составила $10,3—16,8$ см/с, а объемная скорость кровотока — $6,7—11,3$ мл/мин, при этом меньшие значения регистрировались у больных с

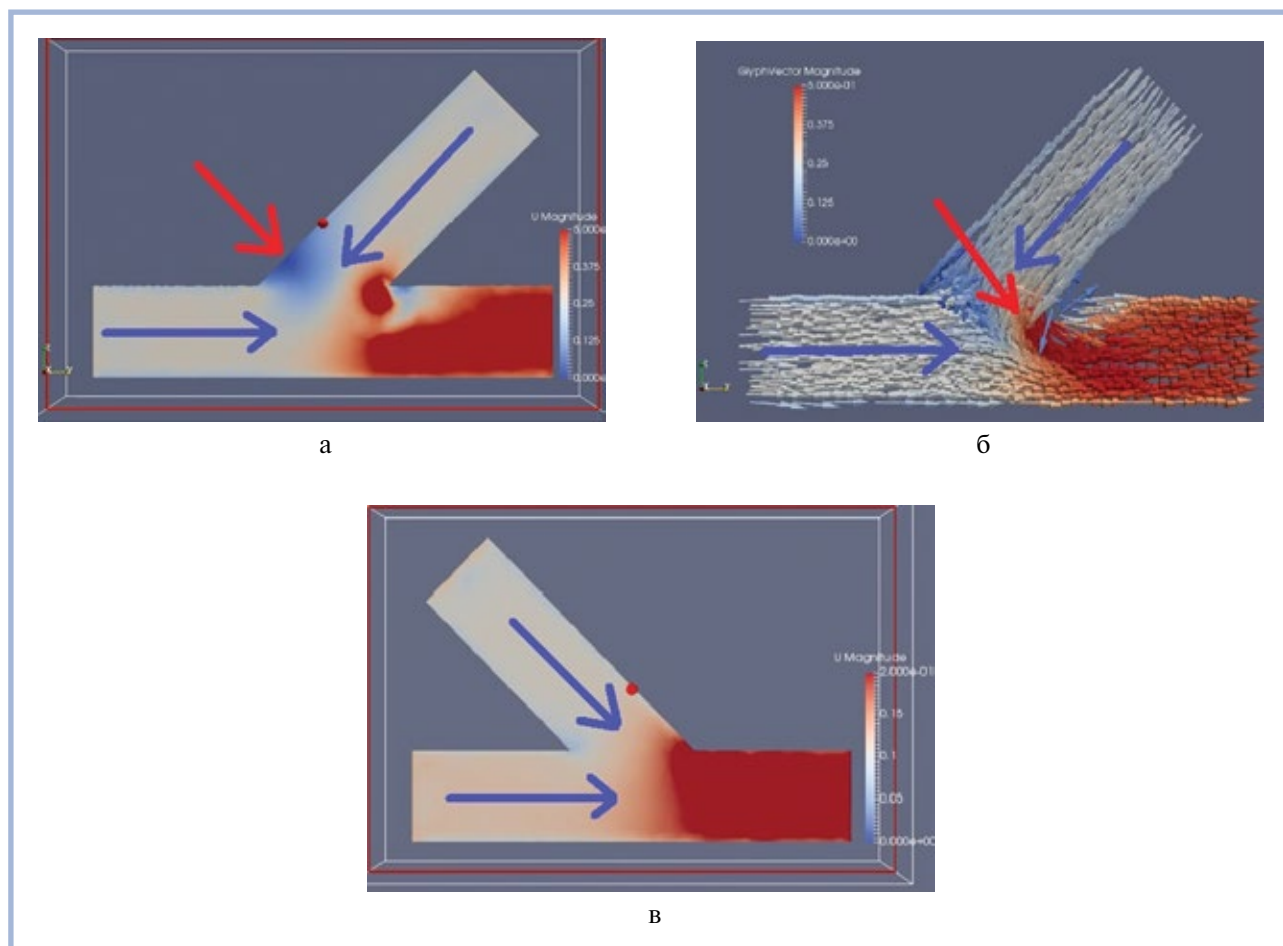


Рис. 4. Результаты математического моделирования тока крови в области анастомоза, выполненного под углом 45° (синими стрелками указано направление кровотока).

