

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИРКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ХИРУРГИИ И ТРАВМАТОЛОГИИ»

На правах рукописи

БЕЛЫХ
ЕВГЕНИЙ ГЕОРГИЕВИЧ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ
ДЛЯ НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОГО ТРЕНИНГА КЛИПИРОВАНИЯ
АНЕВРИЗМ СРЕДНЕЙ МОЗГОВОЙ АРТЕРИИ
И НАЛОЖЕНИЯ МИКРОАНАСТОМОЗОВ

14.01.18 – нейрохирургия

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
кандидат медицинских наук, доцент (14.01.18 – нейрохирургия),
доктор медицинских наук (14.01.11 – неврология)
Бывальцев Вадим Анатольевич

Иркутск – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР | 13 |
| 1.1 Хирургия церебральных аневризм | 13 |
| 1.1.1 Распространенность церебральных аневризм | 13 |
| 1.1.2 Этиология церебральных аневризм | 13 |
| 1.1.3 Локализация церебральных аневризм | 15 |
| 1.1.4 Частота и последствия разрыва церебральных аневризм | 17 |
| 1.1.5 Показания и способы хирургического лечения аневризм | 19 |
| 1.1.6 Шунтирующие операции в хирургии церебральных аневризм | 26 |
| 1.1.7 Оценка церебральной гемодинамики в выборе вида шунтирования | 27 |
| 1.1.8 Шунтирующие операции в бассейне задней циркуляции головного мозга | 29 |
| 1.1.9 Классификация прямых сосудистых шунтирующих операций | 31 |
| 1.2 Симуляционный тренинг в нейрохирургии | 43 |
| 1.2.1 Актуальность направления | 43 |
| 1.2.2 Сравнения симуляционного тренинга с другими сферами сложной деятельности | 46 |
| 1.2.3 Терминология и классификация | 47 |
| 1.2.4 Определение компетентности (экспертности) | 49 |
| 1.2.5 Определение валидности экспериментальных моделей | 51 |
| 1.2.6 Проблема квалиметрии навыков | 52 |
| 1.2.7 Лаборатория микронейрохирургии | 53 |
| 1.2.8 Экспериментальные модели микроанастомозов | 54 |
| 1.2.9 Симуляторы эндоваскулярных вмешательств | 54 |
| 1.2.10 Компьютерные симуляционные тренажеры | 57 |
| 1.2.11 Экспериментальные модели церебральных аневризм | 60 |
| ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ | 63 |
| 2.1 Мета-анализ крупных серий открытого выключения церебральных аневризм | 63 |
| 2.2 Топографо-анатомический метод исследования | 65 |
| 2.3 Гистологическое исследование | 67 |
| 2.4 Метод моделирования церебральных аневризм | 68 |
| 2.5 Квалиметрия навыков | 70 |
| 2.6 Очевидная и содержательная валидность | 72 |
| 2.7 Конструктивная валидность | 72 |

| | |
|--|-----|
| 2.8 Определение надежности | 73 |
| 2.9 Статистическая обработка результатов исследования | 74 |
| ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ | 75 |
| 3.1 Результаты мета-анализа крупных серий открытого выключения церебральных аневризм | 75 |
| 3.2 Сравнительная анатомия сосудов плаценты и головного мозга человека | 84 |
| 3.3 Сравнительное гистологическое исследование артерий головного мозга, артериальных аутотрансплантатов и плаценты человека | 87 |
| 3.4 Экспериментальная модель артериальной аневризмы головного мозга | 93 |
| 3.4.1 Размеры моделированных аневризм на плаценте человека | 93 |
| 3.4.2 Экспериментальная модель выделения и клипирования аневризмы | 94 |
| 3.4.3 Определение очевидной и содержательной валидности модели аневризмы | 98 |
| 3.4.4 Определение конструктивной валидности модели аневризмы | 100 |
| 3.4.5 Определение надежности квалитметрической оценки навыков диссекции и клипирования аневризмы | 101 |
| 3.5 Моделирование шунтирующих операций на сосудах плаценты человека | 104 |
| 3.5.1 Определение очевидной и содержательной валидности модели микроанастомоза | 106 |
| 3.5.2 Определение конструктивной валидности модели микроанастомоза..... | 108 |
| 3.6 «Сухой» постоянный микрохирургический тренинг | 110 |
| 3.7 Проспективный анализ уровня мануальных нейрохирургических навыков на протяжении длительного периода времени | 111 |
| 3.8 Клинико-симуляционные параллели | 113 |
| 3.8.1 Симуляция клипирования церебральной аневризмы | 113 |
| 3.8.2 Сосудистый микроанастомоз..... | 122 |
| 3.8.3 Клинический пример наложения сосудистого микроанастомоза..... | 123 |
| 3.8.4 Особенности техники создания низкопроточных анастомозов | 126 |
| 3.8.5 Экспериментальная модель низкопроточного анастомоза на сосудах плаценты человека | 132 |
| 3.8.6 Клинический пример высокопроточного шунтирования | 132 |
| 3.8.7 Особенности техники создания высокопроточных анастомозов..... | 136 |
| 3.8.8 Экспериментальная модель высокопроточного шунтирования при выключении технически сложной аневризмы из кровотока..... | 140 |
| 3.8.9 Алгоритм нейрохирургического тренинга | 143 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 146 |
| ВЫВОДЫ | 153 |

| | |
|--|-----|
| ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ | 154 |
| СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ | 155 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 155 |
| Приложение А Анкета участника тренинга клипирования аневризм..... | 191 |
| Приложение Б Анкета участника тренинга наложения сосудистого микроанастомоза..... | 192 |
| Приложение В Северо-Западный объективный инструмент оценки микроанастомоза | 193 |
| Приложение Г Объективная структурированная оценка навыков клипирования аневризмы .. | 196 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Аневризмы сосудов головного мозга встречаются в популяции в 1–10 % случаев и манифестируют в виде развития геморрагического инсульта с частотой от 5 до 10 случаев на 100 000 населения ежегодно [17, 43, 44, 175, 230, 246, 268, 269, 314]. В многочисленных научных исследованиях обсуждаются принципиальные способы лечения церебральных аневризм – микрохирургическое клипирование и эндоваскулярное закрытие [23, 196].

В настоящее время достигнуты значительные успехи в эндоваскулярном лечении церебральных аневризм с помощью баллон-ассистированного койлинга и поток-направляющих стентов, что меняет традиционные представления о показаниях к выбору метода лечения для аневризм отдельных локализаций и форм [102, 228]. Тем не менее, короткий катамнез после эндоваскулярных вмешательств, высокая частота реканализаций, необходимость повторных ангиографий, а также тромбоэмболические осложнения при использовании поток-направляющих стентов являются существенными недостатками эндоваскулярных методик и аргументом в пользу необходимости совершенствования микрохирургических навыков. Изменения в доступных опциях современных методов лечения важны не только при определении индивидуальной тактики ведения пациента, но и при проведении экспериментальных исследований, ориентированных на совершенствование нейрохирургических навыков, которые являются неотъемлемой частью успешного выключения церебральных аневризм [79, 95, 105, 130, 173].

С распространением эндоваскулярного метода лечения аневризм прогрессивно снижается возможность получения нейрохирургами практического опыта открытых вмешательств. В связи с прогнозируемым увеличением количества выполняемых эндоваскулярных вмешательств в повседневной нейрохирургической практике в перспективе будет уменьшаться число нейрохирургов, обладающих навыками открытого микрохирургического лечения церебральных аневризм [70,

296]. Нейрохирурги чаще будут сталкиваться с технически сложными для открытого выключения аневризмами [16, 229, 296]. Кроме того, для лечения таких аневризм в 3–5 % случаев требуются навыки микрососудистых операций наложения сосудистых микроанастомозов [13, 22, 28, 105].

Актуальность разработки и внедрения новых симуляционных технологий обусловлена социальной и морально-этической значимостью оказания высокоспециализированной нейрохирургической помощи населению [35, 70, 247, 311]. Внедрение и совершенствование современных диагностических и лечебных нейрохирургических методик объективно повышает потребность в специалистах, способных эффективно применять высокотехнологичное оборудование [23]. Установлено, что тренинг на симуляционных моделях значительно повышает эффективность использования таких технологий в практическом здравоохранении [33]. Современные микронеурхирургические операции требуют специализированного обучения, реализуемого на фантомах, муляжах, манипуляционных тренажерах, симуляционных моделях [13, 180, 334].

Степень разработанности темы исследования

В настоящее время в России отсутствуют общепринятые подходы к нейрохирургическому тренингу мануальных навыков, а также научно обоснованные принципы получения и поддержания практических нейрохирургических навыков на экспериментальных и симуляционных моделях. В большинстве нейрохирургических отделений и центров получение навыков нейрохирургических вмешательств на сосудах головного мозга происходит на пациентах под контролем более опытного нейрохирурга. Имеются лишь единичные центры с нейро- и микрохирургическими лабораториями, в которых возможно получение мануальных навыков без риска для пациентов. Кроме того, отсутствуют доступные адекватные экспериментальные модели, на которых с высокой степенью правдоподобия можно отрабатывать технику операций. Наличие последних, а также эффективных подходов к тренингу и их внедрение в практику может способствовать улучшению мануальных навыков большого числа нейрохирургов, что, безусловно, повысит качество

оказания хирургической помощи. Побудительным мотивом к проведению данного исследования явилась необходимость разработки адекватных, доступных биологических моделей, соответствующих тактильным и анатомо-гистологическим характеристикам сосудов головного мозга человека.

Цель исследования

Разработать экспериментальные модели артериальных аневризм и сосудистых микроанастомозов для улучшения техники и результатов хирургического лечения пациентов с цереброваскулярными заболеваниями.

Задачи исследования:

1. Изучить особенности локализации церебральных аневризм и определить анатомо-гистологическое соответствие им плаценты человека, предлагаемой в качестве экспериментальной модели.
2. Выявить особенности микрохирургической техники при операциях выключения церебральных аневризм из циркуляции и адаптировать ее к предлагаемым экспериментальным моделям.
3. Разработать модели артериальных аневризм и сосудистых микроанастомозов для нейрохирургических операций на основе сосудов плаценты человека.
4. Предложить квалитетрические шкалы для оценки нейрохирургических навыков и на их базе определить эффективность полученных мануальных навыков клипирования мешотчатых артериальных аневризм и техники сосудистых микроанастомозов в эксперименте.
5. Разработать алгоритм нейрохирургического тренинга с целью улучшения результатов хирургического лечения церебральных аневризм.

Научная новизна исследования:

1. Предложена новая экспериментальная модель артериальных аневризм головного мозга (Патент Российской Федерации № 2541050 от 10.02.2015 г.) на биологическом объекте (плацента человека) с соответствующими сосудам головного мозга человека анатомо-гистологическими характеристиками.

2. Предложен новый способ наложения микроанастомоза (Патент Российской Федерации № 2533030 от 20.11.2014 г.) на церебральных сосудах, позволяющий упростить технику и повысить скорость его наложения.

3. Разработана новая квалиметрическая шкала «Объективная Структурированная шкала оценки Навыков Клипирования Аневризмы» (ОСАНКА), позволяющая объективно оценить эффективность проводимого микронеурохирургического тренинга и уровень владения мануальными навыками клипирования церебральных аневризм.

4. Впервые в отечественной литературе сформулированы принципы симуляционного нейрохирургического тренинга на разработанных экспериментальных моделях для получения и поддержания сложных мануальных микронеурохирургических навыков.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Доказано, что разработанные экспериментальные модели церебральных аневризм и наложения сосудистых микроанастомозов позволяют объективно повысить уровень хирургической техники клипирования артериальных аневризм и наложения микроанастомозов на сосудах головного мозга человека, что способствует улучшению результатов хирургического лечения пациентов с данной группой заболеваний.

2. Предложенный способ наложения микроанастомоза на церебральных сосудах позволяет упростить процесс его выполнения и снизить затрачиваемое время, тем самым улучшить качество оказания специализированной помощи пациентам.

3. Доказана валидность и надежность разработанной квалитметрической шкалы для объективной оценки мануальных навыков клипирования аневризмы (шкала ОСАНКА) и шкалы для оценки навыков наложения церебральных сосудистых микроанастомозов «Северо-Западная Объективная шкала наложения Микроанастомоза» (СООМ).

4. Предложенный алгоритм нейрохирургического тренинга на базе специализированной лаборатории позволяет поддерживать высокий уровень нейрохирургических навыков клипирования аневризмы и наложения сосудистого микроанастомоза.

Результаты исследования используются в работе ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», Центра нейрохирургии НУЗ «ДКБ на станции Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД», а также в учебном процессе курса нейрохирургии ИГМУ и кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии ИГМАПО при подготовке врачей по специальности «нейрохирургия».

Методология и методы исследования

В исследовании использованы мета-анализ, топографо-анатомический, гистологический методы, морфометрия, анкетирование, клинико-анатомические, лабораторные и инструментальные методы обследования пациентов, статистические методы обработки данных.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментальные модели артериальных аневризм и сосудистых микроанастомозов на основе плаценты человека позволяют объективно воспроизводить нейрохирургическую технику клипирования артериальных аневризм и наложения сосудистых микроанастомозов церебральных сосудах в связи с высокой степенью анатомо-гистологического и тактильного соответствия сосудов плаценты сосудам головного мозга человека.

2. Способ наложения сосудистого микроанастомоза по типу «конец-в-бок» с предварительной окраской стенок сосуда пиоктановым голубым, наложением не-

прерывного шва расслабленными петлями с последующим их разрезанием и формированием одиночных узловых швов, позволяет упростить процесс выбора места вкола иглы, повысить скорость наложения анастомоза и равномерность наложения швов, что в свою очередь обеспечивает высокую состоятельность анастомоза и снижение продолжительности транзиторной ишемии в бассейне сосуда реципиента.

3. Постоянный лабораторный тренинг с отработкой части сложного нейрохирургического навыка наложения сосудистого микроанастомоза на церебральных сосудах является более эффективным, чем только редкий интенсивный тренинг и способствует улучшению качества оказания помощи пациентам.

4. Разработанный алгоритм нейрохирургического обучения, объективизированный на основе квалитетрического анализа, позволяет получать нейрохирургические навыки клипирования аневризм и наложения сосудистых микроанастомозов и стабильно поддерживать их высокий уровень.

Степень достоверности результатов

Результаты получены с использованием современных методов исследования и обработки информации. Использованные в диссертации методы и дизайн согласуются с исследованиями сравнимого типа, опубликованных в научной литературе по данной тематике. Достоверность полученных результатов доказана с использованием научных подходов и методов статистики. Сформулированные выводы и теоретические положения основаны на известных и доказанных фактах, и согласуются с экспериментальными данными.

Апробация работы

Материалы исследования представлены на 3-й Межрегиональной конференции молодых ученых с международным участием «Консолидация традиционной и академической медицины» (Улан-Удэ, 2011 г.), Нейрохирургической конференции Фукуи – Иркутск, (Фукуи, Япония, 2012 г.), VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Цивьяновские

чтения» (Новосибирск, 2013 г.), Международных курсах турецкого нейрохирургического общества IBNC, Term I, Course II (Анталия, Турция, 2013 г.), 15-м Всемирном конгрессе нейрохирургии (Сеул, Корея, 2013 г.), Конференции Барроу неврологического института (Финикс, Аризона, США, 2015 г.), 80-й и 81-й Всероссийских Байкальских научно-практических конференциях молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы современной медицины» (Иркутск, 2013, 2014 гг.), III Межрегиональной научно-практической конференции молодых ученых ВСНЦ СО РАМН «Человек: здоровье и экология» (Иркутск, 2014 г.), II Международном Российско-японском симпозиуме «Современные аспекты нейрохирургии» (Иркутск, 2014 г.), 4-м Японско-русском нейрохирургическом симпозиуме (Хиросима, Япония, 2014 г.); на заседании ученого совета ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии» (26.05.2015 г.).

По материалам диссертационной работы оформлено два патента: Патент Российской Федерации № 2533030 от 20.11.2014 г. «Способ наложения сосудистого микроанастомоза по типу "конец-в-бок"» (Бывальцев В.А., Белых Е.Г., Калинин А.А., Дамдинов Б.Б., Сороковиков В.А.) и Патент Российской Федерации № 2541050 от 10.02.2015 г. «Способ моделирования артериальной аневризмы головного мозга» (Белых Е.Г., Бывальцев В.А., Григорьев Е.Г., Сороковиков В.А., Никифоров С.Б., Дамдинов Б.Б.).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 28 научных работ, из них в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК Минобрнауки РФ – 11, 2 монографии, 3 главы в монографиях, 10 в виде статей и тезисов отечественных и зарубежных конгрессов, конференций и съездов, получено 2 патента на изобретения.

Структура и объем диссертации

Диссертация представлена в виде рукописи, изложена на 197 страницах машинописного текста, содержит введение, 3 главы, заключение, выводы, практические рекомендации, список литературы и 4 приложения. Работа иллюстрирована 12 таблицами, 57 рисунками и графиками. Список литературы включает в себя 335 источников, из них 45 на русском и 290 на иностранных языках.

ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1. Хирургия церебральных аневризм

1.1.1. Распространенность церебральных аневризм

Аневризмы сосудов головного мозга встречаются в популяции относительно часто. В связи с развитием и большей доступностью неинвазивной нейровизуализации, включая КТ, МРТ, МРА, возможности диагностики церебральных аневризм расширились [43, 314]. Распространенность аневризм сосудов головного мозга, согласно недавним систематическим обзорам, собравшим информацию из разных стран, составляет не менее 1 % у лиц средней возрастной группы и более 4 % – у лиц пожилого возраста, а в Северной Америке – это 1–8 % всего взрослого населения [246]. По данным аутопсийных исследований, частота их встречаемости составляет от 0,4 до 9,9 % [268, 269], ангиографических исследований – от 3,7 % при ретроспективном и до 6,0 % – при проспективном анализе. Большинство аневризм – единичные, небольшие и асимптомные; множественные аневризмы встречаются до 30 % (аневризматическая болезнь) [28, 36, 45, 59, 194]. Оценочная частота встречаемости неразорвавшихся внутричерепных аневризм головного мозга составляет 5–10 % популяции [26, 44, 175, 318]. В Республике Беларусь аневризмы диагностированы с частотой до 3,0 на 100 000 населения [43].

1.1.2. Этиология церебральных аневризм

Несмотря на то, что природа этого заболевания полностью не исследована, его можно отнести к мультифакториальным. В развитии церебральных аневризм участвуют предрасполагающие и производящие факторы: генетические и гемодинамические, патология соединительной ткани, а также сопутствующие системные заболевания (атеросклероз, гипертония). Развитие аневризм сосудов головного мозга связывают с дефектом различных компонентов соединительной ткани, что приводит к поражению внутренней эластической мембраны, интимы и меди. При этом само заболевание носит системный характер, а стенка сосудов головного

мозга представляет собой *locus minoris resistentia* – т.е. место с наименьшей устойчивостью к повреждению. Данные морфологических исследований показывают, что у большинства больных с аневризмами сосудов головного мозга имеет место мезенхимальная дистрофия сосудистой стенки. Так как это является системным поражением, ее признаки и выраженность, а следовательно, и прогноз разрыва аневризмы возможно в некоторой мере оценить, исследуя ПВА [39]. Частота развития аневризм увеличивается при некоторых генетических заболеваниях, в основе которых лежит поражение компонентов соединительной ткани, таких как поликистоз почек (аномалия протеинов экстрацеллюлярного матрикса), синдром Марфана (патология фибриллина), синдром Элерса – Данлоса (аномалии коллагена III типа), эластическая псевдоксантома (дефекты эластина и фибриллина), нейрофиброматоз и др. [8, 31, 146]. Описаны случаи семейных аневризм и аневризм у близнецов, что свидетельствует о наследственной предрасположенности [40]. Тем не менее недавнее крупное эпидемиологическое исследование, включающее 6 конкордантных и 492 дискордантных пар близнецов, показало риск субарахноидального кровоизлияния у дизиготных близнецов – 0,54 % и у монозиготных близнецов – 5,9 %. Данное исследование показало, что субарахноидальное кровоизлияние не имеет четкой генетической корреляции, а семейные случаи могут быть обусловлены факторами внешней среды [145]. Кроме того, при аневризмах имеет место дегенеративное поражение внутренней эластической мембраны вследствие гипертензии, турбулентного тока крови и атеросклеротического поражения стенки сосуда при артериальной гипертензии [37, 39, 175]. Аневризмы классифицируют по форме, размерам и локализации.

1.1.3. Локализация церебральных аневризм

Аневризмы локализуются на артериях в местах гемодинамического стресса – в области отхождения ветви, бифуркации. Эпидемиологические данные о преимущественном расположении нерасорвавшихся аневризм доступны из продольных аутопсийных и поперечных диагностических исследований, наблюдательных и интервенционных исследований таких пациентов. Другой массив данных получен из исследований, посвященных субарахноидальным кровоизлияниям или разорвавшимся аневризмам. При сравнении данных о локализации нерасорвавшихся (Рисунок 1) и разорвавшихся (Рисунок 2) аневризм наблюдаются некоторые расхождения.

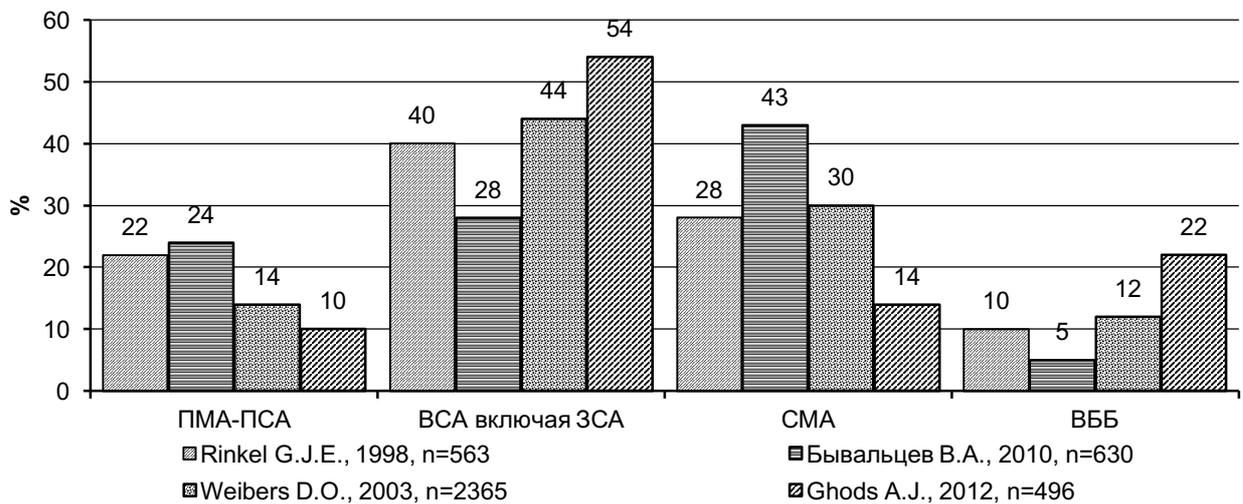


Рисунок 1 – Частота локализаций нерасорвавшихся аневризм

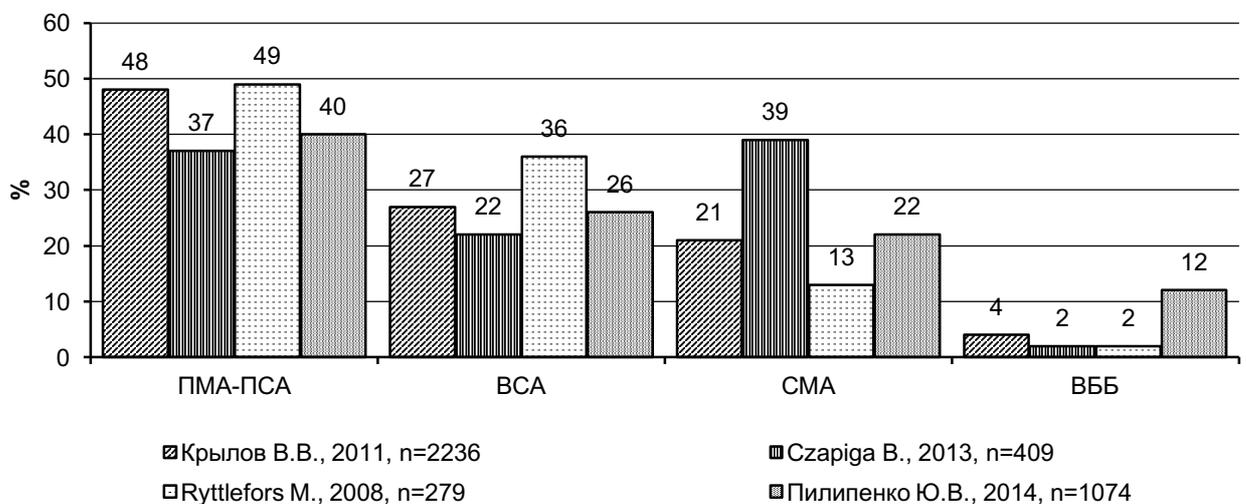


Рисунок 2 – Частота локализации разорвавшихся аневризм

В данной работе использована классификация деления ВСА на отделы и сегменты, предложенная В.В. Крыловым, в которой нумерация сегментов сохранилась в порядке против тока крови, как и в первой классификации E. Fischer [136], вошедшей в себя деление супраклиноидного отдела на три сегмента из классификации H. Gibo et al. [147] и выделение клиноидного отдела как отдельного из классификации A. Bouthillier et al. [77], однако, в отличие от последней, не выделяя отдел рваного отверстия (*lacerum*), что нашло также отражение в классификации I.M. Ziyal et al. [232].

Супраклиноидный отдел:

- C1A – хориоидальный сегмент;
- C1B – коммуникантный сегмент;
- C2 – офтальмический сегмент.

Клиноидный отдел:

- C3 – клиноидный сегмент.

Кавернозный отдел:

- C4 – горизонтальный сегмент;
- C5 – восходящий сегмент.

Каменистый отдел:

- C6A – горизонтальный сегмент;
- C6B – вертикальный сегмент.

Шейный отдел:

- C7 – шейный сегмент.

Передняя мозговая артерия:

- A1 – от бифуркации ВСА до передней соединительной артерии;
- A2 – от передней соединительной артерии до каллезомаргинальной артерии;
- A3 – все ветви перикаллезной и каллезомаргинальной артерии.

Средняя мозговая артерия:

- M1 – от бифуркации ВСА до бифуркации СМА;
- M2 – от бифуркации СМА до циркулярной борозды островка;

М3 – от циркулярной борозды островка до выхода из сильвиевой щели на поверхность;

М4 – корковые ветви.

Позвоночная артерия:

V1 – внекостный сегмент от подключичной артерии до входа в поперечные отверстия шейных позвонков;

V2 – фораминальный сегмент, проходит в поперечных отверстиях $C_{VI}-C_{II}$;

V3 – внепозвоночный сегмент от выхода из поперечного отверстия C_1 назад горизонтально и медиально над дужкой C_1 , проходит через атлантоокципитальную мембрану, меняет ход вверх и вперед, пенетрирует твердую мозговую оболочку;

V4 – интрадуральный сегмент от дурального кольца до образования базилярной артерии.

Задняя мозговая артерия:

P1 – от бифуркации базилярной артерии до задней соединительной артерии;

P2 – от задней соединительной артерии до задней поверхности среднего мозга;

P3 – от задней поверхности среднего мозга до шпорной борозды;

P4 – от шпорной борозды корковые ветви.

1.1.4. Частота и последствия разрыва церебральных аневризм

Согласно данным эпидемиологических исследований, заболеваемость геморрагическим инсультом в различных странах находится в пределах от 11,0 до 23,0 случаев на 100 000 населения ежегодно. У мужчин кровоизлияния встречаются несколько чаще, чем у женщин, с соотношением 3:2 [17]. Разрыв аневризмы происходит примерно в 5–10 случаях на 100 000 населения в год [246]. Спонтанный тромбоз неразорвавшихся аневризм головного мозга случается редко. Каждый год примерно 30 000 человек в США страдают от разрыва интракраниальных аневризм [175]. В странах Европы заболеваемость САК находится в пределах от 6,0 до 12,0 случаев на 100 000, в США – 10 на 100 000 [196]. В России этот показатель, по данным на 2000 г. [25], равен 14 случаям на 100 000 населения в год, до настоящего

времени цитируется и признается отвечающим действительности [22, 27]. Ежегодная частота новых случаев геморрагического инсульта, рассчитанная на число жителей Ханты-Мансийского автономного округа в возрасте 20 лет и старше, составила 27,3 (18,1–38,3) случая на 100 000 жителей в год, из которых 50 % составляет САК [27]. Такие высокие показатели могут быть обусловлены потенциально высокой встречаемостью факторов риска разрыва аневризм в данной популяции. К ним в первую очередь можно отнести курение (ОШ 3,05 (1,19–7,83)), женский пол (ОШ 2,53 (1,10–5,85)), гипертензию, а также алкоголизм [183]. В момент разрыва аневризмы, в зависимости от локализации, происходит кровотечение или в ткань головного мозга, вызывая паренхиматозное кровоизлияние, или, как это бывает чаще, САК, которое является катастрофическим событием, вызывающим резкий подъем внутричерепного давления, иногда прорыв крови в желудочковую систему или паренхиму. Ангиоспазм развивается вторично, обычно спустя несколько дней и становится причиной вторичных ишемических повреждений и отсроченного неврологического дефицита [39]. Кроме того, после САК в отдаленном периоде возникают нарушения циркуляции ликвора. Уровень смертности в течение первых 30 дней колеблется от 45 до 80 % [24, 39]. Инвалидами становятся 50 % выживших. Таким образом, только у 1/3 пациентов наблюдается положительный исход [182]. Частота повторного кровоизлияния у пациентов, поступивших с нефатальным САК, в течение первых двух недель составляет 25–30 % и является наиболее высокой в промежутке между первыми 24–48 ч и постепенно снижается до нескольких процентов в течение следующих двух недель [29, 196]. Если после САК в течение двух месяцев не произошло повторного кровоизлияния, то риск последующего САК приравнивается к таковому у неразорвавшихся аневризм [196]. При повторном кровоизлиянии летальность достигает 60 %, а после третьего эпизода приближается к 100 % [17, 23, 161]. При этом аневризматическое САК, как правило, происходит у лиц трудоспособного возраста (40–50 лет), что обуславливает высокую социально-экономическую значимость проблемы.

Наряду с тем, что в ряде нейрохирургических клиник в России имеются несомненные успехи в лечении сосудистых заболеваний мозга, в целом хирургические

вмешательства при геморрагических и ишемических инсультах, а также их профилактическое лечение, применяются в 10 раз реже, чем требуется [23].

Для решения проблемы хирургического лечения больных с нетравматическими внутричерепными кровоизлияниями, по мнению академика В.В. Крылова, необходимо выполнение ряда условий, одним из которых является овладение нейрохирургами навыками диагностики и микрохирургии аневризм, артериовенозных мальформаций, внутримозговых гематом и патологии магистральных артерий головы [23]. Отмечается потребность в большом отделении нейрохирургии, при котором концентрация пациентов неизбежно приведет к накоплению опыта. В качестве дополнения следует указать на необходимость лаборатории для симуляционного тренинга, освоения и поддержания обозначенных микрохирургических навыков.

1.1.5. Показания и способы хирургического лечения аневризм

За последние десятилетия проведено большое количество исследований, в том числе и ряд крупных исследований по проблемам хирургии церебральных аневризм. Хирургическая тактика в отношении церебральных аневризм зависит от ряда факторов, основным из которых является наличие или отсутствие разрыва аневризмы.

Хирургия разорвавшихся аневризм

Международное исследование ISAT (International Subarachnoid Aneurysm Trial), в котором оценивали лечение разорвавшихся аневризм, подходящих как для эндоваскулярного, так и для открытого хирургического вмешательства, выявило преимущества эндоваскулярного метода в выживаемости и частоте благоприятных исходов в течение одного года после операции [167, 168]. Следует отметить, что исследование ISAT нельзя экстраполировать на всю популяцию пациентов с аневризмами, так как в него было включено только 22 % пациентов с аневризмами, пролеченных в клиниках, где проводилось исследование, как нельзя утверждать, что эмболизация спиралями безопаснее клипирования при всех аневризмах [23, 154]. Тем не менее, результаты наблюдения когорты пациентов ISAT из Великобритании в течение 10 лет показали, что после эндоваскулярного лечения они с

большей вероятностью выживали и были более независимыми, чем после открытого клипирования (ОШ 1,34 (1,07–1,67)) [299].

Исследование BRAT (**B**arrow **R**uptured **A**neurysm **T**rial) было проведено с целью ответить на остающиеся спорные вопросы относительно выбора тактики лечения разорвавшихся аневризм [295]. В BRAT включены все пациенты, поступающие в клинику, где доступно как эндоваскулярное, так и микрохирургическое лечение, при этом пациенты, давшие согласие на участие в исследовании, отнесены в одну из двух групп. Если, по мнению нейрохирурга, метод лечения не был оптимален для данного пациента, он мог перейти в другую группу лечения. Всего в исследование вошли: 238 человек, определенных в группу клипирования, и 233 – в группу эндоваскулярного койлинга; 74 человека перешли в группу клипирования, 4 – в группу эндоваскулярного койлинга. В итоге 245 пациентам проведено клипирование аневризмы, 113 – эндоваскулярная окклюзия аневризмы спиралью. Шестилетние результаты BRAT по модифицированной шкале Рэнкина более 2 (тяжелый и средний неврологический дефицит) достигли уровня 35 % в группе эндоваскулярного лечения и 41 % – в группе микрохирургии, без статистически значимой разницы ($P = 0,24$). При оценке исходов лечения аневризм задней циркуляции лучшие результаты получены в группе койлинга; однако следует учитывать, что группы были неоднородны по количеству аневризм задней нижней мозжечковой артерии, которые в большинстве подвергались клипированию ($n = 13$), а не койлингу ($n = 3$). Известно, что в большинстве случаев эти аневризмы приводят к плохим исходам, что вносит негативный вклад, ухудшая результаты группы клипирования в целом. В ходе исследования установлено, что через 6 лет полностью облитерированными были 96 % аневризм в группе клипирования против 48 % в группе эндоваскулярного койлинга ($P = 0,001$). Необходимость в повторном лечении возникла у 4 % пациентов после клипирования и у 13 % – после койлинга ($P = 0,001$). Таким образом, данные BRAT подтверждают целесообразность открытой микрохирургии большинства церебральных аневризм. При этом авторы отмечают приоритетность открытой нейрохирургии аневризм передней циркуляции, в том числе, с большей долей вероятности, СМА [296], что также связано с более высоким

риском реканализации (15,6 %), необходимостью повторного лечения (7,6 %) и периоперационными осложнениями (13,7 %) при эндоваскулярном лечении аневризм СМА (В. Gory, 2014).

Исследование ISAT II инициировано в 2013 г. с ожидаемой продолжительностью 12 лет и количеством пациентов 1896, чтобы проверить гипотезу снижения отрицательных исходов в группе эндоваскулярных вмешательств по сравнению с группой хирургического клипирования по шкале Рэнкина с 30 до 23 % у пациентов с разорвавшимися церебральными аневризмами, подходящими для обоих методов лечения [166].

Хирургия неразорвавшихся аневризм

В настоящее время среди нейрохирургов нет единого мнения относительно естественного течения неразорвавшихся аневризм [78, 207]. Тактике их лечения посвящено исследование ISUIA [165, 318, 331], где выявлено, что к факторам риска разрыва аневризмы относятся ее размер и расположение. Возраст пациентов не влияет на частоту разрыва аневризмы. Аневризмы передней циркуляции размером до 7 мм имеют ежегодный риск разрыва менее 1 %, 7–12 мм – 2,6 %, 13–24 мм – 14,5 %, более 25 мм – 40,0 %. Риск разрыва аневризм ВББ выше: менее 7 мм – 2,5 %, 7–12 мм – 14,5 %, 13–24 мм – 18,4 %, более 25 мм – 50,0 % [165]. В то же время данная градация по размеру не всегда соответствует практически наблюдаемой частоте разрыва около 30 % аневризм размером более 7 мм в течение жизни [183].

Наиболее высок риск разрыва при аневризмах бифуркации базилярной артерии, ЗСА и офтальмического сегмента ВСА. В других исследованиях также показано, что аневризмы соединительных артерий более склонны к разрыву по сравнению с аневризмами СМА, риск разрыва также зависит от формы аневризмы [285, 301]. Независимыми факторами разрыва аневризмы СМА являются локализация в зоне главной бифуркации СМА, неравномерность стенки, менее сферичная форма, размер [139].

Авторы ISUIA отмечают, что при определении тактики ведения пациентов с неразорвавшимися аневризмами следует учитывать ряд факторов: специфические

факторы риска естественного течения заболевания; размеры и положение аневризмы; специфические факторы, определяющие риск вмешательства (эндоваскулярного и микрохирургического), включающие возраст пациента, расположение и размер аневризмы [165]. Результаты ISUIA изменили тактику лечения многих западных клиник, где в настоящее время пациенты с маленькими и средними неразорвавшимися аневризмами ведутся консервативно с периодическим выполнением МРА или КТ-А. В результате такого динамического наблюдения выявлено, что аневризмы менее 7 мм увеличиваются в 14 % (27/193) случаев, 8–12 мм – в 26 % (12/46), 13–24 мм – в 38 % (6/16), более 25 мм – в 33 % (1/3) [210].

Оценивая публикации последних лет по проблеме лечения неразорвавшихся аневризм, следует отметить значительный прогресс в исходах эндоваскулярного лечения с помощью баллон-ассистированного койлинга и поток-направляющих стентов [102, 228]. Улучшения касаются как анатомических результатов полной окклюзии аневризмы на повторных ангиограммах, так и показателей травматичности и летальности операции [95, 130]. Общее количество интраоперационных осложнений эндоваскулярного койлинга находится на уровне 3,7–5,3 %, интраоперационной смертности – 1,1–1,5 %, что соответствует таковому показателю при открытой операции – 4–11 и 1–3 % соответственно. Основным недостатком эндоваскулярного вмешательства остается высокая частота необходимости повторного лечения – в 5–10 раз чаще, чем после клипирования [173]. При этом факторами риска неполного эндоваскулярного выключения являются размер купола более 10 мм, расслаивающие аневризмы, расположение аневризмы в области бифуркации, например аневризмы бифуркации СМА. Кроме того, лечение пациентов методом эндоваскулярного койлинга пока дороже, чем клипирование. Основной вклад в эту разницу вносит стоимость эндоваскулярных расходных материалов и повторных ангиограмм при катamnестическом наблюдении [60, 187].

Недостатки и преимущества эндоваскулярного койлинга по сравнению с открытой хирургией представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки эндоваскулярного койлинга и микрохирургического клипирования аневризм

| Способ исключения аневризмы | Преимущества | Недостатки |
|---------------------------------|--|--|
| Эндоваскулярный койлинг | <ul style="list-style-type: none"> • нет краниотомии; • нет ретракции мозга; • нет диссекции черепно-мозговых нервов, сосудов и кости; • нет необходимости работы с кальцификацией шейки аневризмы; • позволяет проводить одновременно ангиопластику при спазме | <ul style="list-style-type: none"> • невозможность удаления гематомы и сгустков; • неполная окклюзия в большинстве случаев; • более высокая частота рецидива аневризмы; • трудность лечения аневризм с широкой шейкой; • накопление большого количества спиралей может вызвать масс-эффект; • трудность контроля кровотечения после разрыва во время операции |
| Микрохирургическое клипирование | <ul style="list-style-type: none"> • возможность удаления внутри-мозговой гематомы и отмывания сгустков; • преимущества нейроанестезии и нейропротекции; • новые минимально-инвазивные доступы (миникраниотомия, эндоскопические доступы); • разработка способов микрососудистой реконструкции и шунтирующих операций; • интраоперационная ангиография; • управляемая гипотензия и метод внутрисосудистой аспирации крови; • доступы через основание черепа | <ul style="list-style-type: none"> • необходимость общей анестезии; • необходимость краниотомии и ретракции мозга; • в процессе доступа могут быть трудности с выделением черепно-мозговых нервов и удалением костей (передний и задний наклоненные отростки); • клипирование может компримировать перфорантные сосуды или крупные ветви; • кальцификация стенки, особенно в области шейки, затрудняет операцию |

Несмотря на разработанные принципы лечения церебральных аневризм и количественные факторы риска исходов операции, В.В. Крыловым выделены основополагающие принципы хирургии аневризм [23, 24]:

1. У каждого больного анатомия сосудов мозга уникальна.
2. Нет похожих друг на друга аневризм, к каждой должен быть свой подход.
3. Анатомические и клинические признаки являются основными, определяющими выбор хирургической тактики и исход операции.

Современные технические возможности хирургического лечения аневризм значительно увеличились за последние десятилетия, в основном за счет прогресса

в эндоваскулярных технологиях, а также разработки новых оперативных приемов [23, 24, 32]:

- 1) клипирование шейки аневризмы [103];
- 2) клип-реконструкция аневризмы;
- 3) проксимальная окклюзия несущей артерии внутрисосудистым баллоном, спиралью или микрохирургическим наложением клипсы (возможно, с последующим выполнением сосудистого шунтирования);
- 4) треппинг-окклюзия проксимальных и дистальных отделов несущего аневризму сосуда (сосудов);
- 5) эндоваскулярная эмболизация аневризмы спиралью (койлинг) [223];
- 6) баллон-ассистированный койлинг [67], стент-ассистированный койлинг [270];
- 7) установка поток-направляющих внутриартериальных стентов Pipeline [228];
- 8) окутывание аневризмы хирургической марлей, Gore-Tex [287] или свободным мышечным лоскутом;
- 9) микрососудистая реконструкция *in situ* [174, 235, 249];
- 10) изменение кровотока с помощью наложения микроанастомозов [79, 277, 278, 291];
- 11) применение аденозина с целью кратковременной остановки сердца и возникновения глубокой гипотензии при проблемах с проксимальным контролем.

По данным Y. Nagamine, показаниями к операции при неразрывавшихся аневризмах являются все симптоматичные аневризмы, возраст младше 75 лет, аневризмы передней циркуляции, аневризмы более 5 мм [208].

По данным В.В. Крылова, операцию следует рекомендовать всем пациентам, если аневризма достигает 10 мм и более в диаметре, за исключением лиц престарелого возраста или с тяжелой соматической патологией [23]. Пациентам с аневризмой до 10 мм в диаметре следует рекомендовать динамическое наблюдение нейрохирурга с периодическим выполнением КТ- или МРТ-исследований. Тем не менее,

пожелание пациента, основанное на осведомленном и взвешенном осознании рисков и пользы различных опций лечения аневризмы, является приоритетом. Спорными факторами за выполнение операции являются активный образ жизни, работа, связанная с высокой ответственностью, рисками, и молодой возраст.

Выбор метода операции зависит от опыта хирурга и возможностей клиники. Операции по поводу разрыва аневризм можно производить только в тех стационарах, где, помимо прочих требований, имеются специалисты, владеющие навыками хирургии аневризм.

Эндоваскулярным методам лечения отдают предпочтение при аневризмах труднодоступной для открытого хирургического лечения локализации (кавернозного отдела ВСА, параклиноидного отдела и ВББ), у лиц пожилого возраста (старше 75 лет), при фузиформных и расслаивающих аневризмах [23]. При всем потенциале и минимальной инвазивности эндоваскулярного койлинга его применение ограничено при размерах аневризмы менее 4 мм, в случаях крупных или гигантских аневризм, аневризм с широкой шейкой, имеющих соотношение купол/шейка менее 2/1 [23]. Тем не менее, по данным Кохрановского обзора, имеются сильные доказательства, что для пациентов в хорошем клиническом состоянии с разрывом аневризмы передней или задней циркуляции, подходящей как для открытого, так и для эндоваскулярного вмешательства, койлинг ассоциируется с лучшими клиническими исходами.

Широкое распространение эндоваскулярных технологий явилось существенным поводом, стимулирующим ответные изменения в микрохирургии аневризм головного мозга. Микрохирургия становится менее инвазивной, с меньшими рисками и большей эффективностью в отношении сложных аневризм, особенно тех, при которых невозможно применить эндоваскулярные методы [105, 264]. При этом централизация оказания помощи таким пациентам служит дополнительной основой для улучшения качества хирургического лечения при аневризмах головного мозга и стимулом для совершенствования микронейрохирургических навыков [105].

1.1.6. Шунтирующие операции в хирургии церебральных аневризм

Стандартные методы лечения внутричерепных артериальных аневризм заключаются либо в эндоваскулярной эмболизации полости аневризмы, либо в хирургическом клипировании и выключении ее из кровотока. В некоторых случаях, особенно при гигантских, блистерных [317] или расслаивающих аневризмах, требуется применение реконструктивных микрососудистых операций – либо иссечения аневризмы с восстановлением кровотока, либо шунтирующей операции с проксимальной окклюзией или треппингом несущей артерии (от англ. *trapping* – организация ловушек, захват). Пациенты с технически сложными для эндоваскулярного или открытого хирургического выключения аневризмами, для лечения которых требуется микрохирургическая реконструкция сосудов, встречаются относительно редко – 3–6 % случаев [8, 20, 105].

Во избежание ишемического повреждения шунтирующая реконструкция дистальных отделов сосудистого русла должна быть выполнена до выключения из кровотока несущей артерии. Это особенно важно для пациентов, у которых при проведении церебральной ангиографии проба с временной окклюзией несущей аневризму артерии внутрисосудистым баллоном оказалась положительной. В таких случаях шунтирование призвано заменить предсуществующий нормальный кровоток в дистальной части родительской артерии. С этой целью используют анастомозы как с низкой, так и с высокой скоростью тока крови, но последние предпочтительнее, поскольку они могут обеспечить почти такую же скорость тока крови, как и в ВСА [153]. Низкопроточное шунтирование может проводиться при треппинге аневризмы после имевшей место ишемии головного мозга, когда его потребности в кровотоке снижены, а также после оценки соответствия кровотока ПВА потребностям шунтируемого сосуда.

По мнению L. Kivipelto et al., применение сосудистого шунтирования с клипированием несущего аневризму сосуда при лечении сложных аневризм СМА является полезной технологией с приемлемым уровнем неврологических исходов и летальности [81]. В серии наблюдений из 24 пациентов, которым выполнено

экстраинтракраниальное ($n = 21$) либо интраинтракраниальное ($n = 4$) шунтирование, у 88 % отмечен хороший исход. Автор обращает внимание на важность определения ветви СМА и рекомендует частичное изменение кровотока или неполный треппинг аневризм, локализованных в М1 сегменте, из-за высокого риска неврологического дефицита, подчеркивая важность выбора адекватного анастомоза для реваскуляризации дистального артериального русла [81].

Несмотря на то, что ЭИК-шунтирование – технически сложная процедура, она является ценной возможностью, открывающей новые перспективы лечения пациентов с технически сложными аневризмами. Даже при открытом хирургическом лечении пациентов с изначально плохим прогнозом выполнением ЭИК-микроанастомозов можно добиться хороших показателей состоятельности шунта при низком уровне осложнений и летальности. Шунтирующая хирургия в таких случаях – это метод, который может быть успешно применен только нейрохирургом, имеющим специальные навыки наложения микроанастомозов. При этом используются разные схемы шунтирования, в зависимости от артерии-донора (ПВА, ЗА, ОСА, конец НСА, бок НСА, верхнечелюстная артерия, подключичная артерия) и от артерии-реципиента – несущей аневризму артерии.

1.1.7. Оценка церебральной гемодинамики в выборе вида шунтирования

В отличие от шунтирующих операций при хронической ишемии головного мозга, определение показаний к которым основано на оценке ишемических изменений мозга, его потребности в кислороде и глюкозе [65, 134, 171, 218, 263, 305], при замещающих нормальный кровоток шунтирующих операциях основное внимание уделяется оценке объемных и скоростных характеристик кровотока по церебральным сосудам [58].

Современный подход заключается в измерении базального кровотока по несущей аневризму артерии. Нормальный кровоток обычно равен 120–170 мл/мин в интракраниальных сегментах ВСА, 50 ± 25 – в СМА (80–110 – в М1-сегменте и 50–80 – в М2-сегменте), 40–60 – в ПМА, 26–10 мл/мин – в ЗМА [317].

Один из подходов к выбору донорской артерии заключается в измерении базального кровотока в несущей аневризму и дистальных артериях до и после треппинга, с последующим вычислением дефицита кровотока [58]. Средняя потоковая скорость кровотока по шунту из лучевой артерии (ЛА) составляет 199 ± 72 мл/мин [153], 40–70 [236] или 50–150 мл/мин [322]. Кровоток через трансплантат из подкожной вены бедра составляет 70–140 [236] или 100–200 мл/мин [155], что почти соответствует естественной скорости тока крови по ВСА. Скорость кровотока по интактной ПВА составляет менее 5–10 мл/мин из-за небольшого калибра сосудов и давления окружающих тканей, однако выделенная из скальпа артерия может обеспечивать кровоток до 50 мл/мин [57]. Средняя скорость тока крови через низкоскоростной анастомоз, например ПВА–СМА, составляет порядка 15–25 мл/мин [149]. Для сравнения, в покое значение церебрального кровотока составляет около 40–60 мл/мин на 100 г ткани головного мозга [149].

ЭИК-шунтирование ПВА–СМА может быть выполнено в качестве заместительного в условиях предсуществующей ишемии, когда потребности головного мозга в кровотоке снижены. Низкопроточное шунтирование было также использовано Е.К. Park, когда тест с временной окклюзией не вызывал неврологического расстройства, в то время как на ОФЭКТ выявлена асимметрия перфузии [242]. Таким образом, ПВА, в зависимости от ее проводимой способности, может одна обеспечивать адекватный заместительный кровоток при треппинге аневризмы [57].

Оценка церебральной гемодинамики является важной для профилактики синдрома гиперперфузии – послеоперационного осложнения шунтирующих операций, которое может привести к развитию отека-набухания ткани головного мозга и внутримозговому кровоизлиянию. Гиперперфузия определяется как возрастание более чем в два раза церебрального кровотока по сравнению с предоперационным значением. Высокопроточные анастомозы вызывают синдром гиперперфузии чаще, чем низкопроточные, вследствие чего важно оценивать послеоперационный кровоток и своевременно проводить медикаментозную коррекцию для предотвращения как ишемических, так и гиперперфузионных осложнений [57, 133, 233]. Более того, высокопроточное шунтирование противопоказано в случаях хронической

ишемии головного мозга из-за опасности кровоизлияния и гиперперфузии вследствие паралитических вазомоторных ответных реакций на резкое повышение мозгового кровотока [86].

Использование интраоперационной флоуметрии при операциях по поводу клипирования аневризм и микрососудистых реконструкций является полезным и позволяет принимать решение на основании количественного измерения кровотока в артериальных сосудах [38, 58].

1.1.8. Шунтирующие операции в бассейне задней циркуляции головного мозга

Реконструктивные операции на сосудах ВББ применяются со второй половины XX в. Известна техника транспозиции ПА на сонную артерию [274], анастомоз ветви или тела НСА и V2-сегмента ПА [131], анастомоз ЗА и V3-сегмента ПА [131], шунтирование от подключичной артерии до ПА или от ОСА к ПА бедра дистальнее места стеноза с использованием подкожной вены [220], эндартерэктомия из ПА [325], заплатка-графт на ПА [191], ангиопластическая реконструкция ПА [312]. Все вышеперечисленные операции применяются при вертебробазилярной недостаточности, вызванной стенозом или окклюзией экстракраниальной части ПА [200].

Подходы к реваскуляризации верхней базилярной циркуляции включают в себя использование дистальных ветвей наружной сонной артерии (ПВА, ЗА) для анастомозирования с Р2-сегментом ЗМА или верхней мозжечковой артерией [243]. При сложных шунтирующих операциях, особенно при реваскуляризации в задней черепной ямке, не теряют своей актуальности принципы, сформулированные Р. Nakaji: «сохранение артерии, где это возможно», «наименьшее число анастомозов», «наиболее простой тип шунтирования», «наиболее короткий шунт» [209]. Для задней циркуляции не определено, является ли целесообразным высокопроточное шунтирование или же достаточно низкопроточного. М.У. Kalani et al. ретроспективно описали 11 пациентов с гигантскими фузиформными и другими технически

сложными аневризмами вертебробазиллярных артерий, которым выполнено 13 операций для редукции кровотока [79]. В этих наблюдениях применялось ЭИК-шунтирование из ПВА или ЗА в ЗМА или ВМА по типу увеличения кровотока. Перераспределение кровотока, в ряде случаев дополненное перекрытием базилярной или позвоночной артерии, приводило к его снижению и тромбированию аневризм. Выбор увеличивающего кровотока низкопроточного шунтирования объясняется наличием, но недостаточностью, коллатерального кровотока через задние соединительные артерии в ВББ. S.M. Russell et al. проанализировали по данным литературы 217 наблюдений шунтирования ЗМА и ВМА с использованием подкожной вены бедра в качестве шунта [248]. В 62 % ($n = 135$) был достигнут отличный результат, в 12 % ($n = 26$) – хороший, в 14 % ($n = 30$) – неудовлетворительный, в 12 % ($n = 26$) – летальный исход. Успехи в нейроанестезии, эндоваскулярных и хирургических технологиях привели к снижению количества неблагоприятных и смертельных исходов, тем не менее опубликованные работы о лечении сложных аневризм вертебробазиллярной локализации свидетельствуют о том, что безопасного и эффективного подхода к лечению данной патологии до сих пор не известно. ЭИК-шунтирование, вероятно, наиболее безопасный метод лечения данной категории пациентов, прогноз естественного течения заболевания которых является крайне неблагоприятным.

Показания к хирургическому лечению вертебробазиллярной недостаточности выставляют при неэффективности максимальных консервативных мер. Шунтирующие операции при этом применяют для создания дополнительного источника кровоснабжения в задней циркуляции. Ряд авторов использует низкопроточное шунтирование из системы поверхностных черепных артерий [190, 209, 243], однако имеются сообщения об успешном применении коротких широкопросветных шунтов из наружной и общей сонных артерий в позвоночную артерию [82].

Описанные подходы применяются при широком спектре патологии в малоизвестной для большинства нейрохирургов топографо-анатомической области. Позвоночная артерия (ПА) является привлекательным донором в связи с тем, что

у большинства людей их две, и при сбалансированной циркуляции временная приостановка кровотока в ней, а также последующее его снижение вследствие донорства может быть перенесено без неблагоприятных последствий. Тем не менее ПА как донор используется редко. Диссекция V2- и V3-сегмента требует знания сложной анатомии краниовертебрального перехода, что обычно заменяется более знакомой диссекцией ПА, ЗА либо каротидной бифуркации. Переднелатеральный доступ к V2-сегменту ПА между поперечными отростками С1 и С2 требует жертвования С2-корешком, тем не менее позволяет обнажить артерию на протяжении около 2 см без значительной костной диссекции, которая обычно требуется для выделения ПА в субаксиальном отделе позвоночника [82].

В будущем потребности в наложении микроанастомозов могут уменьшаться, но на практике это лишь означает, что навыки, необходимые для их выполнения, должны быть отработаны до совершенства в случае необходимости их применения. Симуляционные технологии и лабораторный тренинг, таким образом, являются важными и, без сомнения, наиболее применимыми методами тренировки и обучения для сосудистой микронейрохирургии, чем для многих других областей хирургии [209].

1.1.9. Классификация прямых сосудистых шунтирующих операций

В настоящее время опубликовано большое количество клинических случаев и серий наблюдений, в которых при описании техники шунтирующих сосудистых операций используются разнообразные подходы и термины. В связи с этим считаем необходимым уточнить определения применяемых терминов, классифицировать множество разработанных к настоящему времени стратегий и оперативных техник выполнения сосудистых шунтирующих операций на головном мозге.

Коллатеральный кровоток для лечения или предотвращения ишемии головного мозга может быть создан при шунтирующих операциях путем выполнения прямых, не прямых и комбинированных анастомозов [5, 6, 7, 10, 12, 14, 157].

Концепция не прямых реваскуляризирующих операций заключается в создании искусственно оптимизированных для неоваскуляризации условий путем прикрепления к поверхности головного мозга различных тканей (апоневроз, мышца, большой сальник и др.). Техника прямых шунтирующих операций заключается в хирургическом создании соустья между несколькими сосудами. В этой работе на основании личного опыта и данных литературы предпринята попытка представить объединенную классификацию прямых сосудистых шунтирующих операций (Таблица 2).

Таблица 2 – Объединенная классификация прямых шунтирующих сосудистых операций в нейрохирургии

| |
|---|
| По цели шунтирования: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Увеличение кровотока • Замещение кровотока |
| По величине объемного кровотока по шунту (анастомозу): |
| <ul style="list-style-type: none"> • Низкопроточные (< 50 мл/мин) • Высокопроточные (> 50 мл/мин) |
| По анастомозируемым артериальным бассейнам: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Экстра-интракраниальное шунтирование • Интра-интракраниальное шунтирование (включает реконструкции <i>in situ</i>) • Экстра-экстракраниальное шунтирование |
| По стороне шунтирования: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Ипсилатеральное • Билатеральное • Контралатеральное (по типу «шапочки») |
| По вариантам реконструкции <i>in situ</i> : |
| <ul style="list-style-type: none"> • Реанастомозирование («конец-в-конец») • Реимплантация («конец-в-бок») • Анастомоз «бок-в-бок» |
| По материалу для сосудистого трансплантата: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Ауто трансплантат • Ксенотрансплантат • Трансплантат с использованием метода тканевой инженерии • Искусственный трансплантат |
| По виду сосудистого ауто трансплантата: |
| <ul style="list-style-type: none"> • На ножке <ul style="list-style-type: none"> ○ Поверхностная височная артерия ○ Затылочная артерия • Свободный <ul style="list-style-type: none"> ○ Венозный <ul style="list-style-type: none"> ▪ Подкожная вена бедра ▪ Подкожная вена предплечья ○ Артериальный <ul style="list-style-type: none"> ▪ Лучевая артерия ▪ Поверхностная височная артерия ▪ Торакодорсальная артерия |

Продолжение **Таблицы 2**

| |
|---|
| <p>По длине сосудистого трансплантата:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Короткий • Длинный • Тандемный |
| <p>По кровотоку в сосуде при анастомозировании:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Окклюзионный • Неокклюзионный |
| <p>По локализации проксимального анастомоза:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Проксимальные артерии <ul style="list-style-type: none"> ○ Подключичная артерия • Бифуркация сонной артерии <ul style="list-style-type: none"> ○ Общая сонная артерия ○ Наружная сонная артерия ○ Внутренняя сонная артерия ▪ Шейный сегмент ▪ Каменистый сегмент • Ветви наружной сонной артерии <ul style="list-style-type: none"> ○ Поверхностная височная артерия ○ Затылочная артерия ○ Верхнечелюстная артерия |
| <ul style="list-style-type: none"> • Позвоночные артерии <ul style="list-style-type: none"> ○ V1-сегмент до входа в поперечные отверстия ○ V2-сегмент на протяжении поперечных отверстий ○ V3-сегмент |
| <p>По локализации дистального анастомоза:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Область передней циркуляции <ul style="list-style-type: none"> ○ Каменистый сегмент ВСА ○ Супраклиноидный сегмент ВСА ○ Передняя мозговая артерия <ul style="list-style-type: none"> ▪ A2 ▪ A3 ▪ A4 ○ Средняя мозговая артерия <ul style="list-style-type: none"> ▪ M1 ▪ M2 ▪ M3 ▪ M4 • Задняя циркуляция <ul style="list-style-type: none"> ○ Задняя мозговая артерия <ul style="list-style-type: none"> ▪ P2 ▪ P4 ○ Позвоночная артерия <ul style="list-style-type: none"> ▪ V3 ▪ V4 ○ Задняя нижняя мозжечковая артерия ○ Передняя нижняя мозжечковая артерия ○ Верхняя мозжечковая артерия |

Окончание Таблицы 2

| |
|--|
| По вариантам дистального анастомоза: <ul style="list-style-type: none"> • Комбинированный (с непрямым анастомозом) • Поддерживающий (низкопроточный по отношению к высокопроточному) • Одиночный • Двойной <ul style="list-style-type: none"> ○ Y-образный ○ Последовательный |
| По расположению сосудистого трансплантата: <ul style="list-style-type: none"> • Интракраниальное • Экстра-интракраниальное <ul style="list-style-type: none"> ○ Под скуловой дугой ○ Над скуловой дугой ○ Поднижнечелюстное ○ В области краниовертебрального перехода сзади |

Цель сосудистого шунтирования

Попытки систематизации реконструктивных сосудистых шунтирующих операций предпринимались ранее. М. Корья с соавт. предлагают классифицировать сосудистые шунтирующие операции на следующие виды: 1) заместительные (например, для замещения ВСА, которая по определенным причинам будет окклюзирована); 2) протекционные (в случае окклюзии несущего сосуда при реконструкции аневризмы); 3) восстановительные (анастомозы ПВА–СМА в случае болезни мойя-мойя) [11, 15, 34].

Существует другая концепция. В случаях ишемии головного мозга или сниженного кровотока стратегия реваскуляризации направлена на поддержку гемодинамически компримированного бассейна головного мозга с целью профилактики и предотвращения прогрессирования, а также лечения имеющихся ишемических изменений. Для таких шунтирующих операций предложено применение термина «blood flow augmentation» – увеличение кровотока [71, 132]. В большинстве случаев хирургического треппинга аневризм шунтирование направлено на замещение существующего нормального кровотока через несущую аневризму артерию и ее дистальные ветви, поэтому для описания такого подхода употребляют термин «blood flow replacement» – замещение кровотока [58]. Показаниями к выполнению заместительного шунтирования могут служить доброкачественные и злокачественные опухоли, компримирующие крупные артерии, сосудистые поражения (гигантские

аневризмы и артериовенозные фистулы), травматические и ятрогенные повреждения сосудов. При создании шунта для лечения сложных аневризм выбор между увеличением либо замещением кровотока основан на оценке потребности в нем. Пригодным можно считать как низкопроточное, так и высокопроточное шунтирование, но последнее имеет преимущество в связи с тем, что способно обеспечивать схожий с ВСА объем кровотока.

Объем кровотока по шунту (анастомозу)

Объемная скорость кровотока рассматривается как еще один критерий классификации шунтирующих сосудистых операций в нейрохирургии. Исторически, согласно широко употребляемым в научной литературе терминам, операции разделяют на анастомозы с высоким током крови (высокопроточные, широкопросветные, высокоскоростные) – high flow и низким током крови (низкопроточные, низкоскоростные) – low flow. Имеется также упоминание о среднепроточных анастомозах [34]. Под низкопроточным шунтированием обычно подразумевается анастомоз ПВА–СМА, а под высокопроточным – между сонной артерией на шее и церебральной артерией в полости черепа с использованием сосудистого шунта [97, 226, 251]. Технически при описании операции термины «высокий ток крови» и «низкий ток крови» относятся к анастомозу или сосудистому трансплантату в целом и зависят от потоковой скорости менее 50 мл/мин либо более 50 мл/мин [236], или низкопроточные – менее 25 мл/мин, высокопроточные – более 70 мл/мин [34]. Однако во многих опубликованных работах скорость кровотока объективно не измерялась. А.А. Mohit et al. классифицируют шунтирования как высокопроточные, когда использовался сосудистый трансплантат из ЛА или ПВБ, остальные варианты анастомозов описывают как низкопроточные: ПВА–СМА, А3–А3-анастомоз, реимплантация, первичное ушивание, ЗНМА–ЗНМА, анастомоз с ЗА, ПВА–ВМА, ЗНМА–ПНМА [155]. М. Kawashima et al. определяют низкопроточным то шунтирование, которое используется для покрытия относительно небольшой области, тогда как высокопроточное используется для большей области [200]. Также к разряду низкопроточных отнесены сосудистые трансплантаты на ножке, а свободные трансплантаты (ПВБ, ЛА) – к высокопроточным [200]. Высокопроточное шунтирование

обычно обеспечивает объемный кровоток около 50–120 мл/мин, выполняется с использованием свободных сосудистых трансплантатов и чаще используется для замещения кровотока в случаях, когда планируется перекрыть его по крупному сосуду.

Классифицировать анастомозы по диаметру сосуда-донора нет необходимости, так как конечный объем кровотока зависит главным образом от адаптационных свойств стенки сосуда, что может быть отмечено уже в первые часы после наложения анастомоза [34, 153]. В таком случае принято считать, что наложенный анастомоз, постепенно смещая зону динамического равновесия кровотока, входит в конфликт с имеющимся кровообращением полушария и постепенно, по мере снижения градиента давления в нем, тромбируется (Ш.Ш. Элиава, 2012). Таким образом, в настоящее время классифицировать шунтирование по скорости кровотока следует после прямого ее измерения.

Анастомозируемые артериальные бассейны

Принципиально по анатомо-топографическому признаку сосудистые шунтирования можно разделить на интра-экстракраниальные, интра-интракраниальные и экстра-экстракраниальные. С другой стороны, N.A. Martin выделил четыре типа реваскуляризации головного мозга [197]:

1-й – интерпозиционные сосудистые венозные трансплантаты (С3–С5-шунтирование);

2-й – экстра-интракраниальные сосудистые шунтирования с использованием ПВБ или ЛА;

3-й – экстра-интракраниальные сосудистые шунтирования с использованием артерий скальпа;

4-й – прямая интракраниальная реваскуляризация, включающая анастомозирование двух соседних церебральных артерий (СМА–СМА, ЗНМА–ЗНМА).

Сторона шунтирования

Обычно артерия-донор находится на той же стороне, что и артерия-реципиент – ипсилатеральное шунтирование. При трудностях с выбором артерии-донора

возможны другие варианты: тандемное шунтирование, шунтирование по типу «шапочки» (*англ.* «bonnet» bypass). Такое шунтирование заключается в проведении сосудистого трансплантата под апоневрозом черепа из контралатеральной стороны по типу «шапочки» [226]. Билатеральное шунтирование может быть выполнено из единого межполушарного доступа для обеих ПМА с использованием сосудистого трансплантата Y-образной формы [133]. Билатеральное шунтирование при болезни мойя-мойя выполняется для обеих гемисфер, из двух доступов в один или два этапа, с использованием различных артерий-доноров [9, 184].

Варианты реконструкции *in situ*

Реконструкция сосудов, например, при операциях по поводу технически сложных церебральных аневризм может проводиться на месте (*in situ*) с восстановлением кровотока без использования донорской артерии. Такие реконструкции являются обычно более сложными, так как манипуляции и наложение анастомозов проводятся в глубокой и узкой операционной ране. В то же время анализ результатов реконструкций *in situ* показывает, что они менее подвержены повреждению и окклюзии [34, 236].

А. Quinones-Hinojosa et al. представили серию реконструкций *in situ* и предложили следующую их классификацию [235, 236]:

- реанастомозирование – создание анастомоза «конец-в-конец»;
- реимплантация – создание анастомоза «конец-в-бок»;
- анастомозы между артериями разных бассейнов циркуляции, расположенных топографически рядом друг с другом (в англоязычной литературе – *in situ*), например анастомоз ЗНМА–ЗНМА в задней черепной ямке или анастомоз АЗ–АЗ в межполушарной щели [87, 236].

Материал для сосудистого трансплантата и виды ауто трансплантатов

Синтетические, кадаверные и ксенотрансплантаты не получили распространения при шунтировании сосудов головного мозга. Ауто трансплантаты могут быть

классифицированы на трансплантаты на ножке (ПВА, ЗА) и свободные трансплантаты (ПВБ, ЛА или вена) [200]. Примеры шунтирующих операций с использованием сосудистого трансплантата на ножке представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Шунтирующие операции с использованием сосудистого трансплантата на ножке (артерий покрова головы)

| Операция | Дистальный анастомоз | Автор, год |
|--|----------------------|--|
| Поверхностная височная артерия – средняя мозговая артерия | ПВА–СМА | Yaşargil, 1967 [332] |
| Поверхностная височная артерия – передняя мозговая артерия | ПВА–ПМА | Tanaka, 1992 [265] Kawashima, 2010 [279] |
| Поверхностная височная артерия – задняя мозговая артерия | ПВА–ЗМА | Yonekawa, 2010 [265] |
| Поверхностная височная артерия – верхушка базилярной артерии | ПВА–ВМА | Austman, 1976 [271], 1979 [283], 1990 [281] |
| Поверхностная височная артерия – тело базилярной артерии | ПВА–ПНМА | Austman, 1990 [281] |
| Затылочная артерия – тело базилярной артерии | ЗА–ПНМА | Austman, 1990 [281] Touho, 1993 |
| Затылочная артерия – задняя нижняя мозжечковая артерия | ЗА–ЗНМА | Ausman, 1981 [61] Khodadad, 1976 [177] Sundt, 1978 [280] |
| Затылочная артерия – V3-сегмент позвоночной артерии | ЗА–V3 | Corkill, 1977 [131] |

Рекомендации выбора сосудистого трансплантата основаны на исследованиях, проведенных в области сердечно-сосудистой хирургии: состоятельность шунтов из ПВБ составляет 60,0 % к 11-му году, ЛА – 91,9 % в течение 5 лет [188]. Забор ПВБ позволяет получить свободный трансплантат длиной около 25 см, в то время как ЛА – около 20 см. В основном ПВБ выбирается при неподходящих ЛА, в случаях короткой и тонкой ЛА у детей и по косметическим соображениям. Перед забором ЛА для подтверждения состоятельности ладонной артериальной дуги обязательно проводится тест Аллена [150]. Забор ЛА является более травматичным и менее косметичным, чем ПВБ. Считается, что ПВБ имеет больший внутренний диаметр и поток крови, чем ЛА. Кроме того, ЛА подвержена раннему вазоспазму и гиперплазии интимы. Тем не менее, шунт из ЛА получил широкое распространение, поскольку установлено, что осложнений, вызванных вазоспазмом, можно избежать с помощью техники расширения трансплантата давлением, а гиперплазии

интимы – назначением блокаторов кальциевых каналов. В то же время недостатками венозных аутографтов являются наличие клапанов и большой диаметр, не всегда соответствующий анастомозируемым сосудам.

Другим вариантом свободного сосудистого трансплантата является торакодорсальная артерия [133]. Также описано применение контралатеральной ПВА в качестве интерпозиционного шунта для шунтирования ПВА–ПВА–ПМА при эндоваскулярном треппинге сложных аневризм А1–А2-сегментов ПМА [266].

Примеры шунтирующих операций с использованием свободного сосудистого трансплантата представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Шунтирующие операции с использованием свободного сосудистого трансплантата (по А. Quinones-Hinojosa et al., 2005 [236])

| Название шунтирующей операции | Проксимальный анастомоз | Дистальный анастомоз | Автор, год |
|--|---|---------------------------|--|
| Передняя циркуляция | | | |
| Сонная артерия на шее – супраклиноидный отдел ВСА | ОСА, ВСА, НСА | Супраклиноидный отдел ВСА | Loudheed, 1971 Hunt, Snyder, 1979 [159] Iwabuchi, 1979 [321] |
| Сонная артерия на шее – средняя мозговая артерия | ОСА, ВСА, НСА | СМА | Diaz, 1985 [88] |
| Подключичная артерия – средняя мозговая артерия | Подключичная артерия | СМА | Fitzpatrick, 1993 |
| Каменистый отдел – супраклиноидный отдел ВСА (С3–С5) | Каменистый отдел ВСА | Супраклиноидный отдел ВСА | Spetzler, 1990 [226] |
| Поверхностная височная артерия – средняя мозговая артерия с интерпозиционным шунтом | ПВА | СМА | Little, 1983 [185] Park, 2012 [266] |
| Затылочная артерия – средняя мозговая артерия с интерпозиционным шунтом | ЗА | СМА | Little, 1983 [185] |
| Поверхностная височная артерия – передняя мозговая артерия с интерпозиционным шунтом | ПВА | ПМА | Tanaka, 1992 [265] |
| Позвоночная артерия – средняя мозговая артерия | ПА | СМА | Miele, 2005 [324] |
| Шунтирование типа «шапочки» | Контралатеральные ПВА, НСА, средняя менингеальная артерия | СМА | Spetzler, 1980 [275] Kinugasa, 1993 [179] Owers, 1987 [222] |
| Сонная артерия на шее – сонная артерия на шее | НСА | ВСА | Otani, 2014 [244] |

Окончание **Таблицы 4**

| Задняя циркуляция | | | |
|--|---------------|----------|---|
| Сонная артерия на шее – верхушка базилярной артерии | ОСА, НСА, ВСА | ЗМА, ВМА | Sundt, 1982 [169] |
| Сонная артерия на шее – тело базилярной артерии | ОСА, НСА, ВСА | ПНМА | Sullivan, 1999 [231] |
| Сонная артерия на шее – позвоночная артерия | ОСА, НСА, ВСА | ПА | Berguer, 1998 [73] |
| Подключичная артерия – позвоночная артерия | ОСА, НСА, ВСА | ПА | Berguer, 1976 [74] Takeuchi, 1998 [64] |
| Позвоночная артерия – позвоночная артерия | ПА | ПА | Santoro, 2002 [80] |
| Позвоночная артерия – верхушка базилярной артерии | ПА | ЗМА, ВМА | Takizawa, 2001 |

Перспективным направлением является разработка способов получения сосудистых трансплантатов с помощью методов тканевой инженерии [84].

Длина сосудистого трансплантата

Короткие шунты проходят от поверхностных сосудов черепа (ПВА, ЗА), например ПАВ–ПВБ–СМА [63, 185], или от дистальных отделов шейного сегмента ВСА в полость черепа [97]. J.K. Liu и W.T. Couldwell считают, что короткие трансплантаты имеют лучшую состоятельность и разработал технику шунтирования между шейным сегментом ВСА и супраклиноидной ВСА с помощью трансплантата подкожной вены бедра (ПВБ) через поднижнечелюстной тоннель. Метод предполагает более короткий и прямой путь для трансплантата – создание проксимального анастомоза «конец в конец» между ВСА и ПВБ максимально краниально на шее [97, 276].

Под длинными сосудистыми шунтами обычно подразумевают те, которые проходят от области бифуркации ОСА и проксимальнее нее. S. Sato и S. Kadoya описали 3 случая реконструкции трансплантата из ПВБ после их окклюзии, с последующей состоятельностью в течение 4-летнего наблюдения [253].

Тандемное шунтирование с использованием нескольких сосудистых трансплантатов для увеличения длины или шунтирования нескольких сосудистых поражений на протяжении является еще одним примером длинного сосудистого шунта [185].

Кровоток в сосуде при анастомозировании

Большинство способов наложения сосудистых анастомозов по типу «конец-в-бок» являются окклюзионными и требуют наложения временных клипс для приостановки кровотока в артерии-реципиенте. Разработанная Tulleken техника анастомоза ELANA (excimer laser assisted non-occlusive anastomosis) позволяет выполнять анастомоз без окклюзии сосуда-реципиента [127]. Модификации данного способа наложения анастомоза сводятся к применению биоклея и уменьшению количества накладываемых одиночных швов, вплоть до бесшовного анастомоза (SELANA) [224].

Локализация дистального анастомоза

Внутричерепной анастомоз должен поддерживать кровоток в дистальных ветвях пораженного сосуда или сосуда, подвергающегося деструкции. Реципиентный сосуд подходящего диаметра в идеале должен быть выбран до операции. Область наложения анастомоза на сосуда-реципиенте не должна иметь значительных перфорантных артерий во избежание кровотечения и ишемии во время временной окклюзии артерии. Так, наибольшее число значимых перфорантных сосудов обычно наблюдается в сегменте M1 СМА [333].

Когда в качестве реципиентов выбраны супраклиноидный или каменистый сегменты ВСА, следует убедиться, что кровоток в дистальных ветвях будет поддержан на время пережатия артерии для наложения анастомоза за счет ЗСА или ПСА, лептоменингеальных либо экстракраниальных коллатералей. Для поддержания дистального кровотока на время клипирования может быть наложен превентивный поддерживающий анастомоз ПВА–М4 [13]. При шунтировании в области задней циркуляции головного мозга основные принципы остаются прежними. Наиболее распространенными артериями-реципиентами являются Р2-сегмент ЗМА, ВМА и ЗНМА [155].

Локализация проксимального анастомоза

В качестве сосудов-доноров могут быть использованы ОСА, НСА и ВСА в области бифуркации. Преимущество использования НСА («конец-в-конец» или «конец-в-бок») заключается в том, что кровоток по ВСА не перекрывается на время

нейрохирургическом обучении [144]. Так, преобладающим методом обучения нейрохирургии до настоящего времени остается ученичество у опытного нейрохирурга. Внедрение новых технологий и внешних ограничений (правовых требований, снижения максимального количества рабочих часов) приводит к пересмотру этой модели преподавания и передачи хирургического мастерства [119, 286]. В то же время симуляционные технологии входят в стандарты образовательных программ высшего и последипломного медицинского образования.

В западных странах столкновение нескольких ключевых факторов привело в последнее время к значительным изменениям в системе хирургического образования. Наибольшее влияние оказало принятое в США Аккредитационным консулом высшего медицинского образования (ACGME) ограничение на максимальное количество часов работы для резидентов – не более 80 ч в неделю [48, 205, 262]. Таким образом, университеты вынуждены совершенствовать образовательный план, чтобы сделать его более эффективным, но в то же время получить объективные данные достижения достаточной компетентности [189]. Более того, к образовательной программе последипломного образования по хирургической специальности в настоящее время предъявляется требование об обязательном наличии симуляционной лаборатории, а для отоларингологической образовательной программы – о содержании обучающей лаборатории диссекции основания черепа [330]. В России, согласно приказу Минздравсоцразвития РФ от 05.12.2011 г. № 1476н «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования», на обучающий симуляционный курс отводится 72 академических часа в интернатуре и 136 – в ординатуре.

Неоднократно подчеркивалось, что симуляция позволяет студенту, молодому или опытному врачу приобретать и улучшать навыки в безопасных условиях, не подвергая опасности пациентов [114, 252, 262]. Симуляционное обучение является наиболее эффективным при овладении новыми знаниями и навыками. Трехмерные виртуальные симуляционные модели позволяют улучшить преподавание

хирургической анатомии позвоночника по сравнению с манекенами и рисунками [104].

Симуляция также предоставляет возможность для репетиции. Как при подготовке к выступлению, чтобы улучшить моторную память, пианист повторяет произведение несколько раз, порой беззвучно на крышке рояля, симуляция предстоящей операции позволяет хирургу выработать стратегию вмешательства, отточить нюансы его непосредственного выполнения на персонализированных физических или виртуальных 3D-моделях [53, 163, 164, 193, 225, 238]. В симуляционном тренажере хирург имеет право на ошибку, что позволяет на них учиться. Можно сфокусироваться на специфических компонентах сложного навыка, чтобы совершенствовать их с желаемой продолжительностью и частотой тренировок. Например, микронеурохирургический навык анастомозирования имеет сложные технический и психомоторный компоненты. Регулярное выполнение анастомоза на физическом тренажере или в виртуальной реальности позволяет автоматизировать психомоторный компонент, что дает возможность эффективнее сконцентрироваться на других аспектах операции, усилить ситуационную осведомленность, т.е. сенсорное восприятие элементов обстановки и их значение, а также проецирование их в ближайшее будущее [19, 128]. Тренировки на симуляторах могут сократить продолжительность обучения для достижения компетентности в оперативных навыках по сравнению с обычной клинической хирургической практикой [306].

Представляется закономерным, что применение симуляционных технологий со временем будет способно улучшить результаты лечения пациентов, повысить его безопасность [189].

Современные симуляционные технологии являются перспективным инвестиционным направлением. Так, в Казани в 2014 г. при поддержке Агентства стратегических инициатив фирмой «Эйдос» открыт инжиниринговый центр медицинских симуляторов «Центр медицинской науки», разрабатывающий и производящий медицинские тренажеры-симуляторы; стоимость проекта 1200 млн руб. Российских нейрохирургических тренажеров пока нет. По данным Российского общества симуляционного обучения в медицине (РОСОМЕД) на 2014 г., в России существует

около 50 симуляционных центров, до 2017 г. планируется увеличить их число до 80. Можно надеяться, что российские нейрохирургические кафедры не останутся без симуляторов из-за того, что руководители других специальностей проявляют большой интерес к данной теме.

1.2.2. Сравнение симуляционного тренинга с другими сферами сложной деятельности

Восприятие обществом симуляционного обучения в цифровую эру в основном сфокусировано на использовании сложных технологических устройств. Тренажеры почти всех возможных средств передвижения, используемых в настоящее время, – легковых автомобилей, грузовиков, танков, самолетов, кораблей, космических летательных аппаратов – являются коммерчески доступными (<http://www.vrm.sk/product/ground-army/t-72-complex-tank-simulator.html>, Эйдос). Пилоты самолетов обучаются полетам и дважды в год сдают экзамены на громоздких, дорогих, высокореалистичных симуляторах, которые воссоздают не только внутренние детали кабины и компьютеры каждой индивидуальной модели самолета, но также движение и угол наклона самолета в воздухе в ответ на маневры пилота [138].

Инженеры-ядерщики проходят обучение в залах, оборудованных модулями управления атомной станцией, неотличимыми от таковых в реальности [125]. Такие высокореалистичные пространства для симуляции улучшают точность воспроизведения поведения при решении сложных задач и действия в экстренных ситуациях.

Симуляционные технологии уже давно и успешно интегрированы в хирургию. Например, после внедрения лапароскопической холецистэктомии исследования показали, что хирурги, которые выполняют менее 30 холецистэктомий в год, имеют в 5 раз больший шанс повреждения желчных протоков [206]. Это обстоятельство заставило сообщество общих хирургов пересмотреть методы обучения и явилось предпосылкой к разработке и обязательному использованию коробочных

эндоскопических тренажеров и симуляторов на основе технологии виртуальной реальности.

Кроме того, симуляция, виртуальная реальность и система тактильной обратной связи активно развиваются и используются разработчиками компьютерных игр.

1.2.3. Терминология и классификация

В современных толковых словарях само слово «симуляция» еще не закрепилось в том значении, в котором оно употребляется в данном контексте. Более того, набор понятий и семантика отдельных терминов данной области представлены лишь в узкоспециализированных источниках [42], официально не закреплены и поэтому требуют отдельного пояснения.

Симуляция в данном контексте – это имитация, моделирование, реалистичное воспроизведение процесса.

Курс симуляционного обучения – запланированный план обучения, включающий в себя цели, задачи, прописанные образовательные деятельности в специфической области и их последовательность, а также оценку обучаемого [89].

В симуляционной медицине различают несколько направлений, классифицированных Gaba [42]:

- вербальные (ролевые игры), в том числе симуляция принятия решений и поведенческая симуляция (*англ.* decision-making и behavioral simulation) [302];
- стандартизированные пациенты (человек, обученный имитировать заболевание или состояние с высокой степенью реалистичности, что даже опытный врач не сможет распознать симуляцию);
 - тренажеры навыков (материальные или виртуальные модели);
 - пациенты на экране (компьютерные технологии);
 - электронные пациенты (манекены в обстановке больницы).

Симуляционные модели нейрохирургических операций (тренажеры навыков) мы предлагаем классифицировать следующим образом:

1. Физические (материальные) [140]

1.1. Живые (лабораторные животные)

1.2. Неживые

- а) искусственные (синтетические протезы, фантомы, муляжи)
- б) тканевые (трупная диссекция, куриное крыло, плацента)

2. Виртуальные (виртуальные тренажеры)

2.1. Модели дополненной реальности [99]

2.2. Полностью виртуальные модели [98, 212].

Экспериментальные модели, основанные на физических моделях, имеют ограниченное значение в воссоздании реалистичного опыта всего медицинского вмешательства, но могут быть весьма полезны для симуляции отдельных этапов хирургического вмешательства. Таким образом, различают симуляцию части вмешательства, отдельного элемента и навыка (*англ.* part-task simulation) и симуляцию вмешательства (*англ.* procedural simulation) – симуляцию всей операции полностью.

Экспериментальные модели на биологическом материале предполагают использование широкого спектра объектов. Лабораторные крысы и мыши широко используются для практики микронейрохирургических навыков [152]. Свиньи используются *in vivo* для практики лапаро- и торакоскопических, эндовазальных и краниальных вмешательств [129, 219]. Трупная диссекция является одной из форм симуляции и широко используется в нейрохирургическом образовании со времен Ренессанса [55, 198].

Компьютерные тренажеры основаны большей частью на создании трехмерной виртуальной модели для хирургии или двумерного изображения для эндовазальных вмешательств, имитирующего морфологию, заболевание, физиологическое состояние, диагностическую манипуляцию или оперативное вмешательство [92, 112, 255, 284]. Одним из понятий виртуальной симуляции является гаптика.

Гаптика (от *греч.* hapto – касаюсь, хватаю) – возможность получения тактильной обратной связи в симуляторе.

Выделяют понятие дополненной реальности, когда на реальные физические объекты, отображаемые на экране или в очулярах, проецируется смоделированное

компьютерное изображение, что может быть использовано для тренировки и обучения, например, передней шейной дискэктомии [204], и интраоперационно [66, 181, 298].

Симуляция как инструмент обучения включает в себя разработку полезных и практичных моделей, для которых необходимо доказать валидность.

Валидный (*фр.* valide – важный, действующий) – действительный, действенный, соответствующий требованиям [21]. Валидность – эффективность использования симулятора или симуляционной методики, подтвержденная принципами доказательной медицины. Целью валидации методики является доказательство того факта, что такое обучение дает возможность приобрести практический опыт в виртуальной среде без риска для пациента (симуляционное образование в медицине).

1.2.4. Определение компетентности (экспертности)

Необходимо отдельно остановиться на мастерстве, профессионализме или, другими словами, на результативности обучения с использованием симуляционных технологий. Хотя экспериментальные модели и тренажеры являются хорошим способом улучшения умений, по крайней мере в теории, становится понятным, что симуляционные технологии не гарантируют достижения уровня мастерства. Срок обучения не может быть одинаковым для всех. И если целью является достижение уровня мастерства, то это мастерство должно быть объективно доказано [137, 144]. Таким образом, при внедрении симуляционных технологий одновременно встает вопрос о разработке валидных систем оценки, с помощью которых можно определить уровень достигнутого мастерства [245]. В первую очередь следует понять, что представляет собой экспертность, или компетентность, в нейрохирургии.

Одним из подходов оценки компетентности в медицине, обсуждаемым в сообщении A.S. Elstein et al., является использование таких индикаторов, как количество лет работы, наличие сертификации и академический уровень [121]. Очевидно, что такие критерии не всегда коррелируют с наилучшим клиническим эффектом. Примером является исследование этих же авторов, которое показало, что при стан-

дартных случаях диагностические эксперты объективно не демонстрируют бóльшую эффективность, чем новички [120]. Систематический обзор, в котором изучались стаж в профессиональной деятельности и клиническая эффективность, выявил неожиданную отрицательную корреляцию, выдвигая предположение о том, что большой опыт может быть парадоксально ассоциирован с меньшей клинической эффективностью [90]. Такие работы подчеркивают неоднозначность общего мнения о том, что определяет нейрохирурга как эксперта, а также то, что процедура объективной оценки компетентности – сложная задача. Необходимо четкое определение экспертности в нейрохирургии.

Изучая хирургические навыки, S.C. Fitzgibbons et al. установили, что эксперты отличаются от новичков наиболее явно тем, что большинство действий выполняют автоматически, имеют возможность сосредоточиться на когнитивном компоненте операции, особенностях индивидуальной анатомии (перцепция) и предвосхищении последующих действий (прогнозирование, ситуационная осведомленность) [189].

По определению Ericsson, экспертность – это способность постоянно демонстрировать наилучшее выполнение специфической задачи по требованию [125]. P.S. Tsang и M.A. Vidulich отмечают, что экспертность в хирургии лучше всего определяется как адаптивная экспертность, как и в авиации – ведь и пилоты, и нейрохирурги имеют дело со сложными ситуациями, включая незапланированные и угрожающие жизни [316].

В более поздних литературных источниках предпочтение отдается понятию хирургической компетентности, а не хирургической экспертности. Это связано с возрастающей популярностью компетентностного подхода, ставшего основным при оценке знаний и умений в программах обучения специалистов. Определение хирургической компетентности обычно включает в себя два аспекта: технические навыки и другие навыки. Королевский колледж хирургов и врачей Канады и Совет аккредитации по медицинскому образованию в США определяет и подчеркивает важность таких аспектов, как профессионализм, коммуникативные навыки, медицинские знания, навыки сотрудничества и совместной работы [144, 256].

По современному всеобъемлющему определению, хирургическая компетентность охватывает знания, технические и социальные навыки для решения знакомых и новых ситуаций, чтобы обеспечить адекватную помощь пациенту [75]. Интересно, что в этом определении используется именно термин «адекватная», а не «наилучшая» помощь пациенту.

1.2.5. Определение валидности экспериментальных моделей

Применение термина «валидность» в контексте симуляции отличается от традиционного. Согласно международному стандарту ГОСТ Р ISO 9001-2011, валидация определена следующим образом: «Подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены». В отношении к оценочному тесту валидность отражает адекватность методики в измерении результатов. В отношении к симуляции валидность – это способность преподавать высшие когнитивные, эмоциональные и психомоторные умения настолько, насколько это ожидается при помощи достигаемой степени реализма [41].

Для интеграции новой технологии в официальный образовательный план должно быть доказано, что такой тренинг является полезным и подходящим. Должна быть выполнена последовательность твердо установленных шагов по валидации: очевидная валидность, содержательная валидность, конструктивная валидность и критериальная валидность [51, 211].

Очевидная и содержательная валидность показывает, является ли технология реалистичной, и насколько она нацелена на тренировку именно тех навыков, которые требуется развивать. Экспериментальная модель должна помогать обучаемому получать и совершенствовать навык, которым он намеревается овладеть [111, 234].

Конструктивная валидность устанавливает, коррелируют ли полученные оценки с реальными оперативными навыками, дифференцируя таким образом новичков от экспертов. Из этого логического заключения следует предположение, что новичкам следует практиковаться и тренировать навыки на тренажере до тех пор, пока они не достигнут уровня выполнения их экспертом.

Заключительным шагом является текущая и прогностическая критериальная валидность, что является особенно важным, так как она определяет, что навыки, приобретенные в процессе симуляционного тренинга, отражают уровень мастерства в данный момент и в будущем, в реальной операционной, т.е. транслируются в лучшую клиническую практику.

Недавние рандомизированные контролируемые исследования и мета-анализы, посвященные проблеме валидации и трансляции опыта, полученного на тренажерах, в клиническую практику [52, 117, 237, 290, 328], показывают, что экспертный уровень выполнения задания на виртуальном симуляторе ассоциируется с лучшим уровнем выполнения операции как на лабораторных животных, так и в условиях реальной операционной [115].

Несмотря на финансовую затратность организации симуляционного тренинга, результаты исследования J.G. Chipman et al. показали его эффективность в формате 5 занятий в течение 10 недель, что позволило повысить навыки резидентов 1-го года до уровня, сопоставимого с резидентами 2–3 лет, которые приобрели навык в операционной. Преподаватели, принимавшие участие в тестировании, убедились в необходимости тренировки навыков вне операционной [89].

1.2.6. Проблема квалиметрии навыков

Традиционные методы оценки хирургических навыков значительно различаются по надежности, внутренней согласованности и валидности, – от простого наблюдения, наблюдения с оценкой по определенным критериям и до видеосъемки и коллегиальной критериальной ослепленной оценки. Проблема разработки объективных технологий и шкал оценок специфических нейрохирургических навыков является одной из актуальных в симуляционном обучении, особенно для механических моделей и тренажеров навыков [323].

Оценку по шкалам можно проводить как во время выполнения вмешательства, так и после, с использованием видеозаписи операции [76]. Чтобы добиться высокой согласованности оценки между различными экзаменаторами, важно зара-

нее обсудить с ними то, как использовать шкалу оценки [126]. Использование видеозаписи может сократить время на оценку до 15 мин на одного экзаменуемого [307].

Для оценки хирургических навыков целесообразно использовать шкалу объективной структурированной оценки технических навыков (OSATS). Научная группа под руководством R. Reznick разработала квалитетрический инструмент для оценки качества навыков в общей хирургии [294]. Этот инструмент показал свою валидность и надежность в многочисленных исследованиях [106, 109, 216, 217, 261, 319]. Тем не менее OSATS до сих пор не была валидизирована в нейрохирургии, тем самым ее использование без надлежащей процедуры валидации в нейрохирургических исследованиях может привести к неточным оценкам.

Группа из университета McGill разработала инструмент глобальной операционной оценки лапароскопических навыков, который показал себя валидным и надежным тестом [47].

Для оценки нейрохирургических навыков анастомозирования разработан стандартизированный категориальный опросник NOMAT (Северо-западная объективная шкала наложения микроанастомоза, COOM) [46].

Таким образом, кроме технических хирургических навыков, еще целый ряд их влияет на выполнение любого нейрохирургического вмешательства. Оценка множества таких параметров, как технические, когнитивные и социальные навыки, которые вносят вклад в общий результат, является сложной задачей. Например, удаление опухоли или диссекция могут быть произведены с использованием множества техник, и проведение контролируемых исследований для установления приоритета какой-либо из них не представляется возможным.

1.2.7. Лаборатория микронейрохирургии

На основании опроса руководителей обучающих нейрохирургических программ в США V.R. Kshetry et al. показали, что 95,4 % из них уверены в том, что лабораторная диссекция должна являться обязательной составляющей образовательной программы по нейрохирургии, при этом ни один респондент не посчитал

виртуальную симуляцию способной принести большую пользу, чем лабораторная диссекция. Кроме того, большинство респондентов поддержало бы национальную образовательную программу и учебный план по лабораторной нейрохирургической диссекции [303]. В настоящее время в России актуальной проблемой остаются юридические и технические возможности обеспечения трупами секционных залов медицинских университетов. Имеется дефицит качественно подготовленных инъецированных препаратов, которые можно использовать для обучения и разработки различных краниальных доступов в научных целях [18].

1.2.8. Экспериментальные модели микроанастомозов

Техника анастомозирования сосудов никогда не была легкой. Действительно, А. Carrel получил в 1912 г. Нобелевскую премию за разработку триангуляционной техники сосудистого шва во всю толщину стенки сосуда [85, 108]. Для тренировки навыков наложения сосудистого микроанастомоза под настольным [118] или хирургическим микроскопом предложено множество моделей: тренировка на марле [162], на силиконовых трубочках [49, 172, 309], на сосудах крысы [152], на сосудах плаценты [148], на охлажденном крыле курицы и индейки [94]. В данном исследовании разработаны и предложены модели для практики наложения сосудистых микроанастомозов на поверхности и в глубоком операционном поле.

1.2.9. Симуляторы эндоваскулярных вмешательств

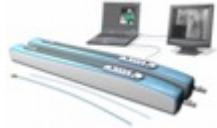
Для симуляции эндоваскулярных вмешательств используются физические манекены и силиконовые модели [91, 176, 289], крупные лабораторные животные (свиньи) с хирургически созданной патологией – аневризмой [129, 213], артериовенозной мальформацией [56]. В последнее время популярность приобретают компьютерные виртуальные модели для симуляции эндоваскулярных вмешательств (Таблица 5).

Для симуляторов эндоваскулярных процедур характерно наличие модулей тренировки широкого спектра интервенций на коронарных и периферических сосудах, аорте [124]. Церебральные модули предлагают лишь некоторые тренажеры.

Основными характеристиками таких тренажеров являются возможность симуляции всей процедуры, включая артериотомию и закрытие раны, или симуляция лишь основного этапа, тактильная обратная связь, неврологические и физиологические гемодинамические изменения, измерительные оценки навыков. Стоимость оборудования составляет порядка 2500–11 000 тыс. рублей, в зависимости от фирмы и программных модулей. Ежегодное обслуживание может обходиться до 300 тыс. рублей, дополнительные расходы включают страховку и обучение персонала. В нейрохирургической практике эндоваскулярные симуляторы позволяют тренировать навыки койлинга аневризм, установки стентов в церебральных и сонных артериях, баллонную ангиопластику, селективное введение лекарственных препаратов, а также лечение инсульта [69, 211, 310].

Во время выполнения настоящего исследования была опубликована статья корейских авторов, в которой они сообщают о возможности использования плаценты человека для эндоваскулярного тренинга [158], что еще раз подтверждает актуальность и перспективность данного направления.

Таблица 5 – Симуляционные тренажеры эндоваскулярных вмешательств в нейрохирургии

| Тип | Цель симуляции | Производитель | Описание | Изображение тренажера | Примерная стоимость | Тактильная обратная связь | Пациент-специфичность |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|--|---|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Виртуальный | Эндоваскулярная нейрохирургия | Simbionix, США | Angiomenter Slim+; продленное обслуживание; модули: операции на сосудах головного мозга, сонных артериях |  | \$62 500 [211] – \$83 979 [69] | Да | Да |
| | | CAE Healthcare, США | CathLabVR; модули: сонные артерии |  | – | Да | Нет |
| | | Mentice, Швеция | VIST®-Lab; модули: сонные артерии, нейрохирургический модуль, инсульт, VIST-C |  | – | Да | Да |
| | | Medical Simulation Corporation, США | Simantha®; модули: сонные артерии, нейрохирургический модуль, койлинг (Dawson, 2007) |  | – | Да | Нет |
| | | Эйдос, Россия | Гибридный тренажер ангиографии ЭНСИМ-ЭГ.01, модули: сонные артерии |  | 10 850 000 руб. | Да | Нет |

1.2.10. Компьютерные симуляционные тренажеры

Спектр доступных к 2014 г. виртуальных компьютерных нейрохирургических тренажеров представлен в Таблице 6.

«NeuroTouch» является одним из первых виртуальных тренажеров [212]. В настоящее время он позволяет практиковать базовые мануальные навыки работы наконечником аспиратора, ультразвуковым деструктором-аспиратором и биполярным пинцетом, а также фундаментальные принципы гемостаза, эндоназальной навигации, вентрикулостомии. Кроме того, доступны модули операций резекции менингиомы и глиомы. При контакте с ригидными или эластическими структурами их сопротивление имитируется системой тактильной обратной связи, как и в других виртуальных тренажерах.

Компьютерный 3D-виртуальный симулятор с обратной связью «Immersivetouch Sensimmer» позволяет тренировать навыки краниотомии, установки вентрикулярного катетера, ризотомии. Доступны модули люмбальной пункции, транспедикулярных пункций на грудном и поясничном отделах, вертебропластики и установки чрескожных транспедикулярных винтов. Еще больше программ для симуляции различных операций находится в стадии разработки [247].

«Dextroscope» представляет собой рабочую станцию с возможностью трехмерной реконструкции DICOM-изображений и симуляции различных нейрохирургических вмешательств, в том числе удаления опухолей, клипирования аневризм [100], а также диссекции виртуальной височной кости [113].

Недавно разработанная хирургическая тренировочная платформа (Surgical Rehearsal Platform) позволяет строить виртуальные трехмерные реконструкции для симуляции клипирования аневризм. Особенностью данного тренажера является совместимость для проведения дистанционного обучения и удаленной работы на одном тренажере [68].

Таблица 6 – Виртуальные компьютерные тренажеры в нейрохирургии

| Тип | Цель симуляции | Производитель | Название | Изображение тренажера | Ориентировочная стоимость | Тактильная обратная связь | Пациент-специфичность |
|-------------|---|-----------------------------------|---|---|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Виртуальный | Виртуальный тренажер краниальных и спинальных операций | National Research Council, Канада | Симулятор Neuro Touch |  | В России \$267 750 | Да | Да |
| | Виртуальный тренажер краниотомии и диссекции височной кости | Voxel-Man, Германия | VOXEL-MAN TempoSurg (рабочая станция, программный модуль для загрузки DICOM- файлов, модуль имитации кровотечения, модуль хирургии носовых пазух) |  | В России €133 665 | Да | Да |
| | Виртуальный тренажер краниальных и спинальных операций | Immersive Touch, США | Sensimmer |  | \$75 000 [211] | Да | Да |

Окончание Таблицы 6

| Тип | Цель симуляции | Производитель | Название | Изображение тренажера | Ориентировочная стоимость | Тактильная обратная связь | Пациент-специфичность |
|-------------|--|-------------------------|--|--|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Виртуальный | Виртуальный тренажер для краниальных и спинальных операций | Bracco AMT, США, Италия | Dextroscope |  | \$175 000 [326] | Нет | Да |
| | Виртуальный тренажер краниальных и спинальных операций | Surgical Theater, США | Surgical Rehearsal Platform |  | \$250 000–\$350 000 | Да | Да |
| | Тренажер спинальной нейростимуляции | SimSuit, США | Neurostimulation Simulator, (виртуальная флюороскопия) |  | – | Да | Нет |

Разработка пациент-специфичных реконструкций и совершенствование системы тактильной обратной связи – это будущее виртуальных хирургических симуляторов, поскольку их внедрение потребует значительного времени [142, 327]. В связи с этим актуальным является создание простых и доступных физических симуляционных моделей для тренировки выполнения микрососудистых операций в нейрохирургии.

1.2.11. Экспериментальные модели церебральных аневризм

T. Nicdonmez et al. описали модель микронейрохирургического тренинга на свежем головном мозге коровы для обучения манипуляциям микроинструментами и тренировки диссекции сосудов и нервов [199]. Для развития навыков арахноидальной диссекции применяют как диссекцию в разных направлениях на перчатке [13], так и различные биологические живые и трупные модели [202, 219].

В настоящее время повышается интерес к созданию экспериментальных моделей аневризм для нейрохирургического тренинга, обладающих эластическими свойствами живой ткани, максимально приближенными к нейрохирургической практике. Для отработки мануальных навыков операций на сосудах головного мозга разработаны модели аневризм на артериях крысы, кролика, свиньи, собаки, кадаверов, а также синтетические и виртуальные модели [123, 203, 219, 229, 257, 258].

Виртуальные компьютерные симуляционные модели NeuroTouch [229], RoboSim [257], Dextroscope [239] занимают незначительный сегмент в системе хирургического образования. Наряду с высоким технологическим потенциалом, они обладают существенным недостатком в виде отсутствия обратной тактильной связи, что не позволяет рекомендовать эти модели для полного микронейрохирургического тренинга. Кроме того, для виртуальных компьютерных тренажеров необходимо специальное дорогостоящее оборудование с программным обеспечением. На наш взгляд, они являются прекрасным дополнением для выработки стратегии хирургических доступов и освоения трехмерной анатомии.

с технически сложными для открытого выключения аневризмами [13, 16, 229, 296]. Современные тенденции хирургического образования требуют овладения мануальными навыками на различных симуляционных тренажерах, поэтому разработка новых экспериментальных моделей нейрохирургического тренинга является перспективным направлением исследований.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в научно-клиническом отделе нейрохирургии Иркутского научного центра хирургии и травматологии, Центре нейрохирургии Дорожной клинической больницы на ст. Иркутск-Пассажирский ОАО «РЖД», Отделе нейрохирургии университета Фукуи (Фукуи, Япония), Лаборатории нейрохирургии Барроу неврологического института (Финикс, США) и одобрено этическими комитетами НЦРВХ СО РАМН (протокол № 5 от 12.09.13 г.) и Барроу неврологического института, а также Университета Фукуи в соответствии с договором о научно-практическом сотрудничестве. Исследования выполнены при поддержке грантов Президента Российской Федерации МД-6662.2012.7, стипендии Президента Российской Федерации СП-156.2013.4, международного гранта Барроу неврологического института, гранта Всемирной ассоциации нейрохирургических обществ и гранта Азиатского конгресса нейрохирургов.

2.1. Мета-анализ крупных серий открытого выключения церебральных аневризм

Для достижения цели и решения задач исследования проведен мета-анализ литературы на тему хирургического лечения церебральных аневризм. Цель мета-анализа – определение изменения в тактике лечения церебральных аневризм (ЦА) после внедрения эндоваскулярного метода лечения в зависимости от их локализации. Определение локализации аневризм, наиболее подходящих к открытому хирургическому лечению является одним из оснований для разработки адекватных экспериментальных моделей. Проанализированы индексированные с 2003 по 2014 г. в базах данных PubMed, Medline и E-library публикации крупных клинических серий хирургического лечения ЦА в учреждениях, где доступно как эндоваскулярное, так и микрохирургическое лечение, а также представлена информация о методах лечения и локализации ЦА. В стратегию поиска входили следующие ключевые слова: аневризма, артериальная аневризма, хирургическое лечение, аневризматическая болезнь, intracranial aneurysm, surgery, endovascular coiling, aneurysm

clipping. Для оценки выбора способа лечения ЦА при различных локализациях критериями включения в данный мета-анализ были крупные клинические серии, опубликованные за последние 10 лет в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах. Критериями исключения явились исследования типа «случай-контроль», внешне сбалансированные по числу наблюдений в группах, а также те, в которых значительное количество пролеченных в учреждении пациентов не вошли в серии. Этапы включения данных в мета-анализ представлены на Рисунке 3. Таким образом, систематизирована информация о 3 отечественных и 5 зарубежных исследованиях, которые включают в себя 5254 случая ЦА различной локализации. Для вычисления статистических показателей мета-анализа и построения метаграф использовано программное обеспечение Microsoft Excel 2010 [214]. Данные представлены в виде долей (%), их стандартных ошибок и 95%-х доверительных интервалов (ДИ). Результаты взвешены с использованием модели случайных эффектов на основании расчета коэффициентов гетерогенности Q и I^2 . Уровень значимости p выбран равным 0,05.

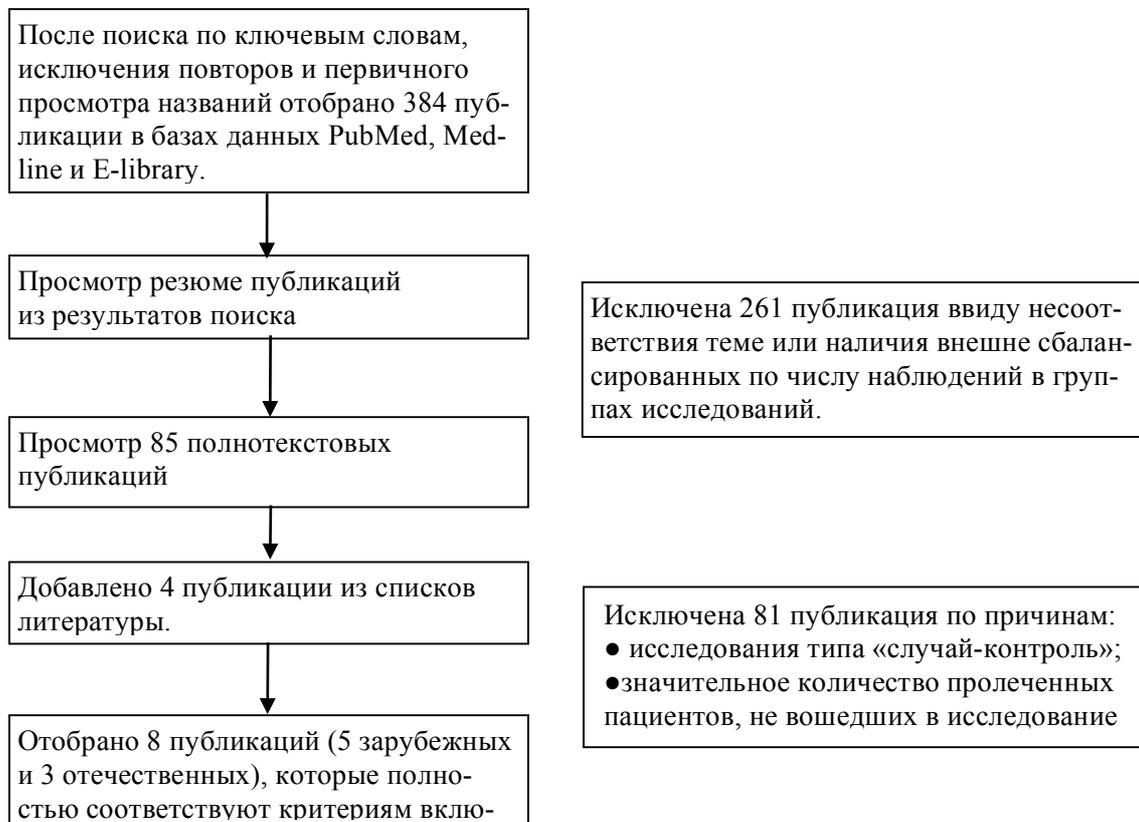


Рисунок 3 – Стратегия поиска данных для включения в мета-анализ

2.2. Топографо-анатомический метод исследования

Плаценту от рожениц, давших добровольное информированное согласие, в соответствии с заявленным протоколом исследования, получали из патологоанатомических отделений. Плацента со сформированными аневризмами хранилась при температуре от +4 до +10 °С в изотоническом растворе до 6 суток.

Площадь плаценты человека составляет в среднем 200–300 см², диаметр 17–20 см, толщина 2–3 см, средняя масса – 500 г [4]. Различают две поверхности плаценты: плодную, обращенную к плоду, и материнскую, прилежащую к стенке матки. Плодная поверхность плаценты покрыта амнионом – гладкой блестящей оболочкой сероватого цвета; к центральной ее части прикрепляется пуповина, от которой расходятся сосуды. Материнская поверхность плаценты темно-коричневого цвета, разделена на 15–20 долек – котиледонов. Последние отделены друг от друга перегородками плаценты. Каждый котиледон имеет автономное кровоснабжение из сосудов плода, содержит две и более стволовых ворсин и их многочисленные ветви. Между амниотической оболочкой и хорионом находится слой слизистой (очень рыхлой соединительной) ткани. Сосудистое русло плаценты человека характеризуется значительной индивидуальной изменчивостью, отсутствием сосудистых нервов и лимфатических сосудов. Артерии плодной поверхности плаценты делятся на ряд поверхностных ветвей первого, второго и третьего порядка, которые расположены на плодной поверхности плаценты над хориальной пластинкой. В связи с выраженной анатомической изменчивостью числа котиледонов, соответственно, число, форма и калибр артерий плаценты различны. Среднее давление в артериальной системе плаценты составляет к концу беременности 60–65 мм рт. ст., близкое к венозному, поэтому сосуды не имеют выраженной адвентиции и меди [3]. Разница в давлении между артериями и венами плаценты составляет порядка 30 мм рт. ст., в отличие от разницы давления церебральных артерий и вен (более 100 мм рт. ст.). В связи с этим строение артерий и вен плаценты не так разительно отличается друг от друга, как строение артерий и вен головного мозга. Поэтому для цели экспериментального моделирования аневризм можно использовать как артерии, так и вены плаценты.

В исследовании применяли номенклатуру и классификацию артерий хориона плаценты по Д.Б. Бекову (Рисунок 4), основанную на делении хориона на четыре группы ворсин [4].

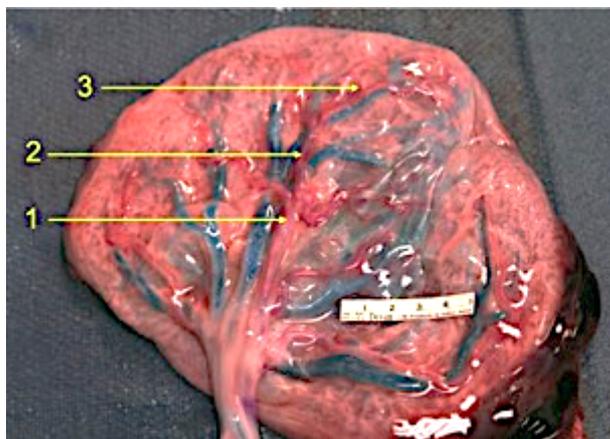


Рисунок 4 – Классификация артерий плаценты: **1** – первичная ветвь; **2** – вторичная ветвь; **3** – третичная ветвь

Согласно этой классификации, артерии плодной поверхности плаценты разделяют на:

- артериальный анастомоз корня пуповины;
- артериальная ветвь первичная;
- артериальная ветвь вторичная;
- артериальная ветвь третичная;
- артериальный межплацентарный анастомоз.

Проведено изучение сравнительной анатомии сосудов плаценты и головного мозга человека для определения возможности моделирования артериальных аневризм и сосудистых микроанастомозов. Изучали количество, длину и диаметр сосудистых ветвей на плодной поверхности плаценты ($n = 40$). Измерение калибра сосудов производили штангенциркулем и миллиметровой линейкой при давлении в них 60–70 мм рт. ст.

Экспериментальные модели аневризм с широкой и узкой шейками созданы на артериальных сосудах плаценты человека второго и третьего порядка. Для реализации использовали операционные микроскопы (Olympus 5000, Zeiss OPMICS),

биполярную коагуляцию (Grieshaber), аспиратор, набор хирургических микроинструментов, нейрохирургические клипсы и клипсодержатель (Aescular), силиконовые катетеры Фолея 5, 6, 8 FR, венозные катетеры, системы для внутривенных вливаний, изотонические растворы, красители пищевые темно-красный и синий.

2.3. Гистологическое исследование

Гистологическое исследование проведено в лаборатории патоморфологии НЦРВХ СО РАМН (руководитель – канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник О.А. Гольдберг) и отделении патологической анатомии МУЗ ГИМДКБ (зав. отделением – Е.П. Антошкина), а также в лаборатории нейрохирургии Барроу неврологического института (руководитель – проф. М. Прул, исследователь – Т. Леи) по гранту Барроу неврологического института 2013–2015 гг. Для сравнительного гистологического исследования забирали фрагменты сосудов и фиксировали их в 10%-м растворе формалина в течение суток. Фиксированный материал заливали парафином, так, чтобы срез микротомом проходил поперек оси сосуда. Срезы окрашивали следующим образом:

- 1) по Вирхову и Ван-Гизону [254] для определения эластических волокон, которые окрашиваются в черный цвет;
- 2) по Гордону и Свиту [254] для определения ретикулиновых волокон, которые окрашиваются в черный цвет;
- 3) традиционная окраска гематоксилин-эозином [254].

Морфометрия проведена в специализированной программе MultiMedia Catalog (Россия). Плотность ретикулиновых волокон на поперечном срезе определяли путем подсчета количества пересечений перпендикуляра, опущенного к внутренней поверхности сосуда (толщина стенки), и окрашенных ретикулиновых волокон. Минимальное количество перпендикуляров для измерения в каждом типе сосудов – тридцать (Рисунок 5). По такому же принципу рассчитывали количество эластических волокон на срезах, окрашенных по Вирхову и Ван-Гизону. Всего в сводной таблице измерено 699 артерий (случаев) – по 6 вариантов в каждом случае. Тол-

щину стенки сосуда и толщину слоев (интимы, меди и адвентициальной оболочки) выражали в микрометрах (мкм) на всех гистологических срезах для каждого фрагмента сосудов.



Рисунок 5 – Интерфейс программы «MultiMedia Catalog» с примером проведения морфометрического анализа толщины слоев стенки артерии, окрашенной по Гордону и Свиту

2.4. Метод моделирования церебральных аневризм

Плаценту отмывали проточной водой от сгустков крови, препарировали и удаляли амниотическую оболочку. Пуповину отрезали, оставляя конец длиной 5 см. Обе артерии и вену пуповины катетеризировали подключичными катетерами, промывали под давлением с помощью шприца изотоническим раствором до полного удаления крови и сгустков. Мануальным путем удаляли внутрисосудистые тромбы. Сосуды плаценты находятся на плотной хориоидальной оболочке, укрепляющей нижнюю и часть боковых стенок артерий и вен, а иногда и верхнюю стенку, что препятствует образованию аневризмы. Формирование модели аневризмы с широкой шейкой может происходить при введении изотонического раствора под большим давлением в наиболее истонченных местах сосудов. Для формирования аневризм с широким основанием, а также фузиформного типа аневризм

в артерию пуповины вводили катетер Фолея и продвигали дистально до заклинивания в мелкой ветви. Далее баллон расширяли введением жидкости (Рисунок 6) и позиционировали так, чтобы он увеличивался в сторону верхней стенки. Расширенный баллон оставляли в просвете сосуда на 6–12 ч, далее производили декомпрессию и его удаление.

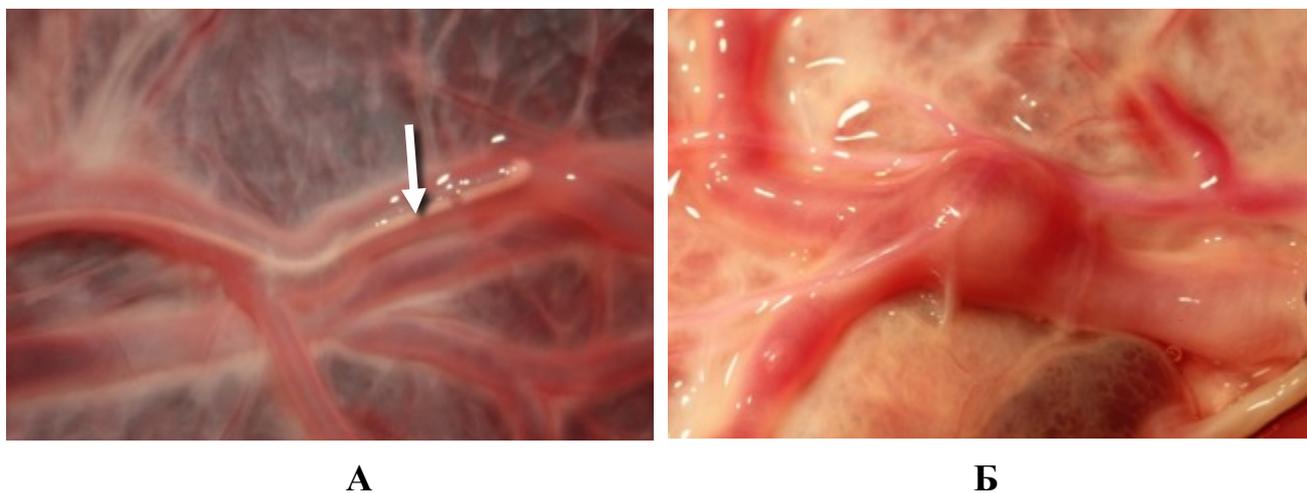


Рисунок 6 – Этапы формирования аневризмы с широкой шейкой: **А** – раздутый баллон катетера в просвете сосуда (показан стрелкой); **Б** – аневризма с широкой шейкой

Аневризму с узкой шейкой формировали в два этапа. Сначала производили расширение сегмента артерии сразу после бифуркации баллоном катетера Фолея по предыдущей технологии, затем сосуд лигировали дистальнее расширения (Рисунок 7). Качество сформированной аневризмы проверяли путем подключения системы для внутривенного вливания и нагнетанием раствора с красителем. От некоторых аневризм отходили мелкие перфорантные ветви, которые визуализировались при введении в сосуд раствора с темно-красным или синим пищевым красителем.

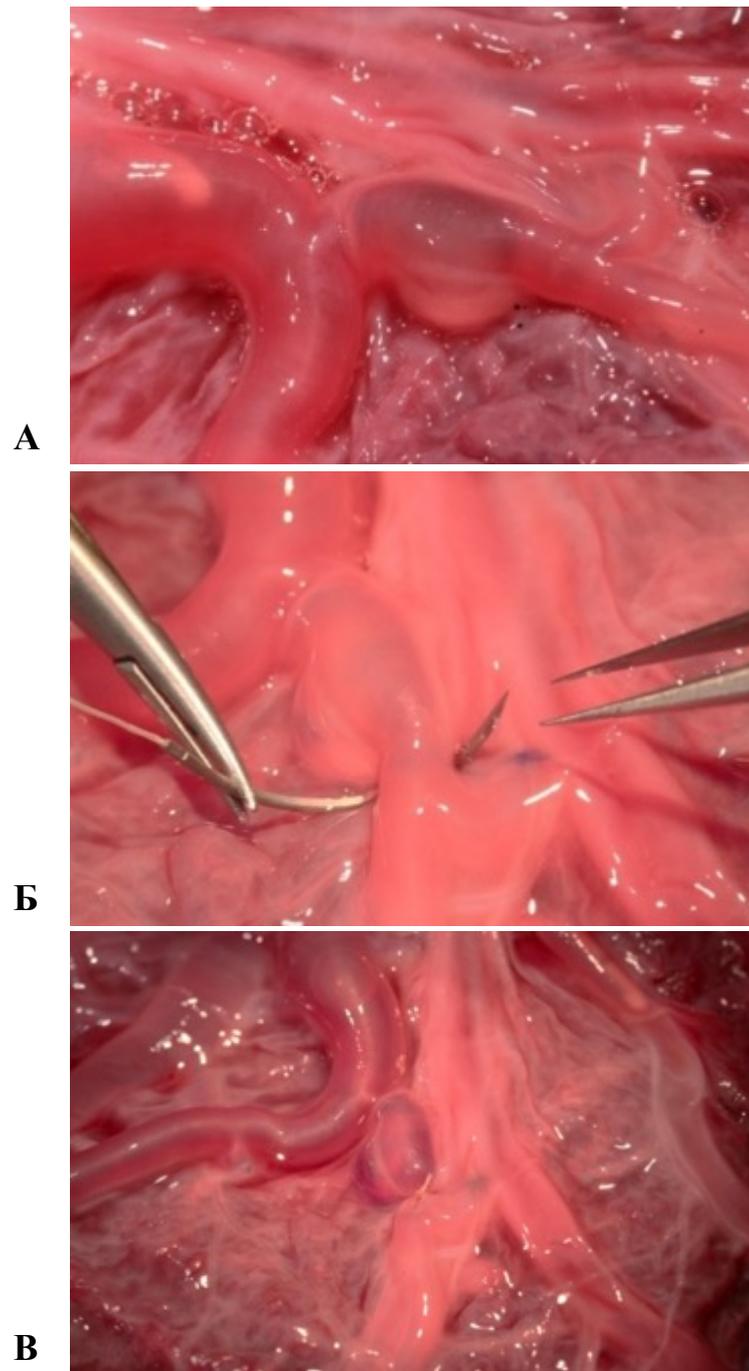


Рисунок 7 – Этапы формирования аневризмы с узкой шейкой: **А** – дилатированный баллоном сегмент сосуда; **Б** – наложение лигатуры дистальнее места расширения; **В** – аневризма с узкой шейкой

2.5. Квалиметрия навыков

Для оценки навыков наложения микроанастомоза на плаценте человека использовали Северо-Западный объективный инструмент оценки микроанастомоза (СООМ) на русском языке [46] (Приложение В). Для оценки навыков выделения и

клипирования аневризмы использовали шкалу ОСАНКА (Приложение Г). Обе объективные оценочные шкалы разработаны на основе объективного структурированного квалитметрического инструмента (OSACS) [319]. Каждый параметр независимо измеряется по категориальной порядковой шкале Линберга [9] от 1 до 5, где 1 означает плохое выполнение, 5 – отличное выполнение. Значения 1, 3 и 5 имеют строгое определение, таким образом создавая три опорные точки в оценке хирургического навыка. С другой стороны, значения 2 и 4 каждого параметра оставлены без определения для предоставления гибкости в оценке, особенно когда она не соответствует критериям значений 1, 3 или 5.

Шкала ОСАНКА состоит из 9 хирургических параметров, которые были выбраны тремя опытными нейрохирургами (д.м.н. В.А. Бывальцевым, проф. Peter Nakaji, проф. Mark Preul) и аспирантом Е.Г. Белых. Данная шкала оценивает наиболее важные технические аспекты микрохирургии аневризм, включая осанку и позу, использование хирургического микроскопа, знание инструментария, владение хирургическим инструментом, время и движение, планирование хода операции, навык наложения клипсы, бережное отношение к тканям, навык микродиссекции. Шкала ОСАНКА имеет минимальное значение 9 и максимальное – 45.

Шкала СООМ состоит из 14 параметров [46]: оценка осанки и позы, использование хирургического микроскопа, знание хирургического инструментария, владение хирургическим инструментом, бережное отношение к тканям, безопасное обращение с иглой, равномерность наложения швов, расстояние между швами, завязывание узлов и экономия нити, владение иглой под микроскопическим увеличением, владение нитью под микроскопическим увеличением, оценка выполненного анастомоза без давления жидкости, оценка выполненного анастомоза под давлением жидкости, осмотр внутренней поверхности сосуда в области анастомоза. Шкала СООМ имеет минимальное значение 14 и максимальное – 71.

2.6. Очевидная и содержательная валидность

Очевидная валидность используется для определения реализма симуляции и показывает, насколько хорошо экспериментальная модель изображает предмет [135].

Содержательная валидность является оценкой адекватности симуляции как средства обучения. Ее доказательство включает в себя анкетирование экспертов, знакомых с предметом, и показывает, в какой мере испытуемый считает, что экспериментальная модель позволяет тренировать именно те ситуации и навыки, которые необходимы в клинической практике [135]. Определение очевидной и содержательной валидности проводится путем анкетирования респондентов. Так, для субъективного анализа экспериментальных моделей микроанастомозов и клипирования аневризм на сосудах плаценты человека респондентам предлагалось заполнить анкеты (Приложения А и Б). Каждый из шести вопросов оценивается категориальной шкалой Линкерта [9], в целом характеризую очевидную и содержательную валидность. Данные анкеты приводились в единую таблицу с расчетом средних показателей по каждому из пунктов.

Анкетирование респондентов проходило в ходе микрохирургического тренинга на курсе нейрохирургии кафедры госпитальной хирургии ИГМУ в 2013–2014 гг., в лаборатории нейрохирургии Барроу неврологического института и на базе патолого-анатомического отделения МАУЗ ГИМДКБ.

2.7. Конструктивная валидность

Конструктивная валидность устанавливает, коррелируют ли полученные оценки с реальными оперативными навыками, дифференцируя таким образом новичков от экспертов [135].

В связи с тем, что создание микроанастомоза требует специфического навыка, для определения конструктивной валидности теста СООМ по отношению к экспериментальной модели на сосудах плаценты человека респонденты ($n = 30$) были разделены на две группы: 1) не прошедшие тренинг – новички; 2) прошедшие

микрохирургический тренинг наложения микроанастомоза – эксперты. Для шкалы СООМ содержательная и конструктивная валидность опубликована ранее [46]. Межгрупповой анализ значимости различий по шкале СООМ проведен по критерию Манна – Уитни. В модуле логистической регрессии произведен расчет 50 % вероятности перехода из категории «новичок» в категорию «эксперт» на основании количественной квалитетической оценки (в баллах) по шкале СООМ.

Для определения конструктивной валидности теста ОСАНКА респонденты ($n = 30$) были разделены на три группы: 1) ординаторы младших лет обучения и студенты; 2) ординаторы старших лет обучения; 3) опытные нейрохирурги. Каждый респондент оценен двумя независимыми наблюдателями для увеличения количества наблюдений в группах. Таким образом, общее количество анкет в исследовании составило 60 (по 20 в каждой группе). Парные оценки использованы в дальнейшем для расчета коэффициента согласия наблюдателей. Межгрупповой анализ значимости различий по шкале ОСАНКА проведен по критерию Крускала – Уоллиса ANOVA.

2.8. Определение надежности

Для определения надежности экспертной квалитетической оценки по шкале ОСАНКА использованы коэффициент согласия наблюдателей и каппа-коэффициент Коэна. Коэффициент согласия выражен в процентах с указанием 95%-го ДИ. Каппа-коэффициент Коэна приведен со стандартной ошибкой и уровнем значимости p . Оценку каппа-коэффициента проводили согласно рекомендуемым критериям: менее 0,20 – плохое согласие, плохая степень согласованности; от 0,21 до 0,40 – удовлетворительное согласие (сносное), удовлетворительная степень согласованности; от 0,41 до 0,60 – умеренное согласие (среднее), умеренная степень согласованности; от 0,61 до 0,80 – хорошее согласие, хорошая степень согласованности; более 0,81 – очень хорошее (превосходное) согласие, очень хорошая степень согласованности.

Дискриминантный анализ проведен с построением математической модели и оценкой лямбда-коэффициента Вилкса, принимающим значения от 0 – модель

классификации наилучшим образом дифференцирует данные, до 1 – отсутствие дискриминации данных на основании данной классификации.

2.9. Статистическая обработка результатов исследования

Статистическая обработка данных проведена в программах Excel и Statistica 8.0. Использованы методы описательной и непараметрической статистики. Значения количественных переменных описаны средним (M) и стандартным отклонением (SD) в виде $M \pm SD$, а также размахом значений в виде (min-max). Для не нормально распределенных данных указана медиана (Me) и интерквартильный размах (25 %; 75 %). Для проверки гипотезы о значимости различий выборочных совокупностей использованы критерии непараметрической статистики для независимых и связанных выборок. Значимыми считали значения при $p < 0,05$.

ГЛАВА 3 РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Результаты мета-анализа крупных серий открытого выключения церебральных аневризм

В мета-анализ вошли данные восьми клинических серий: В. В. Крылов, 2011, 2012 [23, 24]; Д.В. Свистов, 2012 [1]; Ю.В. Пилипенко [2], 2014; D.O. Wiebers, 2003 [165]; S.K. Natarajan, 2008 [221]; Y. Kaku, 2010 [313]; Н. Tenjin, 2011 [315]; R.F. Spetzler, 2013 [296] (Таблица 7).

Одна из самых больших опубликованных отечественных серий лечения церебральных аневризм включает 2412 пациентов (НИИ Скорой помощи им. Н.В. Склифосовского), из них 45 (1,9 %) – с неразорвавшимися аневризмами, остальные – с субарахноидальным кровоизлиянием [23, 24]. Гигантские ЦА (более 25 мм) имели место у 49 (2 %) пациентов, множественные ЦА выявлены у 287 (11,9 %). При выборе тактики лечения авторы отмечают необходимость проведения операции в холодном периоде субарахноидального кровоизлияния, а также продолжительного интраоперационного (или вынужденного постоянного) клипирования несущего аневризму сосуда. Для предотвращения ишемического поражения головного мозга в бассейне подвергающейся окклюзии артерии возможно наложение протекционных экстра-интракраниальных анастомозов [23, 83].

Всего в НИИ Скорой помощи им. Н.В. Склифосовского с 1992 по 2010 г. открытым способом прооперировано 2412 пациентов (большинство с разорвавшимися аневризмами), из которых аневризмы СМА были у 473 (19,6 %) пациентов, ВСА – у 525 (21,8 %), перикаллезной артерии – у 65 (2,7 %), ПСА – у 1012 (41,9 %), вертебробазиллярной локализации – у 52 (2,2 %) пациентов. Эндovasкулярное лечение аневризм здесь проводится с 1996 г. С этого времени и по 2010 г. прооперировано 156 пациентов, из них 109 (70,0 %) – в 2005–2010 гг.

Таблица 7 – Систематический обзор опубликованных серий лечения церебральных аневризм

| Автор, год | Наличие разрыва аневризмы | Метод лечения | Подходы к лечению, применяемые в клинике | Период исследования | ПМА, n (%) | ПСА, n (%) | ЗСА, n (%) | ВСА, n (%) | СМА, n (%) | ВББ, n (%) | Всего n |
|----------------------------|---|--------------------|---|---------------------|----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| Ю.В. Пилипенко, 2014 | Отдаленный постгеморрагический период (более 21 сут.) | Эндоваскулярное | Доступны оба метода | 2005–2012 | 18 (9,62) | – | – | 70 (37,43) | 4 (2,14) | 95 (50,80) | 187 |
| | | Микрохирургическое | Доступны оба метода | 2005–2012 | 407 (45,88) | – | – | 211 (23,79) | 235 (26,49) | 34 (3,83) | 887 |
| | | | | <i>Всего</i> | 425 (39,57) | – | – | 281 (26,16) | 239 (22,25) | 129 (12,01) | 1074 |
| Д.В. Свистов, 2012 | Острый период САК | Эндоваскулярное | Доступны оба метода | 2006–2008 | 36 (48,64) | – | – | 23 (31,08) | 15 (20,27) | – | 74 |
| | | Микрохирургическое | Доступны оба метода | 2006–2008 | 19 (40,42) | – | – | 9 (19,15) | 19 (40,43) | – | 47 |
| | | | | <i>Всего</i> | 55 (45,46) | – | – | 32 (26,45) | 34 (28,10) | – | 121 |
| В.В. Крылов, 2011, 2012 | Большинство с САК | Микрохирургическое | Эндоваскулярный для пациентов с труднодоступной локализацией аневризмы и микрохирургический | 2005–2010 | 19 (2,03) | 337 (36,04) | – | 191 (20,43) | 214 (22,89) | 20 (2,13) | 781 |
| | | Эндоваскулярное | | 2005–2010 | – | 4 (3,67) | – | 72 (66,06) | 2 (1,84) | 31 (28,44) | 109 |
| | | | | <i>Всего</i> | 19 (2,14) | 341 (38,31) | – | 263 (29,55) | 216 (24,27) | 51 (5,73) | 890 |
| Н. Tenjin, 2011 | Все с САК | Эндоваскулярное | Доступны оба метода | 2006–2010 | 1 (2,77) | 14 (38,88) | – | 13 (36,11) | 3 (8,33) | 5 (13,89) | 36 |
| | | Микрохирургическое | Доступны оба метода | 2006–2010 | 5 (6,49) | 14 (18,18) | – | 28 (36,36) | 30 (38,96) | 0 (0) | 77 |
| | | | | <i>Всего</i> | 6 (5,30) | 28 (24,78) | – | 41 (36,28) | 33 (29,20) | 5 (4,42) | 113 |
| D.O. Wiebers, 2003 (ISUIA) | Неразорвавшиеся | Эндоваскулярное | Доступны оба метода | 1991–1998 | 41 (9,09) | – | 15 (3,33) | 234 (51,88) | 54 (11,97) | 107 (23,73) | 451 |
| | | Микрохирургическое | Доступны оба метода | 1991–1998 | 284 (14,83) | – | 84 (4,39) | 719 (37,57) | 650 (33,96) | 177 (9,25) | 1914 |
| | | | | <i>Всего</i> | 325 (13,74) | – | 99 (4,18) | 953 (40,30) | 704 (29,77) | 284 (12,01) | 2365 |
| R.F. Spetzler, 2013 (BRAT) | Все с САК | Эндоваскулярное | Доступны оба метода | 2003–2007 | 5 (3,9) | 40 (31,25) | 35 (27,34) | 9 (7,03) | 10 (0,78) | 29 (22,66) | 128 |
| | | Микрохирургическое | Доступны оба метода | | 8 (2,86) | 97 (34,64) | 49 (17,5) | 36 (12,86) | 50 (17,85) | 40 (14,29) | 280 |
| | | | | <i>Всего</i> | 13 (3,18) | 137 (33,58) | 84 (20,59) | 45 (11,02) | 60 (14,71) | 69 (16,91) | 408 |

Окончание Таблицы 7

| Автор, год | Наличие разрыва аневризмы | Метод лечения | Подходы к лечению, применяемые в клинике | Период исследования | ПМА, % | ПСА, % | ЗСА, % | ВСА, % | СМА, % | ВББ, % | Всего |
|----------------------|---------------------------|--------------------|--|---------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------|
| S.K. Natarajan, 2008 | Все с САК | Эндоваскулярное | Доступны оба метода | 2005–2006 | 10 (11,76) | 38 (44,71) | 13 (15,29) | 6 (7,06) | 4 (4,71) | 14 (16,76) | 85 |
| | | Микрохирургическое | | 2005–2006 | 1 (0,98) | 34 (33,33) | 14 (13,73) | 15 (14,71) | 21 (20,59) | 17 (16,67) | 102 |
| | | | | <i>Всего</i> | <i>11</i> <i>(5,88)</i> | <i>72</i> <i>(38,50)</i> | <i>27</i> <i>(14,44)</i> | <i>21</i> <i>(11,23)</i> | <i>25</i> <i>(13,37)</i> | <i>31</i> <i>(16,58)</i> | 187 |
| Y. Kaku, 2010 | Все с САК | Эндоваскулярное | Доступны оба метода | 2005–2007 | 23 (47,92) | – | – | 13 (27,08) | 5 (10,42) | 7 (14,58) | 48 |
| | | Микрохирургическое | | 2005–2007 | 9 (18,75) | – | – | 15 (31,25) | 20 (41,67) | 4 (8,33) | 48 |
| | | | | <i>Всего</i> | <i>32</i> <i>(33,33)</i> | – | – | <i>28</i> <i>(29,17)</i> | <i>25</i> <i>(26,04)</i> | <i>11</i> <i>(11,46)</i> | 96 |
| | | | | <i>Всего</i> | <i>886</i> <i>(16,86)</i> | <i>578</i> <i>(11,00)</i> | <i>210</i> <i>(4,00)</i> | <i>1664</i> <i>(31,67)</i> | <i>1336</i> <i>(25,43)</i> | <i>580</i> <i>(11,04)</i> | 5254 |

По представленным в работе данным можно рассчитать изменения в выборе метода вмешательства (в динамике). С этой целью пациенты условно были разделены на две группы: 1-я – 1990–2004 гг. ($n = 1477$), 2-я – 2005–2010 гг. ($n = 935$). Выбор 2005 г. обусловлен наличием данных о локализациях аневризм при эндоваскулярных вмешательствах с 2005 по 2010 г.

При анализе количества открытых операций, выполненных при аневризмах СМА, выявлено увеличение их доли на 5,3 % – с 17,5 % ($n = 259$) в 1990–2004 гг. до 22,8 % ($n = 214$) в 2005–2010 гг. ($p_{\chi^2} = 0,0013$). При этом за период с 2005 по 2010 г. эндоваскулярным способом пролечено только 1,8 % ($n = 2$) аневризм СМА. Большинство эндоваскулярно закрытых аневризм располагались на ВСА – 66,1 % ($n = 72$) и в ВББ – 28,4 % ($n = 31$). На долю ПСА приходились оставшиеся 3,7 % ($n = 4$). Большинство эндоваскулярно выключенных аневризм относилось к категории труднодоступных и технически сложных для открытой операции. Принимая во внимание исходы операций при различных локализациях аневризм в данной серии, а именно то, что процент летальных исходов при аневризмах передней циркуляции наивысший в бассейне СМА – 16,3 % ($n = 77$), можно заключить, что аневризмы данной локализации являются в большинстве случаев не только кандидатами на открытое лечение, но и технически сложными, вносящими существенный вклад в общую летальность при данной патологии.

Серия Пилипенко включает 1074 пациента, которым хирургическое лечение разорвавшихся аневризм проводили в отдаленном постгеморрагическом периоде методом открытой микрохирургии в 82,6 % ($n = 887$) наблюдений, а также эндоваскулярно в 17,4 % ($n = 187$) [2]. Осложнения наблюдались в 13,8 % случаев после микрохирургических и в 16,0 % – после эндоваскулярных операций, при этом большая часть (14,2 %) была связана с церебральными нарушениями. Сравнивая риск осложнений при различных локализациях ЦА, авторы установили, что в группе эндоваскулярного лечения по сравнению с открытым риск осложнений значительно меньше при ЦА офтальмического отдела ВСА – 7 % против 25 % ($p = 0,0095$) и ПА – 11,1 % против 16,7 %. По остальным локализациям разница статистически незна-

чима. Интраоперационный разрыв отмечался в 7,4 % открытых и в 4,3 % эндоваскулярных вмешательств. Стойкие неврологические нарушения после интраоперационного разрыва сохранялись у 39,1 и 71,4 % пациентов соответственно.

Серия Свистова, включившая 118 пациентов, выявила статистически значимое превосходство радикальности клипирования только при аневризмах СМА ($p = 0,04$), тогда как при иных локализациях преимуществ микрохирургического метода не отмечено [1]. Частота всех видов осложнений в ходе внутрисосудистых вмешательств незначимо выше, чем при клипировании: ОР (отношение рисков) = 1,164 (95%-й ДИ = 0,9074–1,4926); $p = 0,2323$. Тем не менее частота интраоперационных разрывов при эмболизации составила 6,9 %, и имела тенденцию к значимости различий в сравнении с клипированием – 17,8 % ($p = 0,06$). Тенденция к снижению риска интраоперационных разрывов аневризм в ходе внутрисосудистых операций прослеживается отчетливо. Сравнивая результаты лечения ЦА, авторы заключают, что у пациентов, оперированных в удовлетворительном состоянии, послеоперационный исход идентичен по частоте отличных, хороших и неблагоприятных исходов. У пациентов, оперированных в тяжелом состоянии, отмечена диссоциация исходов лечения за счет достоверного увеличения отличных и неблагоприятных исходов в группе эндоваскулярного лечения. Таким образом, показано, что широкое применение эндоваскулярного метода окклюзии разорвавшихся ЦА в остром периоде САК в условиях муниципального лечебного учреждения может обеспечить достижение хороших результатов лечения.

Исследование Каки включает 100 пациентов с ЦА, последовательно оперированных разными методами в японской клинике [313]. Авторы заключают, что наилучших результатов лечения можно добиться при комбинированном применении эндоваскулярных и микрохирургических методик.

Серия Natarajan включает оценку опыта лечения 187 последовательно набранных пациентов с церебральными аневризмами [221]. При аневризмах СМА эндоваскулярные методики применялись только в 4 из 25 случаев (16 %), в отличие от остальных локализаций, где эндоваскулярные методики применялись в схожем

или большем количестве наблюдений. При сравнении 3-месячных результатов лечения по шкале Rankin, авторы выявили отсутствие значимых различий между эндоваскулярным ($n = 87, 45 \%$) и микрохирургическим ($n = 105, 55 \%$) лечением.

Серия Н. Tenjin (2011) [315] включает 113 пациентов с САК из аневризм диаметром менее 10 мм, которым оперативное лечение выполнено микрохирургическим либо эндоваскулярным способом. В этом исследовании основными показаниями для применения койлинга были возраст старше 75 лет, параклиноидная локализация и ВББ, тяжесть состояния по шкале Hunt и Hess 4 балла и более. В остальных случаях основным методом лечения было открытое клипирование. Следует отметить преобладание аневризм СМА, передней и задней коммуникантных артерий в группе пациентов, пролеченных открытым способом, по сравнению с группой эндоваскулярного лечения.

При анализе серий клинических наблюдений выявлено, что вмешательства при аневризмах СМА выполнялись в 25,43 % ($n = 1336$) от всех аневризм, при этом предпочтение отдавалось микрохирургическому методу (Рисунок 8). Изменение подходов лечения на приоритет в пользу эндоваскулярной окклюзии в наименьшей мере распространяется на аневризмы СМА, в отличие от аневризм ПМА (Рисунок 9), ВСА (Рисунок 10) и ВББ (Рисунок 11). Церебральные аневризмы СМА включались эндоваскулярно в 7,26 % ($n = 97$) случаев, а подавляющее большинство подвергалось открытому клипированию ($n = 1239$). Результаты мета-анализа с учетом гетерогенности исследований выявили суммарную долю микрохирургического метода лечения ЦА СМА равной 90 % (95%-й ДИ = 82–98).

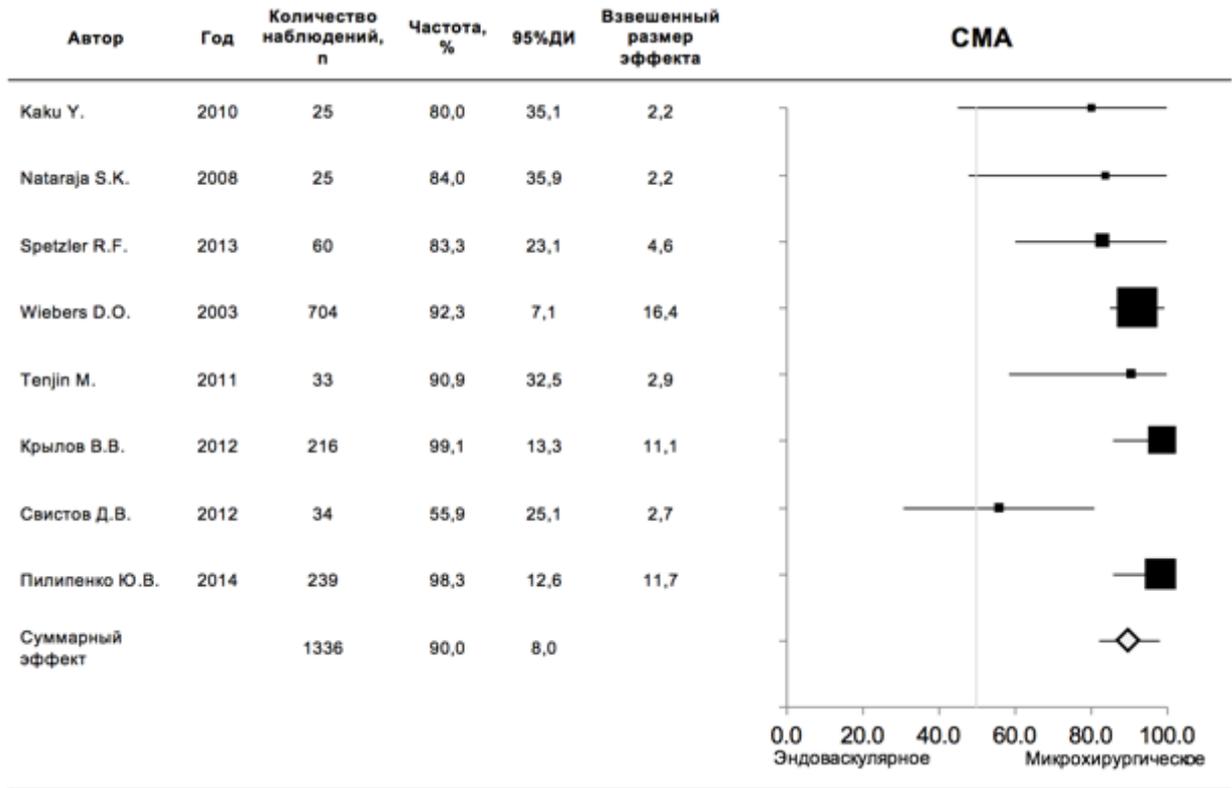


Рисунок 8 – Мета-анализ выбора способа лечения аневризм СМА в зависимости от локализации. Индекс гетерогенности для модели случайных эффектов $Q = 9,1$; $I^2 = 23,0$

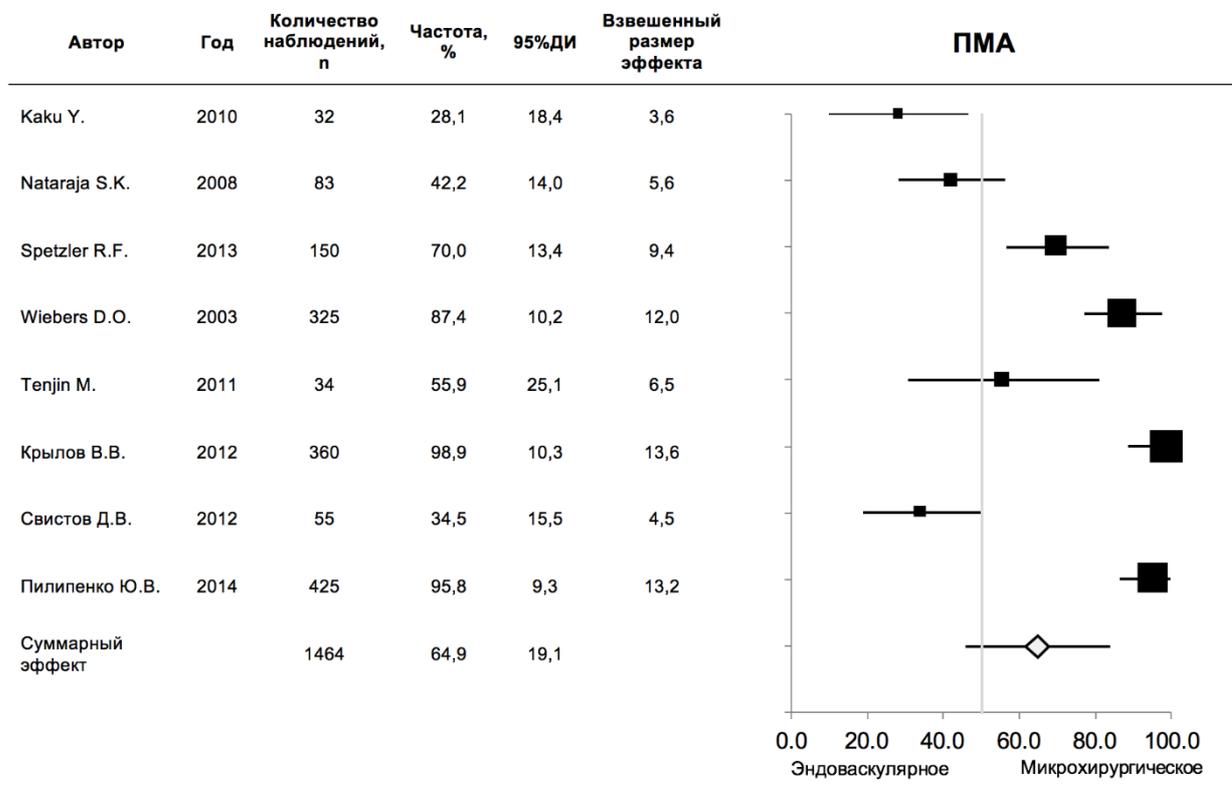


Рисунок 9 – Мета-анализ выбора способа лечения аневризм ПМА в зависимости от локализации. Индекс гетерогенности для модели случайных эффектов $Q = 8,1$; $I^2 = 13,3$

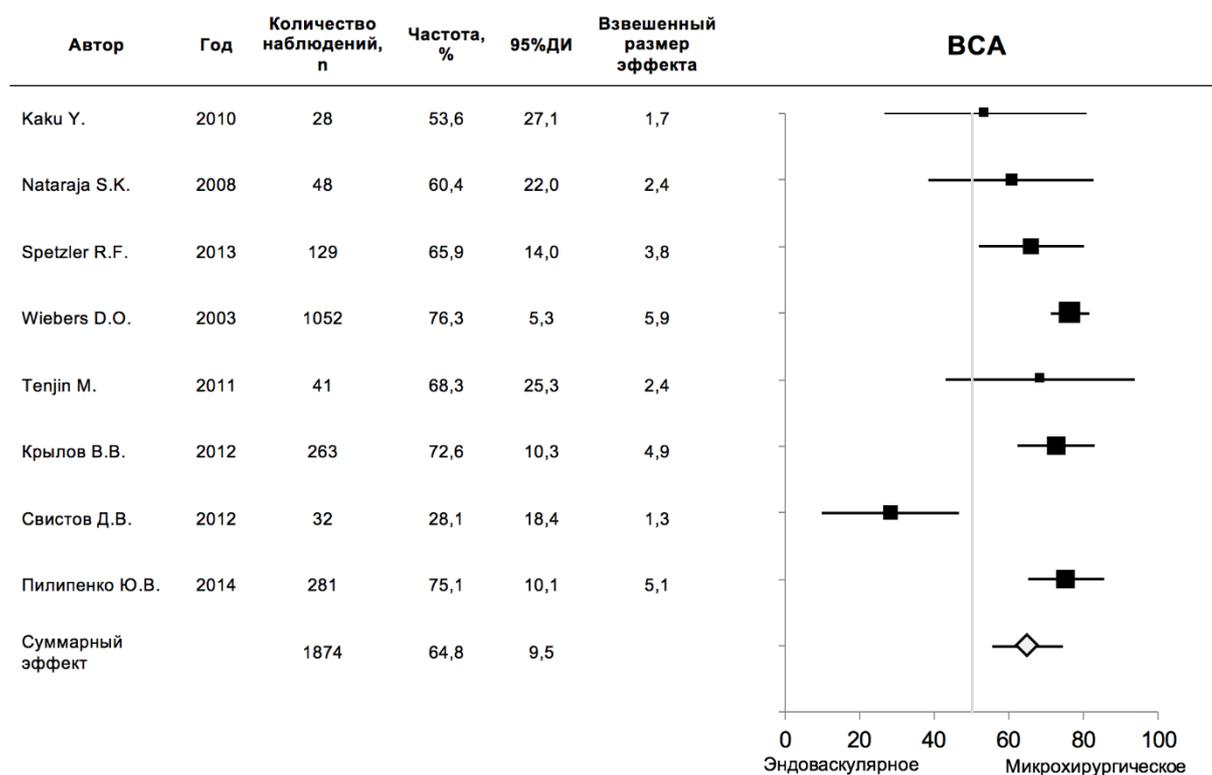


Рисунок 10 – Мета-анализ выбора способа лечения аневризм ВСА в зависимости от локализации. Индекс гетерогенности для модели случайных эффектов $Q = 7,3; I^2 = 4,4$

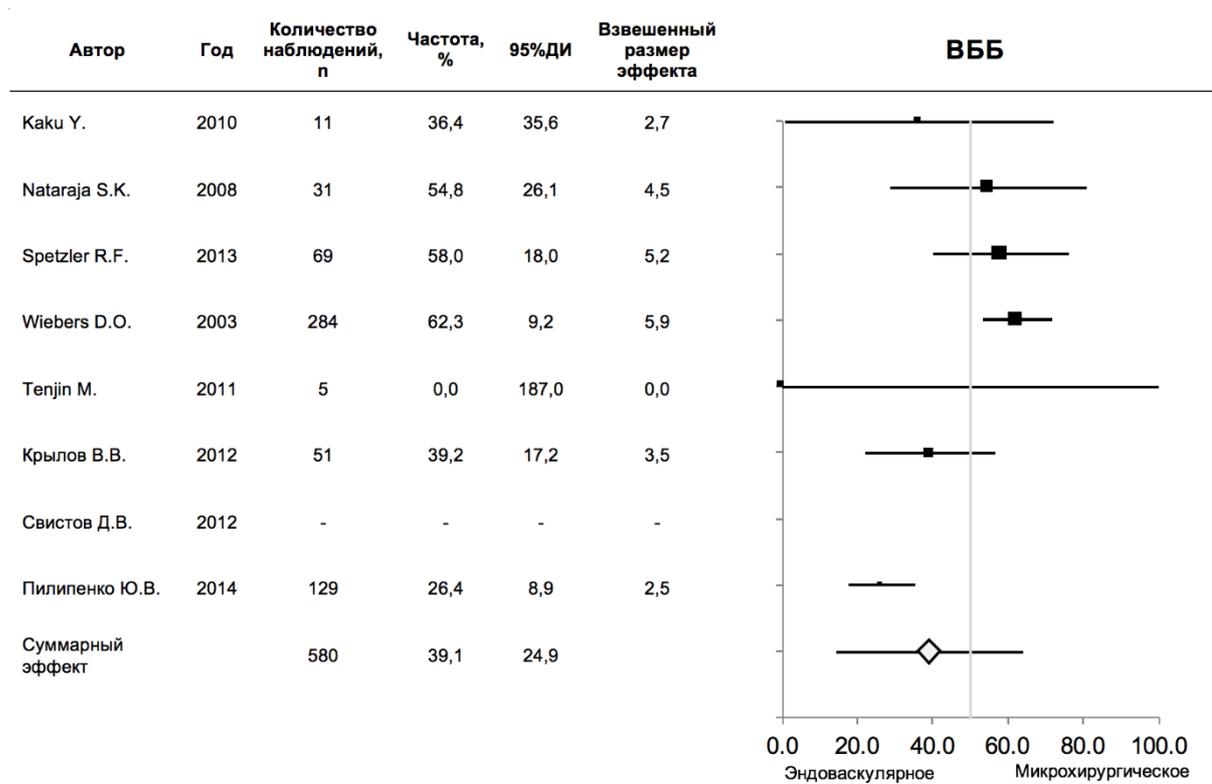


Рисунок 11 – Мета-анализ выбора способа лечения аневризм ВББ в зависимости от локализации. Индекс гетерогенности для модели случайных эффектов $Q = 2,6; I^2 = -164,7$

Сложные аневризмы СМА зачастую требуют сосудистых реконструкций, что подтверждает необходимость разработки экспериментальных моделей аневризм данной анатомической локализации. То, что выбор способа лечения аневризмы СМА зависит от ее индивидуальной морфологии и клинического состояния пациента, в условиях конкуренции с более дорогой опцией эндоваскулярного вмешательства означает лишь, что микронейрохирургическая техника таких операций должна быть отработана до высокого уровня, достижение которого требует определенной практики, в том числе и на симуляционных моделях [209]. Именно поэтому исследования по разработке и применению симуляционных моделей артериальных аневризм являются значимыми и актуальными.

Этот вывод согласуется с данными М. Lawton о том, что в настоящее время хирургическое лечение должно оставаться методом выбора для аневризм СМА [101]. Из 631 аневризмы СМА 88,6 % требовали клипирования, 6,2 % – тромбэктомии и клип-реконструкции, 3,3 % – шунтирующей или реконструктивной сосудистой операции, при этом в 92,0 % случаев неразорвавшихся и в 70,2 % случаев разорвавшихся аневризм удалось достигнуть хороших результатов [101]. По данным обзора показаний к лечению разорвавшихся аневризм СМА, в настоящее время нет убедительных доказательств в пользу микрохирургии или эндоваскулярного вмешательства. Тем не менее авторы заключают, что микрохирургия остается ведущим методом лечения аневризм СМА [101, 250]. Это связано с относительно простым трансильвиевым доступом, надежностью клипирования, ограничениями антикоагулянтного режима для пациентов с разрывом аневризмы. Кроме того, наличие внутримозговой гематомы более 50 мл с масс-эффектом, что встречается при разрыве аневризм СМА в 44 % случаев, является показанием к открытому вмешательству, более того, ее удаление в течение 3,5 ч способно достоверно улучшить результат лечения [59].

3.2. Сравнительная анатомия сосудов плаценты и головного мозга человека

Исследована артериальная сеть плодной поверхности плаценты человека ($n = 40$). Общая длина артериальных ветвей колеблется от 4 до 40 см в зависимости от типа плаценты и типа прикрепления пуповины. Максимальная длина наблюдается при краевом и оболочечном прикреплении пуповины, минимальная – при центральном. Артерии первого, второго и большей части третьего порядка полностью располагаются над хориоидальной оболочкой, интимно связаны с ней своей нижней стенкой. Артерии плодной поверхности плаценты всегда пересекают вены плодной поверхности сверху, в то время как церебральные артерии всегда проходят под кортикальными венами. Ветвление артерий первого и второго порядков происходит последовательно, реже дихотомически или еще реже в одном месте на несколько ветвей. Такой тип ветвления схож с ветвлением церебральных артерий. Ветви третьего порядка, расположенные на хориоидальной поверхности, при достижении котиледонов направляются в глубь плаценты. Диаметр артерий плодной поверхности всегда был меньше соответствующего сегмента вены. Как правило, диаметр пупочных артерий и артериальных ветвей первого порядка неодинаков, вследствие чего образуются асимметричные бассейны, которые соединяются артериальным анастомозом у корня пуповины.

Для разработки экспериментальных моделей ЦА и сосудистых микроанастомозов необходимо сравнить калибр и гистологическое строение церебральных сосудов и сосудов, используемых в качестве аутотрансплантатов при шунтирующих операциях, – ПВА и ЛА. Как видно из Таблицы 8, артериальные ветви I и II порядков имеют схожий диаметр с сегментами M1 и M2 СМА, где наиболее часто локализуются аневризмы. В то же время третичные ветви артерий плаценты схожи по диаметру с корковыми ветвями СМА, ПВА, что позволяет моделировать реконструктивные операции на данных сосудах.

Таблица 8 – Калибр церебральных артерий и артерий плаценты человека

| Название артерии | | Минимальное и максимальное значения калибра, мм | Автор, год |
|---------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Артерии головного мозга | Супраклиноидный отдел ВСА | 5,00 | Rhoton, 2004 |
| | Средняя мозговая М1 М2 М4 | 2,40–4,60 | Yaşargil, 1984 [335] Tanriover, 2003 [201] |
| | | 2,70–4,90 | |
| | | 2,20–3,50 | |
| | | 0,80–1,50 | |
| | Передняя мозговая | 1,00–3,00 1,00–2,40 | Yaşargil, 1984 [335] |
| | Позвоночная | 0,90–4,09 2,50–4,00 | Yaşargil, 1984 [335] |
| Задняя нижняя мозжечковая | 0,65–1,78 0,80–2,00 | Yaşargil, 1984 [335] | |
| Поверхностная височная | | 1,00–2,70 | Pinar, 2006 [227] |
| Лучевая | | 2,05–3,01 | Yoo, 2005 [62] |
| Подкожная вена бедра | | 2,95–5,08 | Lau, 2006 [192] |
| Артерии плаценты человека | Ветви I порядка | 3,00–9,00 | данное исследование |
| | Ветви II порядка | 2,00–5,00 | данное исследование |
| | Ветви III порядка | 0,80–3,00 | данное исследование |

Стоит отметить отсутствие корреляции Спирмена между диаметром сегмента сосуда и его протяженностью ($r = 0,08$; $p < 0,05$), что еще раз подчеркивает высокую вариабельность артериального русла плаценты человека. При межгрупповом сравнении по критерию Краскела – Уоллиса выявлены статистически значимые различия ($p < 0,001$) в диаметре между сегментами артерий разного порядка (Рисунок 12). При межгрупповом сравнительном анализе длины сегментов (Рисунок 13) установлено, что наибольшую имеют сегменты II порядка по сравнению с сегментами I ($p = 0,04$) и III ($p = 0,02$) порядков. Средняя длина артериальной ветви I порядка составляет $28,8 \pm 9,9$ мм, калибр – $6,5 \pm 1,4$ (3,00–9,00) мм; II порядка – $35,9 \pm 15,3$ мм, калибр – $3,4 \pm 0,7$ (2,00–5,00) мм; III порядка – $29,9 \pm 10$ мм, калибр – $1,7 \pm 0,4$ (0,80–3,00) мм. Известна средняя длина M1-сегмента СМА до бифуркации – $17,8$ (10–29) мм [22].

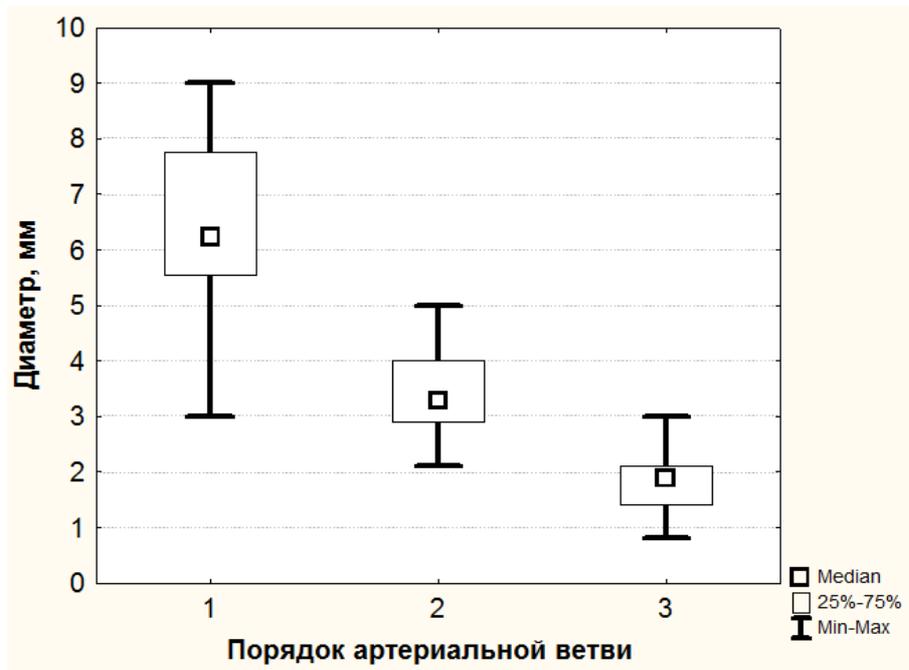


Рисунок 12 – Диаметр артериальных ветвей плодной поверхности плаценты разного порядка ($p_{K-W} < 0,001$)

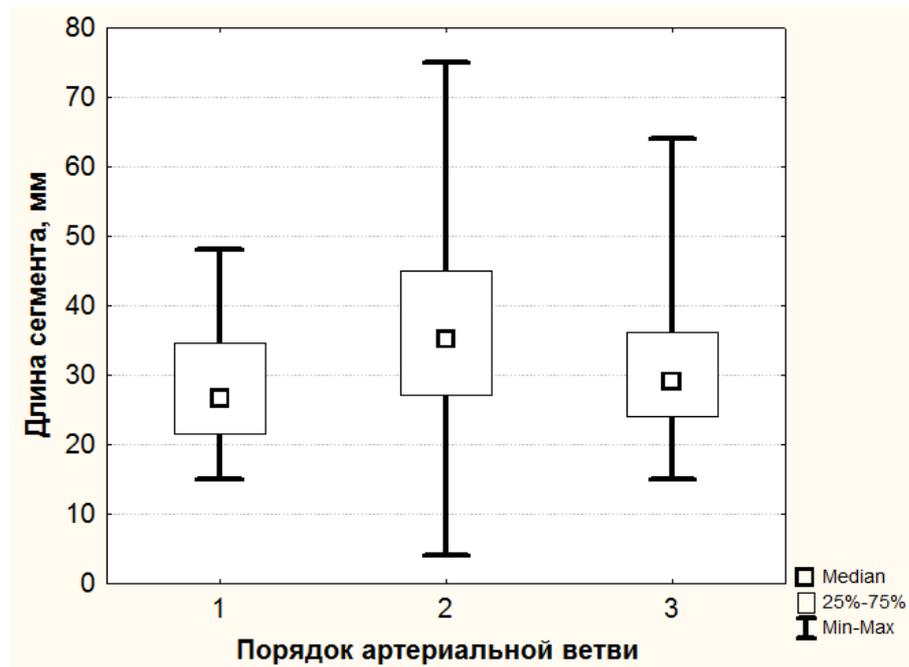


Рисунок 13 – Длина артериальных ветвей плодной поверхности плаценты разного порядка ($p_{K-W} = 0,03$)

Для создания микроанастомоза «конец-в-бок» или «конец-в-конец», а также адекватного наложения временных клипс требуется выделить минимум 15–25 мм

сосуда на протяжении. На плодной поверхности плаценты человека имеется большое количество артериальных сегментов II и III порядков, подходящих по калибру и протяженности для наложения микроанастомоза. Таким образом, выявлено, что по протяженности сегмента и калибру сосуда плаценты человека хорошо подходят для создания экспериментальных моделей артериальных аневризм СМА и наложения сосудистых микроанастомозов.

3.3. Сравнительное гистологическое исследование артерий головного мозга, артериальных аутооттрансплантатов и плаценты человека

Стенка артерий головного мозга состоит из трех слоев: интимы, образованной из эндотелиальных клеток и внутренней эластической мембраны; меди, образованной преимущественно из гладкомышечных клеток, некоторого количества эластических и ретикулиновых волокон; адвентиции, образованной из коллагеновых волокон, фибробластов и отделенной от меди наружной эластической мембраной, которая с возрастом в церебральных сосудах утрачивается.

При анализе гистологических препаратов в интима обнаруживается в основном монослой эндотелиальных клеток, расположенных на внутренней эластической мембране, иногда – гладкомышечные клетки, а также атеросклеротические изменения и интимальные подушки [30], встречающиеся в артериях головного мозга на всем протяжении до артерий III порядка (ВСА, М1, М2, М3), утолщающие слой интимы.

Внутренняя эластическая мембрана совместно с немногочисленными эластическими волокнами меди сосудов дистальнее ВСА хорошо определяется на гистологических препаратах, окрашенных на эластические волокна. Стоит отметить резкое снижение количества эластических волокон меди в срезах дистальных сосудов головного мозга по сравнению с ВСА, что отражает известную принадлежность сосудов к эластическому, мышечно-эластическому или мышечному типу соответственно. Выявлено, что структура внутренней эластической мембраны неоднородна по толщине на протяжении, с формированием фенестр. В сосудах плаценты человека внутренняя эластическая мембрана отсутствует (Рисунок 14).

Средняя оболочка артерии занимает от 40 до 80 % толщины сосудистой стенки и включает в себя, в зависимости от порядка сегмента ЦА, различное число слоев гладкомышечных клеток, небольшое количество эластических волокон и коллагеновый каркас.

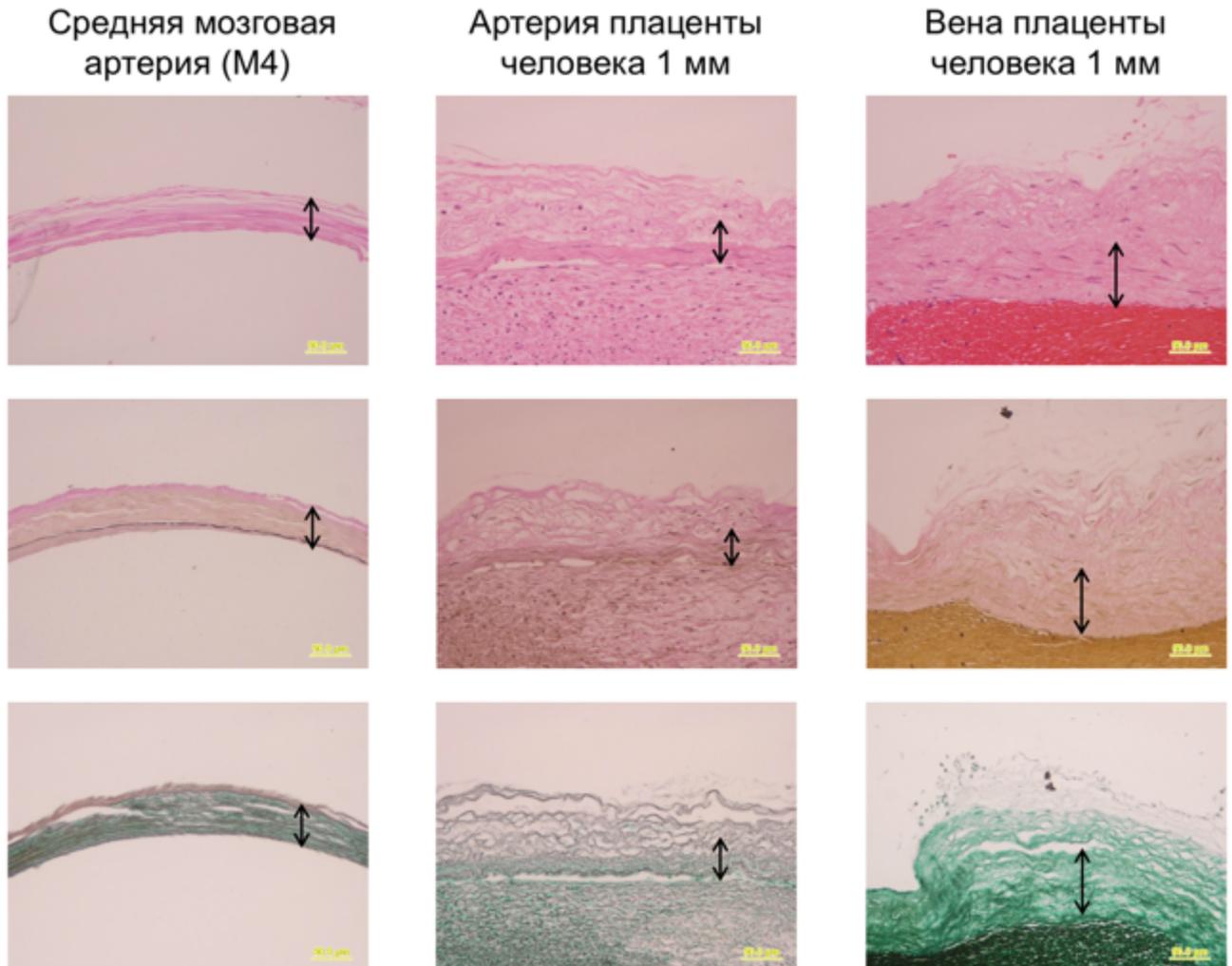


Рисунок 14 – Гистологическое строение дистальной артерии плодной поверхности плаценты и М4-сегмента СМА. *Верхний ряд* – окраска гематоксилин-эозином; *средний ряд* – окраска на эластические волокна; *нижний ряд* – окраска на ретикулиновые волокна

В изученном материале эластические волокна в медиі практически не встречались в сосудах дистальнее ВСА. Клетки в основном расположены циркулярно, по оси сосуда, обеспечивая изменения диаметра сосуда. При анализе строения ретикулинового каркаса видно, что он имеет на срезах различную форму – часть во-

локон попадают в срез продольно, образуя полосы, часть – поперек длинника, представляя на срезе лишь точки. В целом, можно заключить, что ретикулиновые волокна находятся во взаимно переплетенном состоянии под углом в трех плоскостях, образуя подвижную сетку-каркас. Толщина меди является наиболее постоянным параметром, с наиболее четко прослеживаемой закономерностью к изменению толщины в зависимости от порядкового номера сегмента артерии. Хорошо видно различие в толщине меди ПВА и ЛА по сравнению с церебральными артериями (Рисунок 15), что необходимо учитывать при использовании последней в качестве сосудистого трансплантата во время выполнения высокопроточного шунтирования.

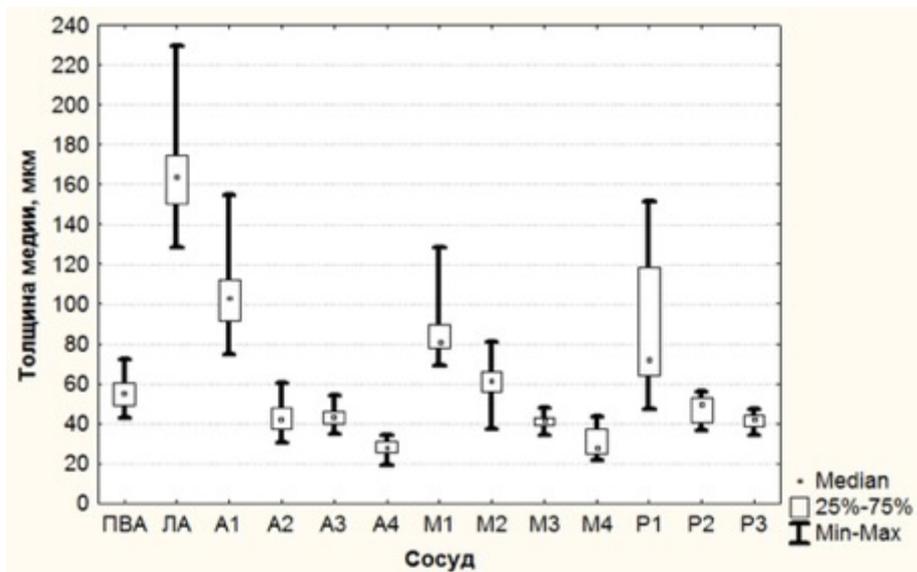


Рисунок 15 – Сравнительный анализ толщины меди в различных сосудах

Средняя оболочка артерии плаценты занимает бóльшую часть стенки сосуда, в отличие от мозговых артерий (Рисунок 16).

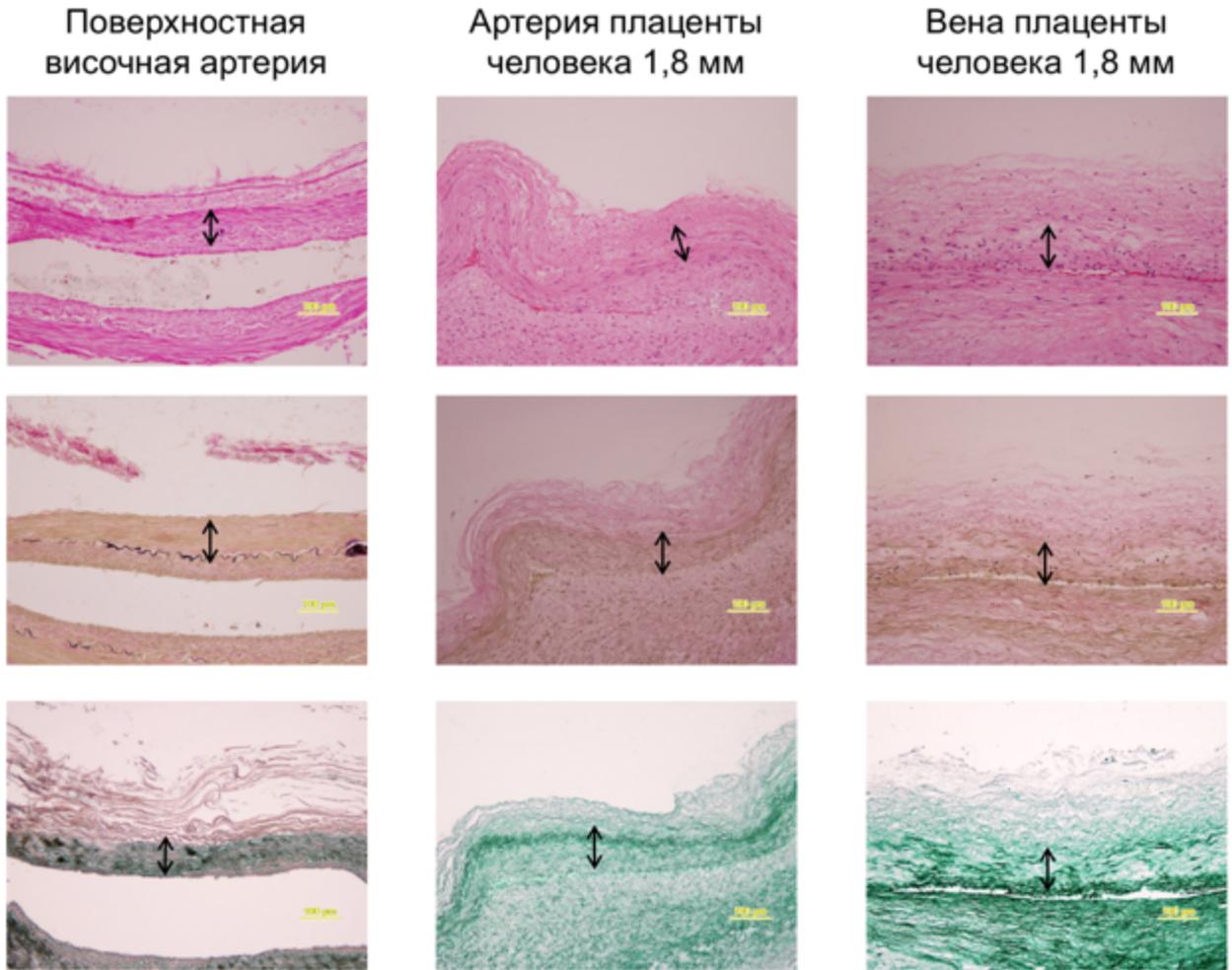


Рисунок 16 – Гистологическое строение ПВА и сосудов плаценты человека соответствующего диаметра. *Верхний ряд* – окраска гематоксилин-эозином; *средний ряд* – окраска на эластические волокна; *нижний ряд* – окраска на ретикулиновые волокна

При сравнении толщины средней оболочки артерий плодной поверхности плаценты установлен размах значений: от 40 до 120 мкм в дистальных артериальных ветвях диаметром 0,8–2 мм до 230–380 мкм в артериальных ветвях плодной поверхности плаценты II порядка диаметром 3–4 мм. Высокая степень вариативности значений толщины стенки артерий не позволяет сделать заключение о статистической значимости различий с таковой стенки церебральных артерий ($p > 0,05$). Таким образом, сравнивая диапазоны максимальных и минимальных значений, можно обнаружить принципиальную схожесть толщины стенки артерии плаценты

с толщиной стенки М1-сегмента (160–350 мкм) и М4-сегмента (40–100 мкм), однако толщина артерии плаценты немного больше, чем церебральной артерии соответствующего диаметра.

При анализе количества ретикулиновых волокон меди на поперечном срезе артерии обнаруживается прямая положительная корреляция с толщиной сосудистой стенки ($r = 0,54$; $p < 0,05$) и порядком сегмента церебральной артерии (Рисунок 17).

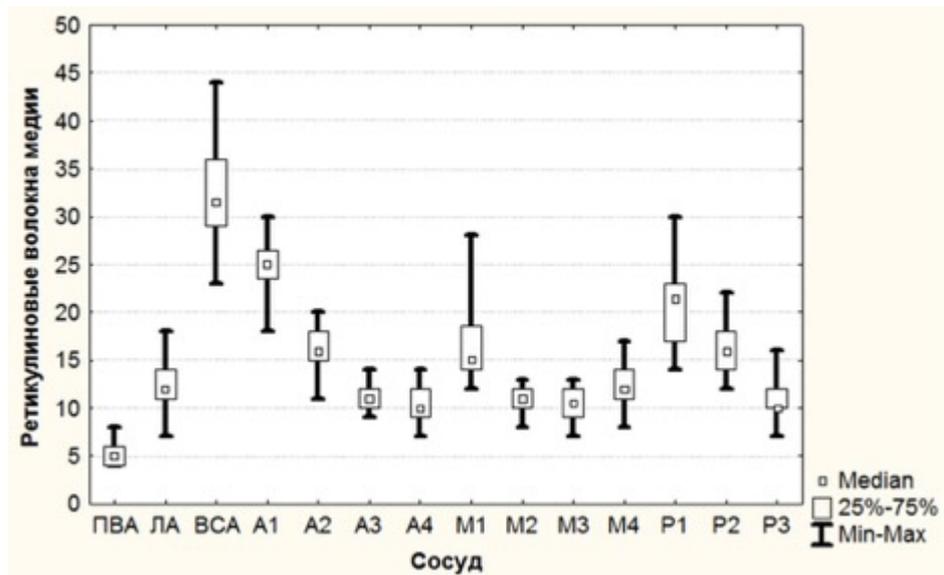


Рисунок 17 – Количество ретикулиновых волокон в среднем слое сосудистой стенки

Тем не менее относительная плотность ретикулиновых волокон в средней оболочке (медии) находится в пределах от 2 до 9 волокон на 20 мкм, при этом в некоторых артериях прослеживается закономерность увеличения плотности ретикулиновых волокон в направлении к более дистальным сегментам, что может быть связано с изменением типа сосуда с мышечно-эластического на мышечный (Рисунок 18).

Сосуды с более выраженными эластическими свойствами, такие как ПВА, ЛА и ВСА, имеют значительно меньший показатель плотности ретикулиновых волокон. При анализе гистологических срезов артерий плодной поверхности плаценты выявлено схожее строение меди с выраженным рыхлым ретикулиновым каркасом и гладкомышечными клетками.

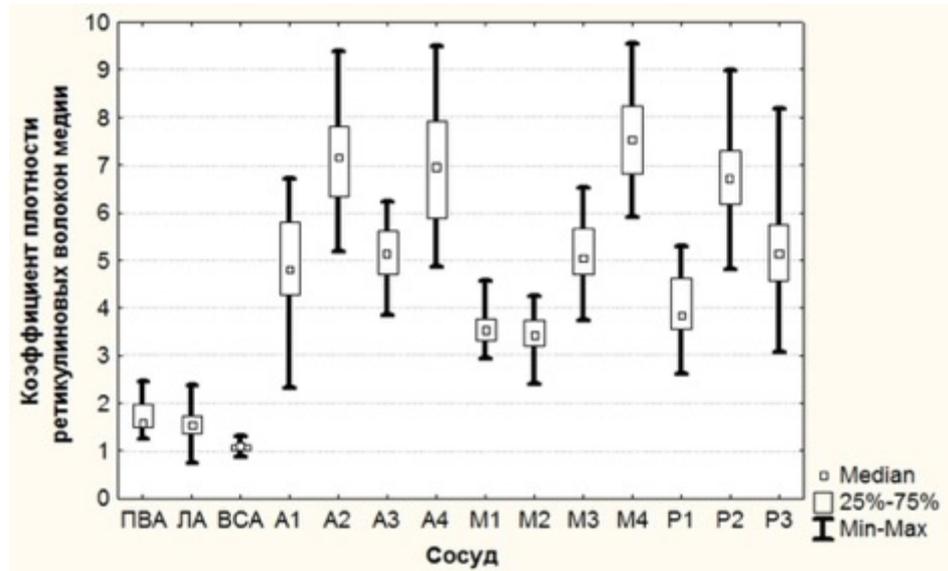


Рисунок 18 – Плотность ретикулиновых волокон в среднем слое сосудистой стенки

Адвентициальная оболочка является наиболее варибельным по толщине слоем артериальной стенки церебральной артерии. Кроме того, адвентициальный слой намного толще в ЛА и ПВА. Тот факт, что адвентициальная оболочка и периадвентициальные ткани вносят значительную варибельность в общее значение толщины стенки артерии и что в области сосудистого микроанастомоза их стараются максимально удалить, побудили исключить этот слой при анализе общей толщины стенки артерии. В адвентиции в основном обнаружены фибробласты, коллагеновые волокна. На препаратах сосудов плаценты человека слой адвентиции выражен слабо или представлен хориоидальной пластинкой.

Определение сравнительного количества и плотности ретикулиновых волокон проводилось с целью оценки соединительнотканного каркаса сосудистой стенки, обеспечивающей прочностные характеристики сосуда. Таким образом, несмотря на выявленные различия в толщине меди и отсутствии внутренней эластической мембраны, показано принципиальное сходство артерий плаценты и церебральных артерий, достаточное для разработки экспериментальных моделей формирования артериальных аневризм и наложения сосудистых микроанастомозов.

3.4. Экспериментальная модель артериальной аневризмы головного мозга

3.4.1. Размеры моделированных аневризм на плаценте человека

Модель аневризмы сосудов была успешно выполнена на всех полученных плацентах. Размеры смоделированных аневризм представлены в Таблице 9. Для диссекции плаценты требовалось в среднем 20 мин, при этом на катетеризацию сосудов и формирование аневризмы – 10 мин. Для ремоделирования стенки сосуда и его расширения после декомпрессии баллона необходимо 6 ч. Еще около 20 мин требовалось на лигирование сосуда с целью создания аневризмы с узкой шейкой.

Таблица 9 – Способ создания моделированных аневризм, их размеры и типы

| Способ создания | Тип | Количество, <i>n</i> | Диаметр шейки, мм | Диаметр купола, мм |
|---------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Введение раствора под давлением | Широкая шейка | 10 | 6 (5; 10) | 4 (3; 6) |
| | Фузиформная | 5 | 25 (15; 30) ^l | 10 (8; 10) ^d |
| Использование баллона | Широкая шейка | 10 | 10 (10; 10) | 3 (2; 4) |
| | Узкая шейка | 20 | 2 (1,5; 4) | 10 (7; 15) |
| | Фузиформная | 5 | 10 (10; 10) ^l | 7 (5; 10) ^d |

Примечание. ^l – длина расширения, ^d – диаметр расширения.

Гистологическое исследование сформированных аневризм показало характерные признаки аневризматического расширения сосуда в виде истончения всех слоев его стенки. Внутренняя эластическая мембрана, как и в церебральных аневризмах, отсутствует (Рисунок 19).

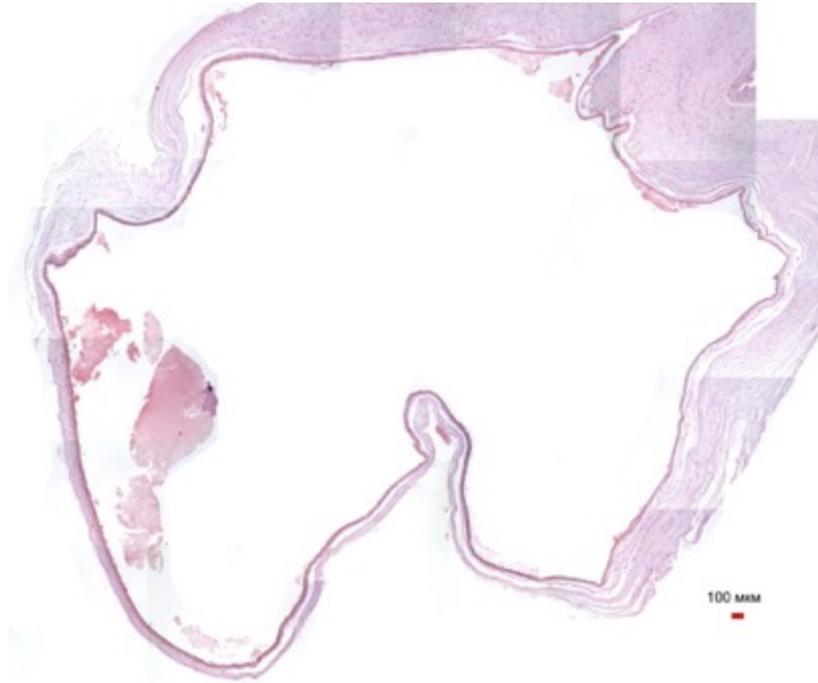


Рисунок 19 – Срез сосуда в области сформированной аневризмы. Окраска гематоксилин-эозином

3.4.2. Экспериментальная модель выделения и клипирования аневризмы

Подготовленные аневризмы использовались для тренировки навыков микродиссекции на поверхности и в глубоком операционном поле. С этой целью плаценты со сформированными аневризмами располагались на предметном столе и подключались к инфузионной системе для постоянного введения физиологического раствора с красителями: темно-красный – для артерии, синий – для вены.

Симуляция разделения сальвиевой щели. На поверхности плаценты выбиралась крупная вена, острой микрохирургической техникой производилось ее выделение и доступ вглубь, до ворсин хориона (Рисунок 20, А). Биполярный пинцет использовался для практики диссекции расширением бранш (Рисунок 20, Б); байонетные микрохирургические ножницы совместно с аспиратором – для тренировки навыков острой диссекции в различных направлениях: в стороны, на себя, от себя, а также с использованием обеих рук. Возможные ошибки включали в себя ранение вены и впадающих в нее мелких притоков.

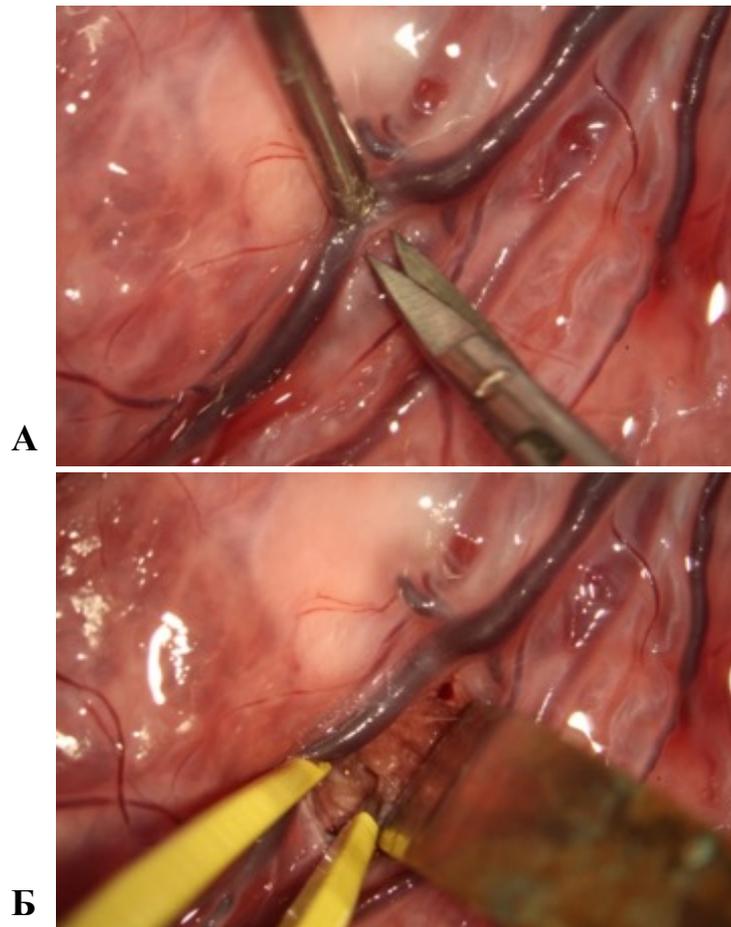


Рисунок 20 – Симуляция разделения силвиевой щели: **А** – острой микрохирургической техникой; **Б** – с помощью биполярной коагуляции

Выделение аневризмы. С помощью острой техники аневризму отделяли от хориоидальной оболочки плаценты. Для повышения сложности упражнения проводили выделение ближе к стенке аневризмы. Перфорантные сосуды могут быть найдены на задней стенке аневризмы при выделении (Рисунок 21). Поддержание постоянного высокого давления окрашенного раствора разного цвета для венозной и артериальной сети позволяло визуализировать плоскость диссекции и мелкие перфорантные ветви.

Клипирование аневризмы. После процесса препарирования тренировали навыки наложения различных по конфигурации клипс. Особое внимание уделяли плавности манипуляций клипсодержателем, захвату клипс, а также их перестановке.

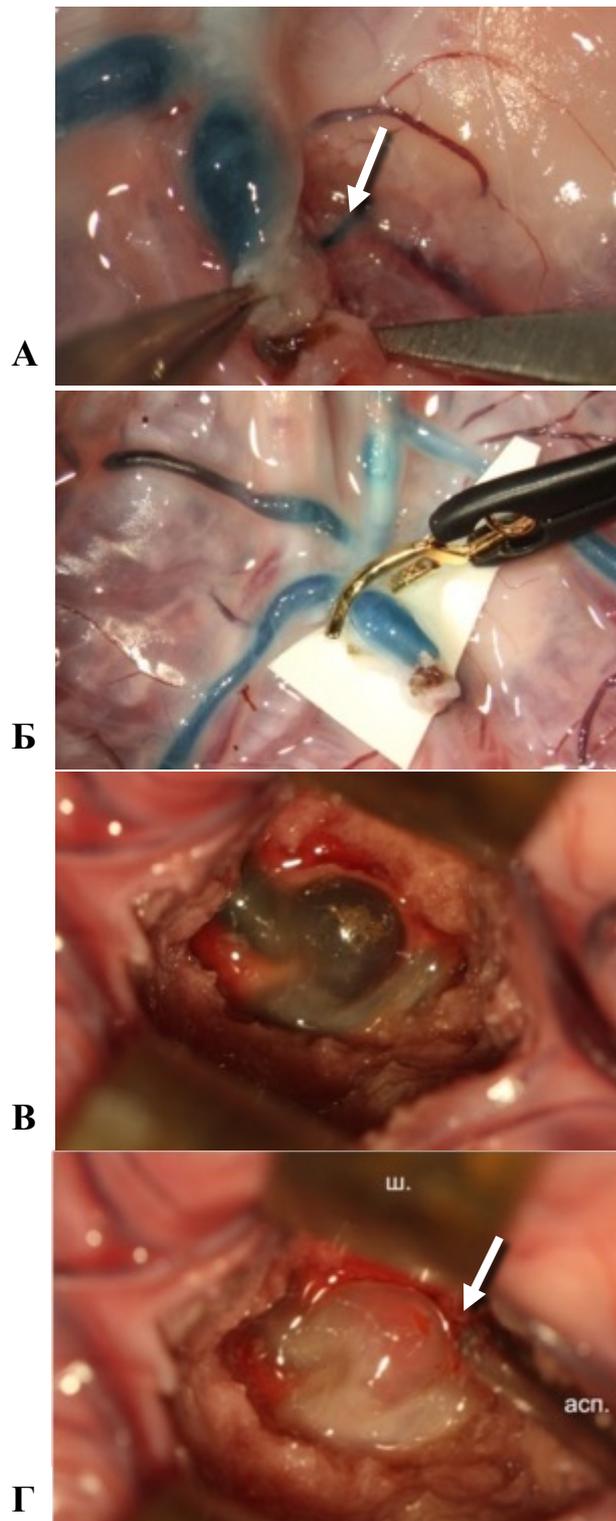


Рисунок 21 – Выделение и клипирование аневризмы с узкой шейкой: **А** – этап выделения (стрелкой показан перфорантный сосуд); **Б** – наложение изогнутой клипсы; **В** – аневризма в глубоком операционном поле; **Г** – та же аневризма с моделированным кровотечением (стрелкой показан надрез ее стенке). Кровотечение контролируется аспириатором (**асп.** – аспириатор, **ш.** – шпатель)

По выражению М. Lawton, клипирование шейки аневризмы можно сравнить с посадкой самолета, так как хирургу приходится вращать клипсу относительно оси инструмента и наклонять относительно поперечной и вертикальной осей [105]. Возможные ошибки при манипуляциях: соскальзывание клипсы, разрыв аневризмы, сужение просвета несущего сосуда, захват с шейкой аневризмы перфорантных сосудов и прилежащих тканей, неполное выключение аневризмы.

Глубокое операционное поле. Для симуляции диссекции и клипирования аневризм в узкой и глубокой ране (минидоступов) одну плаценту (симуляция разделения сильвиевой щели) накладывали на другую (экспериментальная модель аневризмы) так, чтобы область оперативного доступа находилась над аневризмой. На плаценте имеется возможность отработки навыков установки мозговых шпатель или микрохирургии без применения ретракторов, когда область манипуляции формируется между браншами биполярного пинцета и наконечника аспиратора [13, 72].

Моделирование разрыва аневризмы. Производили микрохирургическое разделение смоделированной сильвиевой щели до аневризмы, и ее стенку надсекали микроножницами. Для достижения реалистичности кровотечения лучше использовать непрозрачные растворы и создавать повышенное давление путем компрессии пакета с раствором инфузионной манжеткой. При этом чем больше дефект стенки аневризмы, тем массивнее кровотечение. В условиях разрыва аневризмы и продолжающегося кровотечения отрабатывали различные технические приемы его остановки: 1) проксимальный контроль (поиск приводящих сосудов и наложение временных клипс); 2) применение двух аспираторов для контроля кровотечения; 3) увеличение скорости выделения аневризмы и ее клипирование [72].

Каждое упражнение направлено на тренировку специфических нейрохирургических навыков различного уровня сложности: диссекция мембран; диссекция вглубь с помощью биполярного пинцета и аспиратора; гемостаз; выделение аневризмы от окружающих тканей; аппликация клипс; захват и удержание клипсы

клипсодержателем; смена положения клипсы; наложение клипсы в условиях значительного кровотечения и плохой визуализации. На выполнение всех описанных упражнений требовалось в среднем 1 ч 40 мин.

3.4.3. Определение очевидной и содержательной валидности модели аневризмы

Всего по тренингу клипирования экспериментальной модели аневризмы на плаценте человека получены данные анкетирования 27 респондентов. Из них 10 ординаторов первых лет обучения и студентов (37 %, группа 1), 7 старших ординаторов (26 %, группа 2), 10 практикующих нейрохирургов (37 %, группа 3). Группа практикующих нейрохирургов представлена специалистами из России ($n = 6$) и США ($n = 4$); средний возраст – $39,6 \pm 6,2$ года; нейрохирургический стаж – $12,1 \pm 5,5$ года; 66 % имеют высшую или первую категорию; опыт клипирования аневризм составляет в среднем 387 (10–1800) случаев. Средний возраст старших ординаторов – $31,1 \pm 1,2$ года, среднее количество микронейрохирургических ассистенций на операциях клипирования церебральных аневризм – 27,5 (5–150). Средний возраст ординаторов первых лет обучения и студентов – $27,4 \pm 2,7$ года.

Очевидная валидность модели церебральной аневризмы на плаценте человека определена путем анкетирования респондентов на предмет реалистичности экспериментальной модели и трудности выполнения задания. Так, 100 % ($n = 27$) респондентов оценили реалистичность модели в пределах от 8 до 20 баллов – от «средне» до «очень хорошо» (Рисунок 22); межгрупповые различия статистически не значимы ($p = 0,59$). Большинство, 89 % ($n = 24$), респондентов оценило степень сложности выполнения задания на экспериментальной модели и в условиях реальной операции клипирования церебральной аневризмы как схожую (от 5 до 16 баллов); межгрупповые различия статистически не значимы ($p = 0,84$). Полученные данные позволяют заключить, что изучаемая экспериментальная модель обладает высоким уровнем очевидной валидности.

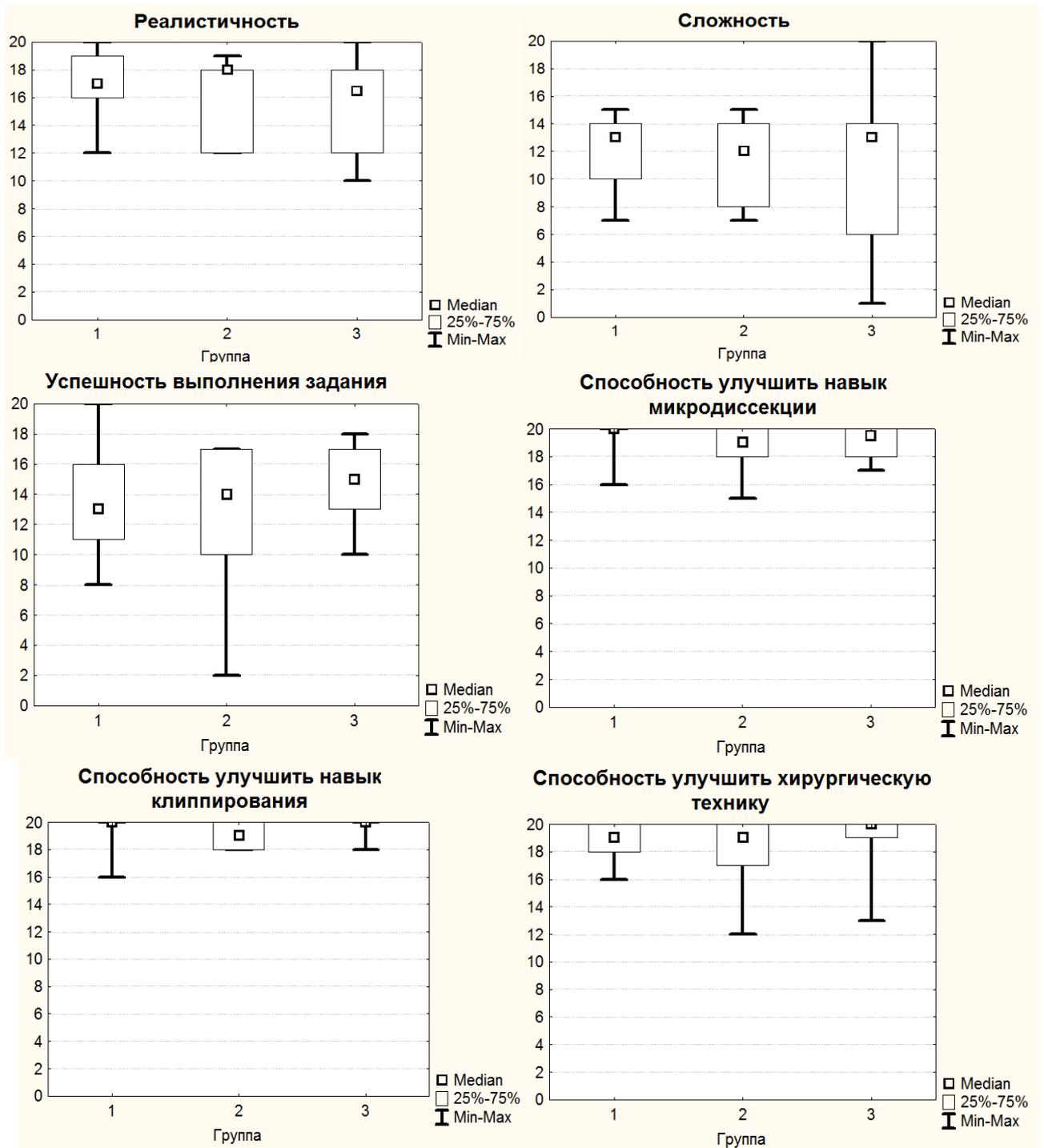


Рисунок 22 – Результаты анкетирования участников тренинга диссекции и клипирования аневризмы на сосудах плаценты человека: **1** – ординаторы первых лет обучения и студенты ($n = 10$); **2** – старшие ординаторы ($n = 7$); **3** – практикующие нейрохирурги ($n = 10$)

При анализе субъективных оценок по критерию успешности выполнения задания выявлены в основном (92 %, $n = 25$) ответы в интервале от 9 до 20 баллов,

что соответствует частичному и полному успеху. При этом ответы об уровне успешности ниже, чем частичный успех, получены лишь в двух случаях от младших и старших ординаторов. Эти данные свидетельствуют о необходимости дополнительной внешней оценки, чтобы объективизировать определение уровня мануального навыка. Для этого в настоящем исследовании использована шкала ОСАНКА.

С целью определения содержательной валидности изучены ответы на вопросы о потенциальной способности улучшения навыков микродиссекции и клипирования аневризмы, а также хирургической техники операции в целом при тренинге на предложенной модели. На все три поставленных вопроса в 100 % случаев были получены ответы в интервале от 12 до 20 баллов, что соответствует более положительному и абсолютно положительному ответу, без значимой межгрупповой разницы ($p = 0,26$; $p = 0,34$ и $p = 0,58$ соответственно), что отражает содержательную валидность экспериментальной модели.

Таким образом, полученные данные доказывают очевидную и содержательную валидность экспериментальных моделей артериальных аневризм на сосудах плаценты человека для нейрохирургического обучения.

3.4.4. Определение конструктивной валидности модели аневризмы

Конструктивная валидность модели аневризмы определена посредством изучения оригинальной оценочной шкалы ОСАНКА в трех группах. Выявлено, что шкала ОСАНКА способна статистически значимо дифференцировать степень владения мануальными навыками выделения и клипирования аневризмы между группами опытных нейрохирургов, ординаторов с микрохирургическим опытом и новичков (Рисунок 23). Так, при сравнительном анализе результатов по этой шкале в группе ординаторов первых лет обучения и студентов ($n = 20$) значение составило 22,5 (19,5; 26,0), в группе старших ординаторов ($n = 20$) – 32,0 (29,0; 35,5), в группе практикующих нейрохирургов ($n = 20$) – 43,0 (42,5; 44,0) ($p_{K-W} < 0,001$).

Таким образом, статистически значимые различия при сравнительном межгрупповом анализе доказывают конструктивную валидность представленных экспериментальных моделей церебральных аневризм на сосудах плаценты человека.

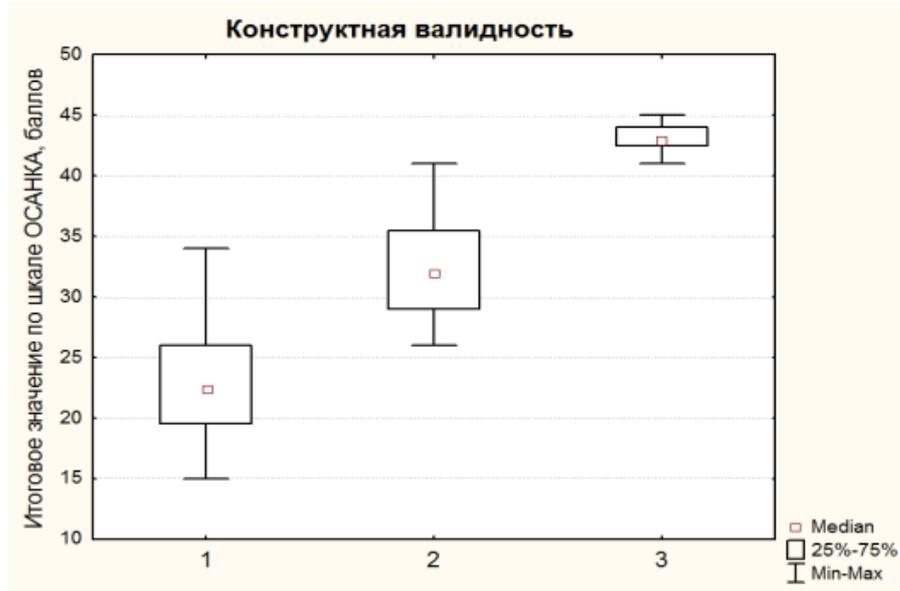


Рисунок 23 – Конструктивная валидность при сравнительном анализе значений шкалы ОСАНКА: **1** – ординаторы первых лет обучения и студенты; **2** – старшие ординаторы; **3** – практикующие нейрохирурги ($p_{K-W} < 0,001$)

3.4.5. Определение надежности квалитметрической оценки навыков диссекции и клипирования аневризмы

Определение надежности квалитметрической оценки навыков диссекции и клипирования аневризмы проводили в модуле атрибутивного анализа согласия («Statistica 8.0») на основании подсчета каппы-коэффициента Коэна. Для каждого испытуемого ($n = 30$) количество наблюдателей составило два. В качестве параметра «известный стандарт» взята переменная «группа», принимающая значения 1, 2 или 3, где 1 – ординаторы младших лет обучения и студенты; 2 – ординаторы старших лет обучения; 3 – опытные нейрохирурги. В качестве параметра «оценка» взято категориальное значение общей оценки по шкале ОСАНКА. Для статистического анализа общий балл по шкале ОСАНКА заменен на категориальное значение: от 0 до 28 – «1», от 29 до 39 – «2», от 40 до 45 – «3».

Категориальное значение общей оценки шкалы ОСАНКА рассчитывали путем разбивки на интервалы количественного общего значения по шкале. Для этого при помощи дискриминантного анализа построена модель с единственной переменной «общее значение ОСАНКА» (лямбда-коэффициент Вилкса 0,18; $p < 0,001$). На основании полученных данных о дискриминации общего значения шкалы ОСАНКА предложена классификация уровня мануального навыка диссекции и клипирования аневризмы (Таблица 10).

Таблица 10 – Классификация уровня мануальных навыков диссекции и клипирования аневризмы

| Группа | Общий балл по шкале ОСАНКА | | Лямбда-коэффициент Вилкса | p | Интервал значений в модели, баллы | Интерпретация интервального значения |
|--------|----------------------------|-------------------|---------------------------|-----------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | <i>Me</i> , баллы | <i>SD</i> , баллы | | | | |
| 1 | 22,85 | 5,3 | 0,1822 | $< 0,001$ | 0–28 | Начальный уровень навыка |
| 2 | 32,75 | 4,4 | | | 29–39 | Продвинутый уровень навыка |
| 3 | 43,25 | 1,3 | | | 40–45 | Отличный уровень навыка |

Примечание. **1** – ординаторы младших лет обучения и студенты; **2** – старшие ординаторы; **3** – практикующие нейрохирурги.

При построении классификационной матрицы на основании имеющегося материала выявлено, что предикторная ценность предложенной классификации составляет 85 %. Это является достаточно высоким значением и позволяет оценить классификацию как хорошую (Таблица 11).

Таблица 11 – Предикторная ценность классификационной модели

| Категории классификационной модели | Верно, % | Группа 1:1 | Группа 2:2 | Группа 3:3 |
|------------------------------------|----------|------------|------------|------------|
| Группа 1:1 | 80 | 16 | 4 | 0 |
| Группа 2:2 | 75 | 2 | 15 | 3 |
| Группа 3:3 | 100 | 0 | 0 | 20 |
| <i>Всего</i> | 85 | 18 | 19 | 23 |

Одним из критериев определения надежности теста является оценка коэффициента согласия наблюдателей. Коэффициент согласия для каждого наблюдателя и

стандарта составил 90 % (95%-й ДИ = 73–97), каппа-коэффициент Коэна – $0,85 \pm 0,12$ ($p < 0,001$) (Рисунок 24). Коэффициент согласия между наблюдателями составил 86 % (95%-й ДИ = 69–96), каппа-коэффициент Коэна – $0,8 \pm 0,13$ ($p < 0,001$). Полученные данные свидетельствуют о хорошем уровне согласованности наблюдателей между собой и очень хорошей степени согласованности со стандартом, т.е. соответствие балльной оценки по шкале ОСАНКА с реальным уровнем навыка.

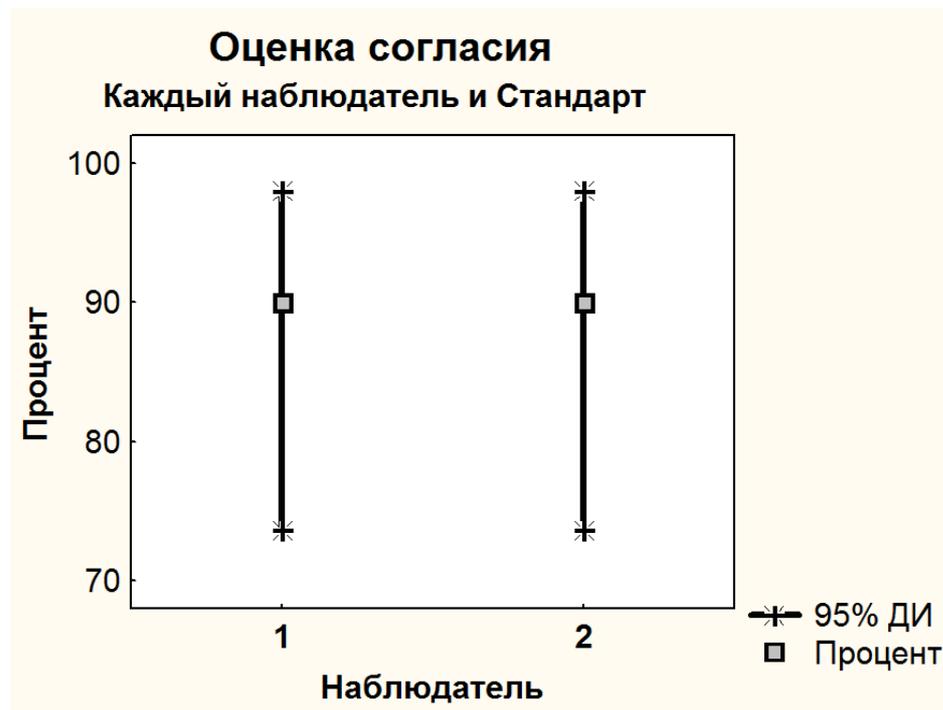


Рисунок 24 – Оценка согласия наблюдателей и стандарта по шкале ОСАНКА

При проведении атрибутивного анализа согласия наблюдателей по каждому из параметров шкалы ОСАНКА полученные значения каппа-коэффициента Коэна свидетельствуют об умеренном уровне согласия по пункту владения хирургическим инструментом и хорошем и высоком – по остальным пунктам шкалы (Таблица 12).

Таблица 12 – Оценка согласия наблюдателей по параметрам шкалы ОСАНКА

| Параметры | Коэффициент согласия наблюдателей, % (95%-й ДИ) | Каппа-коэффициент Кона | <i>p</i> |
|---|---|------------------------|----------|
| Осанка и поза | 83 (65–94) | 0,76 ± 0,11 | < 0,001 |
| Использование хирургического микроскопа | 90 (73–98) | 0,86 ± 0,11 | < 0,001 |
| Знание инструментария | 83 (65–94) | 0,77 ± 0,11 | < 0,001 |
| Владение хирургическим инструментом | 56 (37–75) | 0,42 ± 0,10 | < 0,001 |
| Время и движение | 83 (65–94) | 0,78 ± 0,10 | < 0,001 |
| Планирование хода операции | 76 (58–90) | 0,67 ± 0,11 | < 0,001 |
| Навык наложения клипсы | 90 (73–98) | 0,86 ± 0,10 | < 0,001 |
| Бережное отношение к тканям | 80 (61–92) | 0,73 ± 0,10 | < 0,001 |
| Навык микродиссекции | 76 (58–90) | 0,69 ± 0,10 | < 0,001 |

При оценке корреляционной связи между результатом общей оценки разных наблюдателей по шкале ОСАНКА выявлена прямая положительная сильная корреляция ($r_s = 0,97$; $p < 0,05$).

Таким образом, шкала ОСАНКА является квалитетическим инструментом оценки мануальных навыков диссекции и клипирования аневризмы с высоким уровнем надежности. Доказана состоятельность классификации уровня навыка на «начальный», «продвинутый» и «отличный» на основании шкалы ОСАНКА: от 0 до 28 баллов, от 29 до 39 и от 40 до 45 баллов соответственно.

3.5. Моделирование шунтирующих операций на сосудах плаценты человека

Сосудистые микроанастомозы выполнялись на предварительно выделенных артериях плодной поверхности плаценты II и III порядков (Рисунок 25). Методика наложения анастомоза «конец-в-бок» отдельными узловыми швами описана ранее [13]. Особенностью наложения микроанастомоза на плаценте является плотное сращение одной из стенок артерии с хориоидальной оболочкой, в которую артерия периодически отдает мелкие питающие ветви, что делает ее выделение схожим с

выделением СМА путем разделения арахноидальных сращений и выделением ПВА с внутренней поверхности кожно-апоневротического лоскута.

На подготовленной и предварительно промытой плаценте, подключенной к постоянной инфузии раствора под давлением, находят артериальный сосуд диаметром 1,5–2 мм, длиной 4–5 мм и выделяют на протяжении. Данный сосуд представляет собой сосуд-донор – ПВА. Рядом выделяется лежащий второй артериальный сосуд диаметром 1–1,5 мм, представляющий собой сосуд-реципиент – корковая ветвь СМА. Оригинальная разработанная методика наложения микроанастомоза по типу «конец-в-бок» описана в разделе 3.8.2.

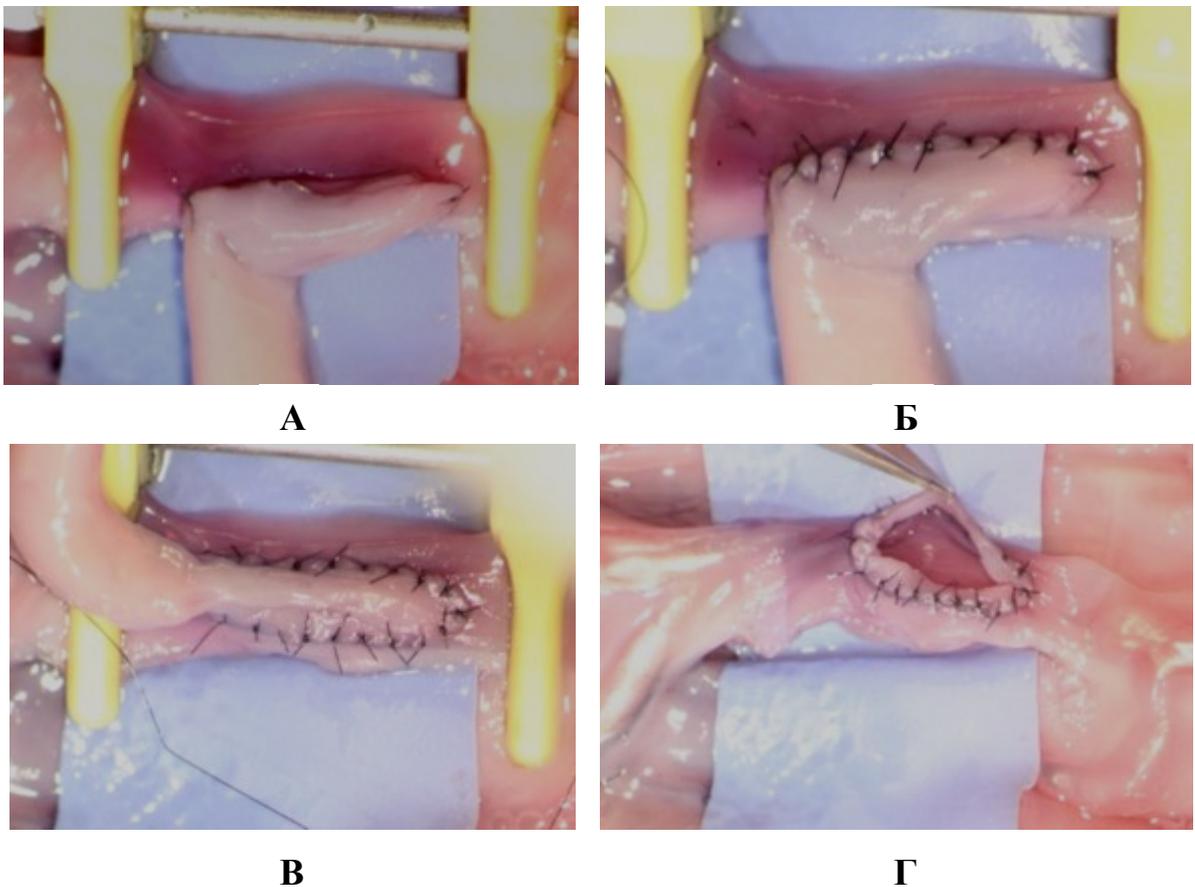


Рисунок 25 – Этапы формирования сосудистого анастомоза по типу «конец-в-бок»: **А** – наложение крайних швов на «пятку» и «носок» анастомоза; **Б** – одиночные узловые швы наложены на одну сторону анастомоза; **В** – вид законченного анастомоза; **Г** – проверка внутреннего просвета анастомоза

3.5.1. Определение очевидной и содержательной валидности модели микроанастомоза

Определение очевидной и содержательной валидности модели наложения сосудистого микроанастомоза основано на анкетировании респондентов – нейрохирургов, ординаторов и студентов, – выполнивших задания на предложенной модели в ходе тренинга. Всего получены данные от 30 респондентов. Из них 93 % ($n = 27$) высказались о том, что реалистичность модели высокая и очень высокая, и только 7 % ($n = 2$) из группы практикующих нейрохирургов отметили среднюю степень ее реалистичности; межгрупповое различие статистически не значимо ($p = 0,27$).

При сравнительной оценке сложности выполнения микроанастомоза на сосудах плаценты человека и в ходе реальной операции большинство респондентов отметило сходную сложность экспериментальной модели. В интервале от 4 до 16 баллов, что соответствует одинаковой степени сложности, находятся оценки 96 % респондентов ($n = 29$); межгрупповое различие статистически не значимо ($p = 0,29$). Полученные данные доказывают высокий уровень очевидной валидности экспериментальной модели наложения микроанастомоза на сосудах плаценты человека (Рисунок 26).

При субъективной оценке собственной успешности в выполнении задания (наложение сосудистого микроанастомоза) большинство респондентов ответило удовлетворительно, оценив свой успех как частичный (8–12 баллов) в 13 % ($n = 4$) случаев, более чем частичный (13–16 баллов) – в 50 % ($n = 15$) или полный (17–20 баллов) – в 23 % ($n = 7$) случаев. Лишь три респондента (10 %) оценили успешность выполнения микроанастомоза как менее чем частичную (7 и менее баллов); межгрупповое различие статистически не значимо ($p = 0,91$). Данные результаты подчеркивают неадекватность субъективной самооценки мануальных навыков с помощью простой неранжированной единой шкалы, так как полученные результаты могут быть интерпретированы как отсутствие различий в успешности наложения микроанастомоза опытным нейрохирургом и ординатором первого года, что

не соответствует действительности. Таким образом, еще раз подтверждается обоснованность и необходимость в структурированной объективной оценке мануальных навыков сторонним наблюдателем, что реализовано в настоящей работе посредством шкалы COOM.

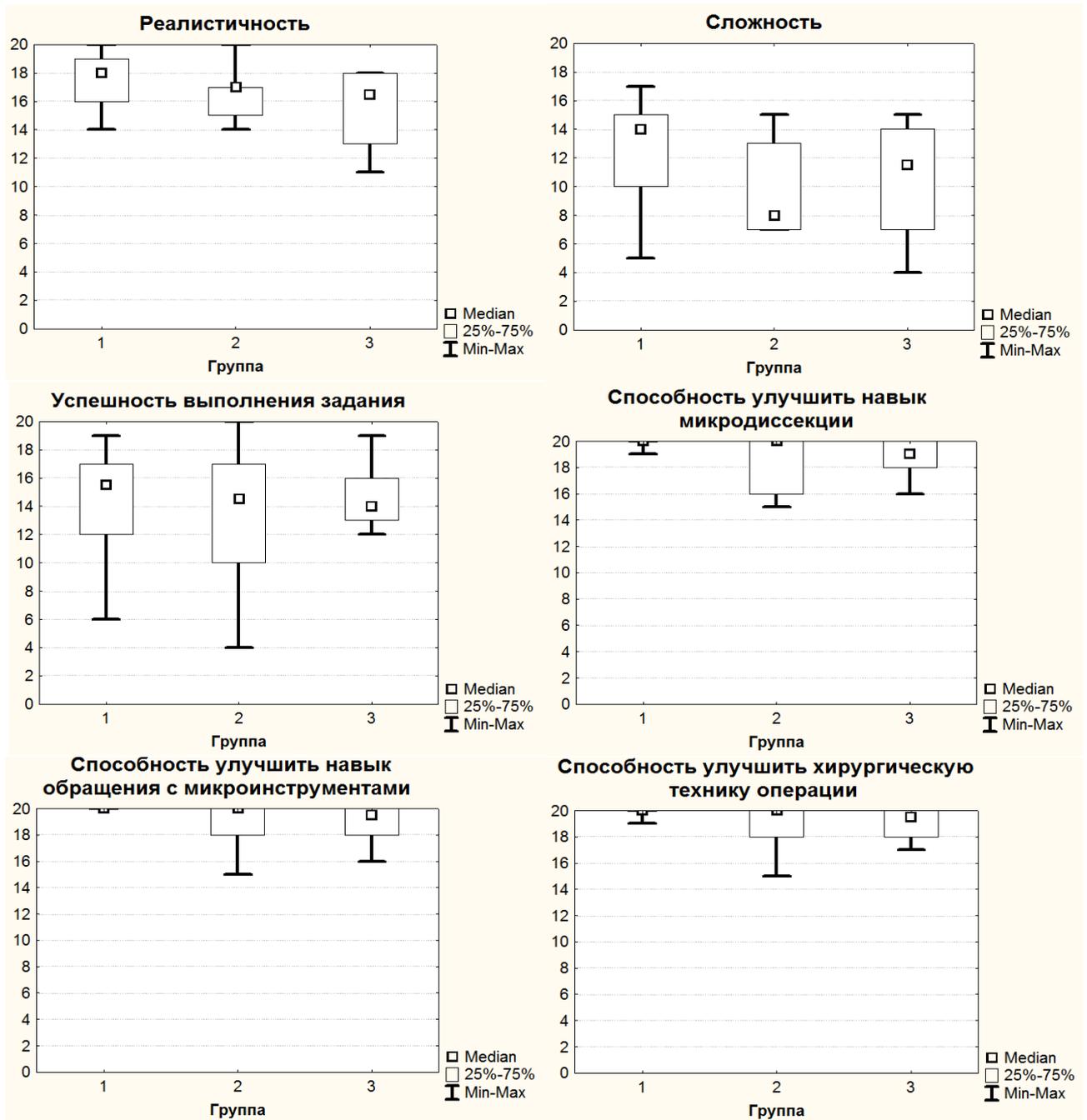


Рисунок 26 – Результаты анкетирования участников тренинга наложения сосудистых микроанастомозов на сосудах плаценты человека: **1** – ординаторы младших лет обучения и студенты ($n = 10$); **2** – старшие ординаторы ($n = 10$); **3** – практикующие нейрохирурги ($n = 10$)

Отвечая на вопрос о возможности экспериментальной модели улучшить навыки микродиссекции, обращения с микроинструментами и микрохирургическую технику в реальной операции в целом, 100 % ($n = 30$) респондентов ответили положительно и абсолютно положительно (от 12 до 20 баллов), что свидетельствует о высоком уровне содержательной валидности. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о высоком значении очевидной и содержательной валидности экспериментальной модели наложения сосудистого микроанастомоза на сосудах плаценты человека.

3.5.2. Определение конструктивной валидности модели микроанастомоза

Конструктивная валидность экспериментальной модели анастомоза на сосудах плаценты определена посредством анализа результатов оценки респондентов по шкале СООМ в двух группах. Показано, что шкала СООМ способна статистически значимо дифференцировать степень владения мануальными навыками наложения микроанастомоза между нейрохирургами, прошедшими тренинг, и новичками (Рисунок 27).

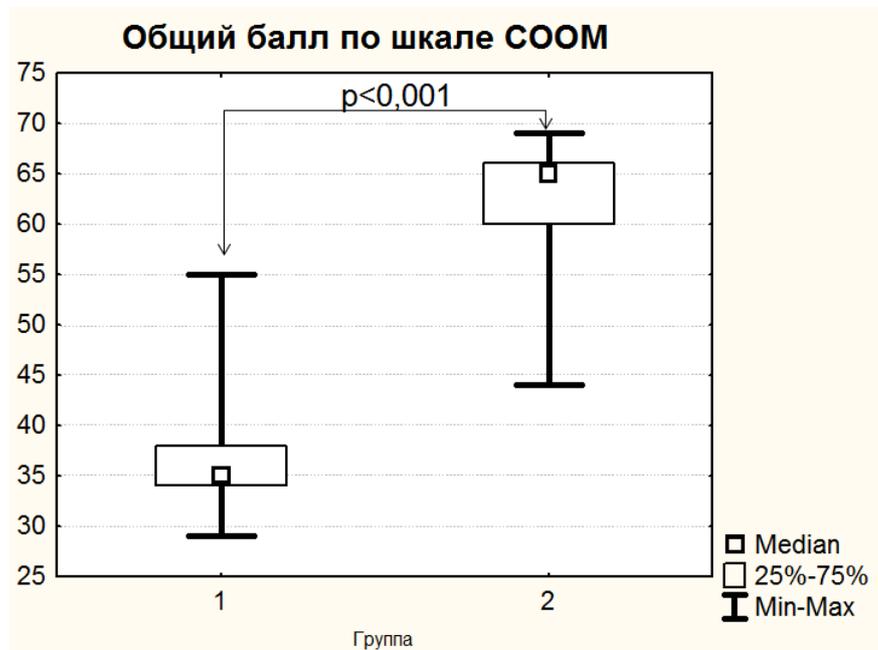


Рисунок 27 – Конструктивная валидность при сравнительном анализе значений шкалы СООМ в двух группах: **1** – не прошедшие тренинг ($n = 13$); **2** – нейрохирурги, прошедшие микрохирургический тренинг наложения микроанастомоза ($n = 17$)

Таким образом, статистически значимые различия показывают значимую конструктивную валидность шкалы СООМ по отношению к модели сосудистого микроанастомоза на плаценте человека. Для создания предикторной классификации респондентов на экспертов и новичков проведен анализ в модуле логистической регрессии. В качестве независимой переменной взят параметр «группа», принимающий альтернативные значения 1, – прошедший микрохирургический тренинг и/или нейрохирург с опытом реконструктивных сосудистых операций ($n = 17$) или 2 – не прошедший микрохирургический тренинг или нейрохирург без опыта сосудистых реконструктивных операций ($n = 13$). В качестве зависимой переменной взят общий балл по шкале СООМ; метод оценки – Квази-Ньютон (Рисунок 28). Как видно из представленной модели, 50%-я вероятность быть отнесенным в одну из групп соответствует 50 баллам по шкале СООМ. Таким образом, в практическом плане можно классифицировать выполнение навыка микроанастомоза как хорошее при оценке по шкале СООМ более 50 баллов.

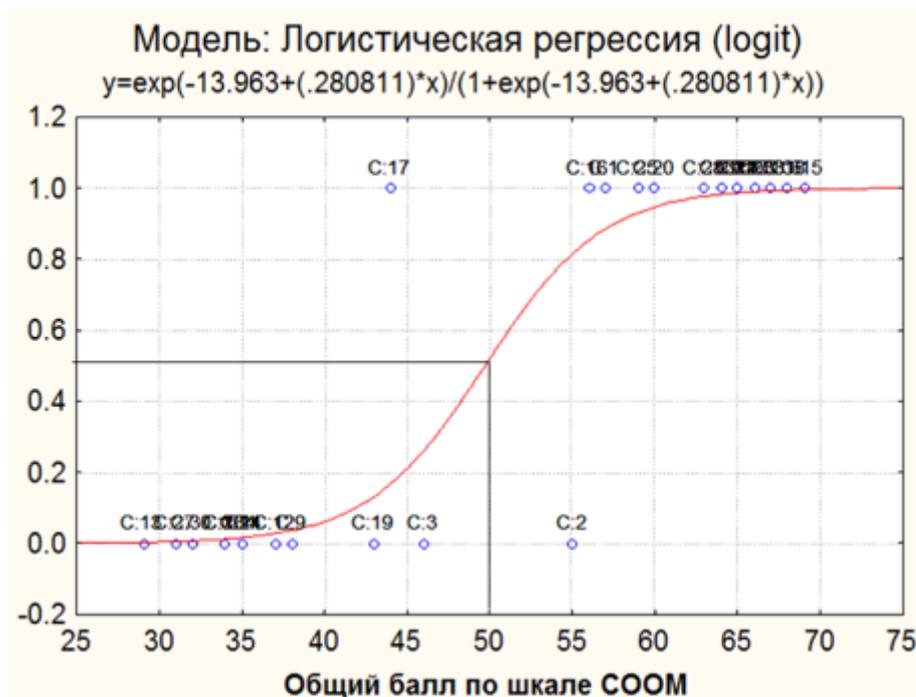


Рисунок 28 – Модель логистической регрессии. По оси абсцисс – общий балл по шкале СООМ; по оси ординат: **1** – прошедший микрохирургический тренинг и/или нейрохирург с опытом реконструктивных сосудистых операций, **0** – не прошедший микрохирургический тренинг или нейрохирург без опыта сосудистых реконструктивных операций

3.6. «Сухой» постоянный микрохирургический тренинг

Изучение эффективности продолжительного тренинга проводилось при «сухом» типе тренинга, для которого разработаны пять упражнений, выполняемых под настольным микроскопом (Рисунок 29).

1. *Микродиссекция в глубоком операционном поле.* Латексная перчатка фиксирована на дне коробки для создания эффекта глубины операционной раны. Шариковой ручкой наносится окружность диаметром 3 см (толщина линии 1 мм). Затем с использованием байонетных микроножниц в правой руке и аспиратора в левой необходимо вырезать один круг по часовой стрелке, другой – против часовой стрелки с использованием различных способов удержания микроножниц [13].

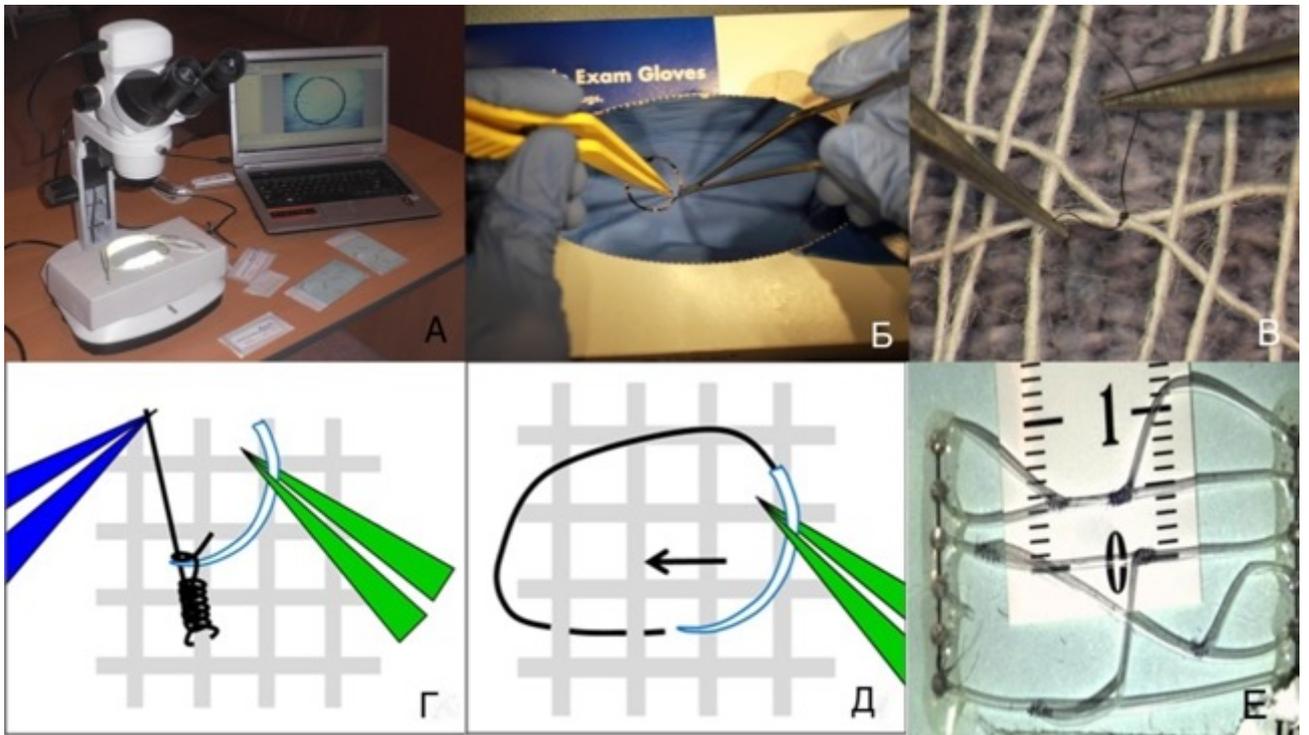


Рисунок 29 – «Сухой» тренинг: **А** – рабочее место и инструменты; **Б** – микродиссекция в глубоком операционном поле; **В** – завязывание узлов на марле; **Г** – развязывание узлов; **Д** – проталкивание нити; **Е** – наложение микроанастомоза

2. *Завязывание узлов на марле.* Наложить пять одиночных узлов, соединив соседние нити марли. Каждый узел должен состоять из трех противоположно направленных петель.

3. *Развязывание узлов.* Сначала завязать последовательно 10 узлов на одной нити. Затем, используя кончик иглы, необходимо развязать сформированные узлы.

4. *Проталкивание нити.* Провести иглу с нитью через две соседние нити марли и протянуть до тех пор, пока не останется конец нити длиной 1 мм. Далее, используя конец иглы, необходимо протолкнуть конец шовной нити через нить марли.

5. *Микроанастомоз.* Выполнить анастомоз «конец в бок» на силиконовых трубочках диаметром 1 мм [49].

Измеряли время выполнения каждого упражнения и общее время, затраченное на тренинг. Число ошибок в первом упражнении учитывалось как количество надрезов за пределами линии, во втором – как количество ненадежных узлов.

3.7. Проспективный анализ уровня мануальных нейрохирургических навыков на протяжении длительного периода времени

Всего в постоянном «сухом» тренинге участвовало 15 ординаторов и студентов, не имевших микрохирургических навыков. После одного месяца регулярного тренинга время наложения анастомоза и выполнения всех упражнений статистически значительно снизилось с 2 ч и 113 (110; 120) мин до 1 ч и 28 (20; 31) мин соответственно ($p < 0,001$) (Рисунок 30). Среднее количество ошибок снизилось в первом упражнении с 5 (3; 8) до 1 (0; 2) ($p = 0,001$), во втором – с 2 (1; 2) до 0 (0; 1) ($p = 0,001$).

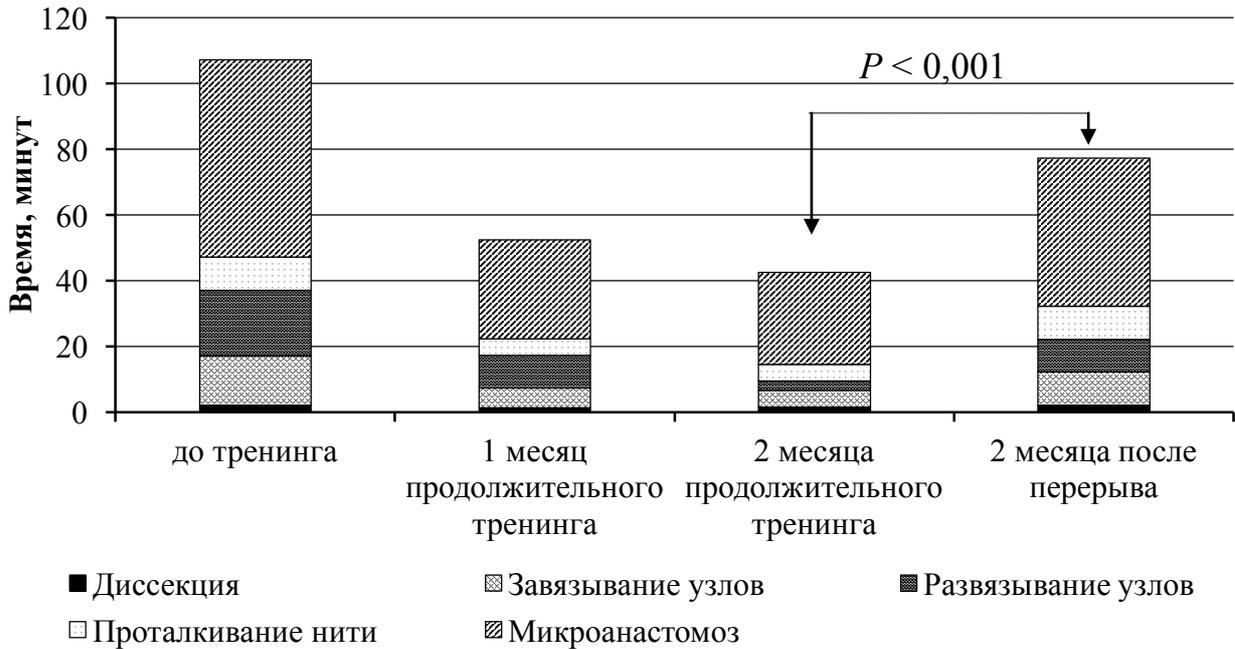


Рисунок 30 – Время, затрачиваемое на выполнение упражнения

Для оценки того, в какой мере регулярный тренинг влияет на нейрохирургические навыки, 3 испытуемых продолжили его только на марле, в то время как остальные прекратили занятия. Через месяц 6 респондентов были готовы к оценке навыков, 3 из них продолжали тренироваться, а 3 – нет. Было предложено выполнить все 5 упражнений с хронометражем. Выявлено, что время выполнения анастомоза и общее время выполнения задания статистически значимо возросло у прервавших тренинг респондентов по сравнению с результатами, показанными ими по окончании интенсивного тренинга ($p < 0,01$). Время выполнения анастомоза статистически значимо не изменилось в группе тех, кто продолжал постоянный тренинг на марле.

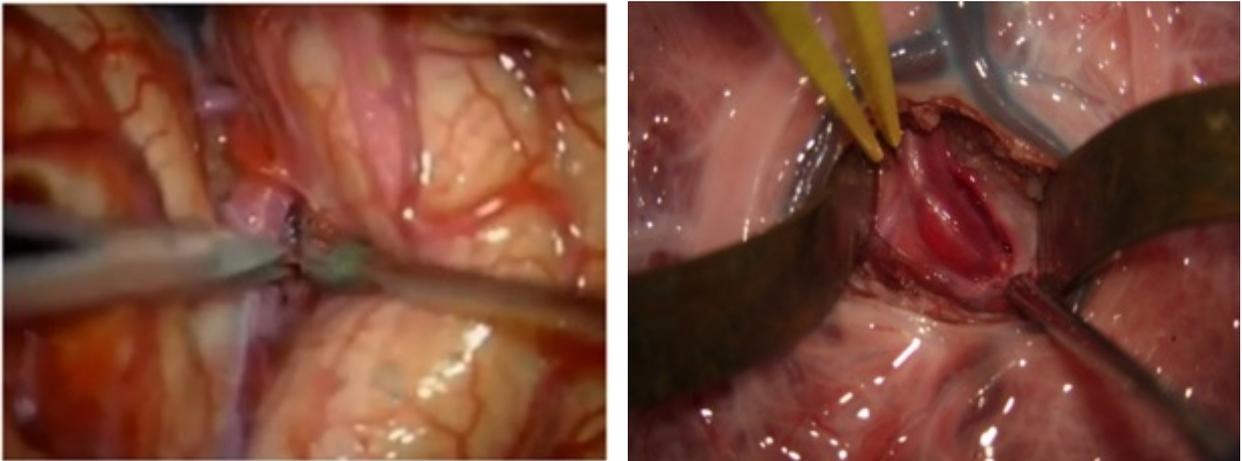
Таким образом, показано, что постоянный периодический тренинг части сложного микрохирургического навыка способен позитивно отразиться на времени выполнения такого сложного задания, как наложение микроанастомоза, по сравнению с редким интенсивным тренингом.

3.8. Клинико-симуляционные параллели

3.8.1. Симуляция клипирования церебральной аневризмы

В настоящее время микрохирургия в большинстве случаев является методом выбора лечения аневризм СМА, о чем свидетельствуют данные проведенного мета-анализа. Хирургические осложнения в данной группе встречаются из-за включения в нее пациентов с гигантскими или сложными аневризмами СМА, пациентов с плохим прогнозом. На этом основании экспериментальное моделирование типичной нейрохирургической техники при аневризмах СМА стало объектом нашего внимания.

Первым микрохирургическим этапом операции клипирования аневризмы СМА является разделение силвиевой щели. Данная манипуляция может быть успешно смоделирована на двух уложенных друг на друга плацентах человека путем диссекции от поверхности первой плаценты в глубь ворсин хориона до достижения плодной поверхности нижележащей плаценты (Рисунок 31).

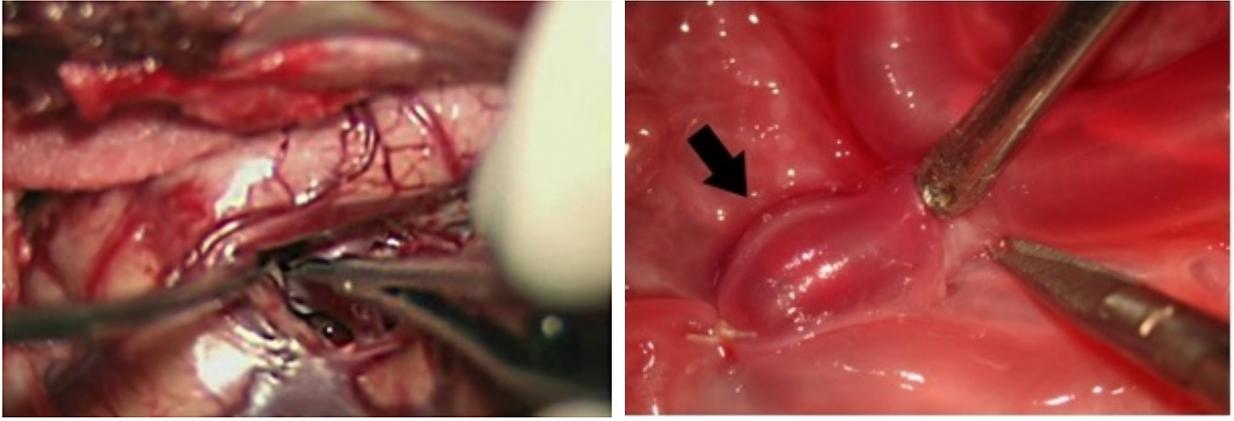


А

Б

Рисунок 31 – Диссекция силвиевой щели: **А** – интраоперационное фото; **Б** – на плаценте человека

Выделение аневризмы путем острой арахноидальной диссекции микроножницами и тупой диссекции микродиссектором или браншами биполярного пинцета также моделируется на предложенной экспериментальной модели (Рисунок 32).



А

Б

Рисунок 32 – Выделение аневризмы путем острой диссекции: **А** – интраоперационное фото (выделение аневризмы СМА из арахноидальных сращений с окружающими тканями); **Б** – диссекция шейки аневризмы на экспериментальной модели (большое увеличение микроскопа)

Наложение клипсы на шейку аневризмы – следующий этап операции. Движения производятся только кистью руки, в то время как пальцы участвуют в раскрытии браншей клипсы (с помощью клипсодержателя) и медленном их закрытии при установке клипсы в нужную позицию. В случае с малыми мешотчатыми аневризмами при установке клипсы может потребоваться дополнительное давление по направлению от основания к шейке (Рисунок 33).

Для успешного наложения клипсы необходима четкая визуализация операционного поля от момента введения клипсы в операционное поле и до ее установки. Обе стороны шейки аневризмы, бранши клипсы и прилегающие анатомические образования создают единое поле зрения в окулярах микроскопа, которое ограничивается за счет увеличения и наличия ретракторов в ране. Клипсодержатель перекрывает поле зрения, если вводится в хирургический коридор строго по линии оси микроскопа или с небольшим отклонением от нее. Для четкой визуализации браншей на шейке аневризмы необходимо выдерживать 15–30-градусное отклонение клипсодержателя от этой оси [101, 105].

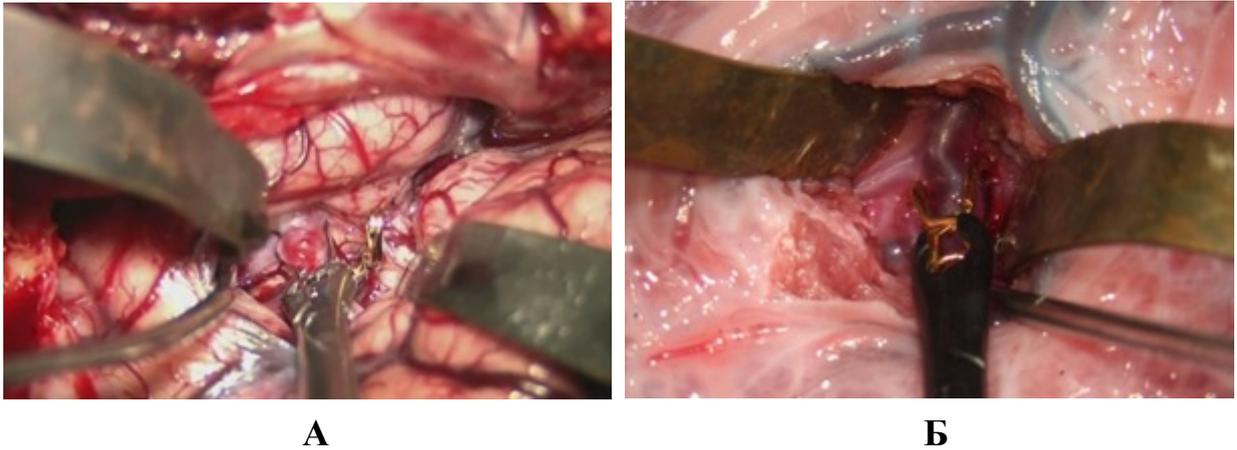


Рисунок 33 – Клипирование аневризмы с узкой шейкой: **А** – интраоперационное фото; **Б** – на экспериментальной модели на сосудах плаценты человека

В случае кровотечения необходима особая слаженная работа аспирантом и клипсодержателем. Разрыв аневризмы влияет на психологическое состояние нейрохирурга, поэтому отработка действий в случае массивного кровотечения, а также мероприятий по его остановке и профилактике может явиться важным моментом симуляционного обучения на экспериментальной модели артериальной аневризмы на плаценте человека (Рисунок 34).

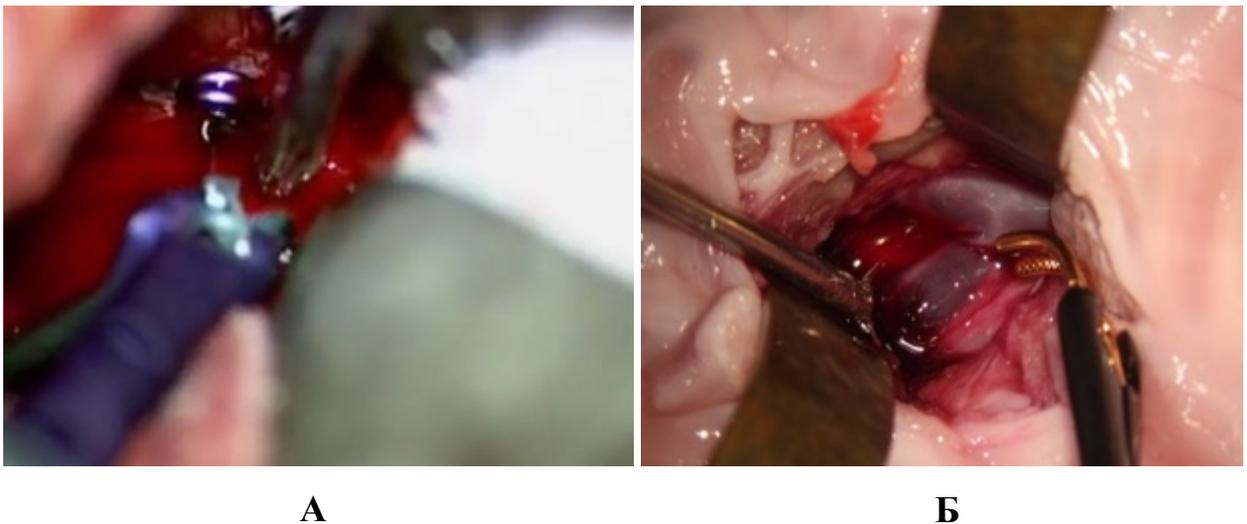


Рисунок 34 – Интраоперационный разрыв аневризмы (операционное поле заполнено кровью, визуализация затруднена): **А** – интраоперационное фото; **Б** – экспериментальная модель на сосудах плаценты человека

Предложенная модель позволяет практиковаться и изучать различные способы наложения микроклипс, что имеет большое практическое значение при обучении навыкам микрососудистой нейрохирургии. Далее проиллюстрирован тренинг различного расположения клипс; типы клипирования приведены согласно классическим работам [23, 105, 101].

1. *Простое клипирование.* Главное правило в клипировании аневризм – чем проще, тем лучше [105]. Простое клипирование подразумевает использование одной клипсы для аневризмы небольшого размера с узкой шейкой и несложной анатомией (Рисунок 35). Клипса тщательно подбирается по размеру, форме и конфигурации. Бранши клипсы являются очень важной частью, потому что именно они контактируют с шейкой аневризмы. Мелкие и глубоколежащие аневризмы в узких хирургических коридорах вынуждают использовать клипсы с длинными браншами, пружинная часть которых находится на большем расстоянии от кончиков, благодаря чему клипсодержатель не перекрывает поле зрения во время операции. Следует учесть важный нюанс в механических свойствах клипсы, связанный с тем, что сила сжатия в дистальном отделе браншей меньше, чем в проксимальном. В фенестрированных клипсах, наоборот, сила сжатия максимальна как раз в дистальном отделе.

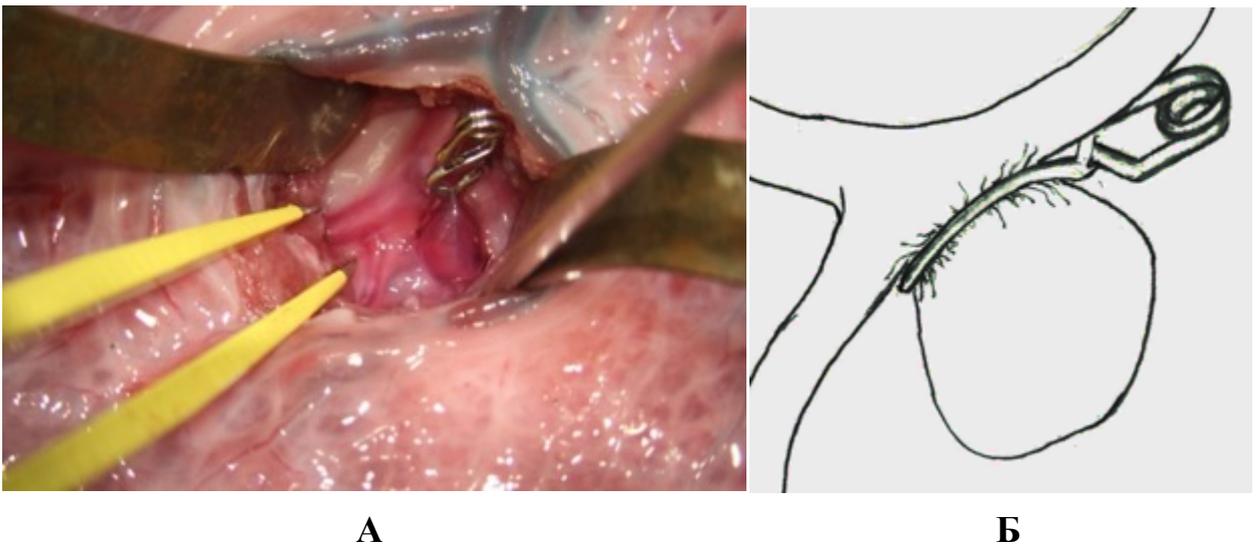
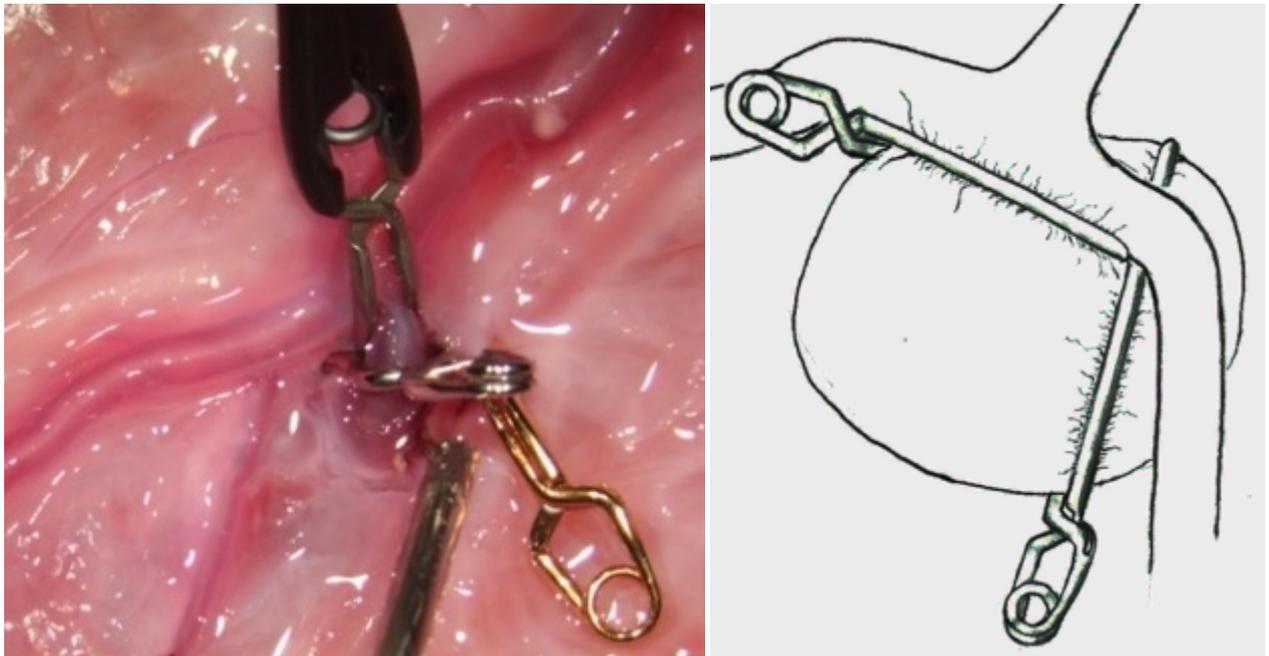


Рисунок 35 – Клипирование шейки аневризмы одиночной клипсой: **А** – на экспериментальной модели на сосудах плаценты человека; **Б** – схема

При больших размерах аневризмы, широкой шейке и сложной анатомии часто требуется несколько клипс, которые последовательно накладываются сначала на глуболежащую, а затем на поверхностную часть шейки. Метод множественного клипирования включает в себя наложение перекрещивающихся клипс, наложение клипс параллельно друг другу и наложение клипс друг на друга [300].

2. *Метод перекрещивающихся клипс* предполагает наложение каждой последующей клипсы под углом к предыдущей, в результате чего ее бранши образуют с браншами или пружинной частью последней тупой, прямой или острый угол (Рисунок 36). Перекрест клипс может быть простым, например при использовании двух прямых клипс, образующих какой-либо угол, или более сложным, когда расположение клипс напоминает диафрагму фотоаппарата.



А

Б

Рисунок 36 – Клипирование аневризмы методом перекрещивающихся клипс: А – на экспериментальной модели на сосудах плаценты человека; Б – схема

3. *Метод параллельного наложения клипс* имеет два варианта. При первом варианте первой клипсой перекрывается бóльшая часть шейки, а последующие клипсы накладываются параллельно первой и под ней, перекрывая оставшуюся

часть шейки (метод параллельного наложения друг под другом). При втором варианте первая клипса накладывается вблизи шейки (при этом адекватной реконструкции сосуда не происходит), а последующие клипсы накладываются параллельно и выше первой, выполняя полное закрытие шейки аневризмы и адекватную реконструкцию (Рисунок 37).

Наложение всех клипс по этому методу производят в одном направлении, что удобно в узком хирургическом коридоре с ограничением для маневрирования клипсодержателем. При первом варианте данного метода достигается лучшая реконструкция эфферентных артерий, выходящих из основания аневризмы, а применение мини-клипс позволяет устранить остаточные карманы аневризмы. Способ последовательного наложения клипс браншами рядом на тело аневризмы также назван «частоколом» [38].

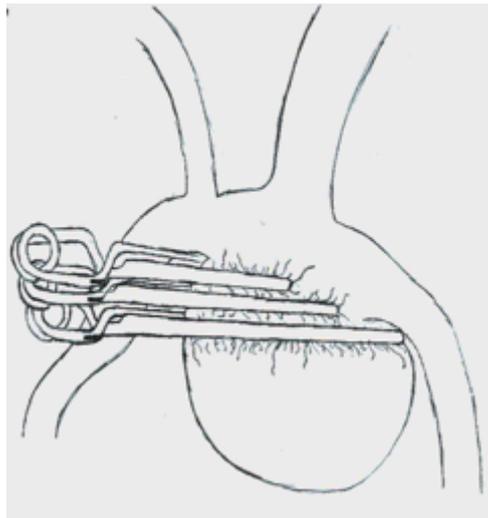


Рисунок 37 – Клипирование аневризмы методом параллельного наложения клипс (схема)

4. *Метод наложения клипс друг на друга* заключается в использовании фенестрированной клипсы, которая накладывается поверх прямой клипсы под углом для закрытия дистальной части шейки аневризмы (Рисунок 38). При этом фенестрированная клипса накладывается поверх прямой так, чтобы бранши последней оказались в ее отверстии.

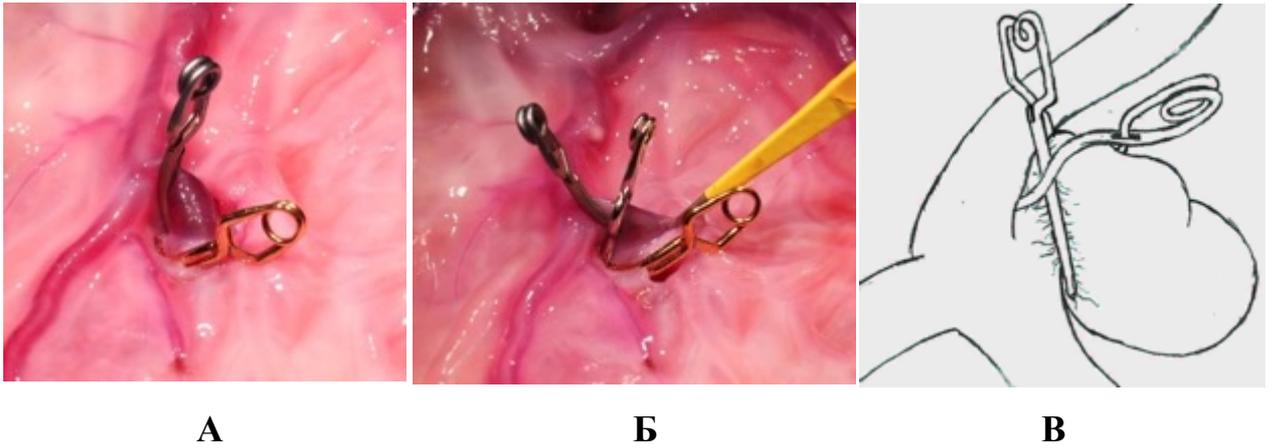


Рисунок 38 – Метод наложения клипс друг на друга: **А, Б** – на экспериментальной модели аневризмы на сосудах плаценты человека; **В** – схема

5. *Метод тандемного клипирования*, предложенный С. G. Drake, заключается в использовании прямой фенестрированной клипсы для перекрытия дистальной части шейки аневризмы. Затем простыми короткими клипсами перекрывается проксимальная часть шейки, находящаяся в области окна фенестрированной клипсы (Рисунок 39). Данная техника позволяет эффективно клипировать аневризмы с широкими шейками за счет суммирования силы сжатия фенестрированных и простых клипс. Такие клипсы сжимают шейку аневризмы, что позволяет визуализировать глубоколежащие структуры, при этом в окне фенестрированной клипсы может оставаться интактной артериальная ветвь или нерв.

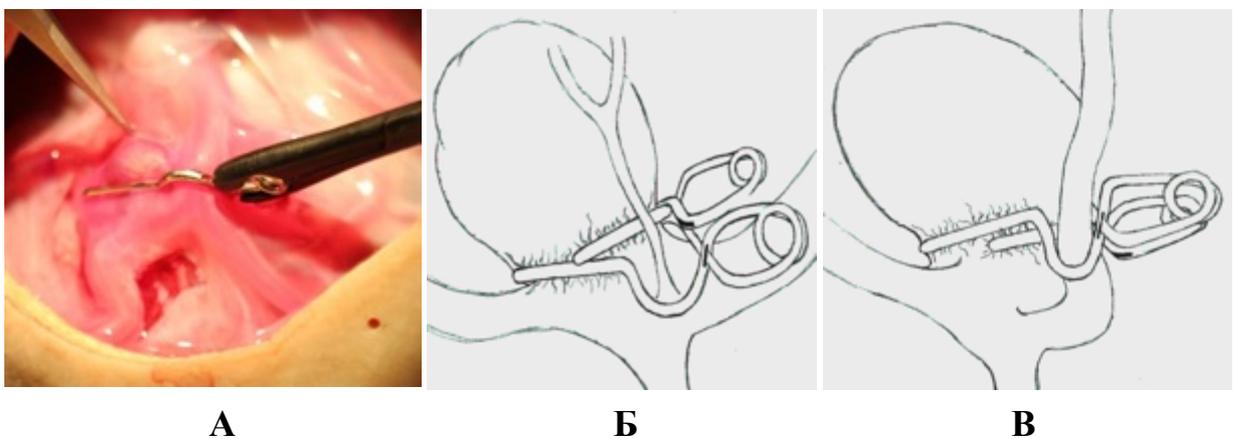


Рисунок 39 – Метод тандемного клипирования: **А** – на экспериментальной модели аневризмы на сосудах плаценты человека; **Б, В** – схема

6. *Метод тандемного клипирования изогнутыми клипсами (Sugita)* заключается в наложении нескольких фенестрированных изогнутых клипс на аневризму с широкой шейкой (Рисунок 40). Используются клипсы, изогнутые под углом 90°, с большим окном и браншами различной длины. Клипсы накладываются друг за другом в одном направлении, начиная от глуболежащей части шейки – по типу «носком» к «пятке», в противоположных направлениях – по типу «носок» к «носку» либо «пяткой» к «пятке». Бранши клипс должны плотно контактировать друг с другом во избежание сообщения аневризмы с сосудистым руслом.

7. *Метод создания фенестрированного тоннеля* заключается в наложении прямых фенестрированных клипс так, чтобы они перекрывали шейку аневризмы и образовывали проход (тоннель) для эфферентной артерии, производя ее реконструкцию (Рисунок 41).

8. *Метод укрепления стенки* состоит в использовании синтетической прокладки или марли, которой обортывается небольшая аневризма с широкой шейкой, затем накладывается клипса, препятствующая расширению прокладки [178] (Рисунок 42).

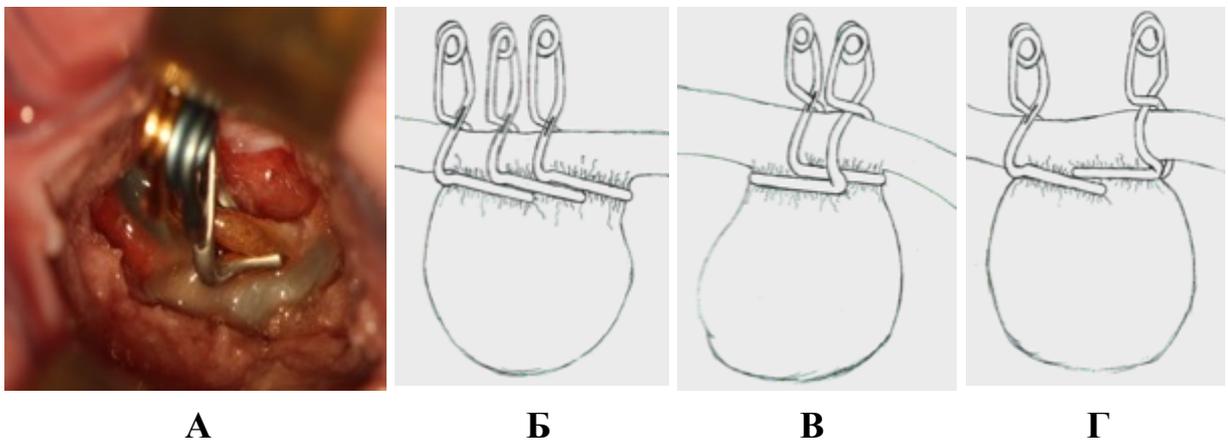


Рисунок 40 – Метод тандемного клипирования изогнутыми клипсами (Sugita): А – на экспериментальной модели аневризмы на сосудах плаценты человека; Б, В, Г – схема

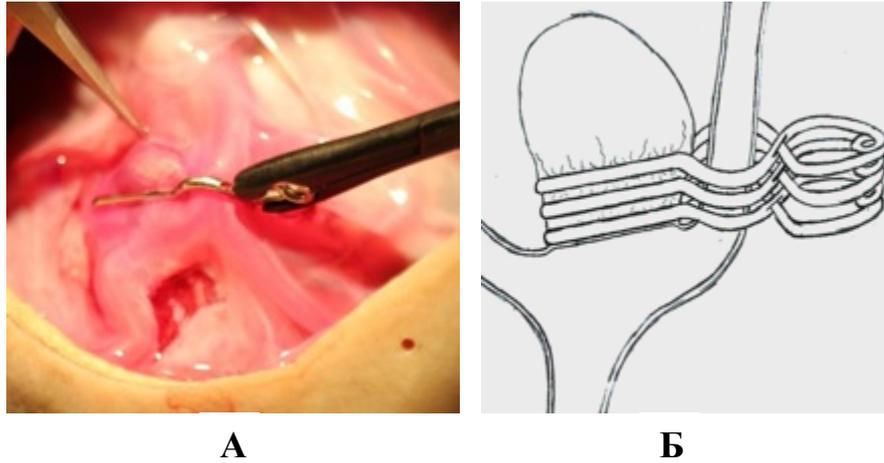


Рисунок 41 – Метод создания фенестрированного тоннеля: **А** – на экспериментальной модели аневризмы на сосудах плаценты человека; **Б** – схема



Рисунок 42 – Укрепление стенки артерии синтетической прокладкой и клипсой в области пузыреобразной (блистерной) аневризмы на экспериментальной модели на плаценте человека

Таким образом, предлагаемая экспериментальная модель позволяет отрабатывать способы клипирования церебральных аневризм, в частности аневризм СМА. Адаптированные приемы клипирования артериальной аневризмы дают возможность их дальнейшего совершенствования в представленных клинко-симуляционных параллелях разделения сильвиевой щели, выделения аневризмы, остановки кровотечения разорвавшейся аневризмы, простого клипирования, клипирования методом перекрещивающихся клипс, параллельного наложения клипс, наложения клипс друг на друга, тандемного клипирования, тандемного клипирования изогнутыми клипсами, методом создания фенестрированного тоннеля, методом укрепления стенки синтетической прокладкой.

3.8.2. Сосудистый микроанастомоз

В ходе тренинга разработана техника наложения сосудистого микроанастомоза по типу «конец в бок». Под большим увеличением микроскопа формируется анастомоз по типу «конец в бок» по авторской методике (патент № 2533030 от 20.11.2014 г. «Способ наложения сосудистого микроанастомоза по типу «конец-в-бок»).

Суть методики заключается в следующем. Формируют конец артерии-донора по типу «рыбий рот» и отверстие в боку артерии-реципиента, сопоставимые по размеру. Для лучшей визуализации стенки артерий 1 и 2 окрашивают красителем пиктолан голубой (Рисунок 43). Конец сосуда-донора 1 фиксируют к сосуду-реципиенту 2 двумя одиночными швами 3 и 4, расположенными на 0 и 180° к оси сосуда-реципиента, т.е. напротив друг друга. Затем начинают формировать непрерывный шов на одной стороне анастомоза, не затягивая нить. После того как непрерывный шов с ослабленными петлями от одного одиночного шва 3 до другого 4 окончен, ослабленные петли нити 5 разрезают микроножницами. Концы нити каждой разрезанной петли 6 связывают между собой, тем самым формируя ряд одиночных узловых швов. Далее аналогичным образом формируют вторую сторону анастомоза.

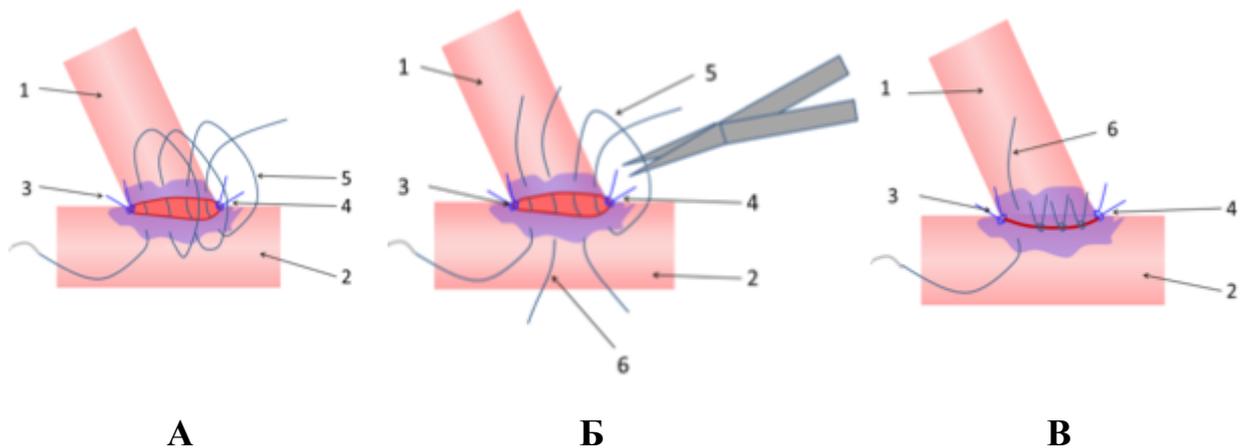


Рисунок 43 – Этапы формирования (А, Б, В) микроанастомоза по типу «конец-в-бок». 1 – сосуд-донор; 2 – сосуд-реципиент; 3, 4 – одиночные швы; 5 – ослабленные петли нити; 6 – разрезанные петли нити

При выполнении микроанастомоза предлагаемым способом упрощается процесс выбора места вкола иглы. Таким образом, повышается равномерность наложения швов, меньше травмируется стенка сосуда в процессе выполнения анастомоза, ускоряется время наложения анастомоза. Стенки анастомозируемых сосудов при наложении всех швов находятся в близком контакте друг с другом, не спадаясь, при этом не фиксированы жестко и позволяют производить манипуляции с ними.

3.8.3. Клинический пример наложения сосудистого микроанастомоза

Пациентка – 44-летняя женщина, правша. В 2010 г., после обращения с жалобами на преходящую слабость в правой руке, выявлен стеноз левой СМА и выставлен диагноз «ишемический инсульт в бассейне левой СМА; синдром мойя-мойя». Сопутствующая патология: сахарный диабет и артериальная гипертензия. В 2012 г. вновь перенесла транзиторное ишемическое нарушение мозгового кровообращения – слабость в правой руке длительностью до 5 мин и дизартрия. После обсуждения преимуществ и недостатков разных видов лечения она выбрала оперативное. Поскольку стеноз левой СМА являлся симптоматическим, операция запланирована сразу после коррекции и стабилизации сопутствующей соматической патологии.

Данные обследования. На момент поступления в больницу у пациентки не выявлено неврологического дефицита. На МРТ головного мозга обнаружены хронические ишемические изменения в левом полушарии, стеноз СМА слева и отсутствие правой ПМА (Рисунок 44).

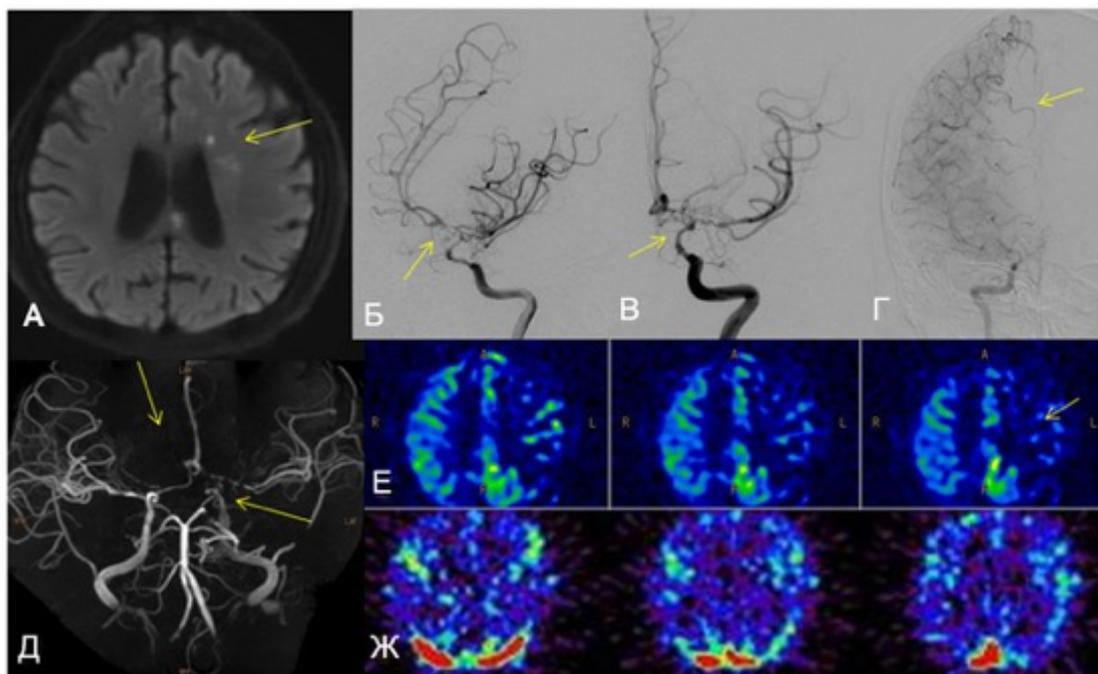


Рисунок 44 – Пациентка, 44 лет, с диагнозом «синдром мойя-мойя» (предоперационное обследование): **А** – на аксиальной МРТ (диффузно-взвешенное изображение) увеличенная интенсивность сигнала в левой паравентрикулярной области (сказано стрелкой); **Б, В** – на субтракционных ангиограммах левой сонной артерии в косой и переднезадней проекциях соответственно стеноз СМА и слабо выраженные сосуды мойя-мойя (указано стрелками); **Г** – на ангиограмме правой ВСА отсутствие ПМА и лептоменингеальные коллатерали от СМА к области ПМА (указано стрелкой); **Д** – на МРА-реконструкции значительный стеноз левой СМА и отсутствие левой ПМА (указано стрелками); **Е** – на аксиальных МРТ, выполненных в режиме ASL, гипоперфузия левого полушария головного мозга (указано стрелкой); **Ж** – на ПЭТ мозгового кровотока гипоперфузия в обоих полушариях головного мозга

Данные ангиографии подтвердили стенотические изменения виллизиева круга, выявлено небольшое увеличение сети сосудов основания головного мозга – патологические сосуды мойя-мойя, визуализируемые пока только возле бифуркации сонных артерий. ПЭТ- и МРТ-исследования мозгового кровотока подтвердили гипоперфузию головного мозга: мозговой кровоток (норма > 32 мл/(мин·100 г)) слева – 37,0, справа – 40,1; метаболический показатель потребления кислорода (норма $> 2,3$ мл/(мин·100 г)) слева – 2,28, справа – 2,65; фракция экстракции кислорода (норма $< 52\%$) слева – 46,0, справа – 49,3. Выставлен диагноз «синдром мойя-мойя, 2-я стадия» (по 6-стадийной классификации Suzuki, 1967 [288]).

Операция. Выполнено двойное шунтирование ПВА–СМА (Рисунок 45).

Послеоперационное течение. На КТ новых ишемических очагов и геморрагий не выявлено. На МРТ спустя 4 сут. новых ишемических очагов не обнаружено, отмечено увеличение мозгового кровотока в левом полушарии. На 2-й и 10-й день развились транзиторные нарушения мозгового кровообращения (слабость правой руки в течение 5 мин), купировавшиеся самостоятельно. Пациентка выписана без неврологического дефицита и в последующие 2 мес. новых симптомов не отмечала.

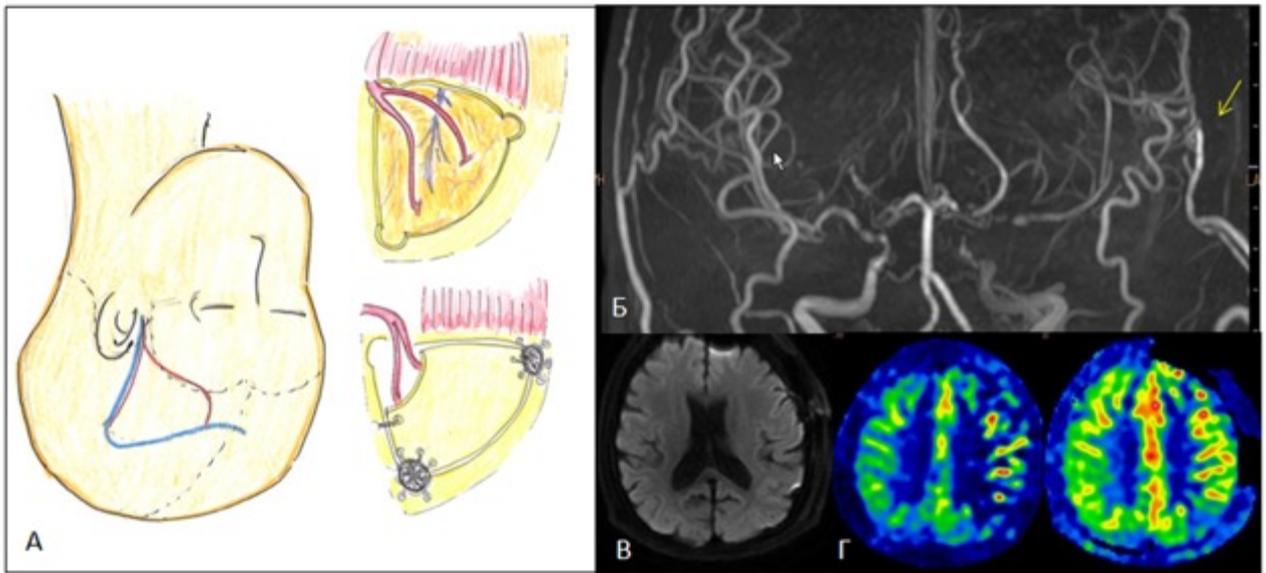


Рисунок 45 – Та же пациентка (схема операции и послеоперационное обследование через 4 дня): **А** – разрез кожи (голубая линия), проекция ПВА (красная линия), иллюстрация операции; **Б** – на восстановленной МРА анастомоз ПВА-СМА (указано стрелкой); **В** – на МРТ отсутствуют ишемические изменения; **Г** – на МРТ в режиме ASL гиперперфузия в левом полушарии головного мозга в зоне анастомозов

Обсуждение. В данном клиническом примере пациентка перенесла транзиторные ишемические атаки вследствие стеноза СМА, что явилось ишемическим манифестом синдрома мойя-мойя. Согласно руководствам по лечению болезни мойя-мойя [171, 240, 241] определены показания к прямой реваскуляризации (взрослый возраст, симптоматическое течение окклюзии СМА, несмотря на проводимое консервативное лечение). В данном случае двойное шунтирование выбрано из-за резко выраженного стеноза СМА, поэтому произведена попытка увеличения

кровотока сразу в супра- и инфрасильвиевой зонах СМА. Кроме того, один анастомоз выполнен первым хирургом (время наложения 20 мин), второй – ассистентом (время наложения 35 мин). Оба анастомоза выполнены по разработанному способу, который позволяет повысить качество формирования анастомоза, упростить процесс его наложения и снизить затрачиваемое время.

3.8.4. Особенности техники создания низкопроточных анастомозов

На основании исследования, проведенного в нейрохирургическом отделении университета Фукуи (руководители – д.м.н. В.А. Бывальцев и проф. К. Кикута), включающего опыт 15 сосудистых операций и непосредственного участия в 5 шунтирующих операциях и анализ операционных журналов, удалость обобщить особенности техники создания низкопроточных анастомозов для адаптации к разрабатываемым экспериментальным моделям.

Наличие двух ветвей ПВА (лобной и височной) позволяет выполнить один или два ЭИК-анастомоза с низкой скоростью кровотока за одну операцию. В большинстве случаев артериями-реципиентами головного мозга при таком типе шунтирования являются супрасильвиевая или инфрасильвиевая ветвь СМА четвертого порядка (M4 сегмент). Двойное шунтирование используется при треппинге (от англ. trapping организация ловушек, захват) технически сложных аневризм СМА и играет немаловажную роль для дальнейшего развития мануальных навыков нейрохирургов, так как один анастомоз может быть выполнен тренированным обучающимся нейрохирургом.

Основы техники ЭИК-шунтирования с низкой скоростью тока крови описаны далее на примере анастомоза ПВА–СМА.

Анастомоз ПВА–СМА

Является стандартной операцией для реваскуляризации головного мозга.

1. Планирование операции. Во-первых, с использованием данных нейрососудистой визуализации (ЦСА ветвей НСА и ВСА, КТА или/и МРА) выбираются подходящие крупные ветви ПВА и артерии-реципиенты из числа корковых ветвей СМА. Ход ПВА отслеживается с помощью навигации доплерографии и размечается на коже несмываемым маркером. Также отмечаются линия разреза кожи и проекция краниотомии.

2. Разрез кожи и краниотомия. Пациент укладывается в позицию «на спине», голова повернута в противоположную сторону, одноименное плечо поднято на матрасе. Волосы сбриваются на 2 см вокруг линии предполагаемого разреза.

Способ разреза кожи различается в разных клиниках и при разных клинических ситуациях (Рисунок 46). Основными моментами, на которые следует ориентироваться при выборе разреза, являются ход ПВА, линия роста волос, адекватность доступа к артерии-реципиенту (СМА).

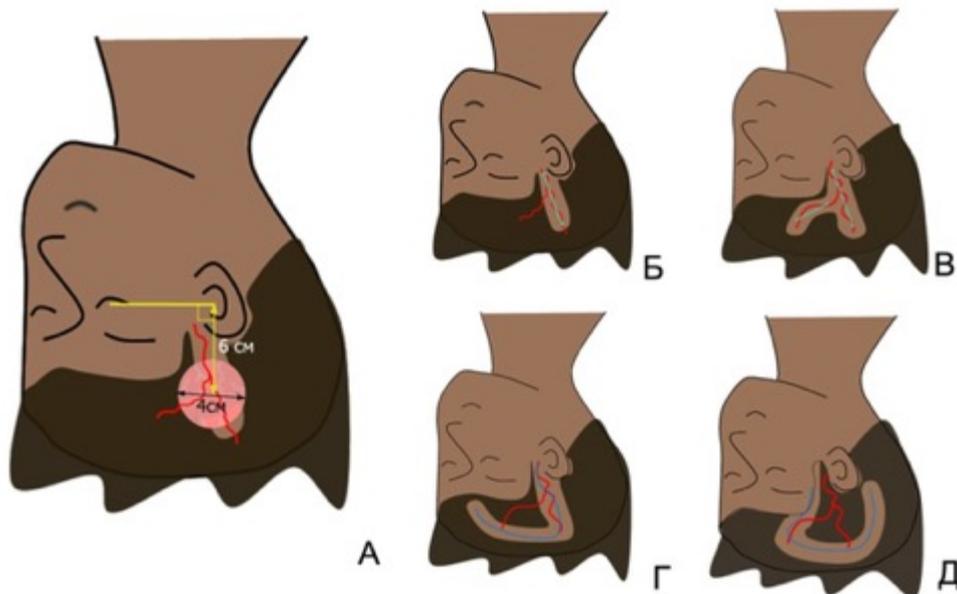


Рисунок 46 – Варианты разреза кожи для создания анастомоза «поверхностная височная артерия – средняя мозговая артерия» (схемы): **А** – определение места краниотомии; **Б** – одинарное шунтирование; **В** – двойное шунтирование через линейный разрез; **Г** – J-образный разрез; **Д** – U-образный разрез

Обычно применяют два вида краниотомии: стандартную лобно-височную или небольшую, типа замочной скважины (key-hole). Шунтирование через краниотомию key-hole, так называемое таргетное – прицельное шунтирование с предоперационным выбором артерии-реципиента. Его можно проводить с использованием предоперационной навигации на основе слияния изображений сосудов, в частности МРА, изображения метаболизма головного мозга, например ПЭТ или КТ-перфузии, и КТ [293].

Для одинарного шунтирования через небольшую краниотомию выполняют линейный разрез кожи. Для двойного шунтирования через небольшую краниотомию можно использовать разрез по ходу височной ветви ПВА с добавочным небольшим линейным разрезом для диссекции лобной ветви ПВА [282]. Также применяют J-образный разрез: восходящая часть линейного разреза выполняется по проекции височной ветви ПВА, после чего производят ее диссекцию и выделение с помощью биполярной коагуляции. Затем разрез продлевается кпереди, кожно-апоневротический лоскут и височная мышца выделяются отдельно. Выполняется краниотомия над местом выхода СМА из Сильвиевой щели. Затем лобная ветвь ПВА легко выделяется с внутренней стороны кожно-апоневротического лоскута [6, 14]. Чтобы найти нужную артерию-реципиент, обычно достаточно краниотомии диаметром 4 см. Центр краниотомии должен располагаться на перпендикуляре к орбитоаурикулярной линии, проведенном от наружного слухового прохода на 6 см выше этой линии.

Тщательный гемостаз во время операции обязателен по трем причинам. Первая и самая важная – кровь и цереброспинальная жидкость затрудняют наложение швов, вторая – профилактика послеоперационных гематом, третья – сохранение концентрации гемоглобина в количестве не менее 30–35 г/л во избежание ишемии головного мозга, особенно у детей из-за небольшого объема циркулирующей крови.

3. Диссекция ПВА. Края раны раздвигаются крючками. Для выделения ПВА используют высоковольтный биполярный микропинцет (Codman) и аспиратор. На выделенную ПВА проксимально накладывается временный клипс, дистальный

конец лигируется и пересекается. Выделенный сосуд промывается гепаринизированным солевым раствором, смачивается раствором папаверина и сохраняется в увлажненном состоянии в салфетке. После выделения ПВА с внутренней стороны лоскута поврежденный апоневроз тщательно ушивается абсорбируемой нитью с целью улучшения условий кровообращения в скальпе.

4. Подготовка бескровного операционного поля. ТМО фиксируется к краю костного окна отдельными швами и вскрывается Х-образным разрезом, ориентированным по ходу сосуда-донора. СОА может выполнять функцию дополнительного источника кровоснабжения через ТМО к поверхности головного мозга. Поэтому по возможности СОА следует сохранить. Модифицированные методики краниотомии подробно описаны Kuroda [184].

Подходящие корковые ветви СМА визуализируются и выделяются с использованием техники острой арахноидальной диссекции. Затем мелкие ветви задней стенки корковой артерии коагулируются и пересекаются. Подготовленный к анастомозированию участок артерии-реципиента должен быть как минимум в 3 раза длиннее диаметра ПВА [143]. В большинстве случаев для двойного шунтирования в качестве сосудов-реципиентов выбирают супра- и инфрасильвиевую ветви СМА. Для того чтобы четко визуализировать практически прозрачные стенки сосуда-реципиента, под артерию подкладывается цветной латексный треугольник, разлинованный по 1 мм. Для отграничения операционного поля в нижний угол раны устанавливают постоянный дренаж и обкладывают операционное поле ватниками. Дренаж помогает отводить ликвор и кровь, облегчая условия для выполнения анастомоза.

5. Создание анастомоза. Навык наложения микрошвов должен быть заранее отработан в лаборатории. Конец донорской ПВА освобождается от адвентициальной оболочки и расширяется путем формирования среза по типу «рыбий рот». На данном этапе необходима четкая визуализация отверстий артерии-донора и артерии-реципиента. Для этой цели анастомозируемые участки сосуда окрашивают с помощью красителей, таких как метилрозанилин хлорид (пиоктан голубой) или

метиленовый синий. После наложения на артерию-реципиент временных клипс выполняют артериотомию и сопоставление отверстий аностомозируемых сосудов. Если артерия-реципиент более 1,5 мм, может быть полезным вначале наложить шов-держалку в центре планируемого отверстия, а затем, подтягивая нить, ножницами вырезать овальное отверстие необходимого размера. Если диаметр сосуда мал, целесообразно произвести линейную артериотомию с помощью иглы от инсулинового шприца. После завершения анастомоза возникшее небольшое кровотечение из мест вкола можно остановить с помощью Surgicel, фибринового клея или кусочка мышцы.

6. Подтверждение состоятельности анастомоза. Состоятельность анастомоза подтверждается интраоперационной видеоангиографией с индоцианином зеленым [116, 170]. Скорость тока крови в сосуде-реципиенте и доноре также проверяется доплер-сканером в процессе закрытия операционной раны. Хотя цифровая субтракционная ангиография всегда считалась золотым стандартом оценки проходимости шунта, она имеет ряд недостатков, таких как стоимость, инвазивность и необходимость ионизирующего излучения. Поэтому на современном этапе интраоперационную видеоангиографию можно считать ведущим методом подтверждения состоятельности анастомоза.

7. Закрытие операционной раны. Для артерии-донора формируется округлой формы дополнительное отверстие в ТМО и мышце. ТМО аккуратно ушивается, область шва закрепляется фибриновым клеем. Костный лоскут с отверстием для артерии-донора фиксируется титановыми пластинами, мышцы ушиваются. При этом постоянное внимание уделяется донорскому сосуду во избежание его сдавления или травматизации.

Анастомоз ПВА-ПМА

Прямой анастомоз ПВА–ПМА необходим в редких случаях, при выраженной ишемии в области кровоснабжения ПМА. В целом эта операция выполняется также, как шунтирование ПВА–СМА, но имеет некоторые особенности.

Выделять лобную ветвь ПВА следует наибольшей длины, чтобы обеспечить легкое и безопасное манипулирование артерией-донором при наложении анастомоза. Сосудом-реципиентом является кортикальная ветвь ПМА, расположенная ближе к средней линии, при этом диаметры лобной ветви ПВА и ПМА меньше, чем височной ветви ПВА и СМА. По этой причине шунтирование должно проводиться с особой аккуратностью. В редких случаях лобная ветвь ПВА расположена низко, близко к лобной ветви лицевого нерва. Тогда, во избежание послеоперационного паралича лобных мышц, выделяется только дистальная часть лобной ветви ПВА.

Для удлинения сосуда-донора при таком виде шунтирования может быть применен ауто трансплантат лучевой артерии или большой подкожной вены бедра (ПВА–ТЛА–А2). При этом требуется дополнительный анастомоз «конец-в-конец» (ПВА–ТЛА). Например, такая методика может применяться для ассистирующего шунтирования при треппинге аневризмы ПСА.

Анастомоз ПВА–ЗМА

Шунтирование ПВА–ЗМА показано при ишемии головного мозга в бассейне ЗМА при болезни мойя-мойя, а также в качестве ассистирующего шунтирования для треппинга технически сложных аневризм ЗМА. Пациенты с болезнью мойя-мойя с патологическими изменениями в ЗМА подвержены риску развития ишемического инсульта в большей степени, поскольку ЗМА, являясь продолжением системы позвоночных артерий, часто играет роль потенциальной резервной коллатерали для системы ВСА. В таких случаях следует подумать о реваскуляризации двух бассейнов головного мозга, СМА и ЗМА одновременно [184, 272].

Анастомоз ПВА–ВМА или ЗА–СМА/ВМА

Реваскуляризирующие операции в задней черепной ямке могут быть проведены с использованием ветвей ЗА, СМА или с помощью шунтов-удлинителей из ПА. Следует учитывать, что ЗА очень извилистая и проходит глубже, чем ПВА. При этом, если планируется анастомоз с ветвями СМА, особенно с сегментом М2, длины выделенной ЗА может не хватить для выполнения анастомоза [8, 14].

3.8.5. Экспериментальная модель низкопроточного анастомоза на сосудах плаценты человека

На плодной поверхности плаценты выделяли ветвь II или III порядка диаметром 2–3 мм и длиной более 30 мм – моделирование выделения ПВА. Далее эта ветвь поворачивалась для наложения анастомоза по типу «конец-в-бок» с рядом проходящей соседней артериальной ветвью диаметром 1–2 мм. Анастомоз накладывался по вышеописанной методике.

При выполнении микроанастомоза предлагаемым способом проще выбрать место для вкола иглы. Отсюда, повышается равномерность наложения швов, меньше травмируется стенка сосуда, ускоряется время наложения анастомоза, стенки анастомозируемых сосудов при наложении всех швов находятся в близком контакте друг с другом, не спадаясь, при этом они не фиксированы жестко и позволяют производить манипуляции с ними.

Таким образом, отработка навыков наложения микроанастомоза возможна в условиях лаборатории на сосудах плаценты человека (Рисунок 47), которая является хорошей экспериментальной моделью.

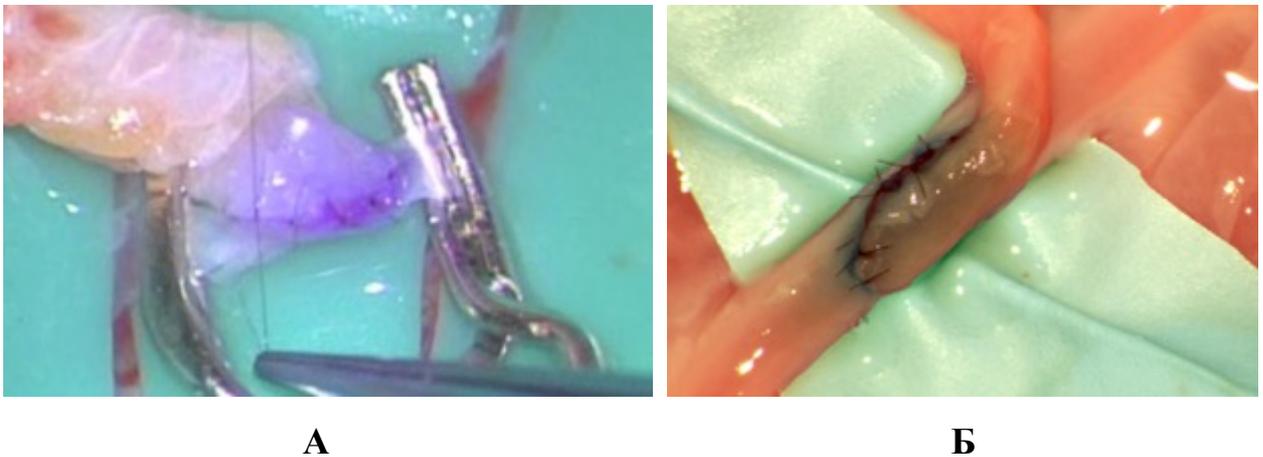


Рисунок 47 – Наложение микроанастомоза: А – интраоперационное фото; Б – на сосудах плаценты человека

3.8.6. Клинический пример высокопроточного шунтирования

Пациентка, 57 лет, поступившая с клиникой диплопии. На МРТ обнаружена гигантская кавернозная аневризма правой ВСА (Рисунок 48).

Данные обследования. ЦСА выявила гигантскую аневризму кавернозного отдела правой ВСА, ангиография НАС позволила также визуализировать ПВА – артерию-донор. Ангиография лучевой и локтевой артерий показала их состоятельность и возможность забора аутотрансплантата из лучевой артерии. В ходе проведения теста с временной окклюзией правой ВСА баллоном у пациентки развился левосторонний гемипарез, разрешившийся полностью в течение 6 ч после возобновления кровотока. Запланирован следующий объем операции: треппинг аневризмы в сочетании с шунтированием с высокой скоростью кровотока и дополнительное ассистирующее шунтирование с низкой скоростью тока крови.



Рисунок 48 – Пациентка 57 лет, с диагнозом «гигантская аневризма внутренней сонной артерии» (предоперационное обследование): **А, Б** – цифровая субтракционная ангиограмма правой ВСА (переднезадняя и латеральная проекции соответственно); **Б'** – на реконструктивной МРА гигантская аневризма кавернозного отдела

Операция. На первом этапе через лобно-височную краниотомию выполнено ассистирующее шунтирование с низкой скоростью тока крови – наложен анастомоз ПВА с М4. Второй бригадой нейрохирургов параллельно выполнены цервикотомия и доступ к бифуркации ОСА, третьей бригадой сосудистых хирургов осуществлен забор фрагмента ЛА. На втором этапе через трансильвиевый доступ, выполненный методом острой диссекции, создан анастомоз ТЛА–М2. Третий этап со-

стоял в создании анастомоза между ТЛА–НСА. Заключительным этапом произведен треппинг аневризмы – клипирование несущей артерии с двух сторон от аневризмы и лигирование ВСА из цервикотомного доступа (Рисунок 49).

Послеоперационное течение. На послеоперационном обследовании установлено, что аневризма полностью выключена из кровотока, подтверждена состоятельность обоих анастомозов (Рисунок 50). МРТ головного мозга не выявила ишемических и геморрагических поражений. Пациентка выписана без неврологического дефицита.

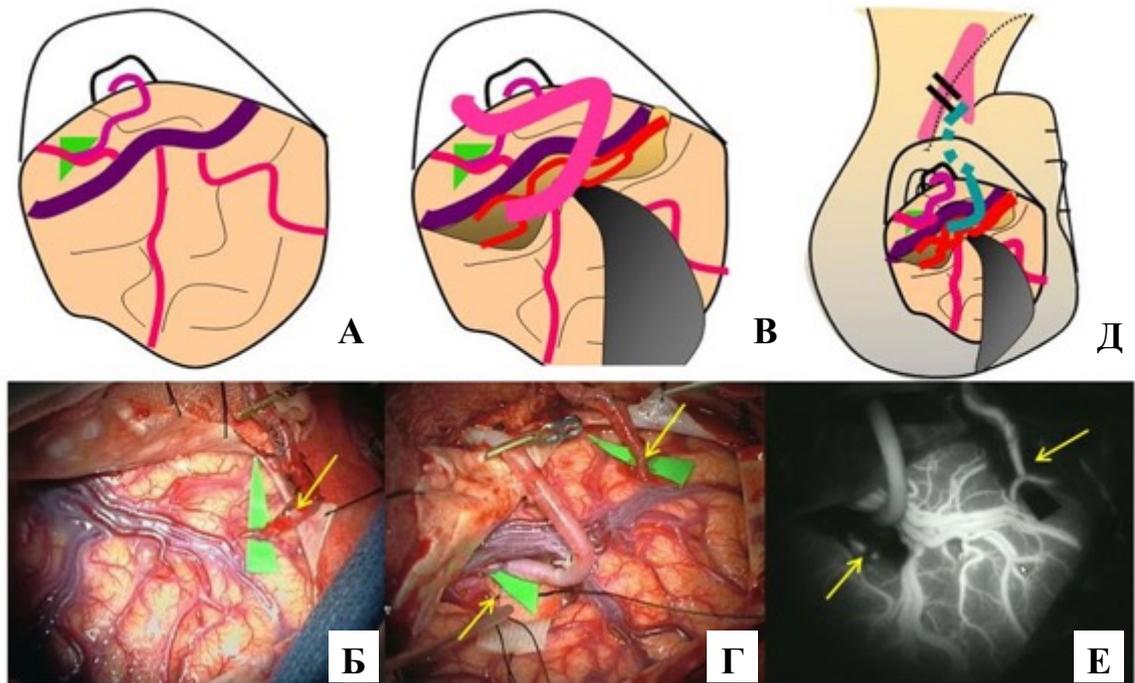


Рисунок 49 – Клинический пример технически сложной аневризмы ВСА (схема операции и интраоперационные фотографии): схемы ассистирующего шунтирования с низкой скоростью тока крови – анастомоз ПВА–СМА (А), шунтирования с высокой скоростью тока крови – анастомоз между трансплантатом лучевой артерии и М2-сегментом СМА (В), анастомоз проксимального конца трансплантата лучевой артерии и НСА (Д) и интраоперационные фотографии выполненных анастомозов (Б, Г); интраоперационная видеоангиография с индоцианин-зеленым, подтверждающая состоятельность обоих анастомозов (Е)

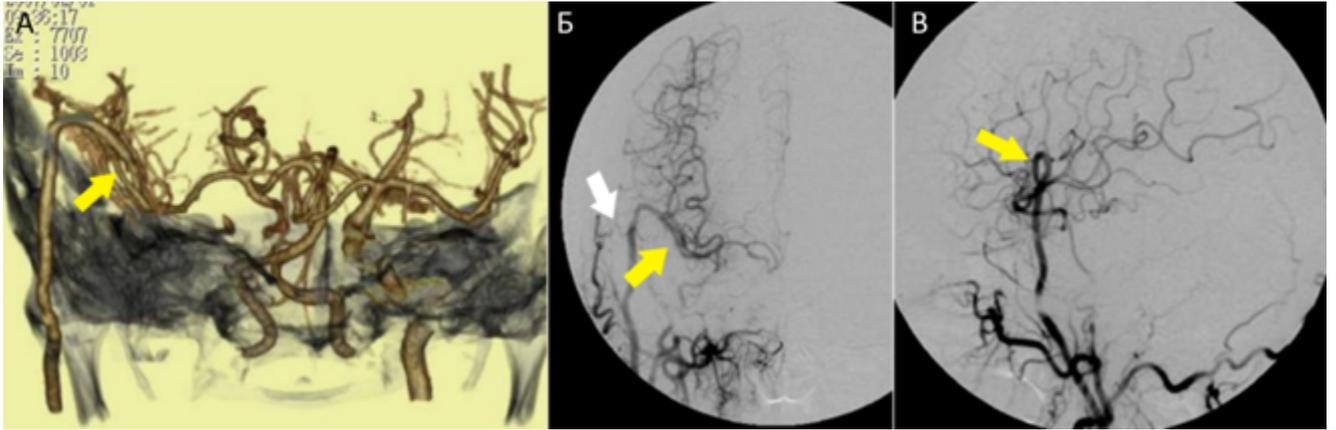


Рисунок 50 – Клинический пример технически сложной аневризмы ВСА (послеоперационное обследование): МРА-грамма показала состоятельность шунтирования (белая стрелка), отсутствие ипсилатеральной ВСА и аневризмы (А); переднезадняя (Б) и боковая (В) левосторонние каротидные ангиограммы показали эффективность проведенного треппинга аневризмы и состоятельность анастомозов между ПВА и М4-сегментом СМА (желтая стрелка) и анастомоза между трансплантатом лучевой артерии – и М2-сегментом СМА (белая стрелка)

В данном клиническом примере показаны возможности шунтирующих операций в лечении артериальных аневризм сосудов головного мозга. Пациентка перенесла преходящий левосторонний гемипарез при проведении теста временной баллон-окклюзии ВСА. В связи с этим с целью предотвращения развития ишемии во время временной окклюзии М2 сегмента вначале выполнено ассистирующее шунтирование с низкой скоростью тока крови, а затем – основное шунтирование с высокой скоростью тока крови (Рисунок 51).

Техника создания высокопроточных анастомозов может быть в полной мере отработана на экспериментальной модели, что продемонстрировано ниже. В условиях созданной реконструкции сосудов произведено выключение аневризмы из циркуляции вместе с несущей аневризму ВСА. Послеоперационное неврологическое обследование и данные нейровизуализации подтвердили правильность выбора хирургического способа треппинга и адекватность реваскуляризации в данном случае. Таким образом, технически сложные аневризмы могут быть успешно выключены из циркуляции с помощью треппинга и использования различных способов шунтирования с низкой и высокой скоростью тока крови.

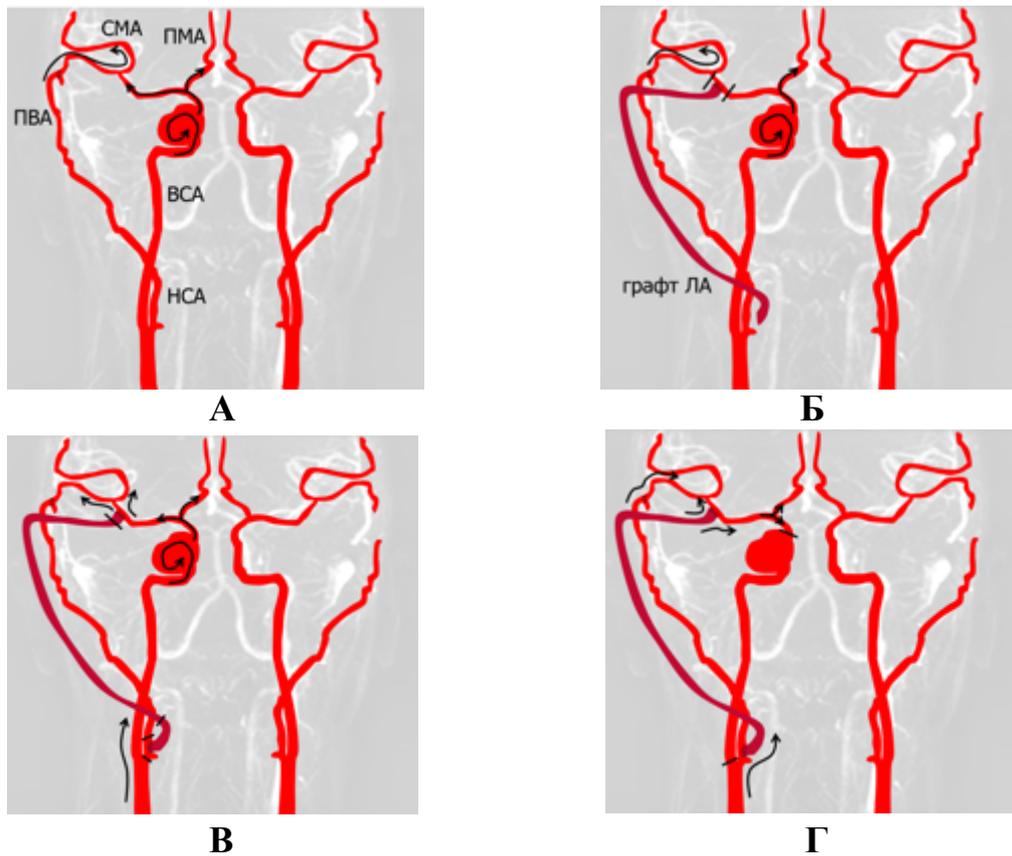


Рисунок 51 – Схема высокоскоростного ЭИК-шунтирования с assistingующим низкоскоростным анастомозом: **А** – наложение assistingующего низкоскоростного ЭИК-микроанастомоза ПВА–СМА; **Б** – наложение дистального широкопросветного анастомоза «графт ЛА–М2-сегмент СМА»; **В** – наложение проксимального широкопросветного анастомоза «НСА – графт ЛА»; **Г** – треппинг аневризмы (перевязка ВСА на шее и клипирование несущей аневризму артерии)

3.8.7. Особенности техники создания высокопроточных анастомозов

Высокопроточное шунтирование позволяет обеспечивать приток крови со скоростью до 300 мл/мин. Такое шунтирование выполняют с применением свободных сосудистых аутотрансплантатов. В качестве сосудов-доноров используют крупные стволы внечерепных сосудов. Первое широкопросветное шунтирование было выполнено без применения микроскопа и опубликовано Loughheed в 1971 г. [93, 333]. Sato описывает применение сосудистых трансплантатов из подкожной вены бедра с 1974 г. для стеноокклюзивных заболеваний, травматических окклюзий ВСА и аневризм головного мозга [253]. Iwabuchi et al. описали в 1979 г. случай лечения гигантской аневризмы ВСА с помощью треппинга ВСА и шунтирования с

использованием длинного трансплантата из подкожной вены бедра [321]. На данный момент в крупных нейрохирургических клиниках накоплено много опыта различных способов и технических нюансов выполнения широкопросветного шунтирования [195]. Последние обзоры, посвященные использованию шунтирующих операций при лечении сложных аневризм головного мозга, показывают высокую частоту состоятельности анастомозов при низком уровне неврологических осложнений и летальности [34, 58, 156, 243, 317].

На основании проведенного исследования выявлены следующие особенности техники создания высокопроточных анастомозов:

1. Предоперационное планирование. По результатам ангиографии и КТ-ангиографии оцениваются потенциальные сосуды для забора трансплантата (ПВА, ЛА), проксимального и дистального анастомозов (ветви сонных артерий, СМА) и расстояние между ними.

2. Забор трансплантата. Пациент укладывается в позицию на спине, голова фиксируется в скобе Мэйфилда (или скобе Сугита). Шея немного разогнута (на 10°), головной конец приподнят для увеличения венозного оттока. Затем голову поворачивают на 75° в сторону, противоположную стороне доступа. Если в качестве ауто трансплантата выбран ТЛА, то руку укладывают в позицию отведения на отдельный приставной столик или специальную подставку. Забор трансплантата может быть осуществлен бригадой кардиохирургов или кардиохирургических ассистентов, так как им чаще приходится выполнять подобные операции [143], либо второй бригадой нейрохирургов. Эндоскопический забор с применением эндоскопических систем «Cardio Vations», «Vasoview», «Mini Harvest» – минимально-инвазивная альтернатива традиционному способу забора ПВЛ и ЛА из длинных разрезов [122, 129].

3. Цервикотомия, доступ к бифуркации ОСА. Подготовку к доступу на шею проводят также, как при эндартерэктомии, со стороны, где будет выполняться краниотомия (Рисунок 52). Бифуркацию сонной артерии и ВСА выделяют на достаточном протяжении, чтобы была возможность наложить проксимальную и дистальную клипсы на НСА с сохранением возможности ее ротации.

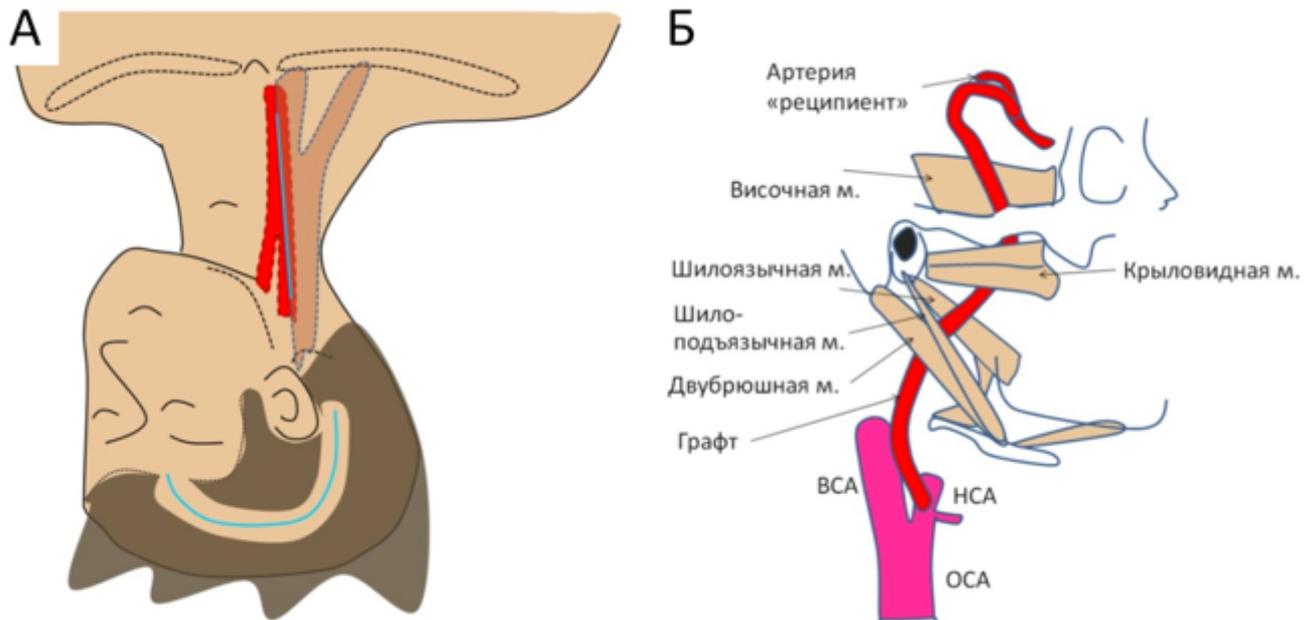


Рисунок 52 – Схема шунтирующей операции с высокой скоростью кровотока: **А** – разрез кожи для доступа к сонной артерии и выполнения лобно-височной краниотомии; **Б** – положение шунта

4. Краниотомия. Диссекцию мягких тканей проводят осторожно для сохранения ПВА, которую при необходимости использования выделяют с внутренней стороны лоскута. Поскольку высокоскоростное шунтирование применяют для реконструкции глубоко расположенных проксимальных ветвей артерий головного мозга, выбор области проведения краниотомии зависит от первичной патологии. Например, птериональная краниотомия позволяет выполнить диссекцию Сильвиевой борозды и обнажение М2-сегмента СМА [143]. Некоторые хирурги выполняют дополнительную остеотомию скуловой дуги, чтобы увеличить пространство для тоннелирования и проведения шунта.

5. Тоннелирование трансплантата. Для создания тоннеля с помощью зажимов проводится тупая подкожная диссекция со стороны краниотомии и доступа на шее, которая продолжается под скуловой дугой кзади от нижней челюсти. В сформированный тоннель проводится плевральная дренажная трубка, в которую помещают шунт [143]. После завершения дистального анастомоза временную клипсу приоткрывают, чтобы поток крови расправил шунт, затем трубку убирают. Избежать его

перекручивания по оси помогают пометки, сделанные хирургическим маркером на одной стороне обоих концов шунта.

6. Дистальный анастомоз. Выполняется первым, так как позволяет поворачивать трансплантат, облегчая наложение микроанастомоза. Для наложения анастомоза между сосудистым трансплантатом и проксимальным сегментом артерии головного мозга, например М2, используют тот же метод, что и при наложении низкоскоростных анастомозов. Однако из-за более глубокого операционного поля для этого требуются инструменты с длинными ручками, микроиглодержатель с J-образно изогнутыми кончиками и еще более точные мануальные навыки наложения анастомоза. Для создания операционного коридора используют систему фиксации шпателей, хотя в последнее время в нейрохирургии прослеживается тенденция к работе без использования самоудерживающихся ретракторов.

7. Проксимальный анастомоз. Наложение анастомоза по типу «конец в конец» (трансплантат – НСА) показано при выполнении одинарного высокоскоростного шунтирования. Если размеры артерии-донора и артерии-реципиента не совпадают, устье шунта немного расширяют, используя раскройку по типу «рыбий рот». Для сшивания проксимального анастомоза используются нить Пролен 7-0.

Анастомоз по типу «конец-в-бок» (трансплантат–НСА) выполняют как для одиночного высокоскоростного, так и для комбинированного высокоскоростного и низкоскоростного шунтирования (НСА–ЛА-СМА и ПВА–СМА) за счет сохранения кровотока по ветвям НСА со стороны доступа, в том числе и ПВА. В связи с этим считается, что анастомоз «конец-в-бок» предпочтительнее, поскольку позволяет сохранить кровоток в бассейне НСА и ПВА. В отдельных клинических ситуациях возможно наложение анастомоза в конец НСА, конец ВСА, а также в бок ВСА и ОСА.

8. Лигирование ВСА. ВСА должна быть лигирована на уровне бифуркации с НСА. Оставленная культя ВСА может служить потенциальным источником эмболов.

9. Подтверждение состоятельности и закрытие раны производятся также, как при создании анастомозов с низкой скоростью кровотока.

Для предотвращения развития ишемии во время временной окклюзии М2-сегмента может быть выполнено превентивное ассистирующее низкопроточное шунтирование, а затем – основное шунтирование с высокой скоростью тока крови [13, 14]. После этого в условиях проведенной реконструкции может быть выполнен основной этап операции – выключение аневризмы из циркуляции путем лигирования ВСА.

3.8.8. Экспериментальная модель высокопроточного шунтирования при выключении технически сложной аневризмы из кровотока

Техника операции по созданию высокопроточного шунтирования воспроизведена на экспериментальной модели аневризмы на плаценте человека. Дополнительно использованы выделенные сосуды плаценты коровы для моделирования бифуркации сонной артерии и сосудистого трансплантата – ЛА.

Проведено сравнение диаметра и толщины стенки бифуркаций ($n = 36$), выделенных из сосудов плаценты коровы, с таковыми сонных артерий человека. Установлено, что вены плаценты коровы и сонные артерии человека имели сходные диаметр и толщину стенок (Рисунок 53).

Данные о толщине стенки и диаметре сонных артерий человека приведены из публикации A.V. Kamenskiy et al. [215]. Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют об адекватности экспериментальной модели бифуркации сонных артерий

Общий вид рабочего места при моделировании высокопроточного шунтирования представлен на рисунке 54. На плаценте человека произведено разделение смоделированной сельвиевой щели, выделен сосуд (СМА), установлены шпатели. Рядом расположена биологическая модель бифуркации сонных артерий. Все артерии подключены к постоянной инфузии подкрашенного физиологического раствора под давлением 120 мм рт. ст.

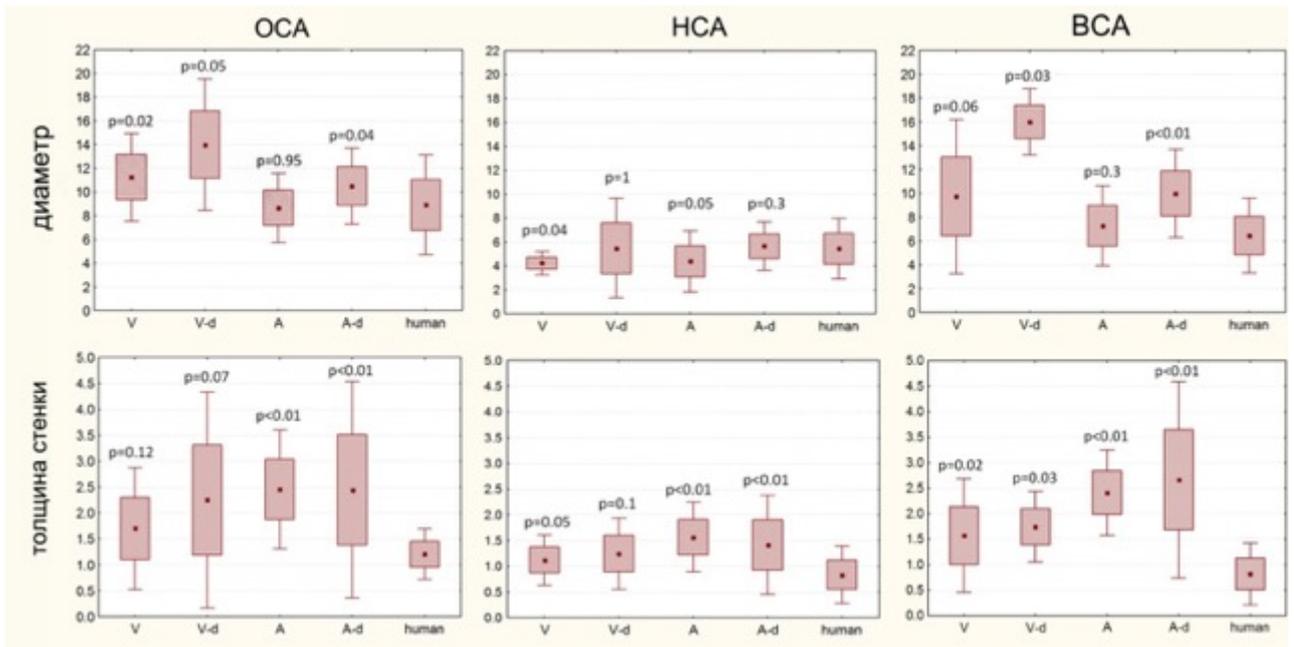


Рисунок 53 – Сравнение диаметра и толщины стенки (мм) биологической модели бифуркации сонной артерии (OCA, HCA, BCA) на сосудах плаценты коровы (*V* – вена, *V-d* – дилатированная под давлением вена, *A* – артерия, *A-d* – дилатированная под давлением артерия) с соответствующими сосудами человека (*p* указан по отношению к соответствующим значениям на сонной артерии человека)

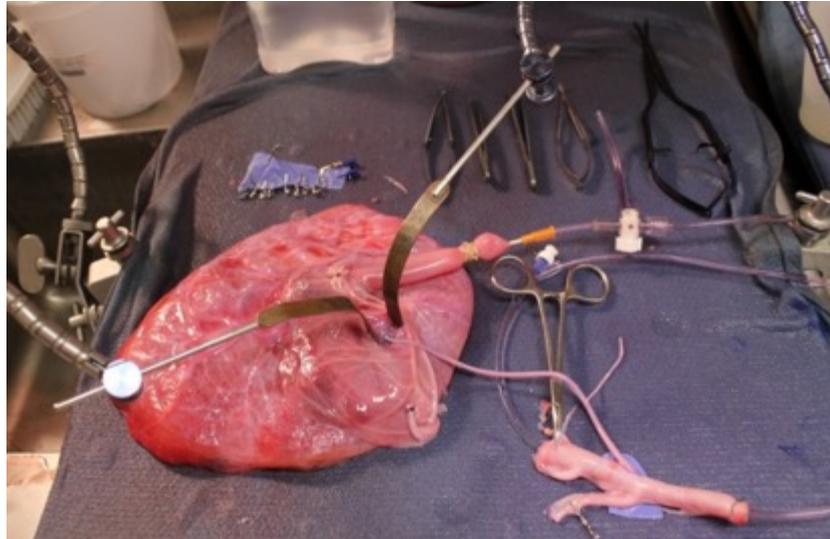


Рисунок 54 – Общий вид рабочего места при моделировании высокопроточного шунтирования: справа внизу фрагмент артерии плаценты коровы, моделирующей бифуркацию сонной артерии (OCA), виден сосудистый трансплантат (артерия плаценты коровы), соединяющий посредством анастомозов «конец-в-бок» СМА и ОСА

Сначала накладывается сосудистый микроанастомоз между сосудистым трансплантатом и ветвью артерии плодной поверхности плаценты II порядка диаметром 2–3 мм (Рисунок 55). Затем на шунт накладывают временную клипсу и приступают к созданию проксимального анастомоза.



Рисунок 55 – Анастомоз между сосудистым трансплантатом и дистальным фрагментом несущего аневризму сосуда на плаценте: **А** – аневризма выключена из кровотока методом треппинга с перекрытием кровотока по несущей артерии; **Б** – интраоперационное фото анастомоза между сосудистым трансплантатом и СМА

В области крупной артериальной бифуркации накладывают временные клипсы и производят анастомоз по типу «конец трансплантата в бок крупной артерии», моделирующей НСА или ОСА. Особенности данного этапа экспериментального моделирования являются большая толщина стенки сосудов и отработка последовательности снятия временных клипс перед затягиванием последнего шва. Первой приоткрывается клипса с шунта, вымываются тромбы и пузырьки воздуха, затем дистальная клипса, затем проксимальная. После завязывания последнего узла анастомоза клипсы снимаются в той же последовательности (Рисунок 56).

Таким образом, на основании исследования сосудистых шунтирующих операций выявлены и описаны особенности техники низко- и высокопроточных анастомозов для адаптации к разрабатываемым экспериментальным моделям, представлены экспериментальные модели для нейрохирургического тренинга и непосредственные клинические примеры их выполнения. Предложен способ наложения

микроанастомоза по типу «конец-в-бок», позволяющий повысить качество операции и сократить затрачиваемое время. При операции наложения высокопроточного шунтирования у пациентов с технически сложными аневризмами СМА для предотвращения ишемии во время временной окклюзии церебральной артерии-реципиента возможно наложение ассистирующего низкоскоростного шунтирования между поверхностной височной и корковой ветвями СМА.



А

Б

Рисунок 56 – Анастомоз «конец-в-бок»: **А** – между сосудистым трансплантатом и ОСА; **Б** – интраоперационное фото анастомоза между сосудистым трансплантатом и ВСА (артерии выделены красным, анастомоз указан стрелкой)

Предложенный алгоритм нейрохирургического обучения, постоянно реализуемый в специализированной экспериментальной лаборатории, позволяет стабильно поддерживать высокий уровень нейрохирургических навыков клипирования аневризм и наложения сосудистых микроанастомозов.

3.8.9. Алгоритм нейрохирургического тренинга

В основу организации современных нейрохирургических экспериментальных и симуляционных лабораторий в большинстве развитых стран положено согласие этического комитета больницы и/или университета. Лаборатория возглавляется квалифицированным хирургом (нейрохирургом), имеющим микронеурхирургический опыт и стаж работы, ее деятельность координируется нейрохирургическим отделением больницы или кафедрой нейрохирургии университета. Одной из существенных особенностей организации является предоставление свободного доступа другим клиническим или образовательным учреждениям для проведения

тренинга. При этом устанавливается круглосуточный график работы (включая выходные дни), что позволяет более гибко сочетать обучающий курс среди различных специалистов и оптимизировать использование микроскопов [13].

На основании результатов данного исследования и опыта, полученного при стажировках в микронеурохирургических лабораториях, разработаны основные составляющие для успешного освоения и совершенствования микронеурохирургической техники.

Предложен алгоритм нейрохирургического обучения, который включает в себя следующие компоненты: «сухой» постоянный тренинг для освоения основных навыков и их поддержания, работа в условиях лаборатории на биологической модели формирования аневризмы и наложения сосудистого микроанастомоза (Рисунок 57).



Рисунок 57 – Алгоритм нейрохирургического тренинга

В условиях лаборатории может проводиться периодический кадаверный курс и располагаться компьютерные тренажеры. Реальный нейрохирургический опыт, получаемый в операционной, должен поддерживаться анатомическими знаниями, полученными на кадаверных курсах. Выполнение микрососудистых нейрохирургических вмешательств должно сочетаться с постоянным микрохирургическим тренингом для поддержания навыков, особенно когда такие операции выполняются нерегулярно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В мета-анализ открытого выключения ЦА вошли данные восьми клинических серий [1, 2, 23, 24, 165, 221, 296, 313, 315]. Установлено, что вмешательства на аневризмах, локализованных на СМА, выполнялись в среднем в 25,43 % ($n = 1336$) случаев от всех вмешательств по поводу ЦА. При этом предпочтение отдавалось микрохирургическому методу лечения. В анализ включены только те исследования, где были доступны эндоваскулярный и микрохирургический методы лечения. Показано, что аневризмы СМА подавляющего большинства ($n = 1239$) пациентов подвергались открытому клипированию – 90 % (95%-й ДИ = 82–98). Изменение подходов к лечению в пользу эндоваскулярного метода в меньшей мере распространяется на аневризмы СМА. Кроме того, именно сложные аневризмы данной локализации зачастую требуют сосудистых шунтирующих операций, что еще раз подтверждает необходимость микрохирургического тренинга для их лечения. То, что выбор способа лечения ЦА зависит от индивидуальных анатомических особенностей и клинического состояния пациента в условиях конкуренции с более дорогой опцией эндоваскулярного вмешательства, означает лишь то, что микрохирургическая техника таких операций должна быть отработана до высокого уровня, что требует концентрации пациентов в специализированных центрах и практики на кадаверных и симуляционных моделях [209]. Данный вывод согласуется с мнением, что в настоящее время хирургическое лечение должно оставаться методом выбора для аневризм СМА [101, 105]. Дальнейшее развитие эндоваскулярных технологий лечения ЦА будет требовать проведения новых исследований для оценки их эффективности по сравнению с открытыми вмешательствами.

В качестве экспериментальной модели артериальных аневризм и наложения сосудистых микроанастомозов для улучшения техники и результатов хирургического лечения пациентов с цереброваскулярными заболеваниями нами предложена плацента человека.

При изучении анатомии артериальной сети плодной поверхности плаценты человека ($n = 40$) установлено, что по критериям протяженности сегмента и калибра ее сосуда подходят для создания экспериментальных моделей артериальной аневризмы СМА и наложения сосудистого микроанастомоза. Средняя длина артериальной ветви плаценты I порядка составляет $28,8 \pm 9,9$ мм, калибр – $6,5 \pm 1,4$ (3,00–9,00) мм; II порядка – $35,9 \pm 15,3$ мм, калибр – $3,4 \pm 0,7$ (2,00–5,00) мм; III порядка – $29,9 \pm 10,0$ мм, калибр – $1,7 \pm 0,4$ (0,80–3,00) мм. Средняя длина M1-сегмента СМА до бифуркации – 17,8 (10–29) мм, общая длина – 10–29 мм, калибр – 2,7–4,9 мм; калибр M4-сегмента – 0,8–1,5 мм.

При сравнении толщины меди артерий плодной поверхности плаценты установлено, что размах значений составляет от 40 до 120 мкм в дистальных артериальных ветвях диаметром 0,8–2 мм, до 230–380 мкм – в артериальных ветвях плодной поверхности плаценты II порядка диаметром 3–4 мм. Высокая степень вариативности значений толщины стенки артерий плаценты не позволяет сделать заключение о статистической значимости различий с толщиной стенки церебральных артерий ($p > 0,05$). Таким образом, сравнивая диапазоны максимальных и минимальных значений, можно выявить отсутствие значимых различий толщины стенки артерий плаценты с толщиной стенки M1-сегмента – 160–350 мкм и M4-сегмента СМА – 40–100 мкм соответственно.

При анализе количества ретикулиновых волокон меди на поперечном срезе церебральных артерий определена прямая положительная корреляция с толщиной слоя ($r_s = 0,54$; $p < 0,05$) и порядковым номером сегмента церебральной артерии. Относительная плотность ретикулиновых волокон в средней оболочке меди находится в пределах от 2 до 9 волокон на 20 мкм, при этом в некоторых артериях определяется увеличение их плотности в направлении к более дистальным сегментам, что может быть связано с изменением типа артерии на мышечный. Сосуды с более развитыми эластическими свойствами, такие как ПВА, ЛА и ВСА, имеют значительно меньший показатель плотности ретикулиновых волокон. При анализе гистологических срезов артерий плодной поверхности плаценты выявлено схожее

с мозговыми артериями строение меди, имеющей выраженный рыхлый ретикулиновый каркас и гладкомышечные клетки. Несмотря на выявленные различия в толщине меди и отсутствие внутренней эластической мембраны, установлено сходство артерий плаценты человека и церебральных артерий, объективно достаточное для разработки экспериментальной модели артериальных аневризм и наложения сосудистых микроанастомозов.

Предложен способ моделирования артериальной аневризмы, заключающийся в ремоделировании стенки сосуда дистальной области бифуркации артерии плодной поверхности плаценты человека с использованием баллон-катетера, который позволяет получить аневризмы с широкой (диаметр шейки – 10 (10;10) мм, купола – 3 (2; 4) мм) и узкой (диаметр шейки – 2 (1,5; 4) мм, купола – 10 (7; 15) мм) шейками. Модель артериальной аневризмы была успешно выполнена на всех полученных плацентах человека. Для диссекции плаценты требовалось в среднем 20 мин, при этом на катетеризацию сосудов и формирование аневризмы – 10 мин. Для ремоделирования стенки сосуда и формирования расширения после декомпрессии баллона необходимо 6 ч. Дополнительно около 20 мин требовалось на лигирование сосуда для создания аневризмы с узкой шейкой. Гистологическое исследование сформированных аневризм выявило характерные признаки аневризматического расширения сосуда в виде истончения всех слоев его стенки. Внутренняя эластическая мембрана, как и в церебральных аневризмах, отсутствует.

Особенности микрохирургии аневризм СМА включают в себя острую диссекцию арахноидальных сращений микроножницами в различных направлениях для разделения силвиевой щели. Обязательным этапом является выделение несущей аневризму артерии и выходящих ветвей для обеспечения возможности временного клипирования. В случае разрыва аневризмы необходима особая слаженная работа аспиратором и клипсодержателем. Разрыв аневризмы влияет на психологическое состояние нейрохирурга, поэтому отработка действий в случае массивного кровотечения, а также мероприятий по его остановке и профилактике может явиться важным моментом симуляционного обучения с использованием экспериментальной модели артериальных аневризм. Адекватная биологическая модель

(плацента человека) позволила адаптировать особенности техники клипирования аневризмы СМА. С высокой степенью схожести моделируется разделение сильвиевой щели, выделение аневризмы путем острой арахноидальной диссекции микроножницами, гемостаз и клипирование неразорвавшихся и разорвавшихся артериальных аневризм на плаценте человека. Предложенная экспериментальная модель позволяет совершенствовать различные способы наложения микроклипс: простое клипирование, метод перекрещивающихся клипс, метод параллельного наложения клипс, метод наложения клипс друг на друга, метод тандемного клипирования, метод тандемного клипирования изогнутыми клипсами, метод создания фенестрированного тоннеля, метод укрепления стенки и др. Перспективным направлением дальнейшей разработки темы является использование предложенной модели в эндоваскулярной хирургии для обучения и исследования новых технологических решений закрытия ЦА.

При определении очевидной и содержательной валидности предложенной экспериментальной модели артериальной аневризмы 100 % ($n = 27$) респондентов, в числе которых 10 (37 %) практикующих нейрохирургов, 7 (26 %) старших ординаторов, 10 (37 %) ординаторов первых лет обучения и студентов, оценили реалистичность экспериментальной модели от «средне» до «очень хорошо», 89 % ($n = 24$) отметили схожесть сложности выполнения задания по сравнению с реальной операцией клипирования ЦА. Группа практикующих нейрохирургов была представлена специалистами из России ($n = 6$) и США ($n = 4$), средний возраст – $39,6 \pm 6,2$ года, нейрохирургический стаж – $12,1 \pm 5,5$ года, 66 % имеют высшую или первую квалификационную категорию, опыт клипирования аневризм составляет в среднем 387 (10–1800) случаев.

Разработана оригинальная шкала объективной структурированной оценки навыков клипирования аневризмы (ОСАНКА) с интервалом значений от 9 до 45 баллов. Установлена ее статистически значимая надежность: коэффициент согласия для каждого наблюдателя и стандарта – 90 % (95%-й ДИ = 73–97), капта-коэффициент Коэна – $0,85 \pm 0,12$ ($p < 0,001$), коэффициент согласия между наблюдателями – 86 % (95%-й ДИ = 69–96), капта-коэффициент Коэна – $0,8 \pm 0,13$

($p < 0,001$). Доказана состоятельность классификации уровня владения хирургическими навыками выделения и клипирования аневризмы на «начальный» (от 0 до 28 баллов), «продвинутый» (от 29 до 39 баллов) и «отличный» (от 40 до 45 баллов). Статистически значимые различия ($p_{K-W} < 0,001$) при сравнительном квалитетическом межгрупповом анализе по шкале ОСАНКА доказывают конструктивную валидность шкалы и модели артериальной аневризмы на сосудах плаценты человека.

На основании детального исследования сосудистых шунтирующих операций выявлены и описаны особенности техники наложения низкопроточных и высокопроточных анастомозов для адаптации к разрабатываемым экспериментальным моделям. Разработан способ наложения сосудистого микроанастомоза по типу «конец-в-бок», отличающийся тем, что перед сшиванием стенки сосудов окрашивают метиленовым синим, после чего конец сосуда-донора фиксируют к сосуду-реципиенту двумя одиночными швами, расположенными напротив друг друга, затем от одного одиночного шва до другого накладывают непрерывный шов с ослабленными петлями, после чего петли разрезают и концы каждой петли связывают. Далее аналогичным образом накладывают швы на противоположную сторону анастомоза. Предложенный способ позволяет упростить процесс формирования микроанастомоза на церебральных сосудах, ускорить время его наложения (получен Патент на изобретение № 2533030 от 20.11.2014 г.). Выполнение сосудистых микроанастомозов на экспериментальных моделях также позволило отработать технику выделения ПВА и СМА.

Для модели микроанастомоза на сосудах плодной поверхности плаценты человека установлены высокие значения очевидной и содержательной валидности: 93 % ($n = 27$) респондентов высказались о том, что реалистичность модели является «высокой» и «очень высокой». Оценивая возможность улучшения навыков микродиссекции, обращения с микроинструментами и микрохирургическую технику в реальной операции в целом, 100 % респондентов ($n = 30$) ответили положительно и абсолютно положительно. Статистически значимые различия межгруппового анализа уровня мануальных навыков наложения микроанастомоза по шкале СООМ

($p < 0,001$) показывают конструктивную валидность шкалы СООМ и моделей сосудистых микроанастомозов на плаценте человека. При анализе логистической регрессии показано, что классифицировать выполнение навыка микроанастомоза как «хорошее» следует при оценке по шкале СООМ более 50 баллов.

При проспективном анализе уровня мануальных микронейрохирургических навыков на протяжении длительного периода установлено, что среднее время выполнения анастомоза и среднее общее время на выполнение задания статистически значимо возросло (до 77 мин) у прервавших тренинг респондентов, по сравнению с результатами, показанными по окончании интенсивного курса тренинга – 52 мин ($p < 0,01$) и при постоянном регулярном тренинге (42 мин) ($p < 0,001$). Выявлено, что постоянная тренировка части сложного нейрохирургического навыка способна позитивно сказаться на времени выполнения микроанастомоза, по сравнению с редким интенсивным тренингом. После одного месяца регулярного обучения время наложения анастомоза и выполнения всех упражнений «сухого» тренинга статистически значимо снизилось с 2 ч и 113 (110; 120) мин до 1 ч и 28 (20; 31) мин соответственно ($p < 0,001$).

В результате проведенных исследований выявлены и описаны особенности нейрохирургической техники клипирования аневризм СМА, низкопроточных и высокопроточных сосудистых шунтирующих операций. С помощью мета-анализа доказана актуальность разработки экспериментальных моделей для симуляционного тренинга хирургии аневризм СМА. Предложены экспериментальные модели «сухого» тренинга, а также формирования артериальной аневризмы и наложения микроанастомозов на сосудах плаценты человека. Доказана анатомическая и гистологическая схожесть последних с СМА человека. Технические особенности хирургической техники адаптированы к разрабатываемым экспериментальным моделям. В ходе практического нейрохирургического тренинга, анкетирования и шкальной оценки ответов респондентов доказано высокое значение валидности данных экспериментальных моделей. Также предложены оригинальные шкалы для квалитетрического анализа с высокой степенью надежности и валидностью, которые позволили дифференцировать уровень нейрохирургических навыков. Экспериментально

доказано, что постоянная тренировка части сложного нейрохирургического навыка позитивно сказывается на времени и качестве выполнения микроанастомоза по сравнению с редким интенсивным тренингом. Этот фактор является одним из важнейших в определении качества проведенного вмешательства, так как длительная процедура наложения микроанастомоза ведет к повышенному риску тромбоза и ишемии в дистальном отделе сосуда. Кроме этого, предложен алгоритм нейрохирургического тренинга, постоянно реализуемый в специализированной симуляционной лаборатории, дающий возможность стабильно поддерживать высокий уровень хирургических навыков клипирования аневризм и наложения сосудистых микроанастомозов, что подтверждено клинической практикой.

ВЫВОДЫ

1. Предложенные экспериментальные модели артериальных аневризм и сосудистых микроанастомозов с использованием плаценты человека обладают анатомическими и гистологическими соответствиями со средней мозговой артерией по длине артериального сегмента, калибру и толщине стенки.

2. Адаптированные базовые приемы микрохирургической техники (завязывания/развязывания узла, микродиссекции, наложения артериальных клипс для выключения аневризм из кровотока, а также техники наложения сосудистых микроанастомозов) позволяют осуществлять их дальнейшее совершенствование на экспериментальных моделях.

3. Способ моделирования артериальных аневризм, включающий ремоделирование стенки сосуда в области бифуркации артерии плодной поверхности плаценты человека с использованием баллон-катетера, позволяет получить аневризмы с широкой и узкой шейками, объективно симулирующие артериальную аневризму головного мозга человека.

4. Разработанный способ наложения сосудистых микроанастомозов по типу «конец-в-бок» позволяет упростить процесс выполнения, повысить их качество, снизить затрачиваемое время и добиться отличных результатов операций с наложением микроанастомозов на церебральных сосудах.

5. Разработанная квалиметрическая шкала «Объективная структурированная оценка навыков клипирования аневризмы» (ОСАНКА), позволяет градировать степень владения нейрохирургическими навыками выделения и клипирования аневризм на начальный, продвинутый и отличный; шкала «Северо-Западный объективный инструмент оценки микроанастомоза» (СООМ) позволяет объективно оценивать навык наложения микроанастомозов на церебральных сосудах. Обе шкалы обладают высокой валидностью и надежностью.

6. Алгоритм нейрохирургического обучения, постоянно реализуемый в специализированной симуляционной нейрохирургической лаборатории, позволяет стабильно поддерживать высокий уровень реализации нейрохирургических навыков клипирования аневризм и наложения сосудистых микроанастомозов.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Нейрохирургические навыки выполнения операций выделения и клипирования артериальной аневризмы и сосудистых микроанастомозов следует регулярно поддерживать и совершенствовать на экспериментальных моделях артериальных аневризм и сосудистых микроанастомозов.

2. Оценку эффективности владения нейрохирургическими навыками выделения и клипирования аневризм, а также наложения сосудистых микроанастомозов следует проводить с использованием квалиметрических шкал «Объективная структурированная оценка навыков клипирования аневризмы» (ОСАНКА) (начальный уровень – от 0 до 28 баллов, продвинутый – от 29 до 39 баллов, отличный – от 40 до 45 баллов) и «Северо-Западный объективный инструмент оценки микроанастомоза» СООМ (хороший уровень – более 50 баллов).

3. Для повышения качества сосудистого микроанастомоза по типу «конец-в-бок» и снижения затрачиваемого времени следует предварительно окрашивать стенку сшиваемых сосудов метиленовым синим, фиксировать концы сосуда-донора к сосуду-реципиенту двумя одиночными швами, располагающимися напротив друг друга, затем накладывать непрерывный шов с ослабленными петлями от одного одиночного шва к другому, с последующим разрезанием петель и завязыванием одиночных швов.

4. Алгоритм нейрохирургического обучения может быть внедрен в повседневную работу сосудистого нейрохирургического отделения.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

| | |
|-------|--|
| ВББ | – вертебробазилярный бассейн |
| ВМА | – верхняя мозжечковая артерия |
| ВСА | – внутренняя сонная артерия |
| ЗА | – затылочная артерия |
| ЗМА | – задняя мозговая артерия |
| ЗНМА | – задняя нижняя мозжечковая артерия |
| ЗСА | – задняя соединительная артерия |
| КТА | – компьютерная томографическая ангиография (ангиограмма) |
| КТ | – компьютерная томография (томограмма) |
| ЛА | – лучевая артерия |
| МРА | – магнитно-резонансная ангиография (ангиограмма) |
| МРТ | – магнитно-резонансная томография (томограмма) |
| НСА | – наружная сонная артерия |
| ОКМ | – объемный кровоток головного мозга |
| ОСА | – общая сонная артерия |
| ОФЭКТ | – однофотонная эмиссионная компьютерная томография |
| ПА | – позвоночная артерия |
| ПВА | – поверхностная височная артерия |
| ПВБ | – подкожная вена бедра |
| ПМА | – передняя мозговая артерия |
| ПСА | – передняя соединительная артерия |
| ПЭТ | – позитронно-эмиссионная томография (томограмма) |
| САК | – субарахноидальное кровоизлияние |
| СМА | – средняя мозговая артерия |
| СОА | – средняя оболочечная артерия |
| ТИА | – транзиторная ишемическая атака |
| ТЛА | – трансплантат из лучевой артерии |
| ТМО | – твердая мозговая оболочка |
| ТПВ | – трансплантат из подкожной вены бедра |
| ФЭК | – фракция экстракции кислорода |
| ЦА | – церебральная аневризма |
| ЦСА | – цифровая субтракционная ангиография (ангиограмма) |
| ЭИК | – экстра-интракраниальный (краниальное) |
| А1–А3 | – сегменты ПМА |
| М1–М4 | – сегменты СМА |

P1–P4 – сегменты ЗМА
V1–V4 – сегменты ПА

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритм хирургического лечения пациентов в остром периоде аневризматического кровоизлияния / Д. В. Свистов, О. А. Павлов, А. И. Никитин, Д. В. Кандыба и др. // Вестн. рос. воен.-мед. акад. – 2012. – № 1. – С. 53–57.
2. Анализ осложнений хирургического лечения аневризм головного мозга у больных, оперированных в отдаленном постгеморрагическом периоде / Ю. В. Пилипенко, Ш. Ш. Элиава, С. Б. Яковлев, О. Б. Белоусова и др. // Вопр. нейрохир. им. Н.Н. Бурденко. – 2014. – № 2. – С. 32–38.
3. Беков, Д. Б. Индивидуальная анатомическая изменчивость артерий плодной поверхности плаценты человека / Д. Б. Беков // Арх. анат., гистол. и эмбриол. – 1990. – Т. 98, № 2. – С. 32–43.
4. Беков, Д. Б. Номенклатура сосудов хориона зрелой плаценты человека / Д. Б. Беков // Арх. анат., гистол. и эмбриол. – 1991. – Т. 100, № 6. – С. 96–102.
5. Болезнь мойя-мойя (Nishimoto – Takeuchi – Kudo) / В. А. Бывальцев, Й. Сузуки, Н. Хашимото, В. А. Сороковиков и др. // Практ. неврол. и нейрореабил. – 2008. – № 4. – С. 11–15.
6. Бывальцев, В. А. Болезнь мойя-мойя / В. А. Бывальцев, В. А. Сороковиков, Й. Сузуки. – Иркутск: НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2008. – 132 с.
7. Бывальцев, В. А. Болезнь Nishimoto – Takeuchi – Kudo: особенности этиопатогенеза и клинико-диагностические критерии / В. А. Бывальцев, Й. Сузуки, Э. Е. Сатардинова // Практ. неврол. и нейрореабил. – 2008. – № 3. – С. 16–20.
8. Бывальцев, В. А. Естественное течение и риск разрыва аневризм сосудов головного мозга / В. А. Бывальцев, В. А. Сороковиков // Клин. неврол. – 2010. – № 1. – С. 32–35.
9. Бывальцев, В. А. Использование шкал и анкет в вертебродологии / В. А. Бывальцев, Е. Г. Белых, В. А. Сороковиков // Журн. неврол. и психиат. им. С. С. Корсакова. – 2011. – № 9. – С. 51–56.
10. Бывальцев, В. А. К вопросу о болезни мойя-мойя (Nishimoto – Takeuchi – Kudo) / В. А. Бывальцев, Й. Сузуки, Н. Хашимото // Неврол. журн. – 2009. – № 1. – С. 4–11.

11. Бывальцев, В. А. К вопросу о хирургических методах лечения болезни Nishimoto – Takeuchi – Kudo (мойя-мойя) / В. А. Бывальцев, Н. Хашимото, Е. Г. Белых // Клин. неврол. – 2008. – № 4. – С. 18–21.
12. Бывальцев, В. А. Комбинированное лечение болезни мойя-мойя с использованием прямого анастомоза и реваскуляризации – опыт 225 операций / В. А. Бывальцев, Й. Сузуки // Вопр. нейрохир. им. Н.Н. Бурденко. – 2007. – № 3. – С. 11–16.
13. Бывальцев, В. А. Микрохирургический тренинг в нейрохирургии / В. А. Бывальцев, В. А. Сороковиков, Е. Г. Белых. – Иркутск : НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2013. – 144 с.
14. Бывальцев, В. А. Превентивная реваскуляризация для профилактики ишемических и геморрагических инсультов : дис. ... д-ра мед. наук : 14.01.17 / Бывальцев Вадим Анатольевич. – М., 2010. – 184 с.
15. Бывальцев, В. А. Хирургическое лечение болезни мойя-мойя / В. А. Бывальцев, Й. Сузуки, Э. Е. Сатардинова // Клин. неврол. – 2008. – № 3. – С. 31–34.
16. Бывальцев, В. А. Эндоскопическая поддержка при микронейрохирургическом клипировании аневризм сосудов головного мозга с высоким риском разрыва / В. А. Бывальцев, Х. Сано // Эндоскоп. хир. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 3–12.
17. Виленский, Б. С. Современная тактика борьбы с инсультом / Б. С. Виленский. – СПб. : ООО «Издательство ФОЛИАНТ», 2005. – 288 с.
18. Гайворонский, А. И. Сравнительная оценка и анатомо-экспериментальные обоснования эндовидеохирургических трансклиальных доступов : дис. ... д-ра мед. наук : 14.01.18 / Гайворонский Алексей Иванович. – СПб., 2012. – 406 с.
19. Еремченко, Е. Н. Неогеография и Situational Awareness / Е. Н. Еремченко // Неогеография XXI – 2009 : материалы конференции Международного Форума «Высокие технологии XXI века». – М., 2009. – С. 434–436.
20. Значение внутрисосудистого метода в лечении пациентов с аневризматической болезнью головного мозга / Д. В. Свистов, О. А. Павлов, Д. В. Кандыба, А. И. Никитин и др. // Нейрохирургия. – 2011. – № 1. – С. 21–28.
21. Комлев, Н. Г. Словарь иностранных слов / Н. Г. Комлев. – М. : ЭКСМО-Пресс, 2000. – 1308 с.

22. Крылов, В. В. Факторы риска хирургического лечения аневризм средней мозговой артерии в остром периоде кровоизлияний / В. В. Крылов, А. В. Природов // *Нейрохирургия*. – 2011. – № 1. – С. 31–41.
23. Крылов, В. В. Хирургия аневризм головного мозга / под ред. В. В. Крылова. – М., 2011. – Т. I. – 432 с.
24. Крылов, В. В. Хирургия аневризм головного мозга / под ред. В. В. Крылова. – М., 2012. – Т. III. – 432 с.
25. Лебедев, В. В. Неотложная нейрохирургия: Руководство для врачей / В. В. Лебедев, В. В. Крылов. – М., 2000. – 568 с.
26. Неразорвавшиеся артериальные аневризмы головного мозга / В. А. Бывальцев, В. А. Сороковиков, Е. Г. Белых, П. Ж. Барадиева, А. Л. Кривошапкин // *Клин. неврол.* – 2010. – № 1. – С. 36–39.
27. Нетравматические внутричерепные кровоизлияния в Ханты-Мансийском автономном округе: заболеваемость, смертность, структура, факторы риска / И. А. Лебедев, С. А. Акинина, Л. И. Анищенко, Н. Е. Иванова и др. // *Вестн. Северо-Зап. гос. мед. ун-та им. И. И. Мечникова*. – 2011. – Т. 3, № 3. – С. 74–81.
28. Обоснование дифференцированной тактики ведения больных с множественными аневризмами / А. С. Хейреддин, Ю. М. Филатов, О. Б. Белоусова, Ш. Ш. Элиава и др. // *Вопр. нейрохир. им. Н. Н. Бурденко*. – 2012. – № 3. – С. 45–53.
29. Осложнения при эндоваскулярной окклюзии аневризм головного мозга в остром и холодном периодах субарахноидальных кровоизлияний / М. Ю. Володюхин, А. Г. Алексеев, В. И. Данилов, Р. А. Быков и др. // *Нейрохирургия*. – 2013. – № 4. – С. 53–57.
30. Пивченко, П. Г. Особенности сосудов артериального круга большого мозга человека при различной форме черепа / П. Г. Пивченко, Н. А. Трушель // *Морфология*. – 2010. – № 2. – С. 31–34.
31. Пилипенко, Ю. В. Аневризмы головного мозга у детей : дис. ... канд. мед. наук : 14.01.18, 14.01.11 / Пилипенко Юрий Викторович. – М., 2011. – 118 с.

32. Полунина, Н. А. Диагностика и хирургическое лечение больных с гигантскими аневризмами сосудов головного мозга : дис. ... канд. мед. наук : 14.01.18 / Полунина Наталья Алексеевна. – М., 2012. – 174 с.
33. Применение технологий виртуального образования в системе послевузовского и дополнительного обучения врачей / С. П. Миронов, А. Т. Арутюнов, А. М. Мкртумян, П. С. Турзин // Кремлевская медицина. Клин. вестн. – 2010. – № 1. – С. 83–86.
34. Принципы реваскуляризации в лечении гигантских интракраниальных аневризм / М. Корья, К. Рамсей, М. Ниемея, Л. Кивипелто и др. // Вопр. нейрохир. – 2012. – № 2. – С. 65–69.
35. Разработка системы формирования и оценки профессиональных медицинских умений и навыков с использованием передовых симуляционных технологий / С. П. Ковалев, С. П. Миронов, А. Т. Арутюнов, А. М. Мкртумян и др. // Кремлевская медицина. Клин. вестн. – 2011. – № 2. – С. 97–102.
36. Результаты хирургического лечения множественных аневризм сосудов головного мозга / А. С. Хейреддин, Ю. М. Филатов, С. Б. Яковлев, Ш. Ш. Элиава и др. // Нейрохирургия. – 2012. – № 4. – С. 40–47.
37. Рогозин, А. Л. Популяционные факторы риска разрыва аневризм сосудов головного мозга / А. Л. Рогозин, Е. П. Кривошеков, И. Е. Повереннова // Рос. нейрохир. журн. им. проф. А. Л. Поленова. – 2013. – Т. 5, № 3. – С. 23–26.
38. Роль интраоперационной флоуметрии в хирургии аневризм сосудов головного мозга / О. Д. Шехтман, Ш. Ш. Элиава, В. А. Шахнович, Ю. В. Пилипенко // Вопр. нейрохир. им. Н. Н. Бурденко. – 2011. – № 3. – С. 39–49.
39. Сакович, В. П. Новые аспекты этиологии и открытой хирургии интракраниальных аневризм / В. П. Сакович, В. С. Колотвинов, Е. Р. Лебедева. – Екатеринбург : УГМА, 2007. – 220 с.
40. Семейные интракраниальные аневризмы / О. Б. Белоусова, Ю. М. Филатов, А. С. Хейреддин, Ш. Ш. Элиава и др. // Вопр. нейрохир. им. Н. Н. Бурденко. – 2005. – № 4. – С. 8–10.

41. Симуляции в системе медицинского образования. Создание программы симуляционного обучения / К. Кан, С. Толхюрст-Кливер, С. Уайт, У. Симпсон // Руководство АМЭЕ № 50. – 2011. – № 3. – С. 26–65.
42. Симуляционное обучение в медицине / под ред. проф. А. А. Свистунова. Сост. М. Д. Горшков. – М. : Изд-во Первого МГМУ им. И. М. Сеченова, 2013. – 288 с.
43. Терехов, В. С. Цереброваскулярные артериальные аневризмы и артериовенозные мальформации в Республике Беларусь: клиническая эпидемиология и эпидемиологическое прогнозирование / В. С. Терехов // Мед. журн. – 2011. – № 2. – С. 111–117.
44. Ткачев, В. В. Аневризматические внутричерепные кровоизлияния. Что мы о них знаем? / В. В. Ткачев, М. А. Барабанова, Г. Г. Музлаев // Рос. нейрохир. журн. им. проф. А. Л. Поленова. – 2010. – Т. 2, № 4. – С. 10–27.
45. Цимейко, О. А. Микрохирургическое одноэтапное выключение множественных аневризм около мозолистых артерий / О. А. Цимейко, А. Д. Сидорак, И. И. Тыш // Укр. нейрохир. журн. – 2014. – № 2. – С. 72–76.
46. A didactic and hands-on module enhances resident microsurgical knowledge and technical skill / T. Y. El Ahmadiéh, S. G. Aoun, N. E. El Tecle, A. D. Nanney 3rd et al. // Neurosurgery. – 2013. – Oct. – Vol. 73, Suppl. 1. – P. 51–56.
47. A global assessment tool for evaluation of intraoperative laparoscopic skills / M. C. Vassiliou, L. S. Feldman, C. G. Andrew, S. Bergman et al. // Am. J. Surg. – 2005. – Jul. – Vol. 190, N 1. – P. 107–113.
48. A national fundamentals curriculum for neurosurgery PGY1 residents: the 2010 Society of Neurological Surgeons boot camp courses / N. R. Selden, T. C. Origitano, K. J. Burchiel, C. C. Getch et al. // Neurosurgery. – 2012. – Apr. – Vol. 70, N 4. – P. 971–981.
49. A newly designed training tool for microvascular anastomosis techniques: Microvascular Practice Card / N. Matsumura, N. Hayashi, H. Hamada, T. Shibata et al. // Surg. Neurol. – 2009. – May. – Vol. 71, N 5. – P. 616–620.

50. A novel coronary artery bypass graft design of sequential anastomoses / F. Kabi-nejadian, L. P. Chua, D. N. Ghista, M. Sankaranarayanan et al. // *Ann. Biomed. Eng.* – 2010. – Oct. – Vol. 38, N 10. – P. 3135–3150.
51. A review of surgical simulation with attention to validation methodology / J. A. Aucar, N. R. Groch, S. A. Troxel, S. W. Eubanks // *Surg. Laparosc. Endosc. Percutan. Tech.* – 2005. – Apr. – Vol. 15, N 2. – P. 82–89.
52. A systematic review of skills transfer after surgical simulation training / L. P. Sturm, J. A. Windsor, P. H. Cosman, P. Cregan et al. // *Ann. Surg.* – 2008. – Aug. – Vol. 248, N 2. – P. 166–179.
53. A three-dimensional interactive virtual dissection model to simulate transpetrous surgical avenues / A. Bernardo, M. C. Preul, J. M. Zabramski, R. F. Spetzler // *Neurosurgery.* – 2003. – Mar. – Vol. 52, N 3. – P. 499–505.
54. Abdulrauf, S. I. Cerebral revascularization: techniques in extracranial-to-intracranial bypass surgery; Ed. S. I. Abdulrauf. – Philadelphia, PA: Saunders, 2011. – 378 p.
55. Aboud, E. New laboratory model for neurosurgical training that simulates live surgery / E. Aboud, O. Al-Mefty, M. G. Yaşargil // *J. Neurosurg.* – 2002. – Dec. – Vol. 97, N 6. – P. 1367–1372.
56. Acute and chronic swine rete arteriovenous malformation models: hemodynamics and vascular remodeling / A. K. Wakhloo, B. B. Lieber, R. Siekmann, D. J. Eber et al. // *Am. J. Neuroradiol.* – 2005. – Aug. – Vol. 26, N 7. – P. 1702–1706.
57. Amin-Hanjani, S. Flow-assisted surgical technique in cerebrovascular surgery / S. Amin-Hanjani, F. T. Charbel // *Surg. Neurol.* – 2007. – Vol. 68, Suppl. 1. – P. 4–11.
58. Amin-Hanjani, S. Flow replacement bypass for aneurysms: decision-making using intraoperative blood flow measurements / S. Amin-Hanjani, A. Alaraj, F. T. Charbel // *Acta Neurochir. (Wien).* – 2010. – Jun. – Vol. 152, N 6. – P. 1021–1032.
59. Analysis of 561 patients with 690 middle cerebral artery aneurysms: anatomic and clinical features as correlated to management outcome / J. Rinne, J. Hernesniemi, M. Niskanen, M. Vapalahti // *Neurosurgery.* – 1996. – Jan. – Vol. 38, N 1. – P. 2–11.

60. Analysis of short-term total hospital costs and current primary cost drivers of coiling versus clipping for unruptured intracranial aneurysms / Y. Duan, K. Blackham, J. Nelson, W. Selman et al. // *J. Neurointerv. Surg.* – 2015. – Aug. – Vol. 7, N 8. – P. 614–618.
61. Anastomosis of occipital artery to anterior inferior cerebellar artery for vertebrobasilar junction stenosis / J. I. Ausman, F. G. Diaz, R. A. de los Reyes, H. Pak et al. // *Surg. Neurol.* – 1981. – Aug. – Vol. 16, N 2. – P. 99–102.
62. Anatomical consideration of the radial artery for transradial coronary procedures: arterial diameter, branching anomaly and vessel tortuosity / B. S. Yoo, J. Yoon, J. Y. Ko, J. Y. Kim et al. // *Int. J. Cardiol.* – 2005. – Jun. 8. – Vol. 101, N 3. – P. 421–427.
63. Anatomical study of the superficial temporal artery / S. R. Marano, D. W. Fischer, C. Gaines, V. K. Sonntag // *Neurosurgery.* – 1985. – Jun. – Vol. 16, N 6. – P. 786–790.
64. Aneurysm of a subclavian-vertebral artery saphenous vein bypass graft: case report / S. Takeuchi, H. Abe, R. Tanaka, J. Hayashi // *Neurosurgery.* – 1998. – Nov. – Vol. 43, N 5. – P. 1212–1214.
65. Assessment of cerebrovascular reserve before and after STA-MCA bypass surgery by SPECT and SPM analysis / J. H. O, K. S. Jang, I. R. Yoo, S. H. Kim et al. // *Korean J. Radiol.* – 2007. – Nov.-Dec. – Vol. 8, N 6. – P. 458–465.
66. Augmented reality neurosurgical planning and navigation for surgical excision of parasagittal, falcine and convexity meningiomas / D. Low, C. K. Lee, L. L. Dip, W. H. Ng et al. // *Br. J. Neurosurg.* – 2010. – Feb. – Vol. 24, N 1. – P. 69–74.
67. Balloon-assist technique for endovascular coil embolization of geometrically difficult intracranial aneurysms / A. M. Malek, V. V. Halbach, C. C. Phatouros, T. E. Lempert et al. // *Neurosurgery.* – 2000. – Jun. – Vol. 46, N 6. – P. 1397–1406.
68. Bambakidis, N. C. Surgical rehearsal platform: potential uses in microsurgery / N. C. Bambakidis, W. R. Selman, A. E. Sloan // *Neurosurgery.* – 2013. – Oct. – Vol. 73, Suppl. 1. – P. 122–126.
69. Barrow, L. / Agenda Meeting Minutes / 2012 Agendas and Minutes / 2012 Agendas / 11-16-12 Board Meeting / L. Barrow. – Режим доступа: <http://ic-boc.gafcon.net/ghdboard> (12.15.2014).

70. Bath, J. Why we need open simulation to train surgeons in an era of work-hour restrictions / J. Bath, P. Lawrence // *Vascular*. – 2011. – Aug. – Vol. 19, N 4. – P. 175–177.
71. Batjer, H. Use of extracranial-intracranial bypass in the management of symptomatic vasospasm / H. Batjer, D. Samson // *Neurosurgery*. – 1986. – Aug. – Vol. 19, N 2. – P. 235–246.
72. Belykh, E. Off-the-job microsurgical training on dry models: Siberian experience / E. Belykh, V. Byvaltsev // *World Neurosurg.* – 2014. – Jul.-Aug. – Vol. 82, N 1–2. – P. 20–24.
73. Berguer, R. A review of 100 consecutive reconstructions of the distal vertebral artery for embolic and hemodynamic disease / R. Berguer, M. D. Morasch, R. A. Kline // *J. Vasc. Surg.* – 1998. – May. – Vol. 27, N 5. – P. 852–859.
74. Berguer, R. Vertebral artery bypass / R. Berguer, L.V. Andaya, R. B. Bauer // *Arch. Surg.* – 1976. – Sept. – Vol. 111, N 9. – P. 976–979.
75. Bhatti, N. I. Competency in surgical residency training: defining and raising the bar / N. I. Bhatti, C. W. Cummings // *Acad. Med.* – 2007. – Jun. – Vol. 82, N 6. – P. 569–573.
76. Blinded peer assessment of surgical skill is feasible and can predict complication rates: a step toward measuring surgical quality / T. Y. El Ahmadieh, J. Harrop, H. H. Batjer, D. K. Resnick et al. // *Neurosurgery*. – 2014. – Jun. – Vol. 74, N 6. – P. 12–14.
77. Bouthillier, A. Segments of the internal carotid artery: a new classification / A. Bouthillier, H. R. van Loveren, J. T. Keller // *Neurosurgery*. – 1996. – Mar. – Vol. 38, N 3. – P. 425–432.
78. Brown, R. D. Jr. Unruptured intracranial aneurysms: epidemiology, natural history, management options, and familial screening / R. D. Brown Jr., J. P. Broderick // *Lancet Neurol.* – 2014. – Apr. – Vol. 13, N 4. – P. 393–404.
79. Bypass and flow reduction for complex basilar and vertebrobasilar junction aneurysms / M. Y. Kalani, J. M. Zabramski, P. Nakaji, R. F. Spetzler // *Neurosurgery*. – 2013. – May. – Vol. 72, N 5. – P. 763–775.
80. Bypass combined with embolization via a venous graft in a patient with a giant aneurysm in the posterior communicating artery and bilateral idiopathic occlusion of the

- internal carotid artery in the neck / A. Santoro, E. Passacantilli, G. Guidetti, M. Dazzi et al. // *J. Neurosurg.* – 2002. – Jan. – Vol. 96, N 1. – P. 135–139.
81. Bypass surgery for complex middle cerebral artery aneurysms: impact of the exact location in the MCA tree / L. Kivipelto, M. Niemela, T. Meling, M. Lehecka et al. // *J. Neurosurg.* – 2014. – Feb. – Vol. 120, N 2. – P. 398–408.
82. Bypass using V2-V3 segment of the vertebral artery as donor or recipient: technical nuances and results / T. Yang, F. Tariq, H. T. Duong, L. N. Sekhar // *World Neurosurg.* – 2014. – Dec. – Vol. 82, N 6. – P. 1164–1170.
83. Byvaltsev, V. Direct low-flow bypass techniques for cerebral blood flow augmentation: indications and presentation of two cases / V. Byvaltsev, E. Belykh, K. Kikuta // *Neurosurg. Sci.* – 2013. – Vol. 1. – P. 16–24.
84. Campbell G. R. Development of tissue engineered vascular grafts / G. R. Campbell, J. H. Campbell // *Curr. Pharm. Biotechnol.* – 2007. – Feb. – Vol. 8, N 1. – P. 43–50.
85. Carrel, A. The surgery of blood vessels / A. Carrel // *Johns Hopkins Hosp. Bull.* – 1907. – Vol. 18. – P. 18.
86. Cerebral hyperperfusion syndrome after superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass for severe intracranial steno-occlusive disease: a case control study / K. Teo, D. K. Choy, S. Lwin, C. Ning et al. // *Neurosurgery.* – 2013. – Jun. – Vol. 72, N 6. – P. 936–942.
87. Cerebral revascularization performed using posterior inferior cerebellar artery-posterior inferior cerebellar artery bypass. Report of four cases and literature review / G. M. Lemole Jr., J. Henn, S. Javedan, V. Deshmukh et al. // *J. Neurosurg.* – 2002. – Jul. – Vol. 97, N 1. – P. 219–223.
88. Cerebral revascularization to a main limb of the middle cerebral artery in the Sylvian fissure. An alternative approach to conventional anastomosis / F. G. Diaz, F. Umansky, B. Mehta, S. Montoya et al. // *J. Neurosurg.* – 1985. – Jul. – Vol. 63, N 1. – P. 21–29.
89. Chipman, J. G. Developing surgical skills curricula: lessons learned from needs assessment to program evaluation / J. G. Chipman, R. D. Acton, C. C. Schmitz // *J. Surg. Educ.* – 2009. – May-Jun. – Vol. 66, N 3. – P. 133–139.

90. Choudhry, N. K. Systematic review: the relationship between clinical experience and quality of health care / N. K. Choudhry, R. H. Fletcher, S. B. Soumerai // *Ann. Intern. Med.* – 2005. – Vol. 42, N 4. – P. 260–273.
91. Chueh, J. Y. Neurovascular modeling: small-batch manufacturing of silicone vascular replicas / J. Y. Chueh, A. K. Wakhloo, M. J. Gounis // *Am. J. Neuroradiol.* – 2009. – Jun. – Vol. 30, N 6. – P. 1159–1164.
92. Commentary: Virtual reality and robotics in neurosurgery / L. N. Sekhar, F. Tariq, L. J. Kim, J. Pridgeon et al. // *Neurosurgery.* – 2013. – Jan. – Vol. 72, Suppl. 1. – P. 1–6.
93. Common carotid to intracranial internal carotid bypass venous graft. Technical note / W. M. Lougheed, B. M. Marshall, M. Hunter, E. R. Michel et al. // *J. Neurosurg.* – 1971. – Jan. – Vol. 34, N 1. – P. 114–118.
94. Comparative use of turkey and chicken wing brachial artery models for microvascular anastomosis training / A. A. Ablak, T. Uschold, M. C. Preul, J. M. Zabramski // *J. Neurosurg.* – 2011. – Dec. – Vol. 115, N 6. – P. 1231–1235.
95. Comparison of flow diversion and coiling in large unruptured intracranial saccular aneurysms / N. Chalouhi, S. Tjoumakaris, R. M. Starke, L. F. Gonzalez et al. // *Stroke.* – 2013. – Aug. – Vol. 44, N 8. – P. 2150–2154.
96. Complex intracranial aneurysms: combined operative and endovascular approaches / L. Hachein-Bey, E. S. Connolly Jr., S. A. Mayer, W. L. Young et al. // *Neurosurgery.* – 1998. – Dec. – Vol. 43, N 6. – P. 1304–1312.
97. Conduits for cerebrovascular bypass and lessons learned from the cardiovascular experience / J. K. Liu., P. Kan, S. V. Karwande, W. T. Couldwell // *Neurosurg. Focus.* – 2003. – Mar. 15. – Vol. 14, N 3. – P. 3.
98. Construct and face validity of MIST-VR, Endotower, and CELTS: are we ready for skills assessment using simulators? / S. Maithel, R. Sierra, J. Korndorffer, P. Neumann et al. // *Surg. Endosc.* – 2006. – Jan. – Vol. 20, N 1. – P. 104–112.
99. Construct validity of the ProMIS laparoscopic simulator / M. G. Pellen, L. F. Horgan, J. R. Barton, S. E. Attwood // *Surg. Endosc.* – 2009. – Jan. – Vol. 23, N 1. – P. 130–139.

100. Craniotomy and clipping of intracranial aneurysm in a stereoscopic virtual reality environment / G. K. Wong, C. X. Zhu, A. T. Ahuja, W. S. Poon // *Neurosurgery*. – 2007. – Sept. – Vol. 61, N 3. – P. 564–568.
101. Current management of middle cerebral artery aneurysms: surgical results with a "clip first" policy / A. Rodriguez-Hernandez, M. E. Sughrue, S. Akhavan, J. Habdank-Kolaczowski et al. // *Neurosurgery*. – 2013. – Mar. – Vol. 72, N 3. – P. 415–427.
102. Current status of pipeline embolization device in the treatment of intracranial aneurysms: a review / M. M. Tse, B. Yan, R. J. Dowling, P. J. Mitchell // *World Neurosurg.* – 2013. – Dec. – Vol. 80, N 6. – P. 829–835.
103. Dandy's contributions to vascular neurosurgery / R. M. Kretzer, A. L. Coon, R. J. Tarmargo, E. Walter // *J. Neurosurg.* – 2010. – Jun. – Vol. 112, N 6. – P. 1182–1191.
104. Das, S. Comparison of three aids for teaching lumbar surgical anatomy / S. Das, P. Mitchell // *Br. J. Neurosurg.* – 2013. – Aug. – Vol. 27, N 4. – P. 475–478.
105. Davies, J. M. Advances in open microsurgery for cerebral aneurysms / J. M. Davies, M. T. Lawton // *Neurosurgery*. – 2014. – Feb. – Vol. 74, Suppl. 1. – P. 7–16.
106. Deliberate practice improves obstetrics and gynecology residents' hysteroscopy skills / B. W. Rackow, M. J. Solnik, F. F. Tu, S. Senapati et al. // *J. Grad. Med. Educ.* – 2012. – Sept. – Vol. 4, N 3. – P. 329–334.
107. Dengler, J. The Y-shaped double-barrel bypass in the treatment of large and giant anterior communicating artery aneurysms / J. Dengler, N. Kato, P. Vajkoczy // *J. Neurosurg.* – 2013. – Feb. – Vol. 118, N 2. – P. 444–450.
108. Dente, C. J. Alexis Carrel (1873-1944): Nobel Laureate, 1912 / C. J. Dente, D. V. Feliciano // *Arch. Surg.* – 2005. – Jun. – Vol. 140, N 6. – P. 609–610.
109. Development and pilot-testing of a feasible, reliable, and valid operative competency assessment tool for endoscopic sinus surgery / S. Y. Lin, K. Laeeq, M. Ishii, J. Kim et al. // *Am. J. Rhinol. Allergy*. – 2009. – May-Jun. – Vol. 23, N 3. – P. 354–359.
110. Development and psychometric evaluation of the "Neurosurgical Evaluation of Attitudes towards simulation Training" (NEAT) tool for use in neurosurgical education and training / M. A. Kirkman, W. Muirhead, D. Nandi, N. Sevdalis // *World Neurosurg.* – 2014. – Sept.-Oct. – Vol. 82, N 3–4. – P. 284–291.

111. Development and validation of an artificial wetlab training system for the lumbar discectomy / J. Adermann, N. Geissler, L. E. Bernal, S. Kotzsch et al. // *Eur. Spine J.* – 2014. – Sep. – Vol. 23, N 9. – P. 1978–1983.
112. Development of artificial cranial base model with soft tissues for practical education: technical note / K. Mori, T. Yamamoto, Y. Nakao, T. Esaki // *Neurosurgery.* – 2010. – Jun. – Vol. 66, N 6, Suppl. Operative. – P. 339–341.
113. Dex-ray: augmented reality neurosurgical navigation with a handheld video probe / R. A. Kockro, Y. T. Tsai, I. Ng, P. Hwang et al. // *Neurosurgery.* – 2009. – Oct. – Vol. 65, N 4. – P. 795–807.
114. Do novices display automaticity during simulator training? / D. Stefanidis, M. W. Scerbo, C. Sechrist, A. Mostafavi et al. // *Am. J. Surg.* – 2008. – Feb. – Vol. 195, N 2. – P. 210–213.
115. Dry lab practice leads to improved laparoscopic performance in the operating room / M. K. Stelzer, M. P. Abdel, M. P. Sloan, J. C. Gould // *J. Surg. Res.* – 2009. – Jun. 1. – Vol. 154, N 1. – P. 163–166.
116. Early Experience of Indocyanine Green Videoangiography in Cerebrovascular Surgery / Y. Takagi, K. Kikuta, M. Nishimura, A. Ishii et al. // *Surg. Cereb. Stroke (Jpn).* – 2009. – Vol. 37. – P. 104–108.
117. Effect of virtual reality training on laparoscopic surgery: randomised controlled trial / C. R. Larsen, J. L. Soerensen, T. P. Grantcharov, T. Dalsgaard et al. // *Br. Med. J.* – 2009. – Vol. 338. – P. 1802.
118. Effectiveness of suturing training with 10-0 nylon under fixed and maximum magnification (x 20) using desk type microscope / T. Inoue, K. Tsutsumi, S. Adachi, S. Tanaka et al. // *Surg. Neurol.* – 2006. – Aug. – Vol. 66, N 2. – P. 183–187.
119. e-Learning in Neurosurgical Education / N. Sakai, H. Imamura, S. Sakai, H. Kikuchi // *Jpn J. Neurosurg.* – 2010. – Vol. 19, N 5. – P. 379–387.
120. Elstein, A. *Medical Problem Solving. An Analysis of Clinical Reasoning* / A. Elstein, L. Shulman, S. Sprafka. – Cambridge: Harvard University Press, 1978.

121. Elstein, A. S. Medical problem solving : a 10-year retrospective / A. S. Elstein, L. S. Shulman, S. A. Sprafka // *Eval. Health Professions*. – 1990. – Vol. 13, N 1. – P. 35–36.
122. Endoscopic harvesting of the radial artery for neurovascular bypass / L. F. Gonzalez, D. L. Patterson, G. P. Lekovic, P. Nakaji et al. // *Neurosurg. Focus*. – 2008. – Vol. 24, N 2. – P. 10.
123. Endovascular creation of an in vivo bifurcation aneurysm model in rabbits / H. J. Cloft, T. A. Altes, W. F. Marx, R. J. Raible et al. // *Radiology*. – 1999. – Oct. – Vol. 213, N 1. – P. 223–228.
124. Endovascular skills training and assessment / S. K. Neequaye, R. Aggarwal, I. Van Herzeele et al. // *J. Vasc. Surg.* – 2007. – Nov. – Vol. 46, N 5. – P. 1055–1064.
125. Ericsson, K. A. Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains / K. A. Ericsson // *Acad Med*. – 2004. – Vol. 79, N 10. – P. 70–81.
126. Evaluating intraoperative laparoscopic skill: direct observation versus blinded videotaped performances / M. C. Vassiliou, L. S. Feldman, S. A. Fraser, P. Charlebois et al. // *Surg. Innov.* – 2007. – Sept. – Vol. 14, N 3. – P. 211–216.
127. Experience in using the excimer laser-assisted nonocclusive anastomosis nonocclusive bypass technique for high-flow revascularization: Mannheim-Helsinki series of 64 patients / P. Vajkoczy, M. Korja, M. Czabanka, U. C. Schneider et al. // *Neurosurgery*. – 2012. – Jan. – Vol. 70, N 1. – P. 49–54.
128. Experienced surgeons can do more than one thing at a time: effect of distraction on performance of a simple laparoscopic and cognitive task by experienced and novice surgeons / K. E. Hsu, F. Y. Man, R. A. Gizicki, L. S. Feldman et al. // *Surg. Endosc.* – 2008. – Jan. – Vol. 22, № 1. – P. 196–201.
129. Experimental saccular aneurysms. II. A new model in swine / G. Guglielmi, C. Ji, T. F. Massoud, A. Kurata et al. // *Neuroradiology*. – 1994. – Oct. – Vol. 36, N 7. – P. 547–550.

130. Extending the indications of flow diversion to small, unruptured, saccular aneurysms of the anterior circulation / N. Chalouhi, R. M. Starke, S. Yang, C. D. Bovenzi et al. // *Stroke*. – 2014. – Jan. – Vol. 45, N 1. – P. 54–58.
131. External carotid-vertebral artery anastomosis for vertebrobasilar insufficiency / G. Corkill, B. N. French, C. Michas, C. A. Cobb 3rd et al. // *Surg. Neurol.* – 1977. – Mar. – Vol. 7, N 3. – P. 109–115.
132. Extracranial-intracranial bypass for stroke-is this the end of the line or a bump in the road? / S. Amin-Hanjani, F. G. Barker 2nd, F. T. Charbel, E. S. Connolly et al. *Cerebrovascular Section of the American Association of Neurological Surgeons, Congress of Neurological Surgeons // Neurosurgery*. – 2012. – Sept. – Vol. 71, N 3. – P. 557–561.
133. Extracranial-intracranial bypass of the bilateral anterior cerebral circulation using a thoracodorsal axis artery-graft / A. Jain, K. O'Neill, M. C. Patel, N. Kirkpatrick et al. // *Asian J. Neurosurg.* – 2012. – Oct. – Vol. 7, N 4. – P. 203–205.
134. Extracranial-intracranial bypass surgery for stroke prevention in hemodynamic cerebral ischemia: the Carotid Occlusion Surgery Study randomized trial / W. J. Powers, W. R. Clarke, R. L. Grubb Jr., T. O. Videen, H. P. Adams Jr. et al. // *J. Am. Med. Assoc.* – 2011. – Nov. 9. – Vol. 306, N 18. – P. 1983–1992.
135. Face and construct validation of a virtual peg transfer simulator / V. S. Arikatla, G. Sankaranarayanan, W. Ahn, A. Chellali et al. // *Surg. Endosc.* – 2013. – May. – Vol. 27, N 5. – P. 1721–1729.
136. Fischer, E. Die Labeabweichungen der vorderen hirnarterie im Gefalblid / E. Fischer // *Zentrallbl. Neurochir.* – 1938. – Vol. 3. – P. 300–313.
137. Fitts, P. M. *Human Performance* / P. M. Fitts, M. I. Posner. – Belmont, Calif., Brooks/Cole Pub. Co., 1967. – 162 p.
138. Flight simulator training effectiveness: a meta-analysis / R. T. Hays, J. W. Jacobs, C. Prince, E. Salas // *Mil. Psychol.* – 1992. – Vol. 4, N 2. – P. 63–74.
139. Focused opening of the sylvian fissure for microsurgical management of MCA aneurysms / A. Elsharkawy, M. Niemela, M. Lehecka, H. Lehto et al. // *Acta Neurochir. (Wien)*. – 2014. – Jan. – Vol. 156, N 1. – P. 17–25.

140. Fried, G. M. FLS assessment of competency using simulated laparoscopic tasks / G. M. Fried // *J. Gastrointest. Surg.* – 2008. – Feb. – Vol. 12, N 2. – P. 210–212.
141. Fujimura, M. Lessons learned from moyamoya disease: outcome of direct/indirect revascularization surgery for 150 affected hemispheres / M. Fujimura, T. Tominaga // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2012. – Vol. 52, N 5. – P. 327–332.
142. Fundamentals of neurosurgery: virtual reality tasks for training and evaluation of technical skills / N. Choudhury, N. Gelinas-Phaneuf, S. Delorme, R. Del Maestro // *World Neurosurg.* – 2013. – Nov. – Vol. 80, N 5. – P. 9–19.
143. Fundamentals of operative techniques in neurosurgery / E. Sander Connolly, M. Guy McKhann II, J. Huang, T. F. Choudhri et al. – N.-Y. : Thieme, 2010. – 918 p.
144. Gelinas-Phaneuf, N. Surgical expertise in neurosurgery: integrating theory into practice / N. Gelinas-Phaneuf, R. F. Del Maestro // *Neurosurgery*. – 2013. – Oct. – Vol. 73, Suppl. 1. – P. 30–38.
145. Genetic epidemiology of spontaneous subarachnoid hemorrhage: Nordic Twin Study / M. Korja, K. Silventoinen, P. McCarron, S. Zdravkovic et al. // *Stroke*. – 2010. – Nov. – Vol. 41, N 11. – P. 2458–2462.
146. Ghods, A. J. Gender differences in cerebral aneurysm location / A. J. Ghods, D. Lopes, M. Chen // *Front Neurol.* – 2012. – Vol. 3. – P. 78.
147. Gibo, H. Microsurgical anatomy of the supraclinoid portion of the internal carotid artery / H. Gibo, C. Lenkey, A. L. Rhoton, Jr // *J. Neurosurg.* – 1981. – Oct. – Vol. 55, N 4. – P. 560–574.
148. Goldstein M. Use of fresh human placenta for microsurgical training / M. Goldstein // *J. Microsurg.* – 1979. – Jul.-Aug. – Vol. 1, N 1. – P. 70–71.
149. Greenberg, M. S. *Handbook of Neurosurgery* / M. S. Greenberg. – 7th ed. – N.-Y. : Thieme, 2010. – 1352 p.
150. Hand circulation after radial artery harvest for coronary artery bypass grafting / S. Manabe, N. Tabuchi, H. Tanaka, H. Arai et al. // *J. Med. Dent. Sci.* – 2005. – Jun. – Vol. 52, N 2. – P. 101–107.
151. Hashimoto, N. Experimentally induced cerebral aneurysms in rats / N. Hashimoto, H. Handa, F. Hazama // *Surg. Neurol.* – 1978. – Jul. – Vol. 10, N 1. – P. 3–8.

152. Heiner, H. The technic of microvascular anastomoses: the rat as a model / H. Heiner, P. Karl, A. Tilgner-Peter // *Z. Exp. Chir.* – 1977. – Vol. 10, N 6. – P. 331–337.
153. Hemodynamic compensation via an excimer laser-assisted, high-flow bypass before and after therapeutic occlusion of the internal carotid artery / J. Hendrikse, A. van der Zwan, L. M. Ramos, C. A. Tulleken et al. // *Neurosurgery.* – 2003. – Oct. – Vol. 53, N 4. – P. 858–863.
154. Hernesniemi, J. Comments on "The impact of the International Subarachnoid Aneurysm Treatment Trial (ISAT) on neurosurgical practice" / J. Hernesniemi, T. Koivisto // *Acta Neurochir. (Wien).* – 2004. – Feb. – Vol. 146, N 2. – P. 203–208.
155. High-flow bypass grafts in the management of complex intracranial aneurysms / A. A. Mohit, L. N. Sekhar, S. K. Natarajan, G. W. Britz et al. // *Neurosurgery.* – 2007. – Feb. – Vol. 60, N 2, Suppl. 1. – P. 105–122.
156. High flow extra-cranial to intra-cranial bypass for complex internal carotid aneurysms / H. C. Patel, M. Teo, N. Higgins, P. J. Kirkpatrick // *Br. J. Neurosurg.* – 2010. – Apr. – Vol. 24, N 2. – P. 173–178.
157. History of the development of surgical treatments for moyamoya disease / T. Matsu-shima, K. Inoue, M. Kawashima, T. Inoue // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo).* – 2012. – Vol. 52, N 5. – P. 278–286.
158. Human placenta as an ex vivo vascular model for neurointerventional research / J. C. Kwok, W. Huang, W. C. Leung, S. K. Chan et al. // *J. Neurointerv. Surg.* – 2014. – Jun. – Vol. 6, N 5. – P. 394–399.
159. Hunt, J. L. Late false aneurysm of the carotid artery: repair with extra-intracranial arterial bypass / J. L. Hunt, W. H. Snyder // *J. Trauma.* – 1979. – Mar. – Vol. 19, N 3. – P. 198–200.
160. Ikezaki, E. K. Moyamoya disease / E. K. Ikezaki, C. M. Loftus. – AANS, 2001. – 225 p.
161. Impact of surgical clipping on survival in unruptured and ruptured cerebral aneurysms: a population-based study / G. W. Britz, L. Salem, D. W. Newell, J. Eskridge et al. // *Stroke.* – 2004. – Jun. – Vol. 35, N 6. – P. 1399–1403.

162. Indo, M. The practice of knots untying technique using a 10-0 nylon suture and gauze to cope with technical difficulties of microvascular anastomosis / M. Indo, K. Tsutsumi, M. Shin // *World Neurosurg.* – 2011. – Jan. – Vol. 75, N 1. – P. 87–89.
163. Integration of patient-specific paranasal sinus computed tomographic data into a virtual surgical environment / S. S. Parikh, S. Chan, S. K. Agrawal, P. H. Hwang et al. // *Am. J. Rhinol. Allergy.* – 2009. – Jul.-Aug. – Vol. 23, N 4. – P. 442–447.
164. Interactive presurgical simulation applying advanced 3D imaging and modeling techniques for skull base and deep tumors / M. Oishi, M. Fukuda, N. Yajima, K. Yoshida et al. // *J. Neurosurg.* – 2013. – Jul. – Vol. 119, N 1. – P. 94–105.
165. International study of unruptured intracranial aneurysms. I. Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, and risks of surgical and endovascular treatment / D. O. Wiebers, J. P. Whisnant, J. Huston 3rd, I. Meissner et al. // *Lancet.* – 2003. – Jul. 12. – Vol. 362, N 9378. – P. 103–110.
166. International Subarachnoid Aneurysm Trial – ISAT. Part II: study protocol for a randomized controlled trial / T. E. Darsaut, A. S. Jack, R. S. Kerr, J. Raymond // *Trials.* – 2013. – Vol. 14. – P. 156.
167. International subarachnoid aneurysm trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised comparison of effects on survival, dependency, seizures, rebleeding, subgroups, and aneurysm occlusion / A. J. Molyneux, R. S. Kerr, L. M. Yu, M. Clarke et al. // *Lancet.* – 2005. – Sept. 3-9. – Vol. 366, N 9488. – P. 809–817.
168. International subarachnoid aneurysm trial of neurosurgical clipping versus endovascular coiling: subgroup analysis of 278 elderly patients / M. Ryttefors, P. Enblad, R. S. Kerr, A. J. Molyneux // *Stroke.* – 2008. – Oct. – Vol. 39, N 10. – P. 2720–2726.
169. Interposition saphenous vein grafts for advanced occlusive disease and large aneurysms in the posterior circulation / T. M. Sundt Jr., D. G. Piepgras, O. W. Houser, J. K. Campbell // *J. Neurosurg.* – 1982. – Feb. – Vol. 56, N 2. – P. 205–215.
170. Intra operative indocyanine green video-angiography in cerebrovascular surgery: An overview with review of literature / S. Balamurugan, A. Agrawal, Y. Kato, H. Sano // *Asian J. Neurosurg.* – 2011. – Jul. – Vol. 6, N 2. – P. 88–93.

171. Is misery perfusion still a predictor of stroke in symptomatic major cerebral artery disease? / H. Yamauchi, T. Higashi, S. Kagawa, R. Nishii et al. // *Brain*. – 2012. – Aug. – Vol. 135, Pt. 8. – P. 2515–2526.
172. Ishikawa, T. Novel brain model for training of deep microvascular anastomosis / T. Ishikawa, N. Yasui, H. Ono // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2010. – Vol. 50, N 8. – P. 627–629.
173. Islak, C. The retreatment: indications, technique and results / C. Islak // *Eur. J. Radiol.* – 2013. – Oct. – Vol. 82, N 10. – P. 1659–1664.
174. Jung, J. M. Emergency In Situ Bypass during Middle Cerebral Artery Aneurysm Surgery: Middle Cerebral Artery-Superficial Temporal Artery Interposition Graft-Middle Cerebral Artery Anastomosis / J. M. Jung, C. W. Oh, K. S. Song, J. S. Bang // *J. Korean Neurosurg. Soc.* – 2012. – May. – Vol. 51, N 5. – P. 292–295.
175. Keedy, A. An overview of intracranial aneurysms / A. Keedy // *Mcgill J. Med.* – 2006. – Jul. – Vol. 9, N 2. – P. 141–146.
176. Kerber, C. W. Arteriovenous malformation model for training and research / C. W. Kerber, S. T. Hecht, K. Knox // *Am. J. Neuroradiol.* – 1997. – Aug. – Vol. 18, N 7. – P. 1229–1232.
177. Khodadad, G. Occipital artery-posterior inferior cerebellar artery anastomosis / G. Khodadad // *Surg. Neurol.* – 1976. – Apr. – Vol. 5, N 4. – P. 225–227.
178. Kim, L. J. Clip reconstruction and sling wrapping of a fusiform aneurysm: technical note / L. J. Kim, J. D. Klopfenstein, R. F. Spetzler // *Neurosurgery*. – 2007. – Sept. – Vol. 61, N 3, Suppl. – P. 79–80.
179. Kinugasa, K. Contralateral external carotid-to-middle cerebral artery graft using the saphenous vein. Case report / K. Kinugasa, M. Sakurai, T. Ohmoto // *J. Neurosurg.* – 1993. – Feb. – Vol. 78, N 2. – P. 290–293.
180. Kitai, R. Off-the-job Neurosurgical training System at University of Fukui / R. Kitai, K. Kikuta // *Jpn J. Neurosurg.* – 2010. – Vol. 19, N 5. – P. 388–394.
181. Kockro, R. A. Virtual temporal bone: an interactive 3-dimensional learning aid for cranial base surgery / R. A. Kockro, P. Y. Hwang // *Neurosurgery*. – 2009. – May. – Vol. 64, N 5, Suppl. 2. – P. 216–229.

182. Komotar, R. J. Guidelines for the surgical treatment of unruptured intracranial aneurysms: the first annual J. Lawrence pool memorial research symposium – controversies in the management of cerebral aneurysms / R. J. Komotar, J. Mocco, R. A. Solomon // *Neurosurgery*. – 2008. – Jan. – Vol. 62, N 1. – P. 183–193.
183. Korja, M. Lifelong rupture risk of intracranial aneurysms depends on risk factors: a prospective Finnish cohort study / M. Korja, H. Lehto, S. Juvela // *Stroke*. – 2014. – Jul. – Vol. 45, N 7. – P. 1958–1963.
184. Kuroda, S. Bypass surgery for moyamoya disease: concept and essence of surgical techniques / S. Kuroda, K. Houkin // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2012. – Vol. 52, N 5. – P. 287–294.
185. Little, J. R. Short vein grafts for cerebral revascularization / J. R. Little, A. J. Furlan, B. Bryerton // *J. Neurosurg.* – 1983. – Sept. – Vol. 59, N 3. – P. 384–388.
186. Liu, J. K. Interpositional carotid artery bypass strategies in the surgical management of aneurysms and tumors of the skull base / J. K. Liu, W. T. Couldwell // *Neurosurg. Focus*. – 2003. – Mar. 15. – Vol. 14, N 3. – P. 2.
187. Long-term economic impact of coiling vs clipping for unruptured intracranial aneurysms / S. P. Lad, R. Babu, M. S. Rhee, R. L. Franklin et al. // *Neurosurgery*. – 2013. – Jun. – Vol. 72, N 6. – P. 1000–1011.
188. Long-term fate of bypass grafts: the Coronary Artery Surgery Study (CASS) and Montreal Heart Institute experiences / M. G. Bourassa, L. D. Fisher, L. Campeau, M. J. Gillespie et al. // *Circulation*. – 1985. – Dec. – Vol. 72, N 6, Pt. 2. – P. V71–V78.
189. Long-term follow-up on the educational impact of ACGME duty hour limits: a pre-post survey study / S. C. Fitzgibbons, J. Chen, R. Jagsi, D. Weinstein // *Ann. Surg.* – 2012. – Dec. – Vol. 256, N 6. – P. 1108–1112.
190. Long-term outcomes of trapping vertebral artery-posterior inferior cerebellar artery dissecting aneurysms after revascularization / C. Wang, X. E. Shi, J. Wang, B. Wang et al. // *Neurol. India*. – 2014. – Jan.-Feb. – Vol. 62, N 1. – P. 15–18.
191. Long-term results of direct vertebral artery operations / G. J. Reul, D. A. Cooley, S. K. Olson, G. L. Hallman et al. // *Surgery*. – 1984. – Nov. – Vol. 96, N 5. – P. 854–862.

192. Lumen loss in the first year in saphenous vein grafts is predominantly a result of negative remodeling of the whole vessel rather than a result of changes in wall thickness / G. T. Lau, L. J. Ridley, P. G. Bannon, L. A. Wong et al. // *Circulation*. – 2006. – Jul. 4. – Vol. 114, N 1, Suppl. – P. 1435–1440.
193. Mahvash, M. A novel augmented reality system of image projection for image-guided neurosurgery / M. Mahvash, L. Besharati Tabrizi // *Acta Neurochir. (Wien)*. – 2013. – May. – Vol. 155, N 5. – P. 943–947.
194. Management outcome for multiple intracranial aneurysms / J. Rinne, J. Hernesniemi, M. Niskanen, M. Vapalahti // *Neurosurgery*. – 1995. – Jan. – Vol. 36, N 1. – P. 31–37.
195. Martin, N. A. Arterial bypass for the treatment of giant and fusiform intracranial aneurysms / N. A. Martin // *Tech. Neurosurg.* – 1998. – Vol. 4. – P. 153–178.
196. Martin, N. A. Intracranial Aneurysms / N. A. Martin. [Электронный ресурс] // UCLA 100 Subjects in Neurosurgery. 2014. URL: <https://itunes.apple.com/us/itunes-u/ucla-100-subjects-in-neurosurgery/id434135906?mt=10> (дата обращения: 10.05.2014).
197. Martin, N. A. The use of extracranial-intracranial bypass for the treatment of giant and fusiform aneurysms / N. A. Martin // *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* – 1997. – Apr.-May. – Vol. 6, N 4. – P. 242–245.
198. McLachlan, J. C. Anatomy teaching: ghosts of the past, present and future / J. C. McLachlan, D. Patten // *Med. Educ.* – 2006. – Mar. – Vol. 40, N 3. – P. 243–253.
199. Microneurosurgical training model in fresh cadaveric cow brain: a laboratory study simulating the approach to the circle of Willis / T. Hicdonmez, M. K. Hamamcioglu, M. Tiryaki, Z. Cukur et al. // *Surg. Neurol.* – 2006. – Jul. – Vol. 66, N 1. – P. 100–104.
200. Microsurgical anatomy of cerebral revascularization. Part I: anterior circulation / M. Kawashima, A. L. Rhoton Jr., N. Tanriover, A. J. Ulm et al. // *J. Neurosurg.* – 2005. – Jan. – Vol. 102, N 1. – P. 116–131.
201. Microsurgical anatomy of the early branches of the middle cerebral artery: morphometric analysis and classification with angiographic correlation / N. Tanriover, M. Kawashima, A. L. Rhoton Jr., A. J. Ulm et al. // *J. Neurosurg.* – 2003. – Jun. – Vol. 98, N 6. – P. 1277–1290.

202. Microsurgical techniques using human placenta / F. R. Romero, S. T. Fernandes, F. Chaddad-Neto, J. G. Ramos et al. // *Arq. Neuropsiquiatr.* – 2008. – Dec. – Vol. 66, N 4. – P. 876–878.
203. Microsurgically induced pure arterial aneurysm model in rats / T. Mucke, F. Holzle, K. D. Wolff, A. Harders et al. // *Cent. Eur. Neurosurg.* – 2011. – Feb. – Vol. 72, N 1. – P. 38–41.
204. Mixed reality simulation of rasping procedure in artificial cervical disc replacement (ACDR) surgery / T. Halic, S. Kockara, C. Bayrak, R. Rowe // *BMC Bioinformatics.* – 2010. – Vol. 11, Suppl. 6. – P. 11.
205. Model-based simulation for early neurosurgical learners / N. R. Selden, T. C. Origitano, C. Hadjipanayis, R. Byrne // *Neurosurgery.* – 2013. – Oct. – Vol. 73, Suppl. 1. – P. 15–24.
206. Moore, M. J. The learning curve for laparoscopic cholecystectomy. The Southern Surgeons Club / M. J. Moore, C. L. Bennett // *Am. J. Surg.* – 1995. – Jul. – Vol. 170, N 1. – P. 55–59.
207. Multidisciplinary consensus on assessment of unruptured intracranial aneurysms: proposal of an international research group / N. Etminan, K. Beseoglu, D. L. Barrow, J. Bederson et al. // *Stroke.* – 2014. – May. – Vol. 45, N 5. – P. 1523–1530.
208. Nagamine, Y. Natural history and management of asymptomatic unruptured cerebral aneurysms / Y. Nagamine // *Rinsho Shinkeigaku.* – 2004. – Nov. – Vol. 44, N 11. – P. 763–766.
209. Nakaji, P. The necessity of technical excellence and safety in EC-IC bypass surgery / P. Nakaji // *World Neurosurg.* – 2014. – Nov. – Vol. 82, N 5. – P. 577–578.
210. Natural history of asymptomatic unruptured cerebral aneurysms evaluated at CT angiography: growth and rupture incidence and correlation with epidemiologic risk factors / J. P. Villablanca, G. R. Duckwiler, R. Jahan, S. Tateshima et al. // *Radiology.* – 2013. – Oct. – Vol. 269, N 1. – P. 258–265.
211. Neurosurgery simulation in residency training: feasibility, cost, and educational benefit / J. Gasco, T. J. Holbrook, A. Patel, A. Smith et al. // *Neurosurgery.* – 2013. – Oct. – Vol. 73, Suppl. 1. – P. 39–45.

212. NeuroTouch: a physics-based virtual simulator for cranial microneurosurgery training / S. Delorme, D. Laroche, R. DiRaddo, R. F. Del Maestro // *Neurosurgery*. – 2012. – Sept. – Vol. 71, N 1, Suppl. Operative. – P. 32–42.
213. New experimental model of terminal aneurysms in Swine: technical note / K. Yatomi, M. Yamamoto, Y. Mitome-Mishima, S. Nonaka et al. // *J. Neurol. Surg. a. Cent. Eur. Neurosurg.* – 2012. – Nov. – Vol. 73, N 6. – P. 397–400.
214. Neyeloff, J.L. Meta-analyses and Forest plots using a microsoft excel spreadsheet: step-by-step guide focusing on descriptive data analysis / J. L. Neyeloff, S. C. Fuchs, L. B. Moreira // *BMC Res. Notes*. – 2012. – Jan. – Vol. 20, N 5. – P. 52.
215. Nonlinear mechanical behavior of the human common, external, and internal carotid arteries in vivo / A. V. Kamenskiy, Y. A. Dzenis, J. N. MacTaggart, T. G. Lynch et al. // *J. Surg. Res.* – 2012. – Jul. – Vol. 176, N 1. – P. 329–336.
216. Objective assessment in residency-based training for transoral robotic surgery / M. Curry, A. Malpani, R. Li, T. Tantillo et al. // *Laryngoscope*. – 2012. – Oct. – Vol. 122, N 10. – P. 2184–2192.
217. Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents / J. A. Martin, G. Regehr, R. Reznick, H. MacRae et al. // *Br. J. Surg.* – 1997. – Feb. – Vol. 84, N 2. – P. 273–278.
218. Ogasawara, K. JET study (Japanese EC-IC Bypass Trial) / K. Ogasawara, A. Ogawa // *Nihon Rinsho*. – 2006. – Oct. 28. – Vol. 64, Suppl. 7. – P. 524–527.
219. Olabe, J. Microsurgical cerebral aneurysm training porcine model / J. Olabe, J. Roda // *Neurol. India*. – 2011. – Jan.-Feb. – Vol. 59, N 1. – P. 78–81.
220. Operative and endovascular management of extracranial vertebral artery aneurysm in Ehlers-Danlos syndrome: a clinical dilemma—case report and literature review / S. Sultan, M. Morasch, M. P. Colgan, P. Madhavan et al. // *Vasc. Endovasc. Surg.* – 2002. – Sept.-Oct. – Vol. 36, N 5. – P. 389–392.
221. Outcomes of ruptured intracranial aneurysms treated by microsurgical clipping and endovascular coiling in a high-volume center / S. K. Natarajan, L. N. Sekhar, B. Ghodke, G. W. Britz et al. // *Am. J. Neuroradiol.* – 2008. – Apr. – Vol. 29, N 4. – P. 753–759.

222. Owers, N. O. Anatomic pathways facilitating middle cerebral artery bypass / N. O. Owers // *Am. Surg.* – 1987. – May. – Vol. 53, N 5. – P. 282–284.
223. Part 1: Electrochemical basis, technique, and experimental results / G. Guglielmi, F. Vinuela, I. Sepetka, V. Macellari // *J. Neurosurg.* – 1991. – Jul. – Vol. 75, N 1. – P. 1–7.
224. Patency, flow, and endothelialization of the sutureless Excimer Laser Assisted Non-occlusive Anastomosis (ELANA) technique in a pig model / T. P. van Doormaal, A. van der Zwan, S. Redegeld, B. H. Verweij et al. // *J. Neurosurg.* – 2011. – Dec. – Vol. 115, N 6. – P. 1221–1230.
225. Patient specific simulation and navigation of ventriculoscopic interventions / R. Sierra, S. P. Dimaio, J. Wada, N. Hata et al. // *Stud. Health Technol. Inform.* – 2007. – Vol. 125. – P. 433–435.
226. Petrous carotid-to-intradural carotid saphenous vein graft for intracavernous giant aneurysm, tumor, and occlusive cerebrovascular disease / R. F. Spetzler, T. Fukushima, N. Martin, J. M. Zabramski // *J. Neurosurg.* – 1990. – Oct. – Vol. 73, N 4. – P. 496–501.
227. Pinar, Y. A. Anatomy of the superficial temporal artery and its branches: its importance for surgery / Y. A. Pinar, F. Govsa // *Surg. Radiol. Anat.* – 2006. – Jun. – Vol. 28, N 3. – P. 248–253.
228. Pipeline embolization device (PED) for neurovascular reconstruction: initial experience in the treatment of 101 intracranial aneurysms and dissections / S. Fischer, Z. Vajda, M. Aguilar Perez, E. Schmid et al. // *Neuroradiology.* – 2012. – Apr. – Vol. 54, N 4. – P. 369–382.
229. Practice makes perfect? The role of simulation-based deliberate practice and script-based mental rehearsal in the acquisition and maintenance of operative neurosurgical skills / H. Marcus, V. Vakharia, M. A. Kirkman, M. Murphy et al. // *Neurosurgery.* – 2013. – Jan. – Vol. 72, Suppl. 1. – P. 124–130.
230. Prevalence and risk of rupture of intracranial aneurysms: a systematic review / G. J. Rinkel, M. Djibuti, A. Algra, J. van Gijn // *Stroke.* – 1998. – Jan. – Vol. 29, N 1. – P. 251–256.

231. Profound hypothermia and circulatory arrest with skull base approaches for treatment of complex posterior circulation aneurysms / B. J. Sullivan, L. N. Sekhar, D. H. Duong, G. Mergner et al. // *Acta Neurochir. (Wien)*. – 1999. – Vol. 141, N 1. – P. 1–11.
232. Proposed classification of segments of the internal carotid artery: anatomical study with angiographical interpretation / I. M. Ziyal, T. Ozgen, L. N. Sekhar, O. E. Ozcan et al. // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2005. – Apr. – Vol. 45, N 4. – P. 184–190.
233. Pure vasogenic edema caused by cerebral hyperperfusion after superficial temporal artery to middle cerebral artery anastomosis – case report / J. Kokuzawa, Y. Kaku, T. Watarai, T. Tanaka et al. // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2010. – Vol. 50, N 3. – P. 250–253.
234. Quality assessment of a new surgical simulator for neuroendoscopic training / F. V. Filho, G. Coelho, S. Cavalheiro, M. Lyra et al. // *Neurosurg. Focus*. – 2011. – Apr. – Vol. 30, N 4. – P. 17.
235. Quinones-Hinojosa, A. In situ bypass in the management of complex intracranial aneurysms: technique application in 13 patients / A. Quinones-Hinojosa, M. T. Lawton // *Neurosurgery*. – 2008. – Jun. – Vol. 62, N 6, Suppl. 3. – P. 1442–1449.
236. Quinones-Hinojosa, A. Revascularization with saphenous vein bypasses for complex intracranial aneurysms / A. Quinones-Hinojosa, R. Du, M. T. Lawton // *Skull Base*. – 2005. – May. – Vol. 15, N 2. – P. 119–132.
237. Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training / T. P. Grantcharov, V. B. Kristiansen, J. Bendix, L. Bardram et al. // *Br. J. Surg.* – 2004. – Feb. – Vol. 91, N 2. – P. 146–150.
238. Recent advancements in medical simulation: patient-specific virtual reality simulation / W. I. Willaert, R. Aggarwal, I. Van Herzeele, N. J. Cheshire et al. // *World J. Surg.* – 2012. – Jul. – Vol. 36, N 7. – P. 1703–1712.
239. Recent advances in cerebrovascular simulation and neuronavigation for the optimization of intracranial aneurysm clipping / P. Marinho, L. Thines, L. Verscheure, S. Mordon et al. // *Comput. Aided Surg.* – 2012. – Vol. 17, N 2. – P. 47–55.

240. Recommendations for the management of moyamoya disease. A statement from Research Committee on Spontaneous occlusion of the Circulus of Willis (Moyamoya disease) // *Surg. Cereb. Stroke.* – 2009. – Vol. 37, N 5. – P. 321–337.
241. Research Committee on the Pathology and Treatment of Spontaneous Occlusion of the Circle of Willis, Health Labour Sciences Research Grant for Research on Measures for Infractable Diseases / Guidelines for diagnosis and treatment of moyamoya disease (spontaneous occlusion of the circle of Willis) // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo).* – 2012. – Vol. 52, N 5. – P. 245–266.
242. Result of extracranial-intracranial bypass surgery in the treatment of complex intracranial aneurysms: outcomes in 15 cases / E. K. Park, J. S. Ahn, D. H. Kwon, B. D. Kwun // *J. Korean Neurosurg. Soc.* – 2008. – Oct. – Vol. 44, N 4. – P. 228–233.
243. Revascularization and aneurysm surgery: techniques, indications, and outcomes in the endovascular era / M. Y. Kalani, W. Ramey, F. C. Albuquerque, C. G. McDougall et al. // *Neurosurgery.* – 2014. – May. – Vol. 74, N 5. – P. 482–497.
244. "Reverse" bypass using a naturally formed "bonnet" superficial temporal artery in symptomatic common carotid artery occlusion: a case report / N. Otani, K. Wada, F. Sakakibara, K. Nagatani et al. // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo).* – 2014. – Vol. 54, N 10. – P. 851–853.
245. Reznick, R. K. Teaching surgical skills – changes in the wind / R. K. Reznick, H. MacRae // *N. Engl. J. Med.* – 2006. – Dec. 21. – Vol. 355, N 25. – P. 2664–2669.
246. Ribourtout, E. Gene therapy and endovascular treatment of intracranial aneurysms / E. Ribourtout, J. Raymond // *Stroke.* – 2004. – Mar. – Vol. 35, N 3. – P. 786–793.
247. Role of cranial and spinal virtual and augmented reality simulation using immersive touch modules in neurosurgical training / A. Alaraj, F. T. Charbel, D. Birk, M. Tobin et al. // *Neurosurgery.* – 2013. – Jan. – Vol. 72, Suppl. 1. – P. 115–123.
248. Russell, S. M. Revascularizing the upper basilar circulation with saphenous vein grafts: operative technique and lessons learned / S. M. Russell, N. Post, J. J. Jafar // *Surg. Neurol.* – 2006. – Sept. – Vol. 66, N 3. – P. 285–297.

249. Sanai, N. Bypass surgery for complex brain aneurysms: an assessment of intracranial-intracranial bypass / N. Sanai, Z. Zador, M. T. Lawton // *Neurosurgery*. – 2009. – Oct. – Vol. 65, N 4. – P. 670–683.
250. Santiago-Dieppa, D. R. Endovascular and surgical options for ruptured middle cerebral artery aneurysms: review of the literature / D. R. Santiago-Dieppa, J. S. Pannell, A. A. Khalessi // *Stroke Research and Treatment*. – 2014. – Vol. 2014. – P. 1–5.
251. Saphenous vein graft bypass in the treatment of giant cavernous sinus aneurysms: report of two cases / R. Ramina, M. S. Meneses, A. A. Pedrozo, W. O. Arruda et al. // *Arq. Neuropsiquiatr.* – 2000. – Mar. – Vol. 58, N 1. – P. 162–168.
252. Satava, R. M. Historical review of surgical simulation – a personal perspective / R. M. Satava // *World J. Surg.* – 2008. – Feb. – Vol. 32, N 2. – P. 141–148.
253. Sato, S. EC-IC bypass surgery using a long vein graft–reconstructive procedures for the occluded long vein grafts / S. Sato, S. Kadoya // *No Shinkei Geka*. – 1987. – Aug. – Vol. 15, N 8. – P. 885–890.
254. Sheehan, D. *Theory & Practice of Histotechnology* / D. Sheehan. – Battelle Press, 1987. – 481 p.
255. Short segment internal maxillary artery to middle cerebral artery bypass: a novel technique for extracranial-to-intracranial bypass / S. I. Abdulrauf, J. M. Sweeney, Y. S. Mohan, S. K. Palejwala // *Neurosurgery*. – 2011. – Mar. – Vol. 68, N 3. – P. 804–808.
256. Simulation-based interpersonal communication skills training for neurosurgical residents / S. Harnof, M. Hadani, A. Ziv, H. Berkenstadt // *Isr. Med. Assoc. J.* – 2013. – Sept. – Vol. 15, N 9. – P. 489–492.
257. Simulation in neurosurgery: a review of computer-based simulation environments and their surgical applications / H. R. Malone, O. N. Syed, M. S. Downes, A. L. D'Ambrosio et al. // *Neurosurgery*. – 2010. – Oct. – Vol. 67, N 4. – P. 1105–1116.
258. Simulation of a high-flow extracranial-intracranial bypass using a radial artery graft in a novel fresh tissue model / J. J. Russin, W. J. Mack, J. N. Carey, M. Minneti et al. // *Neurosurgery*. – 2012. – Dec. – Vol. 71, N 2, Suppl. Operative. – P. 315–319.

259. Simulation of and training for cerebral aneurysm clipping with 3-dimensional models / T. Kimura, A. Morita, K. Nishimura, H. Aiyama et al. // *Neurosurgery*. – 2009. – Oct. – Vol. 65, N 4. – P. 719–725.
260. Simulation training in neurological surgery / P. Das, T. Goyal, A. Xue, S. Kalatoor et al. // *Austin Neurosurg. Open Access*. – 2014. – N 1. – P. 1004.
261. Skills acquisition and assessment after a microsurgical skills course for ophthalmology residents / D. G. Ezra, R. Aggarwal, M. Michaelides, N. Okhravi et al. // *Ophthalmology*. – 2009. – Feb. – Vol. 116, N 2. – P. 257–262.
262. Society of Neurological Surgeons boot camp courses: knowledge retention and relevance of hands-on learning after 6 months of postgraduate year 1 training / N. R. Selden, V. C. Anderson, S. McCartney, T. C. Origitano et al. // *J. Neurosurg.* – 2013. – Sept. – Vol. 119, N 3. – P. 796–802.
263. Spetzler, R. F. *Cerebral Revascularization for Stroke* / R. F. Spetzler / Eds L. P. Carter, W. R. Selman, N. Martin. – N.-Y. : Thieme-Stratton, 1985. – 613 p.
264. Spetzler, R. F. The quiet revolution: retractorless surgery for complex vascular and skull base lesions / R. F. Spetzler, N. Sanai // *J. Neurosurg.* – 2012. – Feb. – Vol. 116, N 2. – P. 291–300.
265. STA-ACA anastomosis with interposed vein graft; a case report / K. Tanaka, Y. Yonekawa, K. Satou, K. Katagiri et al. // *No Shinkei Geka*. – 1992. – Feb. – Vol. 20, N 2. – P. 171–176.
266. STA-ACA bypass using the contralateral STA as an interposition graft for the treatment of complex ACA aneurysms: report of two cases and a review of the literature / E. S. Park, J. S. Ahn, J. C. Park., H. Kwon do et al. // *Acta Neurochir. (Wien)*. – 2012. – Aug. – Vol. 154, N 8. – P. 1447–1453.
267. Standardization is superior to traditional methods of teaching open vascular simulation / J. Bath, P. Lawrence, A. Chandra, J. O'Connell et al. // *J. Vasc. Surg.* – 2011. – Jan. – Vol. 53, N 1. – P. 229–235.
268. Stehbens, W. E. Aneurysms and anatomical variation of cerebral arteries / W. E. Stehbens // *Arch. Pathol.* – 1963. – Jan. – Vol. 75. – P. 45–64.

269. