

РЕВАСКУЛЯРИЗИРУЮЩИЕ ОПЕРАЦИИ В ХИРУРГИИ АНЕВРИЗМ СОСУДОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Н.А. Полунина

НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, Москва

В данном обзоре литературы рассмотрена проблема выполнения реваскуляризирующих операций для лечения аневризм сосудов головного мозга. В работе освещена история развития реваскуляризирующей хирургии, приведены характеристики основных типов анастомозов, а также указаны дальнейшие перспективы развития данного направления в лечении интракраниальных аневризм.

Ключевые слова: реваскуляризирующая хирургия, широкопросветный экстра-интракраниальный анастомоз, экстра-интракраниальный микроанастомоз.

This literature review presents the problem of revascularization surgery for cerebral aneurysms treatment. This article enlightens the history of revascularization surgery as well as describes the basic types of bypasses and points out the future trends for development of this modality in cerebral aneurysms treatment.

Keywords: revascularization surgery, high-flow extra-intracranial bypass, extra-intracranial microanastomosis.

Реваскуляризирующая операция — хирургическое вмешательство, целью которого является восстановление адекватного кровоснабжения органа или части тела человеческого организма путем восстановления кровотока по пораженным сосудам или с помощью создания новых и/или дополнительных путей кровотока (сосудистых анастомозов).

Первоначально реваскуляризирующие операции в хирургии головного мозга выполняли у пациентов с атеросклеротическими поражениями брахиоцефальных артерий [19, 26, 36, 76, 85]. Одной из методик являлось восстановление кровотока по экстракраниальному отделу внутренней сонной артерии (ВСА) при ее окклюзии путем прямой реконструкции артерии, когда выполняли удаление атеросклеротической бляшки и ушивание артерии с использованием вставки из вены или без такового [26, 36].

Эпоха реваскуляризирующих операций в хирургии головного мозга, направленных на создание новых и дополнительных путей кровотока, началась в 1967 г. в Цюрихе, где М. G. Yasargil впервые выполнил наложение экстра-интракраниального микроанастомоза (ЭИКМА) между корковой ветвью средней мозговой артерии (СМА) и поверхностной височной артерией (ПВА) у пациента с нарушением мозгового кровообращения по ишемическому типу на фоне окклюзии общей сонной артерии [86]. В последующем были изобретены методики выполнения так называемых широкопросветных анастомозов с высоким объемом кровотоком («high-flow bypass») с использованием в качестве шунта большой подкожной вены (БПВ). Впервые такой анастомоз был выполнен W. Lougheed в Торонто в 1971 г. [37]. Больной с окклюзией шейного отдела правой ВСА выполнили наложение анастомоза с использованием в качестве шунта участка БПВ с вшиванием ее дистального конца в супраклиноидный отдел ВСА, а проксимального — в общую сонную артерию (ОСА).

В настоящее время одним из показаний к проведению реваскуляризирующих операций является наличие так называемых сложных внутричерепных аневризм, которые невозможно выключить из

кровотока путем простого клипирования или с помощью эндоваскулярных методов лечения.

Одним из первых хирургов, который начал выполнять экстра-интракраниальные анастомозы (ЭИКА) для лечения сложных церебральных аневризм, был Т.М. Sundt. В 1979 г. он опубликовал результаты лечения пациентов с 80 гигантскими аневризмами — некоторым из них при наличии гигантской аневризмы ВСА выполняли наложение широкопросветного анастомоза из БПВ с последующей перевязкой несущей артерии [70].

В том же 1979 г. L.N. Hopkins и соавт. опубликовали результаты лечения 11 больных с аневризмами ВСА и СМА, которым одновременно проводили наложение широкопросветного анастомоза и перевязку ВСА на шее [29].

R. Spetzler в 1979 г. описал наблюдение лечения пациента [62] с травматической аневризмой СМА, во время клипирования которой пришлось провести выключение из кровотока одной из ветвей СМА. Для предупреждения развития ишемических осложнений был наложен ЭИКМА между поверхностной височной артерией (ПВА) и ветвью СМА дистальнее аневризмы. В 1980 г. R. Spetzler опубликовал результаты лечения 21 пациента с 27 гигантскими аневризмами передних отделов артериального круга большого мозга (АКБМ), которым выполняли наложение широкопросветного анастомоза с последующей перевязкой ВСА или окклюзией СМА [64]. Состоятельность анастомоза отмечена у всех пациентов, период наблюдения за пациентами составил 6—14 мес., в течение которых у больных не было отмечено появление нового неврологического дефицита. R. Spetzler также предложил вариант анастомоза между подключичной артерией и корковой ветвью СМА с применением в качестве шунта БПВ [63], указывая в качестве преимущества этого анастомоза расположение шунта по прямой линии от сосуда-реципиента к сосуду-донору и совпадение его оси с осью поворота головы.

В 1980 г. B.R. Gelber и Т.М. Sundt представили результаты лечения больных с аневризмами ВСА (у 2 пациентов — аневризмы кавернозного отдела ВСА, у 7 больных — гигантские аневризмы

офтальмического сегмента ВСА и у 1 больного — аневризма бифуркации ВСА), которым выполняли наложение широкопросветного анастомоза с использованием БПВ с последующей перевязкой шейного отдела ВСА [20]. Всем пациентам при пробном пережатии ВСА измеряли мозговой кровоток при помощи радиоизотопного исследования с применением ^{133}Xe . У 7 пациентов в постоперационном периоде отметили уменьшение выраженности пареза глазодвигательных нервов. Состоятельность анастомоза отмечали у 100% больных (у 9 пациентов функционирование анастомоза подтверждено ангиографически, у 1 — пальпаторно).