Представлен профиль скоростей кровотока в области анастомоза против тока с формированием гемодинамического стеноза и области турбулентного кровотока в скалярном (а) и векторном представлении (б); в — широкий профиль скоростей в области анастомоза «по току» крови, без функциональных стенозов.

более выраженным перфузионным дефицитом (продолжительность МТТ более 180% по сравнению с контралатеральной стороной). Полученные данные соответствуют результатам измерений кровотока у больных с признаками «нищенской перфузии», отобранных для хирургии на основании изотопных диагностических методик: у них средний объемный кровоток в корковой артерии составил 4,4 мл/мин при средней ЛСК 9–15 см/с [6–10].

Другим важным аспектом оценки эффективности реваскуляризации головного мозга является исследование изменений кровотока после создания анастомоза. Известно, что величина кровотока в акцепторной артерии после установки ЭИКМА в значительной степени зависит от размеров и пропускной способности донорской артерии. В работе S. Amin-Nanjani и соавт. [17] введен термин Cut flow index — «потенциальная величина кровотока» в донорской артерии, которая в среднем составляет 68 мл/мин

(4–186 мл/мин). В нашей работе величина свободного кровотока по донорской артерии находилась в пределах от 11 до 42 мл/мин, составив в среднем $27,3 \pm 14,8$ мл/мин.

Именно величина кровотока в донорской артерии определяла изменение направления кровотока в акцепторной артерии после создания ЭИКМА. Большая гемодинамическая значимость отмечалась у пациентов с наличием признаков проксимального заполнения бассейна СМА, что проявлялось достоверно большей величиной объемной скорости кровотока по ЭИКМА — $38,5 \pm 9,7$ мл/мин по сравнению с $19,3 \pm 4,6$ мл/мин у пациентов с заполнением лишь дистального русла ($p < 0,028$, $|z| = 2,2341$; t -критерий Стьюдента).

Обращает на себя внимание наблюдаемый в исследовании механизм перестройки локального мозгового кровотока в акцепторной артерии после наложения анастомоза. Так, в большинстве наблюдений

ЛСК и объемная скорость кровотока дистальнее анастомоза не превышали 30 см/с и 20 мл/мин, составив в среднем $23,7 \pm 2,8$ см/с и $16,7 \pm 1,8$ мл/мин соответственно вне зависимости от направления кровотока в акцепторной артерии проксимальнее анастомоза. Небольшая вариабельность полученных значений дистального кровотока, по всей видимости, указывала на физиологический предел кровоснабжения бассейна корковой артерии, определяемый размерами дистального русла и механизмами ауторегуляции мозгового кровотока.

При большей пропускной способности донорской артерии происходила перестройка кровоснабжения в проксимальных отделах бассейна СМА. Ввиду преобладания размеров проксимального русла акцепторной артерии предел насыщения проксимального русла значительно больше дистального, поэтому величина проксимального кровотока ограничивалась лишь возможностями донорской артерии. Этим объясняется больший разброс величин объемной и линейной скоростей кровотока в проксимальных отделах акцепторной артерии, а также их большие средние значения — $18,2 \pm 4,1$ мл/мин и $27,9 \pm 6,9$ см/с соответственно.

У больных с отсутствием проксимального заполнения бассейна СМА отмечалось достоверное увеличение кровотока в дистальном русле до порога насыщения — в среднем объемная и линейная скорости кровотока составили $14,3 \pm 0,9$ мл/мин и $21,3 \pm 3,6$ см/с соответственно. Изменений проксимального кровотока не зарегистрировано. Основным фактором, влиявшим на способность ЭИКМА заполнять проксимальные отделы бассейна СМА, являлась пропускная способность донорской артерии: она влияла на изменение направления кровотока в акцепторной артерии больше, чем градиент давления. Так, в группе больных с признаками изменения направления кровотока в акцепторной артерии после наложения ЭИКМА свободный кровоток по донорской артерии был достоверно выше — $31,3 \pm 4,1$ мл/мин по сравнению с $15,7 \pm 2,3$ мл/мин в группе без изменения направления кровотока ($p < 0,031$; $|z| = 2,198$; t -критерий Стьюдента). При величине свободного кровотока по донорской артерии выше 28 мл/мин во всех случаях кровотоков в проксимальных отделах корковой артерии менял свое направление, при величине менее 18 мл/мин кровотоков в акцепторной артерии сохранял свое направление (см. рис. 3). При величине свободного кровотока от 18 до 28 мл/мин направление кровотока в корковых артериях после установки ЭИКМА зависело от дополнительных факторов: исходной степени перфузионного дефицита, диаметра акцепторной артерии и величины кровотока в ней, наличия спазма донорской артерии.

