ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ХИРУРГИЧЕСКОЙ РЕВАСКУЛЯРИЗАЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ПАЦИЕНТОВ ДЕТСКОГО ВОЗРАСТА С АНГИОПАТИЕЙ МОЙАМОЙА

К.С. Овсянников, А.В. Дубовой, Д.А. Рзаев

ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России (Новосибирск);
Россия, 630087 Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 132/1

Контакты: *Константин Сергеевич Овсянников k_ovsyannikov@neuronsk.ru*

Цель исследования *– анализ результатов применения различных методов хирургической реваскуляризации головного мозга в лечении детей с ангиопатией мойамойа.*

Материалы и методы. *С декабря 2015 г. по март 2020 г. в отделении сосудистой нейрохирургии Федерального центра нейрохирургии (Новосибирск) выполнено 12 оперативных вмешательств на 12 гемисферах у 8 пациентов (4 мальчиков, 4 девочек) с ангиопатией мойамойа. Возраст больных варьировал от 6 мес до 14 лет и составил в среднем 8 лет. Клиническое течение заболевания соответствовало I типу по классификации Y. Matsushima в 3 случаях, III типу – в 2, IV типу – в 2, V типу – в 1. У 5 пациентов выявлена III стадия по классификации J. Suzuki, у 3 – IV стадия. До операции выполняли церебральную ангиографию, магнитно-резонансную томографию головного мозга, сосудов головного мозга, перфузионную мультиспиральную компьютерную томографию головного мозга. Операция по созданию энцефалодуроартериомиосинангиоза проведена на 2 гемисферах; экстракраниально-интракраниального микроанастомоза (ЭИКМА) и энцефалодуромиосинангиоза – на 1 гемисфере, ЭИКМА и энцефалодуроартериомиосинангиоза – на 2, ЭИКМА и энцефалодуромиопериостеосинангиоза – на 5, двуствольного ЭИКМА с бассейном средней мозговой артерии и энцефалодуромиосинангиоза – на 1, двуствольного ЭИКМА с бассейном средней мозговой артерии, с бассейном передней мозговой артерии и энцефалодуромиопериостеосинангиоза – на 1. Период наблюдения после вмешательства продолжался от 6 до 36 мес, по истечении этого срока оценивали неврологический статус, выполняли церебральную ангиографию 6 сосудистых бассейнов, магнитно-резонансную томографию головного мозга и сосудов головного мозга, перфузионную мультиспиральную компьютерную томографию головного мозга.*

Результаты. *Клинически значимой ишемии на стороне оперированной гемисферы в катамнестическом периоде не зарегистрировано. Отмечено улучшение перфузии головного мозга в сравнении с дооперационным уровнем. В 1 случае в катамнестическом периоде на стороне неоперированной гемисферы произошла транзиторная ишемическая атака. У детей с исходным неврологическим дефицитом симптоматика регрессировала. Ангиографический результат, оцененный по методу Y. Matsushima, был отличным (степень А) и хорошим (степень В) у всех пациентов, кроме ребенка с синдромом мойамойа и ребенка, у которого непрямую реваскуляризацию провели в зоне кистозно-глиозных изменений. На нашем опыте определена оптимальная методика ушивания раны с хорошим косметическим эффектом.*

Заключение. *Дифференцированный подход к хирургическому лечению детей с ангиопатией мойамойа дает хорошие клинические, ангиографические и косметические результаты и характеризуется высокой эффективностью в профилактике ишемического инсульта. Результаты комбинированной реваскуляризации были лучше, чем результаты непрямой, особенно в клинически значимом полушарии, поэтому она предпочтительнее при условии подходящих размеров артерий.*

Ключевые слова: *ангиопатия мойамойа, комбинированная реваскуляризация, прямая реваскуляризация, непрямая реваскуляризация*

Для цитирования: *Овсянников К.С., Дубовой А.В., Рзаев Д.А. Дифференцированный подход к хирургической реваскуляризации головного мозга у пациентов детского возраста с ангиопатией мойамойа. Нейрохирургия 2020;22(4):28–42.*

DOI: 10.17650/1683-3295-2020-22-4-28-42

CC BY

Differentiated method in surgical revascularization of the brain for the treatment of pediatric patients with moyamoya angiopathy

K.S. Ovsiannikov, A.V. Dubovoy, D.A. Rzaev

Federal Neurosurgical Center (Novosibirsk), Ministry of Health of Russia; 132/1 Nemirovicha-Danchenko St., Novosibirsk 630087, Russia

The study objective *is to study the results of the differentiated method of surgical revascularization of the brain for the treatment of pediatric patients with moyamoya angiopathy.*

Materials and methods. *Twelve surgical interventions were performed on 12 hemispheres in 8 patients (4 male, 4 female) with moyamoya angiopathy from December 2015 to March 2020. The age of patients ranged from 6 months to 14 years old, the average age is 8 years old.*

To clarify the clinical course of the disease the Y. Matsushima classification was used: type I (n = 3), type III (n = 2), type IV (n = 2) and type V (n = 1) of Y. Matsushima. Stages of the disease are classified according to J. Suzuki: stage III was revealed in 5 patients, stage IV – in 3. Cerebral angiography, magnetic resonance imaging of the brain and vessels were performed; computed tomography perfusion of the brain was made in every patient. Encephaloduroarteriomyosynangiosis was used in 2 hemispheres. Extra-intracranial bypass and encephaloduromyosynangiosis in 1; extracranial-intracranial bypass and encephaloduroarteriomyosynangiosis – in 2; extracranial-intracranial bypass and encephaloduromyoperiosteosynangiosis in 5 hemispheres; double-barreled bypass and encephaloduromyosynangiosis – in 1 hemisphere; double-barreled bypass and encephaloduromyoperiosteosynangiosis – in 1 hemisphere. In the follow-up period (6–36 months) neurological status testing, digital subtraction angiography (6 vascular territories), magnetic resonance imaging of the brain and vessels and computed tomography perfusion of the brain were performed.

Results. *All patients in the follow-up period had no clinically significant ischemic events on the side of surgical intervention; there was an increase in the perfusion of the brain in comparison with preoperational values. In 1 case, transient ischemic attack occurred on the non-operated hemisphere that did not recur after surgery. There was a regression of symptoms among children with initial neurological deficits. The angiographic result, in accordance with the method suggested by Y. Matsushima, was excellent (A group) and good (B group), except the case of moyamoya syndrome and case after indirect revascularization in zone of brain atrophy. Based on our experience, we have determined the optimal method of suturing the wound with a good cosmetic effect.*

Conclusion. *We can assume, that differentiated method in surgical treatment of pediatric patients with moyamoya angiopathy is highly effective for the prevention of ischemic stroke, and also has good clinic, angiographic and cosmetic result. With suitable arterial sizes, combined revascularization showed better results than indirect, especially in the clinically significant hemisphere.*

Key words: *moyamoya angiopathy, combined revascularization, direct revascularization, indirect revascularization*

For citation: *Ovsiannikov K.S., Dubovoy A.V., Rzaev D.A. Differentiated method in surgical revascularization of the brain for the treatment of pediatric patients with moyamoya angiopathy. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2020;22(4):28–42. (In Russ.).*

ВВЕДЕНИЕ

Частота инсультов у детей варьирует от 0,93 до 13 случаев на 100 тыс. в год [1]. Одна из малоизученных причин развития данного патологического состояния – болезнь мойамойа. Это редкое идиопатическое хроническое цереброваскулярное заболевание, характеризующееся прогрессирующим стенозом интракраниальных сегментов внутренних сонных артерий (вплоть до их окклюзии) с возможным вовлечением мозговых артерий любой циркуляции и образованием специфической сети тонких сосудов, которая на ангиограммах имеет вид легкой дымки. В некоторых случаях в патологический процесс вовлекаются все основные мозговые артерии, включая заднюю мозговую артерию [2]. Описанная ангиопатия может формироваться и как самостоятельная патология – болезнь мойамойа, и как следствие основного заболевания; в данном случае она называется синдромом мойамойа [3].

Болезнь мойамойа наиболее часто встречается в Японии – 3 случая на 100 тыс. детей [4]. В США ее распространенность составляет 1 случай на 1 млн [5]. Официальная статистика заболеваемости детским инсультом в нашей стране отсутствует [1], так же как и данные о частоте болезни мойамойа в России [6]. Соотношение мужчин и женщин среди пациентов составляет в Японии 1:1,8 [7]. Заболевание может манифестировать транзиторной ишемической атакой, ишемическим инсультом, геморрагическим инсультом (субарахноидальным, вентрикулярным или паренхиматозным кровоизлиянием) [8–13], эпилептическими припадками [6, 14–16] либо сочетанием данных клинических форм [17, 18]. У большинства детей заболевание проявляется транзиторными ишемическими атаками, ишемическим инсультом, в некоторых случаях непроизвольными движениями, похожими на хорею [19].

По данным некоторых авторов, консервативное лечение пациентов с клиническими проявлениями болезни мойамойа имеет неблагоприятный прогноз, так как у 40–82 % развивается повторный инсульт в течение 5 лет [20, 21]. По результатам международного исследования детского инсульта (International Pediatric Stroke Study), у пациентов с ишемическим типом течения болезни мойамойа риск повторного инсульта достигает 20 % в течение 13 мес, причем в 9 % случаев он носит множественный характер, а хирургическая реваскуляризация эффективно снижает этот риск [22].

Для хирургического лечения болезни мойамойа применяются методы прямой реваскуляризации, которая заключается в создании экстракраниально-интракраниального микроанастомоза (ЭИКМА), и методы непрямой реваскуляризации, которая подразумевает создание условий для образования новых кровеносных сосудов между тканями головы и мозговым веществом. Для этого на поверхность мозга укладывают различные высоковаскуляризированные ткани. Долгие годы считалось, что у детей могут быть применены только непрямые методы реваскуляризации головного мозга в связи с малым диаметром артерий. По мере совершенствования микрохирургической техники все большее предпочтение отдается прямой и комбинированной реваскуляризации [9].