Т. Equichi и соавт. [16] в 1983 г. опубликовали наблюдения за 11 пациентами с гигантскими и карвернозными аневризмами ВСА, которым выполняли одномоментное наложение широкопросветного анастомоза между ВСА и СМА и перевязку ВСА на шее. Первым этапом производили наложение широкопросветного анастомоза под общей анестезией, затем пациента пробуждали и проводили временное пережатие ВСА на шее на 30 мин с использованием сосудистого зажима. В течение этого времени наблюдали за состоянием пациента, фиксируя отсутствие или появление нового неврологического дефицита. При отсутствии симптомов ишемии проводили окончательную перевязку ВСА на шее. В послеоперационном периоде для оценки мозгового кровообращения также использовали радиоизотопное исследование с применением ^{133}Xe . R.M. Scott высказался в пользу одномоментного оперативного вмешательства с формированием анастомоза и операции на гигантских аневризмах, приводя наблюдение, в котором у пациента произошел разрыв ранее интактной гигантской аневризмы СМА через 13 дней после первого этапа лечения (наложения широкопросветного анастомоза) [53]. Подобное наблюдение приводил и J.A. Anson [6], когда у пациента произошел разрыв гигантской аневризмы бифуркации ВСА после наложения ЭИКА и постепенного пережатия ВСА на шее с использованием турникета.

К.А. Bushe, напротив, рекомендовал выполнять подобные операции в 2 этапа — сначала формировать широкопросветный анастомоз, а через 4–5 нед. после подтверждения состоятельности анастомоза проводить вмешательство непосредственно на аневризме [13].

С 1980-х годов это направление хирургии сложных аневризм активно развивается многими хирургами в Европе, США, Японии и Китае [6, 8, 12, 22, 23, 28, 34, 38, 41, 44, 46, 49, 51, 52, 65, 66, 75, 90]. Первоначально применяли наложение обходного широкопросветного анастомоза с использованием участка БПВ или ЭИКМА с перевязкой ВСА на шее, в ряде случаев выполняли также дистальный треппинг аневризмы. Для оценки изменения мозгового кровотока до, во время и после операции в динамике использовали радиоизотопное исследование с применением ^{133}Xe [47, 74, 87], объемную скорость кровотока по шунту измеряли при помощи доплеровского ультразвукового исследования (УЗИ) [27, 74].

В дальнейшем спектр выполняемых операций расширили в результате выполнения замести-

тельных анастомозов, реимплантации функционально значимых ветвей, иссечения аневризмы с прямой реконструкцией несущего сосуда, проведения реваскуляризирующих операций на сосудах вертебробазиллярного бассейна.

В 1982 г. Т.М. Sundt [71] впервые применил ЭИКА с использованием вставки из участка большой подкожной вены для лечения аневризм вертебробазиллярного бассейна, не подлежащих прямому клипированию. Впоследствии автор опубликовал результаты хирургического лечения 9 пациентов с фузиформными аневризмами вертебробазиллярного бассейна и 20 пациентов с гигантскими аневризмами передних отделов АКБМ [72]. При УЗ-оценке проходности анастомозов средняя объемная скорость кровотока по шунту составляла 100 мл/мин для анастомозов между сосудами вертебробазиллярного бассейна и 110 мл/мин между сосудами передних отделов АКБМ. Благодаря усовершенствованию техники забора БПВ [73] Т.М. Sundt удалось повысить процент состоятельных анастомозов с 74 до 94% [72].

Одним из первых сообщений о применении комбинированного метода лечения сложных аневризм с использованием открытой хирургии для наложения анастомоза и эндоваскулярной окклюзии несущего сосуда стало наблюдение Ф.А. Сербиненко и соавт. [61]. В период с 1987 по 1988 г. 9 пациентам с гигантскими аневризмами ВСА было выполнено наложение ЭИКМА с последующей эндоваскулярной окклюзией ВСА ниже уровня отхождения офтальмической артерии. Ни у одного пациента не отмечали нарастания неврологического дефицита после операции.

С начала 1990-х годов применение комбинированного лечения гигантских аневризм (наложение широкопросветного анастомоза с последующей эндоваскулярной окклюзией несущего сосуда) получило достаточно широкое распространение [11, 14, 18, 25, 83, 88].

Использование участка лучевой артерии (ЛА) в качестве трансплантата для реконструкции внутричерепных сосудов у пациентов с поражениями брахиоцефальных артерий впервые было описано J. Ausman в 1978 г. [9]. Хотя лучевую артерию широко применяют в кардиохирургии, активно использовать этот тип шунта в нейрохирургии стали только с конца 1980-х годов. Т. Morimoto [39] одним из первых описал 2 наблюдения пациентов с аневризмами ВСА, которым проводили наложение широкопросветных анастомозов с использованием участка лучевой артерии.

К. Wakui и соавт. в 1992 г. [82] опубликовали наблюдение пациента с фузиформной тромбированной аневризмой левой позвоночной артерии (ПА), которому было выполнено наложение широкопросветного анастомоза с использованием ЛА между наружной сонной артерией (НСА) и задней мозговой артерией (ЗМА) с последующим треппингом аневризмы, ее вскрытием и удалением тромбов.

Одной из основных проблем использования лучевой артерии как шунта является частое развитие ее спазма во время операции, что приводит к укорочению длины забираемого трансплантата и техническим сложностям при формировании анастомоза.

Для предупреждения развития этого осложнения широко применяется растяжение участка артерии с помощью гидравлического давления жидкости («pressure distension»), предложенное L. Sekhar [55].

Обычно описывают единичный случай выполнения реваскуляризирующей операции по поводу церебральной аневризмы как клинический пример [4, 5, 7, 10, 21, 30, 32, 35, 40, 48, 49, 80, 89]. В отечественной литературе первое наблюдение наложения широкопросветного анастомоза было опубликовано В.И. Матвеевым и соавт. [1]. Пациенту с гигантской травматической аневризмой кавернозного отдела правой ВСА, страдающему от выраженного болевого тригеминального синдрома (15,8 балла по шкале боль опросника SF-36), было выполнено наложение широкопросветного анастомоза с использованием участка БПВ между НСА («конец-в-конец») и супраклиноидным отделом правой ВСА («конец-в-бок») с последующим ее треппингом.

Однако существуют работы, в которых представлено большое число больных, которым выполняли подобные оперативные вмешательства.

L.N. Sekhar и соавт. опубликовали несколько серий наблюдений большого количества пациентов со сложными аневризмами сосудов головного мозга, которым выполняли наложение различных типов анастомозов [17, 54–60]. Всего с 1985 г. по 2005 г. L. Sekhar выполнил наложение экстра-интракраниальных и интра-интракраниальных анастомозов у 178 пациентов [17, 54–60], из которых 71 больной был оперирован по поводу сложных церебральных аневризм (у 28 больных использовали в качестве шунта участок лучевой артерии, у 34 — БПВ и у 11 — другие типы анастомозов. Частота состоятельности анастомозов составила 87%. В 2010 г. D. Ramanathan и соавт. опубликовали статью [47] с результатами лечения 15 пациентов со сложными аневризмами головного мозга, из которых у 8 больных выявлено субарахноидальное кровоизлияние (САК). В группе с САК у 3 пациентов выявлены аневризмы перикаллезной артерии, у 4 — ПСА и у 1 — СМА. Среди пациентов с неразорвавшимися аневризмами у 3 были аневризмы передней соединительной артерии (ПСА), у 2 — СМА, у 1 — аневризма дистального отдела ПМА и у 1 — ПНМА. Всем этим пациентам проводили клипирование аневризмы с формированием анастомозов «бок-в-бок» между дистальными участками артерий: в 5 наблюдениях — между сегментами А4, у 3 пациентов — между сегментами М3, у 5 — между сегментами А3, у 1 — между сегментами А2 и один анастомоз между передней нижней мозжечковой артерией (ПНМА) и задней нижней мозжечковой артерией (ЗНМА). У всех оперированных пациентов анастомозы были состоятельны, что было подтверждено при выполнении церебральной ангиографии (ЦАГ) и/или КТ-ангиографии в послеоперационном периоде.

S.I. Abdulrauf за период с 1999 по 2007 г. [2] прооперировал 55 пациентов с гигантскими аневризмами ВСА, из которых у 18% был разрыв аневризмы с субарахноидальным кровоизлияни-

ем, у 42% — поражение черепных нервов, и у 40% больных аневризма проявляла себя общемозговой симптоматикой или была выявлена как случайная находка. Всем 55 пациентам выполняли наложение широкопросветного анастомоза с использованием участка лучевой артерии, состоятельность анастомоза была подтверждена в 86% случаев.

В 2011 г. [3] S.I. Abdulrauf представил новую технику наложения экстра-интракраниальных анастомозов между интракраниальным сегментом верхнечелюстной артерии и М3-сегментом СМА с использованием в качестве шунта участка лучевой артерии длиной около 8 см. Преимуществом этого метода являются: отсутствие длинного разреза на шее, более высокая частота состоятельности анастомоза благодаря тому, что используют короткий участок лучевой артерии (около 8 см в сравнении с 20–25 см при стандартном широкопросветном анастомозе между НСА и СМА).

A. Quicones-Hinojosa и M.T. Lawton в 2005 г. опубликовали результаты лечения 13 пациентов [45] со сложными церебральными аневризмами (у 7 больных были фузиформные или долихоэктатические аневризмы, у 6 пациентов — мешотчатые аневризмы), которым выполняли анастомозы *in situ*. Из этих пациентов у 8 аневризмы манифестировали субарахноидальным кровоизлиянием. У 2 пациентов с аневризмами ПСА-ПМА выполняли анастомоз «бок-в-бок» между А3-сегментами ПМА, у 4 больных с аневризмами ПА и ЗНМА — анастомоз «бок-в-бок» между ЗНМА, у 1 пациента с аневризмой СМА — анастомоз «бок-в-бок» между передней височной артерией и М2-сегментом СМА и у 1 больного с аневризмой бифуркации СМА — анастомоз «бок-в-бок» между М2-сегментами СМА. У 3 больных с аневризмами СМА и у 2 больных с аневризмами ЗНМА выполняли иссечение аневризмы с наложением реанастомоза (у одного пациента после иссечения аневризмы СМА для наложения реанастомоза использовали вставку из ПВА). У 12 пациентов анастомозы были состоятельны, что подтверждено ангиографически, и у 1 больного, которому выполняли реанастомоз СМА-ПВА-СМА, произошел тромбоз анастомоза без нарастания неврологического дефицита.

N. Sanai [50] опубликовал результаты хирургических вмешательств по поводу сложных церебральных аневризм, выполненных за 10-летний период M.T. Lawton 82 пациентам, треть из которых перенесла САК вследствие разрыва аневризмы. У 82% больных аневризмы были фузиформными и у 56% — гигантскими. Наиболее часто аневризмы располагались в кавернозном отделе ВСА (23%), СМА (20%) и ЗНМА (12%). У 47 (57%) пациентов выполнили наложение экстра-интракраниального анастомоза, и 35 пациентам — интра-интракраниального анастомоза (включая 9 анастомозов *in situ*, 6 реимплантаций, 11 реанастомозов и 9 внутричерепных широкопросветных шунтов). Состоятельность анастомозов подтверждена в 94 и 89% случаев для экстра-интракраниальных и интра-интракраниальных анастомозов соответственно.

H.C. Patel и соавт. в 2010 г. [43] опубликовали первый опыт наложения широкопросветных ана-

томозов у 9 пациентов со сложными аневризмами передних отделов АКБМ, которым выполнили 11 оперативных вмешательств, состоятельность анастомозов составила 88%.

Е.К. Park и соавт. в 2008 г. [42] представили свой опыт наложения экстра-интракраниальных анастомозов у 15 пациентов, оперированных за период с 2003 по 2007 г. Локализация аневризм была следующей: у 11 — ВСА, у 2 — СМА, у 1 — ЗМА и у 1 больного — ЗНМА. У 6 пациентов произошел разрыв аневризмы. Гигантских или больших аневризм было 8. У 6 пациентов выполнили наложение широкопросветных анастомозов (в 5 случаях в качестве шунта использовали ЛА и в 1 — БПВ), наложение микроанастомозов провели у 9 больных, используя в качестве донора ПВА у 8 и затылочную артерию у 1 пациента. Состоятельность анастомозов составила 86,7%.

В 2011 г. С. Wu и соавт. [84] опубликовали результаты двухлетнего опыта наложения широкопросветных анастомозов с использованием БПВ у 20 пациентов со сложными церебральными аневризмами (13 аневризм располагались в кавернозном отделе ВСА, у 4 больных были параклиноидные аневризмы, у 2 — супраклиноидные, и у 1 пациента — аневризма ствола базилярной артерии). Состоятельность анастомозов была подтверждена ангиографически у 18 из 20 пациентов.

В настоящее время в ряде центров в Европе, США и Канаде применяют технику наложения эксимерного неокклюзионного анастомоза с помощью лазера (excimer laser-assisted non-occlusive anastomosis (ELANA)) [67–69, 80]. Данная методика была разработана С.А.Ф. Tulleken в начале 1990-х годов в Голландии, ее основной целью является предупреждение развития ишемических повреждений головного мозга, которые могут возникнуть вследствие временного пережатия сосуда-реципиента при формировании дистального конца анастомоза. По данным литературы, риск возникновения интраоперационного ишемического инсульта при наложении широкопросветного анастомоза составляет около 9,5% [31, 54, 78].

ELANA является модификацией стандартной процедуры наложения широкопросветного ЭИКА, основное различие заключается в этапе выполнения артериотомии в интракраниальном сосуде-реципиенте и в методике наложения дистального конца анастомоза. К дистальному концу шунта фиксируют платиновое кольцо диаметром 2,6–2,8 мм при помощи микрохирургических швов, затем полученный комплекс кольцо/шунт фиксируют «конец-в-бок» к интракраниальному сосуду-реципиенту, не применяя его временную окклюзию. После формирования дистального конца анастомоза в шунт помещают лазерный катетер и формируют артериотомическое отверстие, используя вакуумную аспирацию, после чего катетер удаляют из шунта и накладывают на последний временный клипс [33].

Van Dongaal и соавт. [79] опубликовал серию наблюдений за 34 пациентами с большими и гигантскими аневризмами ВСА, которым было выполнено наложение широкопросветных анастомозов с использованием ELANA, состоятельность шунта наблюдали в 97% случаев.

К преимуществам ELANA относят отсутствие необходимости временного клипирования интракраниального сосуда-реципиента, что в свою очередь позволяет проводить выделение меньшего участка сосуда-реципиента, а также ограничить интраоперационное использование гепарина и барбитуратов [15].

Однако в настоящий момент применение ELANA ограничено вследствие ряда недостатков метода: увеличение времени операции, удаление участка артериальной стенки после формирования артериотомического отверстия с помощью вакуумной аспирации составляет только 85–90%, что является основным ограничением использования этого метода и требует дальнейшего совершенствования методики. Однако более всего ограничивают применение этой методики ее стоимость и отсутствие обученного персонала [15].

Дальнейшее развитие ревазуляризирующей хирургии при операциях по поводу церебральных аневризм направлено на усовершенствование техники интра-интракраниальных анастомозов и дальнейшее развитие малоинвазивных методик, таких как ELANA. Наложение широкопросветных ЭИКА остается актуальным при аневризмах каменистого, кавернозного и офтальмического сегментов ВСА при отсутствии возможности выполнения эндоваскулярного лечения с использованием поток-направляющих стентов и/или эмболизации микроспиральями.

Формирование интра-интракраниальных анастомозов при сложных аневризмах СМА и/или ПМА, а также при аневризмах ЗНМА и бифуркации базилярной артерии требует более совершенного владения техникой микрохирургического шва, однако такие оперативные вмешательства имеют меньшее число «уязвимых моментов» по сравнению с наложением широкопросветных анастомозов, так как исключается опасность возникновения несостоятельности шунта вследствие тромбоза БПВ или спазма ЛА, уменьшается время и объем хирургического вмешательства за счет устранения таких экстракраниальных этапов операции, как забор шунта и манипуляции на шее, а также снижается травматичность операции в результате выключения из кровотока не всей ВСА, а отдельных сегментов СМА и/или ПМА, что снижает риск развития и объем возможного ишемического поражения головного мозга.

Дальнейшее усовершенствование методики ELANA также может позволить уменьшить травматичность подобных операций и снизить риск развития ишемических осложнений. В настоящее время в Голландии проводят разработку и апробацию методики SELANA (sutureless SELANA — бесшовная ELANA) с использованием платинового кольца новой конфигурации, которое позволит хирургам выполнять формирование дистального конца анастомоза без наложения микрохирургических швов, что может уменьшить время операции и упростить ее выполнение [81].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Полунина Наталья Алексеевна — врач-нейрохирург НИИ СП им. Н.В. Склифосовского, e-mail: npolunina82@mail.ru

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев В.И., Глущенко А.В., Ланецкая В.М. и др. Успешное хирургическое лечение гигантской интраквернозной артериальной аневризмы с применением широкопросветного экстра-интракраниального аутовенозного шунта в условиях системной гипотермии. Нейрохирургия, 2009. №3. С. 57—61.
2. Abdulrauf S.I., Cantando J.D., Mohan Y.S. et al. EC-IC bypass for giant ICA aneurysms. In: Cerebral revascularization. Techniques in extracranial-to-intracranial bypass surgery. Editor: Saleem I. Abdulrauf. Elsevier Saunders, 2011, pp: 231—245.
3. Abdulrauf S.I., Sweeney J.M., Mohan Y.S. et al. Short segment internal maxillary artery to middle cerebral artery bypass: a novel technique for extracranial-to-intracranial bypass. Neurosurgery 68:804—808, 2011.
4. Abiko M., Ikawa F., Ohbayashi N. et al. Giant serpentine aneurysm arising from the middle cerebral artery successfully treated with trapping and anastomosis: case report. Neurol Med Chir (Tokyo). 2009 Feb;49(2):77—80.
5. Amin-Hanjani S., Chen P.R., Chang S.W., Spetzler R.F. Long-term follow-up of giant serpentine MCA aneurysm treated with EC-IC bypass and proximal occlusion. Acta Neurochir (Wien). 2006 Feb;148(2):227—8. Epub 2005 Dec 1.
6. Anson J.A., Stone J.L., Crowell R.M. Rupture of a giant carotid aneurysm after extracranial-to-intracranial bypass surgery. Neurosurgery. 1991 Jan;28(1):142—147.
7. Attia M., Cohen J.E., Shapira O.M. et al. Visual failure and recovery after thrombosis of a giant carotid ophthalmic aneurysm following vascular bypass and carotid artery ligation. J Clin Neurosci. 2011 Jan;18(1):152—4. Epub 2010 Oct 6.
8. Ausman J.I., Diaz F.G., Sadasivan B. et al. Giant intracranial aneurysm surgery: the role of microvascular reconstruction. Surg Neurol. 1990 Jul;34(1):8—15.
9. Ausman J.I., Nicoloff D.M., Chou S.N. Posterior fossa revascularization: anastomosis of vertebral artery to PICA with interposed radial artery graft. Surg Neurol. 1978 May;9(5):281—286.
10. Bain M.D., Moskowitz S.I., Rasmussen P.A., Hui F.K. Targeted extracranial-intracranial bypass with intra-aneurysmal administration of indocyanine green: case report. Neurosurgery. 2010 Dec;67(2 Suppl Operative):527—531.
11. Barnett D.W., Barrow D.L., Joseph G.J. Combined extracranial-intracranial bypass and intraoperative balloon occlusion for the treatment of intracavernous and proximal carotid artery aneurysms. Neurosurgery. 1994 Jul;35(1):92—7; discussion 97—98.
12. Brambilla G., Paoletti P., Rodriguez y Baena R. Extracranial-intracranial arterial bypass in the treatment of inoperable giant aneurysms of the internal carotid artery. Report of a case. Acta Neurochir (Wien) 1982;60(1—2):63—69.
13. Bushe K.A., Bockhorn J. Extracranial-intracranial arterial bypass for giant aneurysms. Acta Neurochir (Wien) 1980;54(1—2):107—115.
14. Castro E., Fortea F., Villoria F. et al. Treatment of a Giant Aneurysm of the Right Middle Cerebral Artery with GDCs after Extracranial to Intracranial Bypass. A Technical Case Report. Interv Neuroradiol. 1999 Mar 30;5(1):51—56.
15. Chakraborty S., van Dormaal T., Kivipelto L., Langer D.J. EC-IC bypass using ELANA technique. In: Cerebral revascularization. Techniques in extracranial-to-intracranial bypass surgery. Editor: Saleem I. Abdulrauf. Elsevier Saunders, 2011, pp: 145—153.
16. Eguichi T., Mayanagi Y., Takakura K. Extra-intracranial bypass and internal carotid artery ligation in one-stage operation for intracavernous and giant carotid aneurysm. No Shinkei Geka 1983 Oct;11(10):1037—1046.
17. Evans J.J., Sekhar L.N., Rak R., Stimac D. Bypass grafting and revascularization in the management of posterior circulation aneurysms. Neurosurgery 55:1036—1049, 2004.
18. Ewald C., Kohn D., Hassler W. Giant basilar artery aneurysms incorporating the posterior cerebral artery: bypass surgery and coil occlusion—two case reports. Neurol Med Chir (Tokyo). 1998;38 Suppl:83—85.
19. Fassano V.A., Broggi G. The problem of revascularization in obliterations of the internal carotid & central cerebral arteries. Minerva Med Oct 3;48(79):3175—96; discussion 3196—8, 1957.
20. Gelber B.R., Sundt T.M. Treatment of intracavernous and giant carotid aneurysms by combined internal carotid ligation and extra- to intracranial bypass. J Neurosurg 1980 Jan;52(1):1—10.
21. Gelfenbeyn M., Natarajan S.K., Sekhar L.N. Large distal anterior cerebral artery aneurysm treated with resection and interposition graft: case report. Neurosurgery. 2009 May;64(5):E1008-9; discussion E1009.
22. Greene K.A., Anson J.A., Spetzler R.F. Giant serpentine middle cerebral artery aneurysm treated by extracranial-intracranial bypass. Case report. J Neurosurg. 1993 Jun; 78(6): 974—978.
23. Grote E.E., Schonmayr R.R. Indications for extracranial to intracranial arterial bypass operation. J Postgrad Med 1981;27:143.
24. Grote E., Schonmayr R. Extracranial-intracranial bypass in giant aneurysms. Neurosurg Rev. 1982;5(3):83—85.
25. Hachein-Bey L., Connolly E.S. Jr, Duong H. et al. Treatment of inoperable carotid aneurysms with endovascular carotid occlusion after extracranial-intracranial bypass surgery. Neurosurgery. 1997 Dec;41(6):1225—31; discussion 1231—1234.
26. Hamlin H., Sweet W.H., Loughheed W.M. Surgical Reconstruction of Occluded Cervical Carotid Artery. J Neurosurg Vol. 15, No. 4 : 427—437, 1958.
27. Harders A., Gilsbach J. Transcranial Doppler sonography and its application in extracranial-intracranial bypass surgery. Neurol Res. 1985 Sep;7(3):129—141.
28. Heros R.C., Nelson P.B., Ojemann R.G. et al. Large and giant paraclinoid aneurysms: surgical techniques, complications, and results. Neurosurgery 1983 Feb;12(2):153—163.
29. Hopkins L.N., Grand W. Extracranial-intracranial arterial bypass in the treatment of aneurysms of the carotid and middle cerebral arteries. Neurosurgery 1979 Jul;5(1 Pt 1):21—31.
30. Hrbáč T., Drábek P., Klement P., Procházka V. A combined approach to treatment of the dissecting middle cerebral artery fusiform aneurysm. A case report. Interv Neuroradiol. 2009 Sep;15(3):349—354. Epub 2009 Nov 4.
31. Iwai Y., Sekhar L.N., Goel A. et al. Vein graft replacement of the distal vertebral artery. Acta Neurochir 120 (1—2): 81—87, 1993.
32. Kamijo K., Matsui T. Acute extracranial-intracranial bypass using a radial artery graft along with trapping of a ruptured blood blister-like aneurysm of the internal carotid artery. Clinical article. J Neurosurg. 2010 Oct;113(4):781—785.
33. Langer D.J., Vajkoczy P. ELANA: Excimer laser assisted nonocclusive anastomosis for extracranial-to-intracranial bypass: a review. Skull Base 15:191—204, 2005.
34. Lanser T.A., Kasoff S.S., Arguelles J.H. Giant pediatric aneurysm treated with ligation of the middle cerebral artery with the Drake tourniquet and extracranial-intracranial bypass. Neurosurgery. 1989 Jul;25(1):81—85.
35. Lee S.J., Ahn J.S., Kwun B.D., Kim C.J. Giant serpentine aneurysm of the middle cerebral artery. J Korean Neurosurg Soc. 2010 Aug;48(2):177—80. Epub 2010 Aug 31.
36. Loughheed W.M., Elqui L.G., Barnett H.J. The results of surgical management of extracranial internal carotid artery occlusion and stenosis. Can Med Assoc J. Dec 17;95(25):1279—93, 1966.
37. Loughheed W.M., Marshall B.M., Hunter M. et al. Common carotid to intracranial internal carotid bypass venous graft. Technical note. J Neurosurg 34:114—118, 1971.
38. Martin N.A. The use of extracranial-intracranial bypass for the treatment of giant and fusiform aneurysms. J Stroke Cerebrovasc Dis. 1997 Apr-May;6(4):242—245.
39. Morimoto T., Sakaki T., Kakizaki T. et al. Radial artery graft for an extracranial-intracranial bypass in cases of internal carotid aneurysms. Report of two cases. Surg Neurol 30:293—297, 1988.
40. Mirzadeh Z., Sanai N., Lawton M.T. The azygos anterior cerebral artery bypass: double reimplantation technique for giant anterior communicating artery aneurysms. J Neurosurg. 2011 Apr;114(4):1154—8. Epub 2010 Sep 24.
41. Morgan M., Besser M., Dorsch N., Segelov J. Treatment of intracranial aneurysms by combined proximal ligation and extracranial-intracranial bypass with vein graft. Surg Neurol. 1986 Jul;26(1):85—91.
42. Park E.K., Ahn J.S., Kwon H., Kwun B.D. Result of extracranial-intracranial bypass surgery in the treatment of complex intracranial aneurysms: outcomes in 15 cases. J Korean Neurosurg Soc. 2008 Oct;44(4):228—33. Epub 2008 Oct 30.
43. Patel H.C., Teo M., Higgins N., Kirkpatrick P.J. High flow extra-cranial to intra-cranial bypass for complex internal carotid aneurysms. Br J Neurosurg. 2010 Apr;24(2):173—178.
44. Peerless S.J., Ferguson G.G., Drake C.G. Extracranial-intracranial (EC/IC) bypass in the treatment of giant intracranial aneurysms. Neurosurg Rev. 1982;5(3):77—81.
45. Quicones-Hinojosa A., Lawton M.T. In situ bypass in the management of complex intracranial aneurysms: Technique application in 13 patients. Neurosurgery 57:140—145, 2005.
46. Rainoldi F., Silvani V., Gaetani P. et al. Giant and intracavernous aneurysms of the carotid arteries. Their treatment by extracranial-intracranial bypass and gradual occlusion of the carotid artery in the neck. Minerva Med. 1986 Jun 8;77(24):1119—1124.

47. Ramanathan D., Hegazy A., Mukherjee S.K., Sekhar L.N. Intracranial in situ side-to-side microvascular anastomosis: principles, operative technique, and applications. *World Neurosurg.* 2010 Apr;73(4):317–325.
48. Rehman T., Ali R., Taylor C., Yonas H. Bilateral giant cavernous carotid artery aneurysms in a child with juvenile Paget's disease. *World Neurosurg.* 2010 Jun;73(6):691–693.
49. Robbins J., Fein J.M., Lantos G., Hooshangi N. Reflow into a thrombosed giant middle cerebral artery aneurysm after extracranial-intracranial bypass. *Neurosurgery* 1984 Jul;15(1):120–124.
50. Sanai N., Zador Z., Lawton M.T. Bypass surgery for complex brain aneurysms: an assessment of intracranial-intracranial bypass. *Neurosurgery.* 2009 Oct;65(4):670–683.
51. Schaps P., Mikulin H.D. Extracranial-intracranial bypass in inoperable carotid aneurysms and none reconstructive occluded cavernous fistulas. *Neurosurg Rev.* 1982;5(3):91–93.
52. Schmidt J.H. 3rd, Witsberger T.A. Treatment of giant intracranial aneurysm with carotid ligation, saphenous vein bypass graft. *W V Med J.* 1992 Aug;88(8):346–347.
53. Scott R.M., Liu H.C., Yuan R., Adelman L. Rupture of a previously unruptured giant middle cerebral artery aneurysm after extracranial-intracranial bypass surgery. *Neurosurgery* 1982 May;10(5):600–603.
54. Sekhar L.N., Kalavakonda C. Saphenous vein and radial artery grafts in management of skull base tumors and aneurysms. *Operative techniques in neurosurgery* 1999;2:129–141.
55. Sekhar L.N., Bucur S.D., Bank W.O., Wright D.C. Venous and arterial bypass grafts for difficult tumors, aneurysms, and occlusive vascular lesions: Evolution of surgical treatment and improved graft results. *Neurosurgery* 44:1207–1224, 1999.
56. 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* 49:646–659, 2001.
57. Sekhar L.N., Kalavakonda C., Elahi F. Cerebral revascularization. In: Atlas of neurosurgical techniques. Brain. Editors: Sekhar LN, Fessler FG. Thieme, 2006, pp.:339–369.
58. Sekhar L.N., Natarjan S.K., Ellenbogen R.G. et al. Cerebral revascularization for ischemia, aneurysms and cranial base tumor. *Neurosurgery* (June Suppl) 62(6): 1373–1410, 2008.
59. Sekhar L.N., Sen C.N., Jho H.D. Saphenous vein graft bypass of the cavernous internal carotid artery. *J Neurosurg* 72:35–41, 1990.
60. Sekhar L.N., Stimac D., Bakir A. et al. Reconstructions options for complex middle cerebral aneurysms. *Neurosurgery* 2005;56(Suppl 1):66–74.
61. Serbinenko F.A., Filatov J.M., Spallone A. et al. Management of giant intracranial ICA aneurysms with combined extracranial-intracranial anastomosis and endovascular occlusion. *J Neurosurg.* 1990 Jul;73(1):57–63.
62. Spetzler R.F., Owen M.P. Extracranial-intracranial arterial bypass to a single branch of the middle cerebral artery in the management of a traumatic aneurysm. *Neurosurgery* 1979 Apr;4(4):334–337.
63. Spetzler R.F., Rhodes R.S., Roski R.A., Likavec M.J. Subclavian to middle cerebral artery saphenous vein bypass graft. *J Neurosurg* 1980 Oct;53(4):465–469.
64. Spetzler R.F., Roski R.A., Shuster H., Takaoka Y. The role of EC-IC in the treatment of giant intracranial aneurysms. *Neurol Res* 1980; 2(3-4):345–359.
65. Spetzler R.F., Selman W., Carter L.P. Elective EC-IC bypass for unclippable intracranial aneurysms. *Neurol Res* 1984 Mar-Jun;6(1-2):64–68.
66. Spetzler R.F., Shuster H., Roski R.A. Elective extracranial-intracranial arterial bypass in the treatment of inoperable giant aneurysms of the internal carotid artery. *J Neurosurg* 1980 Jul;53(1):22–27.
67. Streefkerk H.J., Bremmer J.P., Tulleken C.A. The ELANA technique: High flow revascularization of the brain. *Acta Neurochir Suppl* 94:143–148, 2005.
68. Streefkerk H.J., Bremmer J.P., van Weelden M. et al. The excimer laser-assisted nonocclusive anastomosis practice model: Development and application of a tool for practicing microvascular anastomosis techniques. *Neurosurgery* 58 [Suppl]:ONS148–ONS156, 2006.
69. Streefkerk H.J., Wolfs J.F., Sorteberg W. et al. The ELANA technique: Constructing a high flow bypass using a non-occlusive anastomosis on the ICA and a conventional anastomosis on the SCA in the treatment of a fusiform giant basilar trunk aneurysm. *Acta Neurochir (Wien)* 146:1009–1019, 2004.
70. Sundt T.M. Jr, Piepgras D.G. Surgical approach to giant intracranial aneurysms. Operative experience with 80 cases. *J Neurosurg* Dec;51(6):731–742, 1979.
71. Sundt T.M. Jr, Piepgras D.G., Houser O.W., Campbell J.K. Interposition saphenous vein grafts for advanced occlusive disease and large aneurysms in the posterior circulation. *J Neurosurg* 1982 Feb;56(2):205–215.
72. Sundt T.M. Jr, Piepgras D.G., Marsh W.R., Fode N.C. Saphenous vein bypass grafts for giant aneurysms and intracranial occlusive disease. *J Neurosurg* 1986 Oct;65(4):439–450.
73. Sundt T.M. 3rd, Sundt T.M. Jr. Principles of preparation of vein bypass grafts to maximize patency. *J Neurosurg* 1987 Feb;66(2):172–180.
74. Thomas M., Hennerici M., Marshall J. Cerebral blood flow after carotid occlusion and extracranial-intracranial bypass. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1984 Feb;47(2):148–152.
75. Tognetti F., Andreoli A., Testa C. Giant fusiform aneurysm of the middle cerebral artery treated with extracranial-intracranial arterial bypass and Drake tourniquet. *Surg Neurol* 1984 Jul;22(1):33–35.
76. Tolley J.A. III, Carotid Artery Occlusive Disease—Clinical Considerations in Surgical Revascularization. *Calif Med.* 1967 September; 107(3): 254–260.
77. Turnbull I.W. Isotope cerebral perfusion studies before and after extracranial/intracranial bypass. *AJNR Am J Neuroradiol* 1983 May-Jun;4(3):566–567.
78. van der Zwan A., Tulleken C.A., Hillen B. Flow quantification of the nonocclusive excimer laser-assisted EC-IC bypass. *Acta Neurochir* 143 (7): 647–654, 2001.
79. van Dormaal T.P., van der Zwan A., Verweij B.D. et al. Treatment of giant and large internal carotid artery aneurysms with high-flow replacement bypass using the excimer laser-assisted nonocclusive anastomosis technique. *Neurosurgery* 59 (Suppl 4): ONS328-ONS335, 2006.
80. van Doormaal T.P., van der Zwan A., Verweij B.H. et al. Giant aneurysm clipping under protection of an excimer laser-assisted non-occlusive anastomosis bypass. *Neurosurgery.* 2010 Mar;66(3): 439–47; discussion 447.
81. van Doormaal T.P., van der Zwan A., Aboud E. et al. The sutureless excimer laser assisted non-occlusive anastomosis (SELANA); a feasibility study in a pressurized cadaver model. *Acta Neurochir (Wien).* 2010 Sep;152(9):1603–8; discussion 1608–1609. Epub 2010 Jun 30.
82. Wakui K., Kobayashi S., Takemae T. et al. Giant thrombosed vertebral artery aneurysm managed with extracranial-intracranial bypass surgery and aneurysmectomy. Case report. *J Neurosurg.* 1992 Oct;77(4):624–627.
83. Weill A., Cognard C., Levy D. et al. Giant aneurysms of the middle cerebral artery trifurcation treated with extracranial-intracranial arterial bypass and endovascular occlusion. Report of two cases. *J Neurosurg.* 1998 Sep;89(3):474–478.
84. Wu C., Xu B.N., Sun Z.H. et al. Extracranial-intracranial revascularization techniques in the treatment of complex aneurysms and prevention and management of occlusion of bypass vessels. [Article in Chinese] *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2011 Jan 1;49(1):70–73.
85. Wylie E.J., Hein M.F., Adams J.E. Intracranial hemorrhage following surgical revascularization for treatment of acute strokes. *J Neurosurg* Mar;21:212-215, 1964.
86. Yasargil M.G. Anastomosis between Superficial Temporal Artery and a Branch of the Middle Cerebral Artery. Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 1969.
87. Yonas H., Gur D., Good B.C. et al. Stable xenon CT blood flow mapping for evaluation of patients with extracranial-intracranial bypass surgery. *J Neurosurg.* 1985 Mar;62(3):324–333.
88. Yonas H., Kaufmann A. Combined extracranial-intracranial bypass and intraoperative balloon occlusion for the treatment of intracavernous and proximal carotid artery aneurysms. *Neurosurgery.* 1995 Jun;36(6):1234.
89. Yoon W.K., Jung Y.J., Ahn J.S., Kwon B.D. Successful obliteration of unclippable large and giant middle cerebral artery aneurysms following extracranial-intracranial bypass and distal clip application. *J Korean Neurosurg Soc.* 2010 Sep;48(3):259–262. Epub 2010 Sep 30.
90. Zhou L.F., Jiang D.J. Cerebral artery reconstruction in the treatment of large and giant intracranial aneurysms. *Chin Med J (Engl).* 1994 Jan;107(1):41–46.
91. Zhu C. Extracranial-intracranial bypass and «trapping» method in the treatment of a giant aneurysm. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 1981 Oct;19(10):596–597.