Таким образом, при определении направления формирования анастомоза целесообразно оценивать вероятность изменения направления кровотока в проксимальных отделах корковой артерии. У паци-

ентов с некрупными ветвями ПВА и невысоким свободным кровотоком по ним предпочтительным является формирование анастомоза по направлению течения крови в корковом сосуде. Абсолютно показано наложение анастомоза в дистальном направлении при величине свободного кровотока по донорской артерии менее 20 мл/мин. В противном случае, вследствие столкновения потоков развиваются гемодинамические препятствия для кровотока, снижающие эффективность анастомоза и способные привести к его тромбозу. Проксимальное направление для анастомоза может быть с уверенностью выбрано при величине свободного кровотока по донорской артерии более 28 мл/мин. При величине Cut flow index в пределах 20—30 мл/мин возможно как изменение проксимального кровотока, так и его сохранение. В последнем случае безопасней формирование анастомоза в дистальном направлении — это создает лучшие условия для его функционирования даже при изменении направления кровотока в артерии-реципиенте проксимальнее зоны анастомоза сразу или со временем.

Изученный нами механизм перестройки кровообращения в корковых артериях имеет еще одно практическое применение — раннее выявление локального гиперперфузионного синдрома после наложения ЭИКМА. Синдром гиперперфузии может возникать после каротидной эндартерэктомии [25], стентирования сонной артерии [26], а также после создания ЭИКМА у пациентов с атеросклеротическими окклюзиями [21] и болезнью моя-моя [22]. Патогенез гиперперфузии после реваскуляризирующих операций может объясняться быстрым и значительным увеличением ипсилатерального мозгового кровотока. Нарушение ауторегуляторных функций в зонах хронической ишемии может способствовать кратковременному или стойкому ишемическому повреждению предрасположенных областей [10]. Усиленный кровоток, направленный через анастомоз в хронически ишемизированную мозговую ткань, может вызвать синдром «роскошной перфузии», приводящий к неврологическому ухудшению [27]. Известно, что пациенты со сниженной цереброваскулярной реактивностью имеют потенциально более высокий риск развития синдрома гиперперфузии [22].

В нашей серии наблюдений развитие локального синдрома гиперперфузии, верифицированного КТ-перфузией (рис. 5), было связано с повышением кровотока в акцепторной артерии выше указанного порога насыщения, что обусловлено срывом механизмов ауторегуляции. Как следствие, кровоток в акцепторной артерии дистальнее анастомоза более 30 см/с, в сочетании с высокими значениями ретроградного кровотока в проксимальном направлении (рис. 6).

Для диагностики церебральной гиперперфузии во время или сразу после операции было предложено

