РЕВАСКУЛЯРИЗАЦИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПО МЕТОДИКЕ BONNET

В.А. Лукьянчиков¹, М.С. Староверов²

¹ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы»; Россия, 129090 Москва, Большая Сухаревская пл., 3;

²международная школа «Медицина будущего» Сеченовского университета;
Россия, 119048 Москва, Трубецкая улица, 8, стр. 2

Контакты: Максим Сергеевич Староверов staroverov1995@gmail.com

Статья посвящена обсуждению методики шунтирования по типу bonnet. Такое шунтирование выполняют при невозможности использования ипсилатеральных артерий в качестве донора для реваскуляризации головного мозга. Проведен анализ научной литературы по проблеме и выделены 3 основные техники осуществления данного вмешательства. Определены показания к выполнению шунтирования по типу bonnet, а также указаны недостатки данной методики. Описаны альтернативные способы шунтирования и технические особенности защиты шунта. Шунтирование сосудов головного мозга по типу bonnet считается трудоемкой операцией и выполняется редко. Однако в ряде случаев это наиболее эффективный способ лечения, позволяющий избежать серьезных ишемических нарушений.

Ключевые слова: обходной анастомоз по типу bonnet, шунтирование, реваскуляризация мозга, окклюзия общей сонной артерии

Для цитирования: Лукьянчиков В.А., Староверов М.С. Реваскуляризация головного мозга по методике bonnet. Нейрохирургия 2019;21(2):85–93.

DOI: 10.17650/1683-3295-2019-21-2-85-93

“Bonnet” bypass in brain revascularisation

V.A. Lukyanchikov¹, M.S. Staroverov²

¹N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, Moscow Healthcare Department;
3 Bol'shaya Sukharevskaya Sq., Moscow 129090, Russia;

²International School “Medicine of the Future”, Sechenov University; Bld. 2, 8 Trubetskaya St., Moscow 119048, Russia

The article describes the “bonnet” bypass, the type of extracranial-intracranial bypass. This technique is performed when ipsilateral arteries can't be used as a donor when cerebral revascularization is required. The literature was analyzed and three main techniques of “bonnet” have been defined. The indications for performing “bonnet” bypass are determined, and the disadvantages are indicated. Alternative methods of revascularization are presented and technical details of graft protection are described. The “bonnet” bypass is a rare and laborious technique of cerebral revascularisation. However, it is an alternative and effective method of treatment to prevent serious ischemic disorders.

Key words: “bonnet” bypass, anastomosis, cerebral revascularization, occlusion of the common carotid artery

For citation: Lukyanchikov V.A., Staroverov M.S. “Bonnet” bypass in brain revascularisation. Neyrokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery 2019;21(2):85–93.

ВВЕДЕНИЕ

Хирургическую реваскуляризацию головного мозга проводят при лечении различных нейрохирургических патологий: болезни мойамойа, атеросклеротических поражений внутренней сонной артерии (ВСА), сложных аневризм, базальных опухолей головного мозга. Такие вмешательства направлены на сохранение либо усиление церебрального кровотока [1–6]. Впер-

вые шунтирование артерий головного мозга выполнил М.Г. Ясаргил в 1967 г. у пациента с окклюзией средней мозговой артерии [7]. Существуют методики прямой и непрямой реваскуляризации головного мозга. На сегодняшний день применяют множество методик шунтирования: низко- и высокопоточное шунтирование с использованием различных артерий в качестве доноров (поверхностной височной артерии (ПВА), затылочной

артерии, средней менингеальной артерии, верхнечелюстной артерии, а также ВСА и наружной сонной артерии); а также анастомозы *in situ* (А3-А3, М3-М2/3 и др.) [8–15]. Для осуществления высокопоточного шунтирования артерий головного мозга в качестве ауто-трансплантата принято использовать лучевую артерию (ЛА) и большую подкожную вену ноги [16–20].

Деление шунтирующих операций на низко- и высокопоточные основано на пропускной способности шунта: объемная скорость кровотока при низкопоточном шунтировании варьирует от 20 до 50 мл/мин, при высокопоточном – от 100 до 200 мл/мин; диапазон от 50 до 100 мл/мин принято считать промежуточным [1, 2].

Предметом рассмотрения данной статьи стала методика шунтирования по типу *bonnet*.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Шунтирование по типу *bonnet* (франц. «чепчик, шапка» [21]) – методика экстракраниально-интракраниального шунтирования, применяемая при окклюзирующих поражениях ВСА и ее ветвей, при которых невозможно восстановление кровотока с использованием ипсилатеральной артерии-донора. Суть данной методики заключается в создании анастомоза между контралатеральной ПВА и ипсилатеральной интракраниальной артерией с помощью шунта-ауто-трансплантата.