Цель исследования – анализ результатов применения различных методов хирургической реваскуляризации головного мозга в лечении детей с ангиопатией мойамойа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С декабря 2015 г. по март 2020 г. в отделении сосудистой нейрохирургии Федерального центра нейрохирургии (Новосибирск) выполнено 12 оперативных вмешательств на 12 гемисферах у 8 пациентов (4 мальчиков, 4 девочек) с ангиопатией мойамойа. У 5 пациентов ангиопатия (синдром) мойамойа наблюдалась на фоне основного заболевания (тромбофилии, гипохромной анемии, гиперхолестеринемии и синдрома Дауна), в том числе у 4 пациентов поражение было билатеральным, у 1 – унилатеральным. Болезнь мойамойа без подтвержденного фонового заболевания диагностирована у 3 пациентов, из них у 2 поражение было билатеральным, у 1 – унилатеральным. Возраст пациентов варьировал от 6 мес до 14 лет и составил в среднем 8 лет.

Клиническое течение заболевания оценивали по классификации Y. Matsushima и соавт. [23]. Во всех случаях основным типом течения был ишемический. У 3 пациентов выявлены ишемические нарушения I типа, в том числе у 1 в сочетании с хореей, у 1 – с головной болью и эпилептическими припадками. У 2 пациентов ишемические нарушения были III типа, в том числе у 1 наблюдалась головная боль. В 2 случаях выявлены ишемические нарушения IV типа, в 1 – V типа с эпилептическими припадками. Очаговые неврологические симптомы имели место в 3 случаях. С 3-летнего возраста у пациентов определяли индекс Barthel, оценивали степень инвалидизации по модифицированной шкале Rankin (modified Rankin Scale) с учетом возрастных особенностей.

При поступлении проводили селективную церебральную ангиографию бассейнов внутренней сонной, наружной сонной и позвоночной артерий с каждой стороны. Стадию болезни на основании ангиографических данных определяли по классификации J. Suzuki [13]: у 5 пациентов диагностирована III стадия, у 3 – IV стадия. По ангиографическим данным выявляли окклюзионно-стенотическое поражение интракраниальных артерий, развитие специфической аномальной сосудистой сети с этмоидальными и базальными (в том числе перивентрикулярными) коллатеральными анастомозами. Изучали заполняемость вовлеченного в патологический процесс артериального бассейна через собственные артерии и лептоменингеальные анастомозы. Определяли размер, количество артерий-реципиентов, наличие и степень заполнения посредством сформировавшихся естественных экстракраниально-интракраниальных анастомозов (ЭИКА), а также размер и анатомическое расположение артерий-доноров бассейна наружной сонной артерии.

После верификации диагноза выполняли магнитно-резонансную томографию (МРТ) головного мозга с целью обнаружения очагов ишемии (в том числе острой) и кистозно-глиозных изменений ткани головного мозга. При МРТ сосудов головного мозга определяли тип анатомических взаимоотношений между средней оболочечной артерией (СОА) и малым крылом клиновидной кости.

У 7 пациентов до операции провели перфузионную мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) головного мозга для определения зон гипоперфузии. У 1 пациента (№ 1 в таблице) перед операцией исследование перфузии не выполняли в связи с младенческим возрастом и повышенной лучевой нагрузкой (предварительно проведены МСКТ сосудов головного мозга и церебральная ангиография). Ему была назначена перфузионная МСКТ через 6 и 18 мес после операции.

Показанием к операции стали выявленная при ангиографии ангиопатия мойамойа, ишемическое событие в анамнезе, в некоторых случаях подтвержденное с помощью нейровизуализационных исследований (МРТ головного мозга), и/или признаки наличия зон гипоперфузии с измененными количественными показателями.

В соответствии с архитектоникой артерий-доноров наносили разметку кожного разреза с целью сохранения артерий для артериосинангиоза либо для создания ЭИКМА, а также учитывали наличие естественных ЭИКА, в том числе фронтоорбитального анастомоза через лобную ветвь поверхностной височной артерии (ПВА). Как известно, возможно несколько типов анатомических взаимоотношений СОА с крылом клиновидной кости [24]. Это учитывали при выполнении краниотомии с целью предотвращения повреждения артерии. Тем самым создавали условия для возникновения дуросинангиоза, появления естественного ЭИКА, а также сохранения и увеличения естественных ЭИКА, исходящих из бассейна СОА. Количество и размер артерий-реципиентов и артерий-доноров имели принципиальное значение. От количества артерий, диаметр которых должен быть ≥0,4 мм при соотношении диаметров артерии-донора и артерии-реципиента не более чем 2:1, зависела возможность создания прямых анастомозов. В противном случае выполняли непрямую реваскуляризацию.

Таким образом, при выборе метода прямой или непрямой реваскуляризации головного мозга с учетом качественных и количественных характеристик у данной категории больных учитывали:

- тип клинического течения заболевания по Y. Matsushima (I, III, IV, V) (для операций на клинически значимом полушарии);
- результаты ангиографического исследования 6 бассейнов (стадию по J. Suzuki, оценку коллатерального кровообращения, размер и количество артерий-реципиентов и артерий-доноров, их архитектонику);
- данные МРТ головного мозга (локализацию очага ишемии, кистозно-глиозных изменений), МРТ сосудов головного мозга (анатомические особенности и архитектонику СОА);

Клинические данные пациентов детского возраста с ангиопатией мойамойа

Clinical data of pediatric patients with moyamoya angiopathy

№ пациента Patient No.	Пол Sex	Возраст Age	Локализация Location	Тип по Y. Matsushima Type per Y. Matsushima	Стадия по J. Suzuki Stage per J. Suzuki	Вариант реваскуляризации Revascularization type		Клинический исход Clinical outcome	Длительность наблюдения, мес Follow-up duration, months
						справа on the right	слева on the left		
1	Муж. Male	6 мес 6 months	Левосторонний ИИ в бассейне СМА, ЗМА Left-sided IS in the MCA, PCA territory	V	V	–	ЭДАМС EDAMS	Регресс неврологического дефицита, отсутствие повторных ИИ, плохая реваскуляризация (степень С по Matsushima), перфузионная компьютерная томография до операции не проводилась. Средняя ОСК слева 45,9 мл/мин Regression of neurological deficit, absence of repeat IS, poor revascularization (Y. Matsushima degree C), perfusion computed tomography wasn't performed prior to surgery. Mean CBF of the left = 45.9 ml/min	18
2	Жен. Fem.	8 лет 8 years	Правосторонний ИИ в бассейне СМА Right-sided IS in the MCA territory	IV	III	ЭИКМА + ЭДМС EC-IC bypass + EDMS	–	Регресс неврологического дефицита, индекс Barthel 95 баллов, mRS 2, отсутствие повторных ИИ, плохая реваскуляризация (степень С по Y. Matsushima), увеличение средней ОСК справа на 12,3 % Regression of neurological deficit, Barthel index 95, mRS 2, absence of repeat IS, poor revascularization (Y. Matsushima degree C), increase in mean CBF on the right by 12.3 %	6
3	Жен. Fem.	3 года 3 years	Правосторонний ИИ в бассейне СМА, ТИА слева в бассейне СМА Right-sided IS in the MCA territory, TIA on the left in the MCA territory	III, I	III	ЭИКМА + ЭДАМС EC-IC bypass + EDAMS	ЭДАМС EDAMS	Отсутствие неврологического дефицита, индекс Barthel 100 баллов, mRS 0, отсутствие повторных ИИ после 2 операций, отличная реваскуляризация справа, хорошая слева (степень А по Y. Matsushima справа, степень В слева), увеличение средней ОСК справа на 17,4 % и слева на 21,6 % No neurological deficit, Barthel index 100, mRS 0, absence of repeat IS after 2 surgeries, exellent on the right, good on the left revascularization (Y. Matsushima degree A (right), B (left)), increase in mean CBF on the right by 17.4 %, on the left by 21.6 %	36
4	Жен. Fem.	10 лет 10 years	ТИА справа в бассейне СМА TIA on the right in the MCA territory	I	IV	2 ЭИКМА + ЭДМС 2 EC-IC bypass + EDMS	ЭИКМА + ЭДМС EC-IC bypass + EDMS	Отсутствие неврологического дефицита, индекс Barthel 100 баллов, mRS 0, отсутствие повторных ИИ, отличная реваскуляризация (степень А по Y. Matsushima) с обеих сторон, увеличение средней ОСК справа на 57,6 % и слева на 59 % No neurological deficit, Barthel index 100, mRS 0, absence of repeat IS, excellent revascularization (Y. Matsushima degree A) on both sides, increase in mean CBF on the right by 57.6 %, on the left by 59 %	36