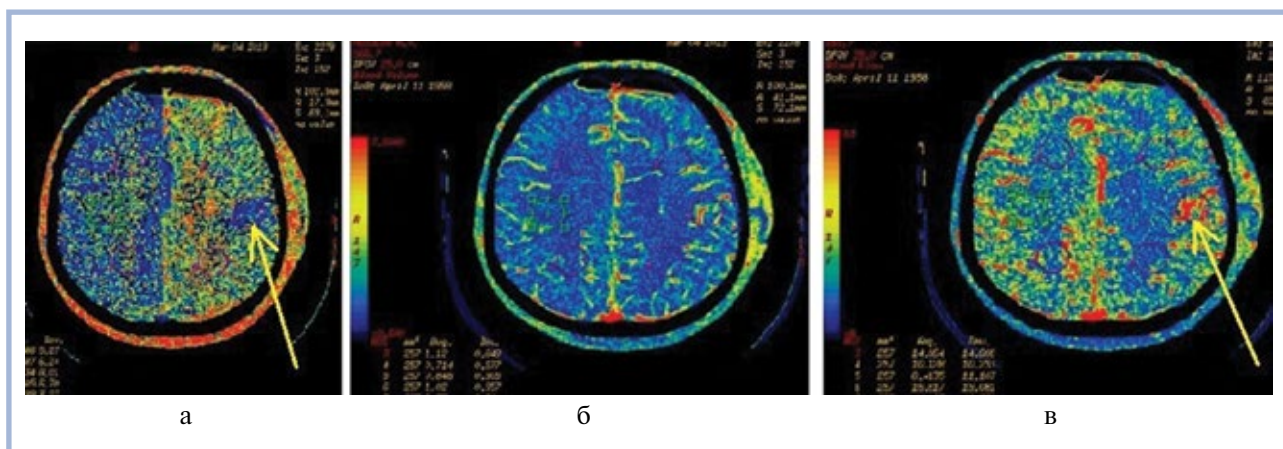


Рис. 5. КТ-перфузионное исследование: локальная гиперперфузия («роскошная перфузия») регистрируется как зона повышенного кровотока (стрелка) СВФ (а) и кровенаполнения сосудов СВВ (б) по сравнению с областью сравнения с резко сниженным средним временем транзита крови МТТ (в).