Если в ПВА имеется ретроградный кровоток, он позволяет использовать последнюю в качестве донора для шунтирования (*naturally (spontaneously) formed “bonnet” superficial temporal artery*) [22–24].

Hemi-bonnet – разновидность методики *bonnet*, при которой выполняют шунтирование между ПВА и перикаллезной артерией с использованием ауто-трансплантата [25].

ПЕРВЫЙ ОПЫТ

Впервые шунтирование по типу *bonnet* выполнили R. F. Spetzler и соавт. в 1980 г. у пациента 55 лет с аневризмой общей сонной артерии (ОСА). Через 3 дня после резекции аневризмы с протезированием сонной артерии у пациента образовался глоточный свищ. Во избежание инфицирования графта из политетрафторэтилена требовалось иссечь его. Однако при пробном пережатии сонной артерии у пациента развивалась афазия, регрессировавшая при восстановлении кровотока, вследствие чего R. F. Spetzler и соавт. решили провести шунтирование ОСА. Учитывая невозможность использования ветвей ипсилатеральной ОСА, они создали шунт между ветвью средней мозговой артерии (СМА) и контралатеральной ПВА с помощью графта из *v. saphena*. Собранный в течение 8 мес катмез подтвердил состоятельность шунта и его важное функциональное значение: при пальпаторном пережатии шунта у пациента наблюдалась афазия [26].

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ОККЛЮЗИОННО-СТЕНОТИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЯХ АРТЕРИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА

E. Garrido и M. H. Freed в 1983 г. описали пациента с повторными транзиторными ишемическими атаками (ТИА) в бассейне правой ВСА, каротидной эндартерэктомией слева в анамнезе. При ангиографии выявлен стеноз брахиоцефального ствола на 90 %, а также отсутствие заполнения правой ОСА. Левая ОСА была проходима на всем протяжении. У пациента создали шунт между ветвью ипсилатеральной СМА и контралатеральной ПВА с помощью венозного трансплантата. В результате шунтирования ТИА прекратились. По данным послеоперационной церебральной ангиографии (ЦАГ) подтверждено заполнение венозного шунта. Авторы также представили катмез пациента с острой субдуральной гематомой в результате черепно-мозговой травмы, приведшей к отрыву венозного трансплантата [27].

J. I. Ausman и соавт. в 1985 г. опубликовали клиническое наблюдение пациента с преходящими нарушениями мозгового кровообращения и жалобами на дисфагию, слабость и неловкость в правой руке. Симптомы были вызваны окклюзией левой ОСА 2-го типа по классификации T. S. Riles и соавт. По данным ЦАГ было обнаружено коллатеральное ретроградное заполнение левой ПВА из правой ПВА. J. I. Ausman и соавт. решили наложить анастомоз между дистальным сегментом теменной ветви ПВА и сегментом М4 СМА. При контрольной ЦАГ подтверждено заполнение корковой ветви СМА через шунт, неврологическая симптоматика регрессировала. В послеоперационном периоде у пациента полностью прекратились эпизоды ТИА [28].

D. Zumofen и соавт. в 2008 г. выполнили шунтирование по типу *bonnet* у 2 пациентов. У обоих пациентов было мультифокальное поражение брахиоцефальных артерий, а также в анамнезе вмешательства по поводу недостаточности коронарного кровообращения. Использовать ипсилатеральные артерии для создания классического экстракраниально-интракраниального микроанастомоза было невозможно вследствие их окклюзии (рис. 1). В обоих случаях D. Zumofen и соавт. успешно провели шунтирование по типу *bonnet* с применением ауто-трансплантатов (большой подкожной вены ноги, ЛА), что привело к регрессу неврологических симптомов [21].

Y. Sanada и соавт. в 2010 г. выполнили шунтирование по типу *bonnet* у 2 пациенток с ТИА и ишемическим инсультом. По данным ЦАГ у них выявлена окклюзия ОСА, а по результатам однофотонной эмиссионной компьютерной томографии – грубая гипоперфузия. У обеих пациенток проведено шунтирование по типу *bonnet* в модификации с наложением двойного анастомоза (рис. 2). После выполнения биаурикулярного разреза со стороны контралатеральной ОСА осуществили резекцию ПВА на 1 см проксимальнее ее

Рис. 1. Схема шунтирования по типу bonnet у пациента с окклюзией левой общей сонной артерии, стенозом правых наружной и внутренней сонных артерий, обеих подключичных артерий и левой позвоночной артерии [21]