Окончание таблицы

End of the table

№ пациента Patient No.	Пол Sex	Возраст Age	Локализация Location	Тип по Y. Matsushima Type per Y. Matsushima	Стадия по J. Suzuki Stage per J. Suzuki	Вариант реваскуляризации Revascularization type		Клинический исход Clinical outcome	Длительность наблюдения, мес Follow-up duration, months
						справа on the right	слева on the left		
5	Муж. Male	9 лет 9 years	Правосторонний ИИ в бассейне СМА Right-sided IS in the MCA territory	IV	III	2 ЭИКМА + ЭДМПС 2 EC-IC bypass + EDMPS	ЭИКМА + ЭДМПС EC-IC bypass + EDMPS	Регресс неврологического дефицита, индекс Barthel 90 баллов, mRS 2, отсутствие повторных ИИ, отличная реваскуляризация (степень А по Y. Matsushima) справа, увеличение средней ОСК справа на 58,4 %* Regression of neurological deficit, Barthel index 90, mRS 2, absence of repeat IS, excellent revascularization (Y. Matsushima degree A) on the right, increase in mean CBF on the right by 58.4 %*	6
6	Жен. Fem.	14 лет 14 years	ТИА слева в бассейне СМА TIA on the left in the MCA territory	I	III	Не показана Not prescribed	ЭИКМА + ЭДМПС EC-IC bypass + EDMPS	Отсутствие неврологического дефицита, индекс Barthel 100 баллов, mRS 0, отсутствие повторных ИИ, хорошая реваскуляризация (степень В по Y. Matsushima), увеличение средней ОСК слева на 4,6 % No neurological deficit, Barthel index 100, mRS 0, absence of repeat IS, good revascularization (Y. Matsushima degree B), increase in mean CBF on the left by 4.6 %	6
7	Муж. Male	9 лет 9 years	ТИА справа в бассейне СМА TIA on the right in the MCA territory	I	IV	ЭИКМА + ЭДМПС EC-IC bypass + EDMPS	Не показана Not prescribed	Отсутствие неврологического дефицита, индекс Barthel 100 баллов, mRS 0, отсутствие повторных ИИ, отличная реваскуляризация (степень А по Y. Matsushima), увеличение средней ОСК справа на 29,3 % No neurological deficit, Barthel index 100, mRS 0, absence of repeat IS, excellent revascularization (Y. Matsushima degree A), increase in mean CBF on the right by 29.3 %	6
8	Муж. Male	13 лет 13 years	Левосторонний ИИ в бассейне СМА Left-sided IS in the MCA territory	III	III	ЭИКМА + ЭДМПС EC-IC bypass + EDMPS	ЭИКМА + ЭДМПС EC-IC bypass + EDMPS	Отсутствие неврологического дефицита, индекс Barthel 100 баллов, mRS 0, отсутствие повторных ИИ, хорошая реваскуляризация (степень В по Y. Matsushima) слева, увеличение средней ОСК слева на 2,9 %* No neurological deficit, Barthel index 100, mRS 0, absence of repeat IS, good revascularization (Y. Matsushima degree B), increase in mean CBF on the left by 2.9 %*	6

**Контрольные нейровизуализационные исследования не проводились в связи с небольшой длительностью наблюдения (<6 мес с момента последней операции).*

Примечание. *ЗМА – задняя мозговая артерия; ИИ – ишемический инсульт; ОСК (CBF) – объемная скорость кровотока; СМА – средняя мозговая артерия; ТИА – транзиторная ишемическая атака; ЭДАМС – энцефалодуроартериомиосинангиоз; ЭДМПС – энцефалодуромиопериостеосинангиоз; ЭДМС – энцефалодуромиосинангиоз; ЭИКМА – экстракраниально-интракраниальный микроанастомоз; mRS – модифицированная шкала Rankin.*

**Control neuroimaging examinations weren't performed due to short duration of observation (<6 months since the last surgery).*

Note. *CBF – cerebral blood flow; EDAMS – encephaloduroarteriomyosynangiosis; EDMPS – encephaloduromyoperiosynangiosis; EDMS – encephaloduromyosynangiosis; EC-IC bypass – extracranial-intracranial bypass; IS – ischemic stroke; MCA – middle cerebral artery; mRS – modified Rankin Scale; PCA – posterior cerebral artery; TIA – transient ischemic attack.*

– данные перфузионной МСКТ (расположение зон гипоперфузии).

Применяли следующие варианты прямой и непрямой реваскуляризации: энцефалодуроартериомиосинангиоз (ЭДАМС) – на 2 гемисферах; ЭИКМА и энцефалодуромиосинангиоз – на 1 гемисфере, ЭИКМА и ЭДАМС – на 2 гемисферах, ЭИКМА и энцефалодуромиопериостеосинангиоз – на 5 гемисферах, двуствольный ЭИКМА с бассейном средней мозговой артерии (СМА) и энцефалодуромиосинангиоз – на 1 гемисфере, двуствольный ЭИКМА с бассейном СМА и с бассейном передней мозговой артерии и энцефалодуромиопериостеосинангиоз – на 1 гемисфере.

Через 6 мес после операции оценивали динамику клинического состояния по индексу Barthel и модифицированной шкале Rankin (у пациентов старше 3 лет), выполняли ангиографическое исследование бассейнов 6 мозговых артерий, МРТ головного мозга и его сосудов, перфузионную МСКТ головного мозга. Дальнейшие этапы динамического наблюдения планировали индивидуально до окончания пубертатного периода.

Хирургическое лечение детей с ангиопатией мойа-мойа проводили не ранее чем через 1 мес с момента ишемического события.

Предоперационная подготовка и анестезиологическое пособие. Предоперационная подготовка включала прием ацетилсалициловой кислоты в дозе 25–100 мг/сут (в зависимости от массы тела пациента) в течение минимум 3–5 дней до операции при контроле агрегации тромбоцитов (ASPI-тест).

Во время общей анестезии с целью снижения риска возникновения ишемического инсульта в периоперационном периоде поддерживали нормоволемию, нормотермию, нормотензию либо умеренную гипертензию, нормовентиляцию, нормокапнию.

Хирургическая техника. В связи с малым диаметром артерий-реципиентов (<0,4 мм) на 2 гемисферах мы выполнили непрямую реваскуляризацию – ЭДАМС. В 1 случае у ребенка 6 мес (№ 1 в таблице) оперативное вмешательство проводили над зонами пораженных бассейнов с учетом локализации ишемического очага с кистозно-глиозным перерождением (рис. 1), в 1 случае (у пациента № 3) – на клинически значимой гемисфере над зонами гипоперфузии.

В клиническом случае № 1 (см. таблицу) пальпаторно на голове определяли основные артерии бассейна наружной сонной артерии, размечали доступ с учетом возможности создания максимального трепанационного окна, кожный разрез производили в проекции пальпируемых артерий с выделением их из кожно-апоневротического лоскута, сохранением их анатомической целостности для создания пиального артериосинангиоза (рис. 2).

Размер трепанационного окна составил 55 × 65 мм в 1-м случае и 60 × 80 мм во 2-м случае. Твердую мозговую оболочку (ТМО) резецировали с сохранением основных ветвей СОА. Заканчивали наложение дуросинангиоза подворачиванием и укладыванием лепестков ТМО под край трепанационного окна на поверхность мозга. С поверхностью мозга контактировал наружный (наиболее снабжаемый кровью) листок ТМО (см. рис. 2*б*). Диаметр артерий-реципиентов во всех случаях составлял от 0,2 до 0,3 мм, в связи с этим создание ЭИКМА не представлялось возможным. Дополняли непрямую реваскуляризацию укладыванием мышечного лоскута на поверхность мозга (энцефаломиосинангиоз), причем во 2-м случае разделяли мышцу на 2 слоя, укладывали один из них на мозг и подшивали его к краям подвернутой ТМО, а другой подшивали к костному лоскуту для устранения косметического дефекта. Костный лоскут устанавливали на место с оставлением дефектов для артерии-донора и мышечного лоскута. Рану ушивали традиционным способом.

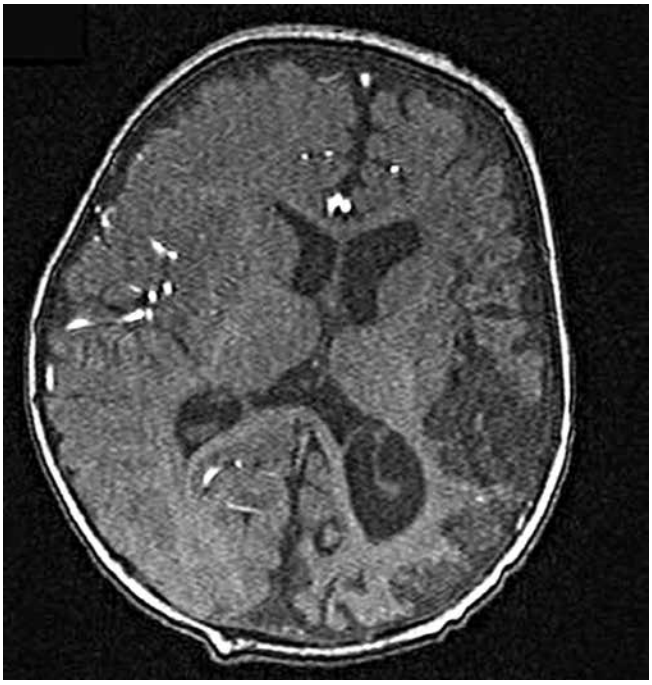

Рис. 1. *Предоперационная магнитно-резонансная томография сосудов головного мозга (последовательность TOF, аксиальная проекция). Кистозно-глиозные изменения теменной, височной, затылочной долей*

Fig. 1. *Pre-operative TOF magnetic resonance image of the brain vasculature (axial projection). Cystogliotic changes in the parietal, temporal, occipital lobes*

В остальных 10 случаях выполнили комбинированную прямую и непрямую реваскуляризацию, так как диаметр артерий был достаточным. Диаметр артерий-реципиентов варьировал от 0,4 до 1,0 мм и составлял в среднем 0,8 мм, диаметр артерий-доноров варьировал от 0,5 мм до 1,0 мм и составлял в среднем 0,83 мм. Время пережатия артерии-реципиента варьировало от 22 до 59 мин и составляло в среднем 31,4 мин. Выполняли дугообразный разрез мягких тканей в лобно-теменно-височной области. Первые операции проводили