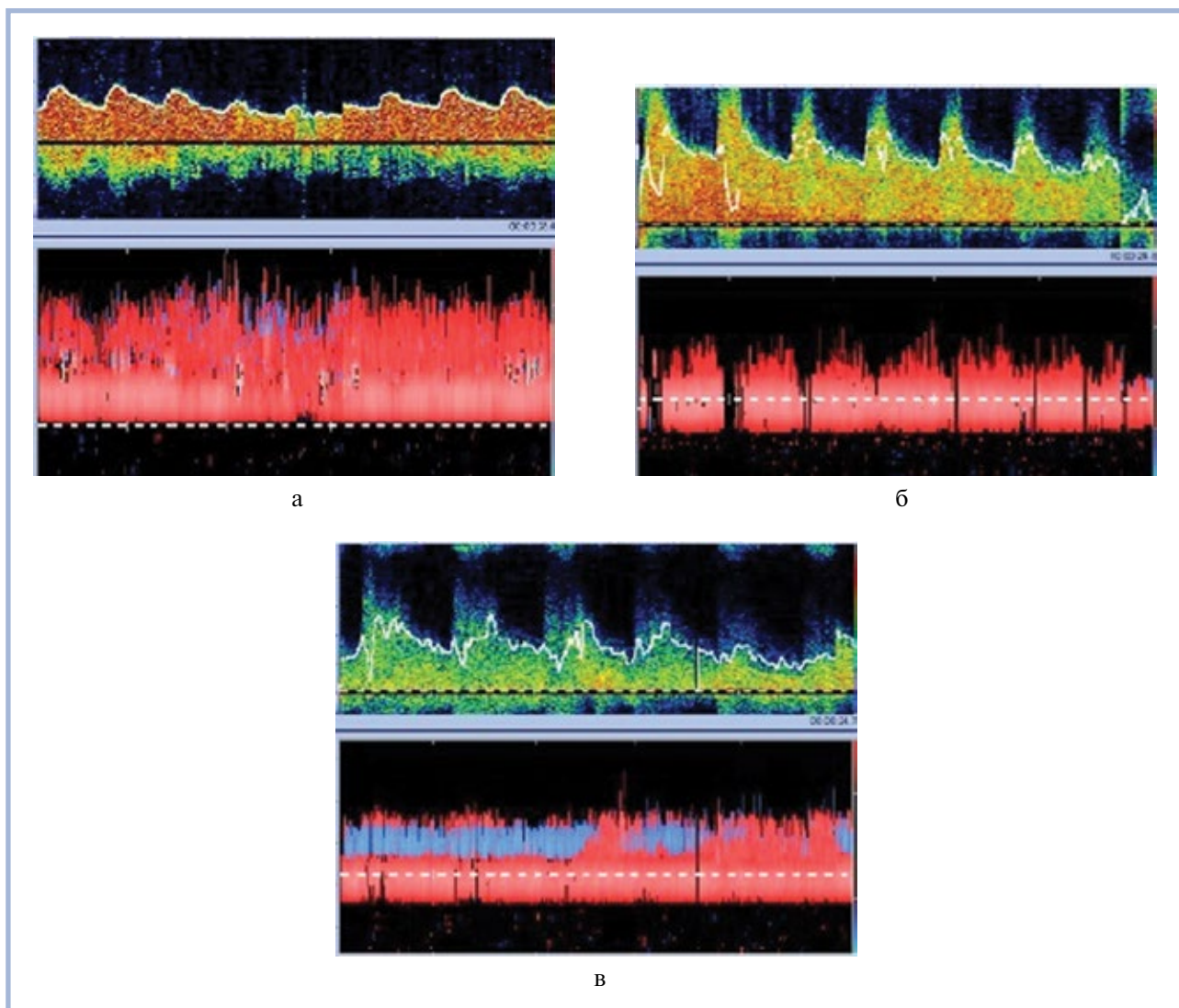


Рис. 6. Локальная гемодинамика у пациента с окклюзией сонной артерии до и после ЭИКМА — высокий риск развития синдрома локальной гиперперфузии.

а — скорость кровотока в корковой артерии до ЭИКМА <10 см/с; б — скорость кровотока в анастомозе 50 см/с; в — скорость кровотока в корковой артерии дистальнее области анастомоза >30 см/с. Дистальное направление кровотока (пояснения в тексте).

несколько методов [28]. D. Gesang и соавт. [29] предложили использование лазерного доплерографического флоуметра для мониторинга гиперперфузии в реальном времени. Интраоперационные измерения, такие как термография, инфракрасный мониторинг поверхности мозга и флуоресцентная ангиография, позволяют прогнозировать кортикальную гемодинамику после операции [28, 30]. Н. Morisawa и соавт. [7] выявили, что максимальная систолическая скорость кровотока в корковых сосудах после создания ЭИКМА значительно повышается у пациентов с признаками церебральной гиперперфузии по данным послеоперационной Хе-СТ по сравнению с пациентами без признаков церебральной гиперперфузии. Н. Nakayama и соавт. [8] определили, что послеоперационный гиперперфузионный синдром развивается при повышении скорости кровотока в анастомозе более 50 мл/мин.

Предложенный нами метод ранней диагностики гиперперфузионного синдрома по повышению скорости кровотока в акцепторной артерии более 30 см/с не противоречит имеющимся критериям и может дополнить их, сделав диагностику более точной.

Заключение

Планирование реваскуляризации с учетом представлений об особенностях локальной гемодинами-

ки в донорской и акцепторной артериях до и после наложения анастомоза позволяет улучшить прогноз функционирования ЭИКМА. Степень снижения кровотока в корковых артериях на стороне окклюзии сонных артерий соответствует выраженности цереброваскулярной недостаточности, установленной по данным КТ-перфузии (продолжительность МТТ). Локальная гемодинамика в корковых артериях после реваскуляризации существенно зависит от способности ЭИКМА изменить направление кровотока в проксимальных отделах акцепторной артерии, что в свою очередь зависит от величины свободного кровотока в донорской артерии. Ретроградное заполнение акцепторной артерии формируется после насыщения дистального русла, при достаточной пропускной способности донорской артерии. При срыве механизмов ауторегуляции данный механизм перестройки локального мозгового кровообращения объясняет развитие очагового гиперперфузионного синдрома. На прогноз гемодинамической значимости анастомоза оказывает влияние направление его формирования — при невысоких величинах свободного кровотока в донорской артерии целесообразнее накладывать анастомоз в дистальном направлении во избежание развития неблагоприятных условий его функционирования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Yasargil MG. Anastomosis between the superficial temporal artery and a branch of the middle cerebral artery. In: *Microsurgery Applied to Neurosurgery*. Yasargil MG (ed.), George Thieme Verlag. Stuttgart, 1969.
2. The International Cooperative Study of Extracranial/Intracranial Arterial Anastomosis (EC/IC Bypass Study): Methodology and Entry Characteristics. The EC/IC bypass study group. *Stroke*. 1985;16:3.
3. Grubb RL Jr, Derdeyn CP, Fritsch SM, Carpenter DA, Yundt KD, Videen TO. Importance of hemodynamic factors in the prognosis of symptomatic carotid occlusion. *JAMA*. 1998;280:1055-1060.
4. Лукшин В.А., Усачев Д.Ю., Пронин И.Н., Шмигельский А.В., Ахмедов А.Д., Шевченко Е.В. Критерии эффективности хирургической реваскуляризации головного мозга у больных с хронической церебральной ишемией. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2016;80(2):53-62. Lukshin VA, Usachev DY, Pronin IN, Shmigel'skiy AV, Akhmedov AD, Shevchenko EV. Criteria of the efficacy of surgical brain revascularization in patients with chronic cerebral ischemia. *Voprosy neirokhirgii im NN Burdenko*. 2016;80(2):53-62. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/neiro201680253-62>
5. Лукшин В.А., Усачев Д.Ю., Пронин И.Н., Ахмедов А.Д., Шульц Е.И. Перфузионные критерии эффективности операции ЭИКМА у больных с симптоматической окклюзией внутренней сонной артерии. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2016;80(5):67-77. Lukshin VA, Usachev DY, Pronin IN, Akhmedov AD, Schultz EI. Perfusion criteria of the EICMA efficacy in patients with symptomatic occlusion of the internal carotid artery. *Voprosy neirokhirgii im NN Burdenko*. 2016;80(5):67-77. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/neiro201680567-77>
6. Carter LP, Crowell RM, Sonntag VKH, Spetzler RF. Cortical Blood Flow During Extracranial-Intracranial Bypass Surgery. *Stroke*. 1984;15(5).
7. Morisawa H, Kawamata T, Kawashima A, Hayashi M, Yamaguchi K, Yoneyama T, Okada Y. Hemodynamics and changes after STA-MCA anastomosis in moyamoya disease and atherosclerotic cerebrovascular disease measured by micro-Doppler ultrasonography. *Neurosurg Rev*. 2013;36:411-419. <https://doi.org/10.1007/s10143-012-0441-y>
8. Nakayama N, Kuroda S, Houkin K, Takikawa S, Abe H. Intraoperative measurement of arterial blood flow using a transit time flowmeter: monitoring of hemodynamic changes during cerebrovascular surgery. *Acta Neurochir (Wien)*. 2001;143:17-24.
9. Ashley WW, Amin-Hanjani S, Alaraj A, Shin J, Charbel FT. Flow-assisted surgical cerebral revascularization. *Neurosurg Focus*. 2008;24(2):E20. <https://doi.org/10.3171/FOC/2008/24/2/E20>
10. Lee M, Guzman R, Bell-Stephens T, Steinberg GK. Intraoperative blood flow analysis of direct revascularization procedures in patients with moyamoya disease. *J Cerebral Blood Flow and Metabolism*. 2011;31:262-274. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2010.85>
11. Брагина Л.К. Особенности экстра-интракраниального кровообращения при окклюзирующем поражении артерий, питающих мозг (ангиографическое изучение): Дис. ... д-ра мед. наук. М. 1974. Bragina LK. *Osobennosti ehkstra-intrakranial'nogo krooobrashcheniya pri okklyuziruyushchem porazhenii arterij, pitayushchih mozg (angiograficheskoe izuchenie)*. Dis. ... d-ra med. nauk. M. 1974. (In Russ.).
12. Добжанский Н.В. Церебральная гемодинамика и экстра-интракраниальный анастомоз у больных с окклюзирующими поражениями артерий каротидной системы. Дис. ... канд. мед. наук. М. 1988. Dobzhanskiy NV. *Cerebral'naya gemodinamika i ehkstraintrakranial'nyj anastomoz u bol'nyh s okklyuziruyushchimi porazheniyami arterij karotidnoj sistemy*: Dis. ... kand. med. nauk. M. 1988. (In Russ.).
13. Лаврентьев А.В. Микрохирургическая реваскуляризация головного мозга. М. 2000. Lavrent'ev AV. *Mikrohirurgicheskaya revaskulyarizatsiya golovnoogo mozga*. M. 2000. (In Russ.).
14. Тиссен Т.П., Ефремов Ж.М., Мучник М.С. Результаты динамического ангиографического обследования после микрохирургической реваскуляризации головного мозга. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 1990;2:20-24. Tissen TP, Efremov ZM, Muchnik MS. Rezul'taty dinamicheskogo angiograficheskogo obsledovaniya posle mikroskhirurgicheskoy revaskulyarizatsii golovnoogo mozga. *Voprosi neirokhirgii im NN Burdenko*. 1990;2:20-24. (In Russ.).

15. Spetzler RF, Owen MP. Extracranial-intracranial arterial bypass to a single branch of the middle cerebral artery in the management of a traumatic aneurysm. *Neurosurgery*. 1979;4:4:334-337.
16. Spetzler RF, Schuster H, Roski RA. Elective extracranial-intracranial arterial bypass in the treatment of inoperable giant aneurysms of the internal carotid artery. *J Neurosurg*. 1980;53(1):22-27. <https://doi.org/10.3171/jns.1980.53.1.0022>
17. Amin-Hanjani S, Du X, Mlinarevich N, Meglio G, Zhao M, Charbel FT. The cut flow index: an intraoperative predictor of the success of extracranial-intracranial bypass for occlusive cerebrovascular disease. *Neurosurgery*. 2005;56(1):75-85;discussion 75-85.
18. Nakagawa A, Fujimura M, Arafune T, Suzuki H, Sakuma I, Tominaga T. Intraoperative infrared brain surface blood flow monitoring during superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis in a patient with moyo-moya disease: clinical implication of the gradation value in postoperative clinical course—a case report. *Acta Neurochir Suppl*. 2008;102:159-163.
19. Lee M, Zaharchuk G, Guzman R, Achrol A, Bell-Stephens T, Steinberg GK. Quantitative hemodynamic studies in moyo-moya disease: a review. *Neurosurg Focus*. 2009;26(4):E5. <https://doi.org/10.3171/2009.1.FOCUS08300>
20. Dani KA, Thomas RG, Chappell FM, Shuler K, MacLeod MJ, Muir KW, Wardlaw JM. Translational Medicine Research Collaboration Multicentre Acute Stroke Imaging S. Computed tomography and magnetic resonance perfusion imaging in ischemic stroke: definitions and thresholds. *Ann Neurol*. 2011;70(3):384-401. <https://doi.org/10.1002/ana.22500>
21. Muroi C, Khan N, Bellut D, Fujioka M, Yonekawa Y. Extracranial-intracranial bypass in atherosclerotic cerebrovascular disease: report of a single Centre experience. *British Journal of Neurosurgery*. 2011;25(3):357-362. <https://doi.org/10.3109/02688697.2010.551673>
22. Fujimura M, Mugikura S, Kaneta T, Shimizu H, Tominaga T. Incidence and risk factors for symptomatic cerebral hyperperfusion after superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis in patients with moyo-moya disease. *Surg Neurol*. 2009;71:442-447. <https://doi.org/10.1016/j.surneu.2008.02.031>
23. Carter LP, Crowell RM, Sonntag VK, Spetzler RF. Cortical blood flow during extracranial-intracranial bypass surgery. *Stroke*. 1984;15(5):836-839.
24. Ho SS, Chan YL, Yeung DK, Metreweli C. Blood flow volume quantification of cerebral ischemia: comparison of three noninvasive imaging techniques of carotid and vertebral arteries. *AJR Am J Roentgenol*. 2002;178(3):551-556. <https://doi.org/10.2214/ajr.178.3.1780551>
25. Ogasawara K, Yukawa H, Kobayashi M, Mikami C, Konno H, Terasaki K, Inoue T, Ogawa A. Prediction and monitoring of cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy by using single-photon emission computerized tomography scanning. *J Neurosurg*. 2003;99:504-510. <https://doi.org/10.3171/jns.2003.99.3.0504>
26. Ogasawara K, Sakai N, Kuroiwa T, Hosoda K, Hihara K, Toyoda K, Sakai C, Nagata I, Ogawa A. Japanese Society for Treatment of Neck in Cerebrovascular Disease Study Group. Intracranial hemorrhage associated with cerebral hyperperfusion syndrome following carotid endarterectomy and carotid artery stenting: retrospective review of 4494 patients. *Journal of Neurosurgery*. 2007;107(6):1130-1136. <https://doi.org/10.3171/JNS-07/12/1130>
27. Higashi S, Matsuda H, Fujii H, Ito H, Yamashita J. Luxury perfusion syndrome confirmed by sequential studies of regional cerebral blood flow and volume after extracranial to intracranial bypass surgery: case report. *Neurosurgery*. 1989 Jul;25(1):85-89.
28. Kawamata T, Kawashima A, Yamaguchi K, Hori T, Okada Y. Usefulness of intraoperative laser Doppler flowmetry and thermography to predict a risk of postoperative hyperperfusion after superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass for moyo-moya disease. *Neurosurg Rev*. 2011;34:355-362. <https://doi.org/10.1007/s10143-011-0331-8>
29. Gesang DZ, Zhang D, Zhao JZ, Wang S, Zhao YL, Wang R, Sun JJ, Meng Z. Laser Doppler flowmeter study on regional cerebral blood flow in early stage after standard superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass surgery for moyo-moya disease. *Chin Med J*. 2009;122:2412-2418.
30. Okada Y, Kawamata T, Kawashima A, Hori T. Intraoperative application of thermography in extracranial-intracranial bypass surgery. *Neurosurgery*. 2007;60(4, Suppl 2):362-365. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000255358.86947.9A>

Поступила 18.03.19

Комментарий

Операция по созданию экстра-интракраниального анастомоза для ревазуляризации головного мозга используется в нейрохирургической практике уже более 50 лет, однако до настоящего времени ведется дискуссия среди специалистов о ее целесообразности в лечении и профилактике ишемического инсульта. Различия в нюансах выполнения данной операции разными специалистами при схожей общей схеме оперативного вмешательства приводят зачастую к полярным клиническим результатам: в одних случаях к регрессу переходящей или стойкой неврологической симптоматики у пациентов, в других сопровождается периперационными осложнениями или не приводит к ожидаемому эффекту. Это объясняет противоречивость выводов международных многоцентровых исследований, которая препятствует обоснованию целесообразности применения данной операции при хронической церебральной недостаточности с позиций доказательной медицины. Пути улучшения результатов хирургической ревазуляризации головного мозга связаны с оптимизацией хирургической техники создания ЭИКМА, которая невозможна без полного понимания патофизиологических аспектов мозгового кровообращения и его перестройки после наложения анастомоза.

Статья посвящена исследованию параметров локальной гемодинамики в корковых артериях бассейна средней мозговой артерии (СМА) до и после создания ЭИКМА. Авторами подтверждена связь линейной и объемной скорости кровотока, а также внутрисосудистого артериального давления в бассейне СМА с исходной степенью цереброваскулярной недостаточности, получены их характерные референсные значения. Также выявлен и обоснован механизм перераспределения кровотока в акцепторной артерии в зависимости от параметров донорской артерии, приводящий к формированию ретроградного заполнения бассейна СМА. Это имеет большое практическое значение, поскольку позволяет индивидуально подходить к выбору донорской и акцепторной артерий, а также определению конфигурации анастомоза с целью повышения его гемодинамической значимости. Представленные в статье результаты обоснованы с использованием методов статистической обработки, подтверждены математическими расчетами и не вызывают возражений.

Работа представляет существенный интерес для специалистов в области сосудистой нейрохирургии.

Г.И. Антонов (Красногорск)