Fig. 1. Diagram of "bonnet" bypass in a patient with left common carotid artery occlusion, stenosis of the right external carotid artery, internal carotid artery, both clavicular arteries and left vertebral artery [21]

разделения на лобную и теменную ветви с последующей мобилизацией ветвей ПВА. Далее создали анастомоз между контралатеральным стволом ПВА и проксимальным концом шунта (ЛА). ЛА уложили в сформированный в толще лобной кости канал, затем сформировали анастомоз между дистальным концом шунта и дистальной частью ранее мобилизованной ПВА в области ее бифуркации. После ротации стола на 30° в противоположную сторону провели лобно-височную краниотомию и наложили анастомозы между лобной и теменной ветвями мобилизованной ПВА и сегментами М2 и М4 СМА. Пройодимость анастомозов подтверждена при интраоперационной доплерографии. Авторы сообщили о регрессе неврологической симптоматики в обоих наблюдениях [29].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ NATURALLY (SPONTANEOUSLY) FORMED "BONNET" SUPERFICIAL TEMPORAL ARTERY

К. Aso и соавт. в 2010 г. использовали ПВА с ретроградным кровотоком для шунтирования по типу bonnet у мужчины 72 лет с ТИА, проявляющимися преходящей моторной афазией. При ЦАГ выявлены

Шунт из лучевой
артерии/Radial
artery graft

Рис. 2. Шунтирование по типу bonnet с формированием двойного анастомоза с контралатеральной поверхностной височной артерией (ПВА) с использованием шунта из лучевой артерии [29]

Fig. 2. "Bonnet" bypass with a double anastomosis from the contralateral superficial temporal artery (STA) using radial artery graft [29]

окклюзия левой ОСА, которая была связана коллатеральными с ветвями левой позвоночной артерии через анастомозы артериального круга большого мозга; окклюзия правой ВСА; заполнение обеих СМА и передних мозговых артерий (ПМА) через задние соединительные артерии из правой позвоночной артерии, а также ретроградный кровоток в левой ПВА через коллатерали из правой ПВА. По результатам позитронной и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии выявлено, что оба полушария находились в состоянии гипоперфузии. Ввиду этого К. Aso и соавт. решили провести шунтирующую операцию в бассейне симптомного полушария и создать анастомоз между ветвью левой ПВА и корковой ветвью левой СМА. В ходе операции наличие ретроградного кровотока по ипсилатеральной ПВА было подтверждено при флоуметрии и измерении артериального давления путем катетеризации ветви левой ПВА. Уровень артериального давления в ПВА при последовательном пережатии проксимального и дистального сегментов составил соответственно 91 и 35 % от системного. При контрольной компьютерной ангиографии отмечено усиление коллатерального кровотока в ПВА и СМА. По данным однофотонной эмиссионной компьютерной томографии в послеоперационном периоде зарегистрировано увеличение средней скорости кровотока [22].

N. Otani и соавт. в 2014 г. также выполнили шунтирующую операцию по типу bonnet, задействуя ПВА с ретроградным кровотоком. У пациентки 76 лет после удаления опухоли щитовидной железы вместе с участком левой ОСА сначала была проведена реконструктивная операция: создан анастомоз между левой ОСА и правой наружной сонной артерией посредством шунта из ЛА. Однако через 2 нед. развился неврологический дефицит. При компьютерной томографии была

выявлена окклюзия шунта; при цифровой субтракционной ангиографии в послеоперационном периоде обнаружен ретроградный кровоток по левой ПВА из правой ПВА. N. Otani и соавт. решили осуществить шунтирование по типу bonnet с использованием ПВА. Инструментальные исследования в послеоперационном периоде подтвердили нормальное функционирование анастомоза. Отмечен регресс неврологического дефицита [24].

Наличие ретроградного кровотока по ПВА можно определять не только с помощью ЦАГ, интраоперационной флоуметрии, измерения давления в интересующих артериях, но и по результатам теста с поэтапным клипированием. Данную методику предложили A. Nagm и соавт. в 2016 г. Они интраоперационно клипировали ПВА в 4 местах: ствол ПВА, лобную ветвь, проксимальную и дистальную части теменной ветви. Во время инфракрасной ангиографии клипсы поочередно снимали. При удалении клипсы со ствола ПВА ее заполнения не происходило, однако при удалении клипсы с проксимальной и дистальной частями теменной ветви контрастное вещество проникало в ПВА [23].