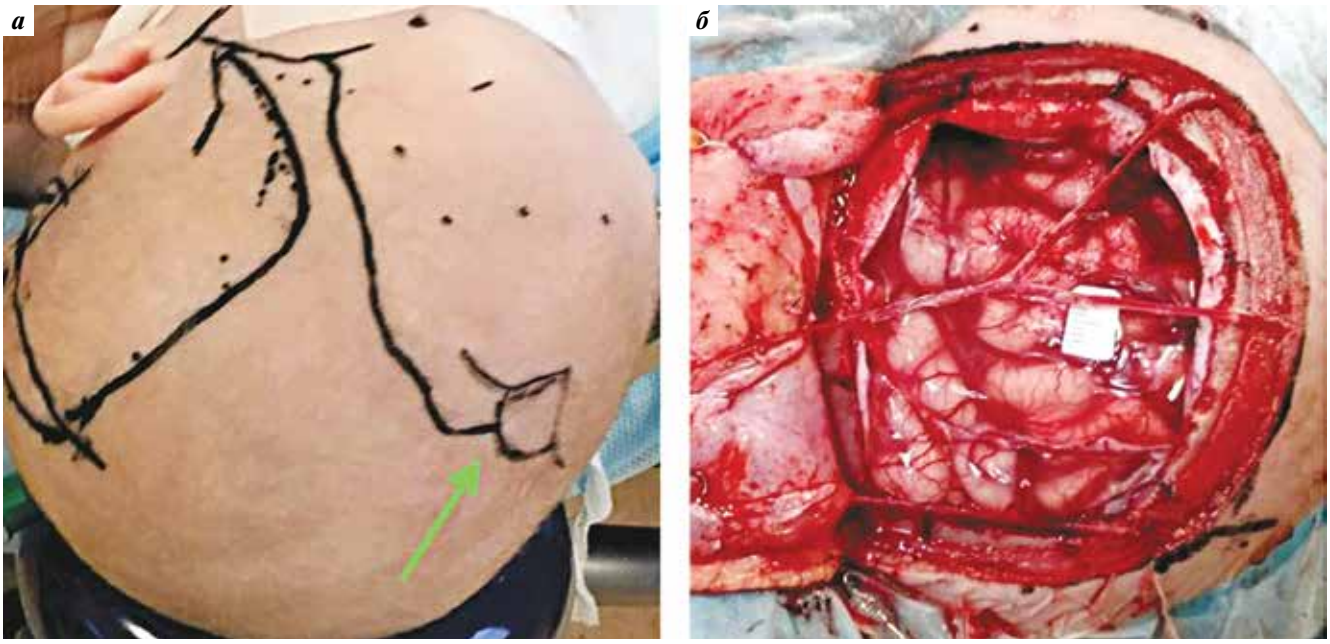

Рис. 2. *Интраоперационные фотографии пациента № 1: а – разметка кожного разреза и проекции поверхностной височной артерии с экстракраниально-интракраниальным анастомозом (указан стрелкой); б – этап создания энцефалоартериосинангиоза с поверхностной височной артерией и задней ушной артерией, измерения диаметра артерий-реципиентов, создания энцефалодуросинангиоза методом подворачивания твердой мозговой оболочки под край трепанационного окна*

Fig. 2. *Intraoperative photos of the patient No. 1: a – mapping of the skin incision and projection of the superficial temporal artery with extracranial-intracranial anastomosis (arrow); б – stage of encephaloarteriosynangiosis formation with superficial temporal artery and posterior auricular artery, measurement of diameters of recipient arteries, formation of encephalodurosynangiosis by curling the dura mater under the trepanation window edge*

с резекцией тканей в проекции основного ствола и теменной ветви ПВА с сохранением ее целостности: в 2 случаях (пациент № 3 в таблице) – для создания энцефалоартериосинангиоза, в 1 случае (пациент № 4) – для наложения двуствольного ЭИКМА с целью оценки возможности создания микроанастомозов до пересечения артерий (рис. 3).

Последующие операции проводили с забором артерий-доноров из кожно-апоневротического лоскута и оценкой возможности создания ЭИКМА на основании предоперационных нейровизуализационных данных. Краниотомию в лобно-теменно-височной области в ходе 9 операций выполняли с удалением крыла клиновидной кости резекционным способом с целью предотвращения повреждения передней ветви СОА (тип ее анатомических взаимоотношений с костными структурами был известен заранее). В 1 случае (пациент № 6 в таблице) высокий отпечаток СОА в кости на обзорной боковой краниограмме (рис. 4) потребовал выполнения 2 краниотомий (в лобно-височной и височно-теменной областях) с оставлением костного мостика между ними и сохранением СОА (рис. 5) в соответствии с рекомендациями [25].

Средний размер трепанационного окна (n = 12) составил 72 × 95 мм, минимальный – 51 × 65 мм, максимальный – 95 × 115 мм. Резекция ТМО не отличалась от резекции при непрямой реваскуляризации. Далее создавали ЭИКМА: в 2 случаях – двуствольный, в 8 – одноствольный. Минимальный диаметр артерии-реципиента для создания анастомоза составил 0,4 мм (рис. 6).

Следующим этапом 3 операций было разделение височной мышцы на 2 части по толщине, а в ходе 7 операций височную мышцу не разделяли и укладывали целиком. Для хирургической реваскуляризации бассейна передней мозговой артерии некоторые операции сопровождали краниотомией в парасагиттальных

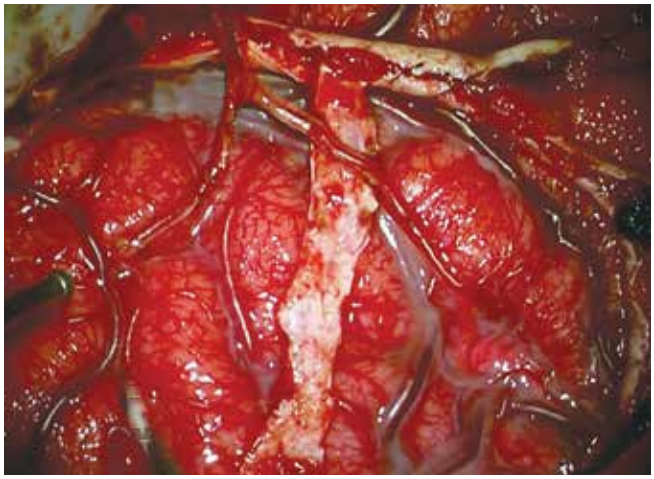

Рис. 3. *Двуствольный экстракраниально-интракраниальный микроанастомоз*

Fig. 3. *Double-barrel extracranial-intracranial microanastamosis*

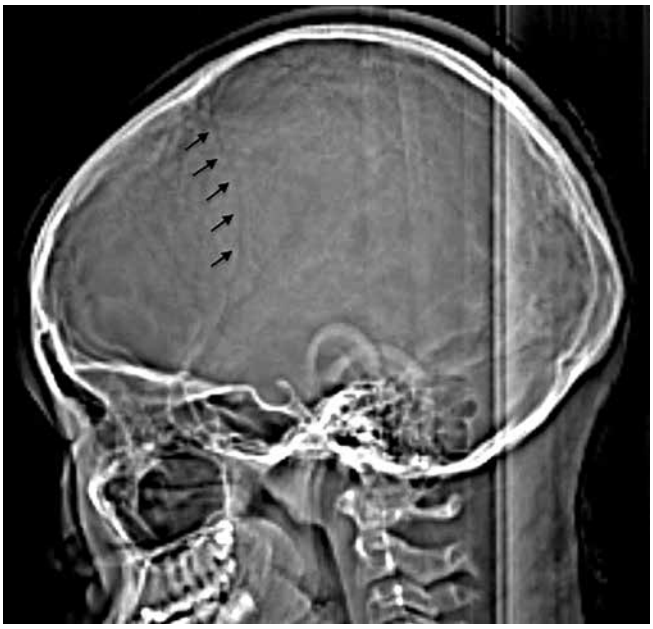

Рис. 4. *Краниограмма пациента № 6. Высокий отпечаток средней оболочечной артерии (указан стрелками)*

Fig. 4. *Craniogram of the patient No. 6. High impression of the middle meningeal artery (arrows)*

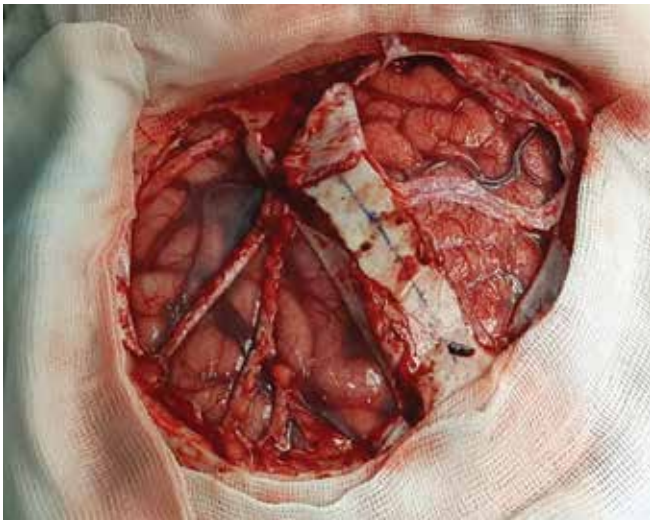

Рис. 5. *Интраоперационная фотография пациента № 6. Два трепанационных окна (в лобно-височной и височно-теменной областях)*

Fig. 5. *Intraoperative photo of the patient No. 6. Two craniotomies (in the frontotemporal and parietotemporal areas)*

отделах лобной области, создавали ЭИКМА и периостеосинангиоз ($n = 1$) или только периостеосинангиоз ($n = 5$). Костный лоскут со сформированным дефектом для донорских тканей укладывали на прежнее место. В 2 случаях место удаленной мышцы заполняли собственной костной стружкой, сверху натягивали и подшивали к кости надкостничный лоскут, в 3 случаях – половину мышечного лоскута, в остальных 5 случаях – натянутую поверхностную фасцию височной мышцы. Далее рану ушивали традиционным способом.

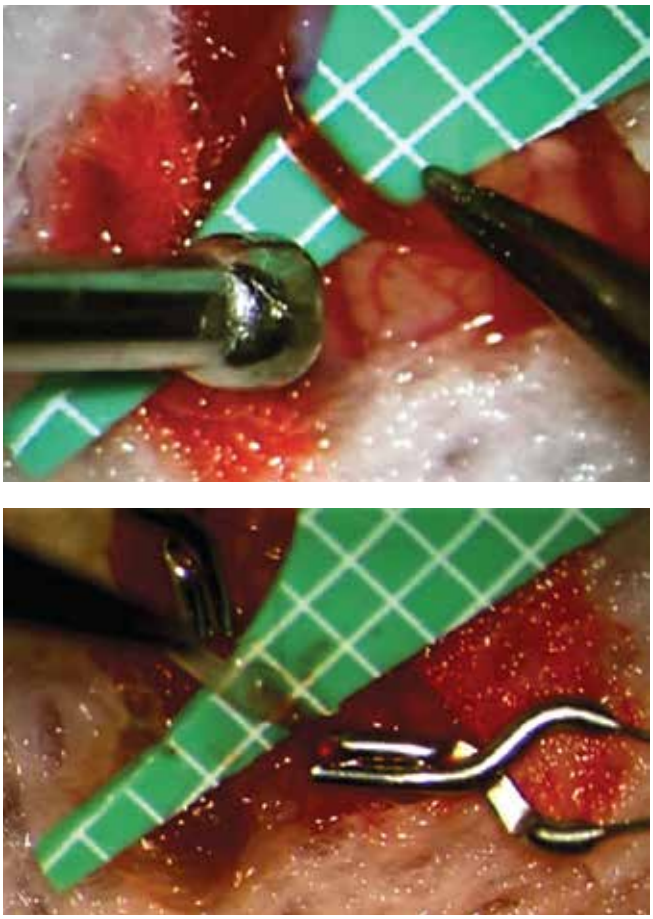

Рис. 6. *Интраоперационные фотографии. Этапы формирования экстракраниально-интракраниального микроанастомоза (подложка – миллиметровая сетка)*

Fig. 6. *Intraoperative photos. Stages of extracranial-intracranial microanastomosis formation (on millimetric grid)*

Послеоперационное ведение и сбор катамнеза. В день операции проводили контрольную МСКТ головного мозга и его сосудов. В послеоперационном периоде осуществляли мониторинг витальных функций, поддерживали нормоволемию, нормотермию, нормотензию. На 2-й день выполняли контрольную МРТ головного мозга и его сосудов. Первые отдаленные результаты хирургической реваскуляризации оценивали через 6 мес после операции по индексу Barthel и модифицированной шкале Rankin (у пациентов старше 3 лет), ангиографическим данным (степени реваскуляризации по Y. Matsushima [26]), результатам МРТ и исследования перфузии.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В послеоперационном периоде геморрагических, инфекционно-воспалительных осложнений не зарегистрировано; заживление ран было удовлетворительным. У 1 пациентки (№ 3 в таблице) через год после операции, выполненной на стороне ранее развившегося ишемического инсульта, произошла транзиторная

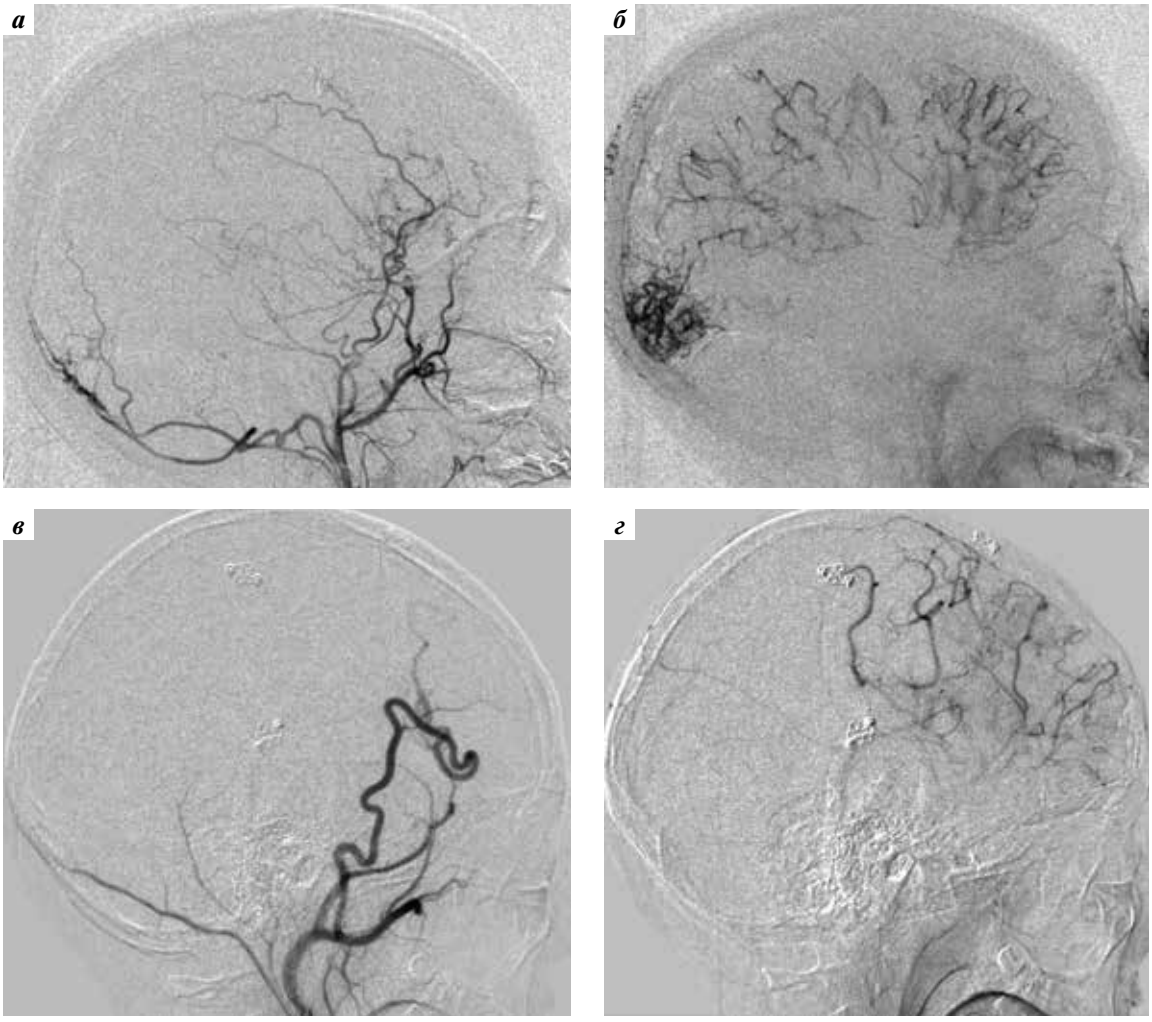

Рис. 7. *Контрольная ангиография бассейна наружной сонной артерии в раннюю (а, в) и позднюю (б, г) артериальную фазу: а, б – отличная реваскуляризация (степень А по Y. Matsushima); в, г – хорошая реваскуляризация (степень В по Y. Matsushima)*

Fig. 7. *Control angiography of the external carotid artery territory in the early (а, в) and late (б, г) arterial phases: а, б – excellent revascularization (Matsushima degree A); в, г – good revascularization (Matsushima degree B)*

ишемическая атака в бассейне СМА противоположной (неоперированной) гемисферы. В тот период в нашей клинике только внедрялась в практику перфузионная МСКТ головного мозга, поэтому после операции неверно были интерпретированы данные контрольного исследования, что не позволило выявить показания к новой операции.

В течение 6–18 мес после операции у 3 пациентов с очаговым неврологическим дефицитом (№ 1, 2, 5 в таблице) отмечен его регресс после операции: у ребенка младше 3 лет увеличилась сила конечностей на 2 балла, у 2 пациентов повысилась оценка по шкале Rankin на 1 балл и индекс Barthel на 25 и 15 баллов соответственно. У остальных 5 пациентов исходно неврологических проявлений не было, и за 6–36 мес изменений в неврологическом статусе не наблюдалось.

При ангиографии определена степень хирургической реваскуляризации каждой оперированной гемисферы головного мозга по Y. Matsushima [26]: отличная (степень А – более 2/3 бассейна СМА) – 5 гемисфер (рис. 7*а, б*), хорошая (степень В – от 1/3 до 2/3 бассейна СМА) – 2 гемисферы (рис. 7*в, г*), плохая (степень С – менее 1/3 бассейна СМА) – 2 гемисферы (рис. 8).

Плохая реваскуляризация (пациент № 2 в таблице) при унилатеральном синдроме мойамойа была связана с регрессом стеноза и восстановлением кровотока в бассейне ВСА через 6 мес на фоне приема статинов по поводу выявленной гиперхолестеринемии и дезагрегантной терапии, начатой за 5 дней до операции (рис. 9).

У 1 пациента (№ 1 в таблице) плохой результат был обусловлен выполнением непрямой реваскуляризации над зоной кистозно-глиозных изменений (рис. 10).

Тромбоза анастомозов в катамнестическом периоде не было. При МРТ в 1 случае выявили в бассейне правой СМА небольшой клинически незначимый очаг острой ишемии, развившейся в результате пересечения на этапе доступа ЭИКА между теменной ветвью ПВА

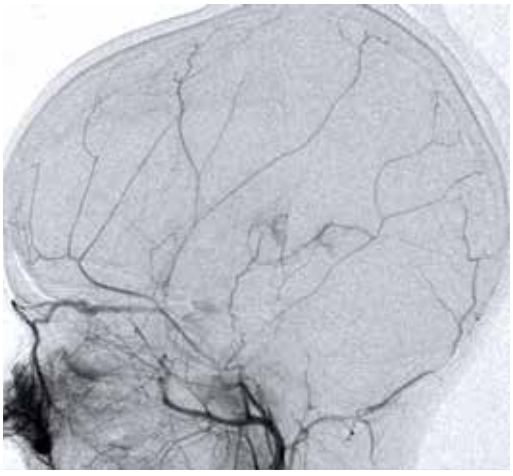

Рис. 8. *Контрольная ангиография бассейна наружной сонной артерии. Плохая реваскуляризация (степень С по Y. Matsushima)*

Fig. 8. *Control angiography of the external carotid artery territory. Poor revascularization (Matsushima degree C)*

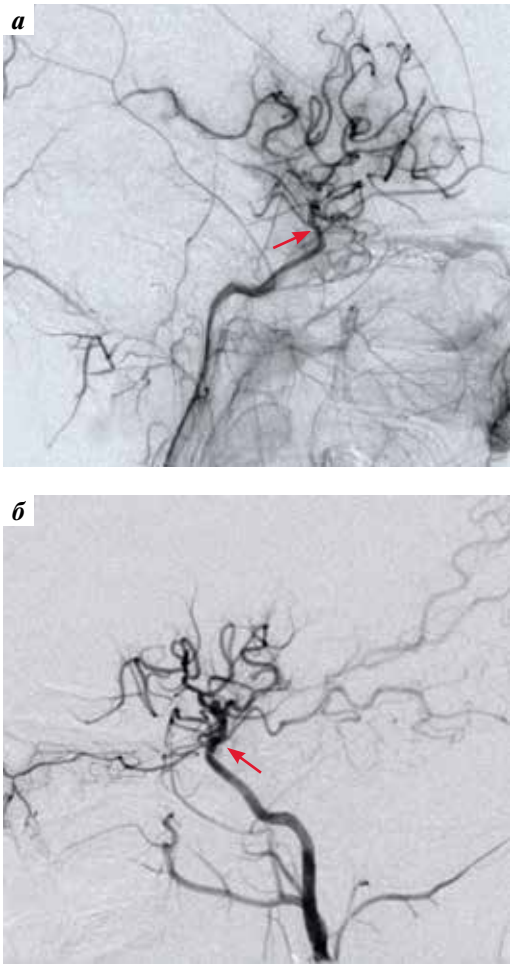

Рис. 9. *Ангиография пациента № 2. Бассейн внутренней сонной артерии: а – стеноз супраклиноидного отдела (указан стрелкой); б – реканализация артерии через 6 мес (указана стрелкой)*

Fig. 9. *Angiography of the patient No. 2. Internal carotid artery territory: a – stenosis of the supraclinoid part (arrow); б – recanalization of the artery after 6 months (arrow)*

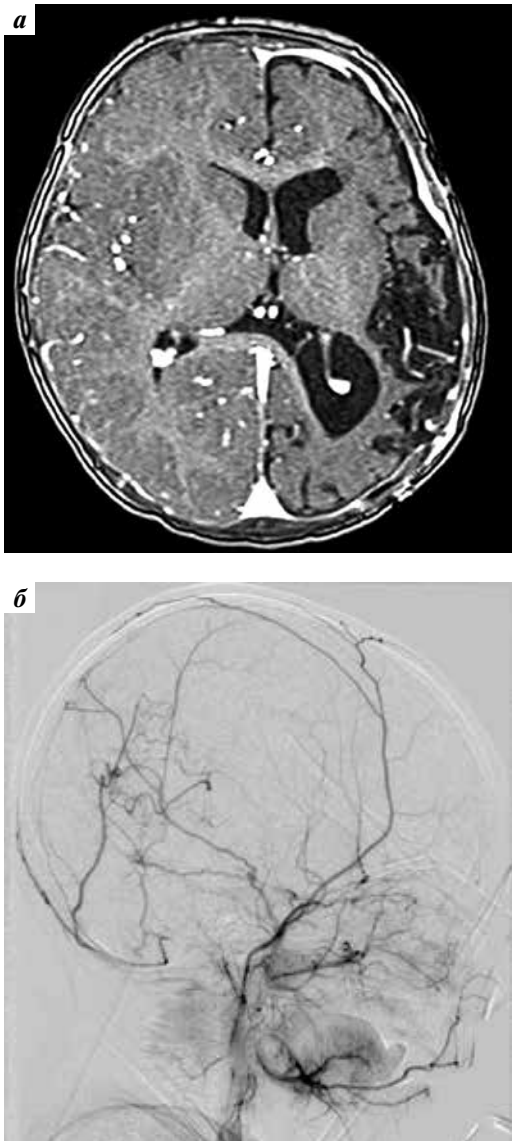

Рис. 10. *Контрольное обследование пациента № 1: а – магнитно-резонансная томография сосудов головного мозга через 6 мес после операции. Кистозно-глиозные изменения теменной, височной, затылочной долей; б – ангиография бассейна наружной сонной артерии. Плохая реваскуляризация (степень С по Y. Matsushima)*

Fig. 10. *Control examination of the patient No. 1: a – magnetic resonance imaging of the brain vasculature 6 months after surgery. Cystogliotic changes in the parietal, temporal, occipital lobes; б – angiography of the external carotid artery territory. Poor revascularization (Matsushima degree C)*

и СМА, ошибочно принятого до операции за анастомоз, исходящий из СОА (рис. 11).

У 7 пациентов (№ 2–8 в таблице) в катамнестическом периоде улучшились количественные показатели перфузии по данным МСКТ головного мозга.

Лучший косметический эффект после операции получен у пациентов с подшитой поверхностной фасцией височной мышцы (рис. 12). Косметический эффект также был хорошим у пациентов с подшитой половиной височной мышцы, но от разделения мышцы на 2 слоя решено было отказаться в связи

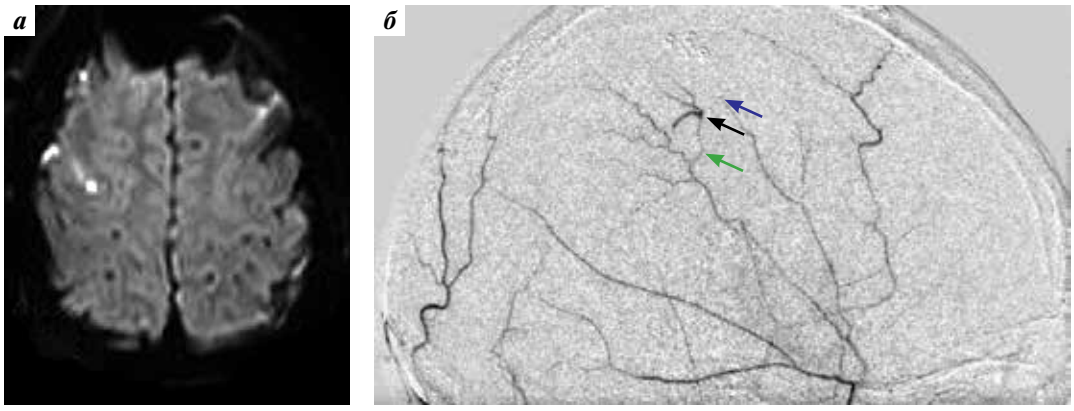

Рис. 11. *Очаг острой ишемии в теменной доле по данным послеоперационной магнитно-резонансной томографии (а), который до операции по данным ангиографии бассейна наружной сонной артерии (б) был принят за естественный анастомоз (черная стрелка) между теменной ветвью поверхностной височной артерии (зеленая стрелка), передней ветвью средней оболочечной артерии (синяя стрелка) и артериями бассейна средней мозговой артерии*

Fig. 11. *Acute ischemia lesion in the parietal lobe per magnetic resonance imaging (a) which prior to surgery per data of angiography of the external carotid artery territory (б) was considered to be a native anastomosis (black arrow) between the parietal branch of the superficial temporal artery (green arrow), posterior branch of the middle meningeal artery (blue arrow) and arteries of the middle cerebral artery territory*

Рис. 12. *Внешний вид пациента, у которого получен хороший косметический результат, через 6 мес после комбинированной реваскуляризации правой гемисферы*

Fig. 12. *Appearance of a patient for whom satisfactory cosmetic result was achieved, 6 months after combination revascularization of the right hemisphere*

с высоким риском повреждения ветвей глубокой височной артерии (ГВА). Метод заполнения места удаленной мышцы собственной костной стружкой с подшиванием сверху надкостничного лоскута не приносил хорошего косметического результата в связи с резорбцией костной стружки, а также в связи со слабостью надкостничной ткани.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время в мире накоплен большой опыт использования у детей методов прямой и непрямой реваскуляризации. По мере развития микрохирургической техники все большее предпочтение хирурги отдают прямой и комбинированной реваскуляризации как у детей [27], так и у взрослых [9]. Прямая реваскуляризация немедленно обеспечивает дополнительное кровоснабжение в клинически значимом полушарии [28, 29], тем самым позволяет снизить риск возникновения транзиторных ишемических атак и повторных ишемических инсультов в кратчайшие сроки после операции. Непрямая реваскуляризация, напротив, начинает оказывать положительный эффект на кровоснабжение головного мозга спустя некоторое время, от нескольких недель до нескольких месяцев, уже после формирования новых анастомозов. Для развития коллатеральных сосудов, по мнению некоторых исследователей, необходимо 3–4 мес [10, 29].

Успешными методами непрямой реваскуляризации представляются энцефалодуроартериосинангиоз [30, 31] и энцефаломиосинангиоз [32]. Последний по сути является адаптируемым и способствует постепенному образованию новых сосудов только там, где мозг нуждается в них, удовлетворяет потребности в кровоснабжении зоны ишемии, занимая большую площадь поверхности мозга [33]. Y. Zhao и соавт. сравнили результаты прямой и непрямой реваскуляризации, проведенной в наиболее однородных группах детей с ишемическим типом течения болезни мойа-мойа. Это исследование продемонстрировало улучшение неврологического статуса в обеих группах и статистически значимое преимущество прямой реваскуляризации в профилактике ишемического инсульта [34]. K. Kazumata и соавт. на основании ретроспективного

анализа данных большого числа пациентов, в том числе детей, и данных научной литературы сделали вывод о том, что лучшие ангиографические результаты дает прямая или комбинированная реваскуляризация по сравнению с непрямой [35]. Комбинированный метод объединяет преимущества прямой и непрямой реваскуляризации [36]. Например, непрямая реваскуляризация (энцефаломиосинангиоз) обеспечивает дополнительное кровоснабжение в случае малого размера ПВА и снижения функции прямого анастомоза у детей [37], прямой анастомоз способствует ангиогенезу при непрямой реваскуляризации в отдельных популяциях [38], их сочетание ведет к усилению васкуляризации [39].

Комбинированная реваскуляризация, возможно, оптимальный выбор для хирургического лечения заболевания мойамойа [40], в том числе по данным российских авторов [41]. Однако нейрохирургу необходимо искусно владеть техникой создания микроанастомозов, пройти достаточную хирургическую подготовку, поскольку артерии-реципиенты имеют маленький диаметр и, что особенно важно, очень тонкую и хрупкую стенку [40]. Мастерство сосудистого нейрохирурга наиболее важно при создания ЭИКМА у детей младше 3 лет [27]. Риск тромбоза микроанастомоза у них выше, чем у пациентов с атеросклеротической патологией [40]. Методика непрямой реваскуляризации в этом отношении технически проще [40, 42].

G.M. Bot и соавт. представили хорошие результаты комбинированной реваскуляризации у небольшого числа детей в возрасте 3 лет и младше со средним диаметром артерии-донора 0,92 мм, артерии-реципиента 0,67 мм. Они формировали ЭИКМА в случаях, когда требовалась немедленная реваскуляризация [27]. Возраст 3 года рассматривается как пограничный не только из-за маленького диаметра реципиента и сложности выполнения прямой реваскуляризации, но и ввиду высокого риска развития осложнений. Так, E. Smith и соавт. выделили наиболее значимые факторы риска периоперационного инсульта у детей: возраст <3 лет, синдром мойамойа, 1-й месяц с момента возникновения инсульта [31]. Среди наших пациентов было 2 ребенка в возрасте 3 лет и младше. У 1 из них удалось успешно выполнить комбинированную реваскуляризацию в клинически значимом полушарии, при этом размеры донора и реципиента составили 0,7 и 0,6 мм соответственно. У 2-го пациента в возрасте 6 мес диаметр артерии-донора составил 0,6 мм, реципиента – 0,2 мм, в связи с чем от создания прямого анастомоза было решено воздержаться, выполнена непрямая реваскуляризация (ЭДАМС).

По данным ангиографии после формирования ЭДАМС у 2 пациентов увеличился диаметр артерий-доноров. У 1-го пациента (№ 1 в таблице) через 6 мес констатировано увеличение диаметра ПВА и СОА. Не удалось получить хороший ангиографический результат (как и добиться увеличения диаметра ГВА) в связи с тем, что задняя часть височной мышцы была тонкой и не имела хорошего кровоснабжения. У пациента была выполнена краниотомия в теменно-затылочной области с учетом необходимости сохранения ЭИКА, височная мышца была уложена в области кистозно-глиозных изменений. Данная причина низкой степени реваскуляризации также описана в научной литературе [32]. Во 2-м случае непрямой реваскуляризации клинически значимого полушария (пациент № 3) увеличились в диаметре все артерии-доноры – ПВА, ГВА и СОА. Результат хирургической реваскуляризации был хорошим (степень B по Y. Matsushima).

После выполнения комбинированной реваскуляризации в 7 гемисферах, по данным ангиографии, также было отмечено увеличение диаметра ПВА, ГВА и СОА, причем в 5 гемисферах наблюдалась отличная реваскуляризация, а в 2 – хорошая.

Частые случаи ангиопатии в сочетании с системными заболеваниями требуют мультидисциплинарного подхода, что очень важно для определения тактики лечения и снижения рисков, связанных с хирургическим вмешательством [31]. Плохая реваскуляризация (степень C по Y. Matsushima) у 1 из наших пациентов с унилатеральным синдромом мойамойа была обусловлена регрессом стеноза и восстановлением кровотока в бассейне ВСА через 6 мес на фоне приема статинов по поводу гиперхолестеринемии и дезагрегантной терапии. Можно предположить, что, обладая дополнительной информацией об этиологии заболевания и соответствующих способах лечения, как в данном клиническом случае, мы могли бы отказаться от оперативного вмешательства в пользу консервативной терапии и наблюдения, но лишь в случае уверенности в отсутствии риска повторного ишемического инсульта в будущем. Верификация диагноза влияет на прогноз заболевания, а также на выбор метода лечения. В отдельных случаях более точный анализ данных МРТ высокого разрешения позволяет дифференцировать болезнь и синдром мойамойа [43]. Необходимость выработки единых диагностических и лечебных рекомендаций требует проведения дальнейших исследований для выявления биомаркеров заболевания и предикторов прогрессирующих артериопатий у детей [44].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дифференцированный подход к хирургическому лечению пациентов детского возраста с ангиопатией мойамойа имеет высокий потенциал в профилактике ишемического инсульта и приносит хорошие клинические, ангиографические и косметические результаты. При подходящих диаметрах артерий предпочтительна комбинированная реваскуляризация, так как она более эффективна по сравнению с непрямой, особенно

в клинически значимом полушарии. Комбинированную реваскуляризацию должны проводить нейрохирурги, хорошо владеющие техникой наложения микроанастомозов и имеющие специальную хирургическую подготовку. Для дифференциальной диагностики синдрома мойамойа, которая позволит выбрать тактику лечения и, возможно, воздержаться от оперативного вмешательства, необходимы высокоточные визуализационные методы, мультидисциплинарный подход, а также дальнейшие исследования для выявления биомаркеров заболевания и предикторов прогрессирующих артериопатий у детей.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Шнайдер Н.А. Когнитивные нарушения у пациентов молодого возраста после операций в условиях общей анестезии (распространенность, диагностика, лечения и профилактика). Сибирское медицинское обозрение 2006;(4):107–8. [Shnayder N.A. Cognitive dysfunction in young patients after operation under general anesthesia (prevalence, diagnostics, therapy and prevention). Sibirskoe meditsinskoe obozrenie = Siberian Medical Review 2006;(4):107–8. (In Russ.)].
2. Suzuki J. Moyamoya disease. Sendai: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1986. P. 189.
3. Yonekawa Y. Outer diameter measured by 3D CISS MRI and quasi-Moyamoya disease. Acta Neurochir (Wien) 2012;154(12):2159–61. DOI: 10.1007/s00701-012-1495-x.
4. Baba T., Houkin K., Kuroda S. Novel epidemiological features of moyamoya disease. J Neural Neurosurg Psychiatry 2008;79(8):900–4. DOI: 10.1136/jnnp.2007.130666.
5. Smith E.R., Scott R.M. Spontaneous occlusion of the circle of Willis in children: pediatric moyamoya summary with proposed evidence-based practice guidelines. A review. J Neurosurg Pediatr 2012;9(4):353–60. DOI: 10.3171/2011.12.PEDS1172.
6. Максимова М.Ю., Загребина И.А., Кротенкова М.В., Давыденко И.С. Болезнь мойамойа. Атмосфера. Нервные болезни 2010;(1):21–4. [Maximova M.Y., Zagrebina I.A., Krotenkova M.V., Davidenko I.S. Moyamoya disease. Atmosfera. Nervnye bolezni = Atmosphere. Nervous Disease 2010;(1):21–4. (In Russ.)].
7. Wakai K., Tamakoshi A., Ikezaki K. Epidemiological features of moyamoya disease in Japan: findings from a nationwide survey. Clin Neurol Neurosurg 1997;99 Suppl 2:S1–5. DOI: 10.1016/s0303-8467(97)00031-0.
8. Хирургия аневризм головного мозга. Под ред. В.В. Крылова. М., 2011. Т. 2. С. 492–493. [Surgery of cerebral aneurysms. Ed. by V.V. Krylov. Moscow, 2011. Vol. 2. Pp. 492–493. (In Russ.)].
9. Scott M.R., Smith E.R. Moyamoya disease and moyamoya syndrome. N Engl J Med 2009;360(12):1226–37. DOI: 10.1056/NEJMra0804622.
10. Houkin K., Kamiyama H., Takahashi A. et al. Combined revascularization surgery for childhood moyamoya disease: STA-MCA and encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis. Childs Nerv Syst 1997;13(1):24–9. DOI: 10.1007/s003810050034.
11. Wang L., Qian C., Yu X. et al. Indirect bypass surgery may be more beneficial for symptomatic patients with moyamoya disease at early Suzuki stage. World Neurosurg 2016;95:304–8. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.07.087.
12. Arias E.J., Derdeyn C.P., Dacey RG. Jr, Zipfel G.J. Advances and surgical considerations in the treatment of moyamoya disease. Neurosurgery 2014;74 Suppl 1:S116–25. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000229.
13. Suzuki J., Takaku A. Cerebrovascular "moyamoya" disease. Disease showing abnormal net-like vessels in base of brain. Arch Neurol 1969;20(3):288–99.
14. Панунцев В.С., Христофорова М.И. Особенности клиники, диагностики, лечения больных с болезнью и синдромом Мойя-Мойя. Нейрохирургия 2001;(3):12–9. [Panuncev V.S., Hristoforova M.I. Features of clinic, diagnostics and treatment of patients with Moya-Moya disease and syndrome. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2001;(3):12–9. (In Russ.)]. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000229.
15. Хачатрян В.А., Литвиненко П.В. Непрямая реваскуляризация головного мозга у детей с симптоматической эпилепсией. Нейрохирургия и неврология детского возраста 2016;(4):47–58. [Khachatryan W.A., Litvinenko P.V. Indirect revascularization surgery in children with symptomatic epilepsy. Neiyrokhirurgiya i nevrologiya detskogo vozrasta = Pediatric Neurosurgery and Neurology 2016;(4):47–58. (In Russ.)].
16. Choi J.I., Ha S.K., Lim D.J., Kim S.D. Differential clinical outcomes following encephaloduroarteriosynangiosis in pediatric moyamoya disease presenting with epilepsy or ischemia. Childs Nerv Syst 2015;31(5):713–20. DOI: 10.1007/s00381-015-2666-x.
17. Takeuchi S., Takasato Y. Ischemic stroke following intracranial hemorrhage from moyamoya disease. Acta Neurochir (Wien) 2011;153(6):1271. DOI: 10.1007/s00701-011-0984-7.
18. Mikami T., Ochi S., Houkin K. et al. Predictive factors for epilepsy in moyamoya disease. J Stroke Cerebrovasc Dis 2015;24(1):17–23. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2014.07.050.
19. Houkin K., Mikami T. Moyamoya disease and moyamoya syndrome. In: Moyamoya disease: diagnosis and treatment. Ed. by J.E. Wanebo, N. Khan, J.M. Zabramski, R.F. Spetzler. New York, Stuttgart: Thieme, 2014. Pp. 3–9.
20. Chiu D., Shedden P., Bratina P., Grotta J.C. Clinical features of moyamoya disease in the United States. Stroke 1998;29(7):1347–51. DOI: 10.1161/01.STR.29.7.1347.
21. Shirane R., Yoshida Y., Takahashi T., Yoshimoto T. Assessment of encephalo-galeo-myo-synangiosis with dural pedicle insertion in childhood moyamoya disease: characteristics of cerebral blood flow and oxygen metabolism. Clin Neurol Neurosurg 1997;99 Suppl 2:S79–85. DOI: 10.1016/s0303-8467(97)00062-0.
22. Lee S., Rivkin M.J., Kirton A. et al. Moyamoya disease in children: results from the International Pediatric Stroke Study. J Child Neurol 2017;32(11):924–9. DOI: 10.1177/0883073817718730.
23. Matsushima Y., Aoyagi M., Masaoka H. et al. Mental outcome following encephaloduroarteriosynangiosis in children with moyamoya disease with the onset earlier than 5 years of age. Childs Nerv Syst 1990;6(8):440–3. DOI: 10.1007/BF00302089.
24. Tanabe N., Yamamoto S., Kashiwazaki D. et al. Indocyanine green visualization of middle meningeal artery before craniotomy during surgical revascularization for moyamoya disease. Acta Neurochir (Wien) 2017;159(3):567–75. DOI: 10.1007/s00701-016-3060-5.
25. Xu B. Surgical techniques individualized extracranial-intracranial revascularization in the treatment of late-stage Moyamoya disease. In: Surgical techniques in moyamoya vasculopathy: tricks of the trade. Ed. by P. Vajkoczy. Stuttgart,

New York, Delhi, Rio de Janeiro: Thieme, 2020. Pp. 136–149.
26. Matsushima T., Fukui M., Kitamura K. et al. Encephalo-duro-arterio-synangiosis in children with moyamoya disease. Acta Neurochir (Wien) 1990;104(3–4):96–102. DOI: 10.1007/BF01842826.
27. Bot G.M., Burkhardt J., Gupta N., Lawton M.T. Superficial temporal artery-to-middle cerebral artery bypass in combination with indirect revascularization in moyamoya patients ≤3 years of age. J Neurosurg Pediatr 2019;23(2):198–203. DOI: 10.3171/2018.9.peds18224.
28. Czabanka M., Pena-Tapia P., Schubert G.A. et al. Characterization of cortical microvascularization in adult moyamoya disease. Stroke 2008;39(6): 1703–9. DOI: 10.1161/STROKEAHA.107.501759.
29. Veeravagu A., Guzman R., Patil C.G. et al. Moyamoya disease in pediatric patients: outcomes of neurosurgical interventions. Neurosurg Focus 2008;24(2):E16. DOI: 10.3171/FOC/2008/24/2/E16.
30. Gadgil N., Lam S., Pyarali M. et al. Indirect revascularization with the dural inversion technique for pediatric moyamoya disease: 20-year experience. J Neurosurg Pediatr 2018;22:541–9. DOI: 10.3171/2018.5.PEDS18163.
31. Smith E. Encephalo-duro-arterio-synangiosis: Pediatric. In: Surgical techniques in moyamoya vasculopathy: tricks of the trade. Ed. by P. Vajkoczy. Stuttgart, New York, Delhi, Rio de Janeiro: Thieme, 2020. Pp. 32–39.
32. Hecht N., Vajkoczy P. Encephalo-myo-synangiosis. In: Surgical techniques in moyamoya vasculopathy: tricks of the trade. Ed. by P. Vajkoczy. Stuttgart, New York, Delhi, Rio de Janeiro: Thieme, 2020. Pp. 25-31.
33. Imai H., Miyawaki S., Ono H. et al. The importance of encephalo-myo-synangiosis in surgical revascularization strategies for moyamoya disease in children and adults. World Neurosurg 2015;83(5):691–9. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.01.016.
34. Zhao Y., Lu J., Yu S. et al. Comparison of long-term effect between direct and indirect bypass for pediatric ischemic-type moyamoya disease: a propensity score-matched study. Front Neurol 2019;10:795. DOI: 10.3389/fneur.2019.00795.
35. Kazumata K., Ito M., Tokairin K., Ito Y. et al. The frequency of postoperative stroke in moyamoya disease following combined revascularization: a single-university series and systematic review. J Neurosurg 2014;121(2):432–40.
36. Kuroda S., Houkin K., Ishikawa T. et al. Novel bypass surgery for moyamoya disease using pericranial flap: its impacts on cerebral hemodynamics and long-term outcome. Neurosurgery 2010;66(6):1093–101. DOI: 10.1227/01.NEU.0000369606.00861.91.
37. Czabanka M., Vajkoczy P. Combined STA–MCA bypass and encephalo-myo-synangiosis. In: Surgical techniques in moyamoya vasculopathy: tricks of the trade. Ed. by P. Vajkoczy. Stuttgart, New York, Delhi, Rio de Janeiro: Thieme, 2020. Pp. 94–99.
38. Uchino H., Kim J., Fujima N. et al. Synergistic interactions between direct and indirect bypasses in combined procedures: the significance of indirect bypasses in moyamoya disease. Neurosurgery 2017;80(2):201–9. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001201.
39. Amin-Hanjani S., Singh A., Rifai H. et al. Combined direct and indirect bypass for moyamoya: quantitative assessment of direct bypass flow over time. Neurosurgery 2013;73(6):962–7. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000139.
40. Kuroda S. STA–MCA anastomosis and EDMAPS. In: Surgical techniques in moyamoya vasculopathy: tricks of the trade. Ed. by P. Vajkoczy. Stuttgart, New York, Delhi, Rio de Janeiro: Thieme, 2020. Pp. 116–125.
41. Шевченко Е.В., Усачев Д.Ю., Белоусова О.Б. и др. Детский инсульт. Реваскуляризирующие и реконструктивные операции у детей с цереброваскулярной патологией. М.: Издательские решения, 2018. 141 с. [Shevchenko E.V., Usachev D.Yu., Belousova O.B. et al. Pediatric stroke. Revascularization and reconstructive operations in children with cerebro-vascular pathology. Moscow: Izdatelskie resheniya, 2018. 141 p.
42. Amin-Hanjani S. STA–MCA bypass and encephalo-duro-arterio-synangiosis. In: Surgical techniques in moyamoya vasculopathy: tricks of the trade. Ed. by P. Vajkoczy. Stuttgart, New York, Delhi, Rio de Janeiro: Thieme, 2020. Pp. 126–135.
43. Yu L., He H., Zhao J. et al. More precise imaging analysis and diagnosis of moyamoya disease and moyamoya syndrome using high-resolution magnetic resonance imaging. World Neurosurg 2016;96:252–260. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.08.083.
44. Tolani A.T., Yeom K.W., Elbers J. et al. Focal cerebral arteriopathy: the face with many names. Pediatr Neurol 2015;53(3):247–52. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2015.05.008.

Вклад авторов
К.С. Овсянников: разработка дизайна исследования, проведение 9 операций, обзор публикаций по теме статьи, получение данных для анализа, анализ полученных данных, написание текста статьи;
А.В. Дубовой: проведение 3 операций, научное консультирование;
Д.А. Рзаев: научное консультирование.
Authors' contributions
K.S. Ovsiannikov: development of research design, performing 9 operations, reviewing of publications on the article's theme, obtaining data for analysis, analysis of the obtained data, article writing;
A.V. Dubovoy: performing 3 operations, scientific advice;
D.A. Rzaev: scientific advice.

ORCID авторов / ORCID of authors
К.С. Овсянников / K.S. Ovsiannikov: https://orcid.org/0000-0002-4062-4593
А.В. Дубовой / A.V. Dubovoy: https://orcid.org/0000-0002-0927-2841
Д.А. Рзаев / D.A. Rzaev: https://orcid.org/0000-0002-1209-8960

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
Financing. The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики
Протокол исследования одобрен этическим комитетом ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России (Новосибирск) (протокол № 4 от 07.04.2020).
Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.
Compliance with patient rights and principles of bioethics
The study protocol was approved by the biomedical ethics committee of the Federal Neurosurgical Center (Novosibirsk), Ministry of Health of Russia (protocol No. 4 from 07.04.2020).
All patients gave written informed consent to participate in the study.

Статья поступила: 20.01.2020. **Принята к публикации:** 20.03.2020.
Article submitted: 20.01.2020. **Accepted for publication:** 20.03.2020.