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ВЫКЛЮЧЕНИИ СЛОЖНЫХ ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ АНЕВРИЗМ

Методику bonnet можно рассматривать как один из способов восстановления кровотока по артериям при лечении сложных церебральных аневризм сосудов головного мозга. Так, K. Kim и соавт. применили данную методику ревазуляризации при билатеральном треппинге аневризмы передней соединительной артерии. В результате пробного выключения данной аневризмы антеградный кровоток по обеим ПМА дистальнее места клипирования полностью отсутствовал. Авторы решили создать анастомоз *in situ* по типу «бок в бок» между сегментами А3 левой и правой ПМА, после чего соединили ПВА с сегментом А3 одной из ПМА посредством шунта из ЛА. После ревазуляризации аневризма была выключена из кровотока и иссечена. Пациент, поступивший с нарушением зрения вследствие компрессии хиазмы аневризмой, был выписан без неврологического дефицита [30]. В дальнейшем данная методика шунтирования получила название hemi-bonnet.

K. Wada и соавт. выбрали методику hemi-bonnet для лечения 3 пациентов со сложными интракраниальными аневризмами. Перед осуществлением треппинга аневризм, во избежание ишемических осложнений, накладывали анастомоз между посткоммуникантными сегментами ПМА и ПВА посредством шунта из ЛА [25].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЛЕЧЕНИИ БАЗАЛЬНЫХ ОПУХОЛЕЙ

Шунтирование по типу bonnet может быть проведено для предотвращения ишемических осложнений, вызываемых выключением ВСА из кровотока,

при удалении опухолей основания черепа. Так, в 2005 г. V.R. Deshmukh и соавт. описали свой опыт лечения 2 пациентов с рецидивами карцином основания черепа, требующими резекции сонных артерий. После резекции опухоли у обоих пациентов было выполнено шунтирование по типу bonnet с использованием ЛА в качестве шунта. По данным контрольных ЦАГ оба анастомоза были проходимы, неврологический дефицит отсутствовал [31].

ПОСЛЕОПЕРАЦИОННАЯ ЗАЩИТА ШУНТА ОТ ПОВРЕЖДЕНИЙ

S. Toyota и соавт. в 2010 г. опубликовали статью, посвященную защите от механических повреждений шунта по типу bonnet. Они предложили укрывать костный канал 2 пластинами, фиксированными к черепу винтами. Во избежание отрыва шунта в результате травмы рекомендовано фиксировать адвентицию шунта к надкостнице или к небольшим отверстиям в кости в местах входа шунта в полость черепа, а также пациент должен носить шлем в течение первых 3 мес, чтобы образовались фиксирующие соединительнотканые перемычки между шунтом и окружающими тканями (рис. 3) [32].

Мы обобщили данные научных источников о выполнении шунтирования по типу bonnet в таблице.

Рис. 3. Схема защиты графта путем фиксации его 2 пластинами к своду черепа [32]

Fig. 3. Diagram of graft protection by fixing it to the calvaria with 2 plates [32]

Использование шунтирования по типу *bonnet* в мировой практике
Using of *bonnet* bypass in the world practice

Авторы Authors	Год публикации Year of publication	Диагноз Diagnosis	Причина использования методики <i>bonnet</i> Reason to use "bonnet" technique	Соединяемые сосуды Connected vessels	Графт Graft	Восстановление перфузии Perfusion recovery
R. F. Spetzler и соавт. [26] R. F. Spetzler et al. [26]	1980	Аневризма ОСА CCA aneurism	Резекция ОСА CCA resection	Контралатеральная ПБА и ипсилатеральная СМА Contralateral STA and ipsilateral MCA	ЛА RA	+
E. Garrido, M. H. Freed [27]	1983	Окклюзия правой ОСА Right CCA occlusion	Отсутствие ипсилатеральной артерии-донора No ipsilateral artery-donor	Контралатеральная ПБА и ипсилатеральная СМА Contralateral STA and ipsilateral MCA	Большая подкожная вена ноги Long saphenous vein	+
J. I. Ausman и соавт. [28] J. I. Ausman et al. [28]	1985	Окклюзия левой ОСА Left CCA occlusion	Отсутствие ипсилатеральной артерии-донора No ipsilateral artery-donor	ПБА, естественным образом образовавшие соединение по типу <i>bonnet</i> Naturally formed "bonnet" STA	—	+
V. R. Deshmukh и соавт. [31] V. R. Deshmukh et al. [31]	2005	Рецидивирующая базально-клеточная карцинома Relapsing basal-cell carcinoma Рецидивирующий медулярный рак щитовидной железы Relapsing medullary thyroid cancer	Резекция ОСА CCA resection	Контралатеральная ПБА и сегмент М4 ипсилатеральной СМА Contralateral STA and M4 segment of ipsilateral MCA	ЛА RA	+
K. Kim и соавт. [30] K. Kim et al. [30]	2005	Аневризма передней соединительной артерии Anterior connective artery aneurism	Резекция ОСА CCA resection	Контралатеральная ПБА и сегмент М4 ипсилатеральной СМА Contralateral STA and M4 segment of ipsilateral MCA	ЛА RA	+
D. Zumofen и соавт. [21] D. Zumofen et al. [21]	2008	Повторная окклюзия левой ОСА после каротидной эндартерэктомии Repeated left CCA occlusion after carotid endarterectomy	Треппинг аневризмы с выключением обеих ПМА дистальнее аневризмы Aneurism trapping followed by interruption of both ACA which are distal to the aneurism	ПБА и сегмент А3 ПМА STA and A3 segment of ACA	ЛА RA	+
K. Aso и соавт. [22] K. Aso et al. [22]	2010	Окклюзия правой ОСА Right CCA occlusion	Отсутствие ипсилатеральной артерии-донора No ipsilateral artery-donor	Контралатеральная ПБА и сегмент М4 ипсилатеральной СМА Contralateral STA and M4 segment of ipsilateral MCA	Подкожная вена руки Brachiocephalic vein	+
			Отсутствие ипсилатеральной артерии-донора No ipsilateral artery-donor	ПБА, естественным образом образовавшие соединение по типу <i>bonnet</i> Naturally formed "bonnet" STA	—	+

Окончание таблицы
The end of the table

Авторы Authors	Год публикации Year of publication	Диагноз Diagnosis	Причина использования методики <i>bonnet</i> Reason to use "bonnet" technique	Соединяемые сосуды Connected vessels	Графт Graft	Восстановление перфузии Perfusion recovery
Y. Sanada и соавт. [29] Y. Sanada et al. [29]	2010	Окклюзия левой ОСА Left CCA occlusion	Отсутствие ипсилатеральной артерии-донора No ipsilateral artery-donor	Двойное шунтирование: контралатеральная ПВА и сегменты М2 и М4 ипсилатеральной СМА Double bypass technique: contralateral STA, M2 and M4 segments of ipsilateral MCA	ЛА РА	+
		Окклюзия правой ОСА Right CCA occlusion	Отсутствие ипсилатеральной артерии-донора No ipsilateral artery-donor	Двойное шунтирование: контралатеральная ПВА и сегменты М2 и М4 ипсилатеральной СМА Double shunt technique: contralateral STA, M2 and M4 segments of ipsilateral MCA	ЛА РА	+
N. Otani и соавт. [24] N. Otani et al. [24]	2014	Опухоль щитовидной железы Thyrophyma	Резекция ОСА CCA resection	ПВА, естественным образом образовавшие соединение по типу <i>bonnet</i> Naturally formed "bonnet" STA	—	+
K. Wada et al. [25]	2018	Сложная аневризма передней соединительной артерии Complex anterior connective artery aneurysm	Треппинг аневризм с выключением одной из ПМА Aneurysm trapping followed by interruption of one of the ACA which are distal to the aneurysm	ПВА и сегмент А3 ПМА STA and A3 segment of ACA	ЛА РА	+
		Сложная аневризма передней соединительной артерии Complex anterior connective artery aneurysm				+
		Сложная аневризма ПМА Complex ACA aneurysm				+

Примечание. ЛА — лучевая артерия; ОСА — общая сонная артерия; ПВА — поверхностная височная артерия; ПМА — передняя мозговая артерия; СМА — средняя мозговая артерия.

Note. ACA — anterior cerebral artery; CCA — common carotid artery; MCA — middle cerebral artery; RA — radial artery; STA — superficial temporal artery.

ОБСУЖДЕНИЕ

Существует 3 варианта шунтирования по типу bonnet.

При 1-м варианте используют графт, роль которого может играть лучевая артерия, большая подкожная вена ноги и подкожная вена руки. Осуществляют анастомоз проксимального конца вставочного графта с противоположной ПВА. Дистальный конец шунта соединяют анастомозом с сегментами СМА (М2, М4) либо с ветвями ПМА на вовлеченной стороне. Сам шунт укладывают в костный канал, сформированный в своде черепа, и фиксируют его пластинами и винтами, тем самым предотвращая его перекручивание и травмирование.

При 2-м способе используют графт, позволяющий осуществить двойное шунтирование. Для этого выделяют и пересекают ПВА в месте ее бифуркации с контралатеральной стороны с выделением обеих ее ветвей. Затем создают анастомоз между проксимальным концом шунта и основным стволом контралатеральной ПВА. Далее шунт проводят в костном канале, сформированном в своде черепа, после чего дистальный конец шунта соединяют с проксимальным концом мобилизованной ранее ПВА, а обе дистальные ветви выделенной контралатеральной ПВА — с сегментами М2 и М4.

Третий вариант шунтирования проводится при наличии достаточного ретроградного кровотока из контралатеральной в ипсилатеральную ПВА, осуществляемого через развитую сеть коллатералей, ПВА используют в качестве артерии-донора. Ретроградный кровоток регистрируют при ЦАГ, инфракрасной ангиографии и интраоперационных флоуметрии и доплерографии. Выделяют основной ствол ипсилатеральной ПВА и через трепанационное отверстие создают анастомоз с ветвью СМА.

Показаниями к шунтированию по типу bonnet считают:

- нарушения мозгового кровообращения по ишемическому типу, связанные с хронической окклюзией ОСА, ВСА и наружной сонной артерии;
- необходимость реваскуляризации при выключении из кровотока сложных аневризм;
- необходимость выключения из кровотока магистральных артерий головного мозга при удалении опухолей;

- отсутствие возможности для формирования подкожного тоннеля для высокопоточного экстракраниально-интракраниального анастомоза, обусловленное лучевой терапией или инфекционным процессом.

Недостатки описанной методики связаны:

- с чрезмерной длиной шунта, увеличивающей вероятность его тромбоза;
- риском отрыва шунта при черепно-мозговой травме;
- подверженностью шунта механической компрессии (например, сдавливающим головным убором), приводящей к ишемическим нарушениям.

Известны альтернативные методы лечения симптоматической окклюзии ОСА:

- поэтапное шунтирование: создание анастомоза между поперечной артерией шеи и наружной сонной артерией, а далее между сегментом М4 СМА и ветвью ПВА [33];
- подключично-сонное протезирование и шунтирование [34, 35];
- подключично-сонное шунтирование в качестве 1-го этапа перед наложением классического экстракраниально-интракраниального микроанастомоза [36];
- высокопоточное шунтирование сегмента М2 СМА и сегмента V3 позвоночной артерии с использованием графта из ЛА;
- шунтирование сегмента М2 СМА с использованием подключичной артерии как донора [37];
- перекрестное сонное шунтирование ипсилатеральной сонной артерии и контралатеральной с использованием аутоотрансплантата [24].

В качестве альтернативы при выключении сложных аневризм из кровотока можно применять методики реимплантации и реанастомозирования, а также создание анастомозов с помощью коротких шунтов [19].

Важные технические детали:

- длина шунта должна составлять не менее 17–20 см;
- необходимо избегать перекручивания шунта;
- костный канал должен быть шириной 5 мм и глубиной 4 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика bonnet — редко применяемый и трудоемкий вид шунтирования сосудов головного мозга. Однако в ряде случаев это эффективный альтернативный способ лечения, позволяющий избежать серьезных ишемических нарушений.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Wessels L., Hecht N., Vajkoczy P. Bypass in neurosurgery – indications and techniques. *Neurosurg Rev* 2018 Mar 13. DOI: 10.1007/s10143-018-0966-9. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s10143-018-0966-9>.
2. Esposito G., Sebök M., Amin-Hanjani S., Regli L. Cerebral bypass surgery: level of evidence and grade of recommendation. In: *Trends in the management of cerebrovascular diseases*. Ed. by G. Esposito, L. Regli, Y. Kaku, T. Tsukahara. Cham: Springer International Publishing, 2018. Pp. 73–77. Available at: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-73739-3_10.
3. Yang T., Tariq F., Chabot J. et al. Cerebral revascularization for difficult skull base tumors: a contemporary series of 18 patients. *World Neurosurg* 2014; 82(5):660–71. DOI: 10.1016/j.wneu.2013.02.028.

4. Sekhar L.N., Natarajan S.K., Ellenbogen R.G., Ghodke B. Cerebral revascularization for ischemia, aneurysms, and cranial base tumors. *Neurosurgery* 2008;62(6 Suppl 3):1373–408. DOI: 10.1227/01.neu.0000333803.97703.c6.
5. Acker G., Fekonja L., Vajkoczy P. Surgical management of moyamoya disease. *Stroke* 2018;49(2):476–82. DOI: 10.1161/STROKEAHA.117.018563.
6. Крылов В.В., Нахабин О.Ю., Винокуров А.Г. и др. Успешное выключение из кровотока аневризмы правой каллезомаргинальной артерии с созданием интра-интракраниального анастомоза. *Нейрохирургия* 2013;(4):58–63. [Krylov V.V., Nakhabin O.Ju., Vinokurov A.G. et al. The successful treatment of right callosal-marginal aneurysm by its trapping followed by intra-intracranial bypass. *Neurokhirurgiya = Russian Journal of Neurosurgery* 2013;(4):58–63. (In Russ.)].
7. Yasargil M.G. Anastomosis between superficial temporal artery and a branch of the middle cerebral artery. In: Yasargil M.G. *Microsurgery applied to neurosurgery*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1969. Pp. 105–115.
8. Операции реvascularизации головного мозга в сосудистой нейрохирургии. Под ред. под ред. В.В. Крылова, В.Л. Леменева. М.: Бином, 2014. 271 с.
9. Nishikawa M., Hashi K., Shiguma M. Middle meningeal – middle cerebral artery anastomosis for cerebral ischemia. *Surg Neurol* 1979;12(3):205–8.
10. Niknejad H.R., van der Zwan A., Heye S. et al. The value of the middle meningeal artery in cerebrovascular bypass surgery: an anatomic feasibility study. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 2018;15(1):89–96. DOI: 10.1093/ons/opx200.
11. Spetzler R.F., Rhoton A.L., Nakaji P., Kawashima M. Color atlas of cerebral revascularization: anatomy, techniques, clinical cases. New York: Thieme Medical Publishers, 2013. 363 p.
12. Ustun M.E., Buyukmumcu M., Ulku C.H. et al. Transzygomатическо-интракраниальный подход для средней менингеальной артерии: анатомическое и техническое исследование. *Skull Base* 2006;16(1):39–44. DOI: 10.1055/s-2006-931622.
13. Nossek E., Costantino P.D., Eisenberg M. et al. Internal maxillary artery-middle cerebral artery bypass: infratemporal approach for subcranial intracranial (SC-IC) bypass. *Neurosurgery* 2014;75(1):87–95. DOI: 10.1227/NEU.0000000000000340.
14. Wang L., Cai L., Lu S. et al. The history and evolution of internal maxillary artery bypass. *World Neurosurgery* 2018;113:320–32. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.02.158.
15. Rubio R.R., Gandhi S., Benet A. et al. Internal maxillary artery to anterior circulation bypass with local interposition grafts using a minimally invasive approach: surgical anatomy and technical feasibility. *World Neurosurg* 2018;120:e503–10. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.08.113.
16. Baaj A.A., Agazzi S., van Loveren H. Graft selection in cerebral revascularization. *Neurosurg Focus* 2009;26(5):E18. DOI: 10.3171/2009.1.FOCUS08303.
17. Matsukawa H., Miyata S., Tsuboi T. et al. Rationale for graft selection in patients with complex internal carotid artery aneurysms treated with extracranial to intracranial high-flow bypass and therapeutic internal carotid artery occlusion. *J Neurosurg* 2018;128(6):1753–61. DOI: 10.3171/2016.11.JNS161986.
18. Sekhar L.N., Duff J.M., Kalavakonda C., Olding M. Cerebral revascularization using radial artery grafts for the treatment of complex intracranial aneurysms: techniques and outcomes for 17 patients. *Neurosurgery* 2001;49(3):646–58.
19. Sia S.F., Morgan M.K. High flow extracranial-to-intracranial brain bypass surgery. *J Clin Neurosci* 2013;20(1):1–5. DOI: 10.1016/j.jocn.2012.05.007.
20. Quiñones-Hinojosa A., Du R., Lawton M.T. Revascularization with saphenous vein bypasses for complex intracranial aneurysms. *Skull Base* 2005;15(2):119–32. DOI: 10.1055/s-2005-870598.
21. Zumofen D., Khan N., Roth P. et al. Bonnet bypass in multiple cerebrovascular occlusive disease. In: *Changing aspects in stroke surgery: aneurysms, dissections, moyamoya angiopathy and EC-IC bypass*. Ed. by Y. Yonekawa, T. Tsukahara, A. Valavanis, N. Khan. Vienna: Springer, 2008. Pp. 103–107. Available at: http://link.springer.com/10.1007/978-3-211-76589-0_18.
22. Aso K., Ogasawara K., Kobayashi M., Yoshida K. Arterial bypass surgery using a spontaneously formed “bonnet” superficial temporal artery in a patient with symptomatic common carotid artery occlusion: case report. *Neurosurgery* 2010;67(3 Suppl Operative):onsE316–7. DOI: 10.1227/01.NEU.0000383877.00075.B4.
23. Nagm A., Horiuchi T., Hasegawa T., Hongo K. Intraoperative evaluation of reverse bypass using a naturally formed “bonnet” superficial temporal artery: technical note. *World Neurosurg* 2016;88:603–8. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.10.087.
24. Otani N., Wada K., Sakakibara F. et al. “Reverse” bypass using a naturally formed “bonnet” superficial temporal artery in symptomatic common carotid artery occlusion: a case report. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2014;54(10):851–3.
25. Wada K., Otani N., Toyooka T. et al. Superficial temporal artery to anterior cerebral artery hemi-bonnet bypass using radial artery graft for prevention of complications after surgical treatment of partially thrombosed large/giant anterior cerebral artery aneurysm. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2018;27(12):3505–10. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2018.08.020.
26. Spetzler R.F., Roski R.A., Rhodes R.S., Modic M.T. The “bonnet bypass”: case report. *J Neurosurg* 1980;53(5):707–9. DOI: 10.3171/jns.1980.53.5.0707.
27. Garrido E., Freed M.H. Fatal complication of the “bonnet bypass”: case report. *Neurosurgery* 1983;13(3):320–1.
28. Ausman J.I., Tiel R.L., Mehta B.A. et al. “Reverse” superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass. *Surg Neurol* 1985;23(6):614–6.
29. Sanada Y., Kamiyama H., Iwaisako K. et al. “Bonnet” bypass to proximal trunk of middle cerebral artery with a radial artery interposition graft: technical note. *Minim Invasive Neurosurg* 2010;53(4):203–6. DOI: 10.1055/s-0030-1263109.
30. Kim K., Mizunari T., Mizutani N. et al. Giant intracranial aneurysm of the anterior communicating artery treated by direct surgery using A3–A3 side-to-side anastomosis and A3–RA graft–STA anastomosis. *Acta Neurochir (Wien)* 2006;148(3):353–7. DOI: 10.1007/s00701-005-0685-1.
31. Deshmukh V.R., Porter R.W., Spetzler R.F. Use of “Bonnet” bypass with radial artery interposition graft in a patient with recurrent cranial base carcinoma: technical report of two cases and review of the literature. *Neurosurgery* 2005;56(1 Suppl):E202.
32. Toyota S., Iwaisako K., Wakayama A., Yoshimine T. Fixation and protective method for the interposition graft in bonnet bypass – technical note. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 2010;50(3):263–6.
33. Kobayashi T., Houkin K., Ito F., Kohama Y. Transverse cervical artery bypass pedicle for treatment of common carotid artery occlusion: new adjunct for revascularization of the internal carotid artery domain. *Neurosurgery* 1999;45(2):299–302.
34. Усачев Д.Ю., Лукшин В.А., Пронин И.Н. и др. Хирургическое лечение больных с хронической церебральной ишемией, обусловленной окклюзиями общих сонных артерий. Журнал «Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко» 2013;77(3):27–35. [Usachev D.Y., Lukshin V.A., Pronin I.N. et al. Surgical treatment of patients with chronic cerebral ischemia caused by occlusion of the common carotid arteries. *Zhurnal “Voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko” = Problems of Neurosurgery n. a. N.N. Burdenko* 2013;77(3):27–35. (In Russ.)].
35. Klonaris C., Kouvelos G.N., Kafeza M. et al. Common carotid artery occlusion treatment: revealing a gap in the current guidelines. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2013;46(3):291–8. DOI: 10.1016/j.ejvs.2013.06.006.
36. Ausman J.I., Lindsay W., Ramsay R.C., Chou S.N. Ipsilateral subclavian to external carotid and STA-MCA bypasses for retinal ischemia. *Surg Neurol* 1978;9(1):5–8.
37. Lawton M.T., Probst K.X. Seven bypasses: tenets and techniques for revascularization. New York; Stuttgart: Thieme, 2018. 698 p.

Вклад авторов

В.А. Лукьянчиков: разработка дизайна исследования, анализ полученных данных, научное редактирование статьи;
М.С. Староверов: разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста статьи.

Authors' contributions

V.A. Lukyanchikov: developing the research design, analysis of the obtained data, scientific editing of the article;
M.S. Staroverov: developing the research design, reviewing of publications of the article's theme, article writing.

ORCID авторов/ORCID of authors

В.А. Лукьянчиков/V.A. Lukyanchikov: <https://orcid.org/0000-0003-4518-9874>

М.С. Староверов/M.S. Staroverov: <https://orcid.org/0000-0002-7341-797X>

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.

Статья поступила: 05.10.2018. **Принята к публикации:** 11.12.2018.

Article received: 05.10.2018. **Accepted for publication:** 11.12.2018.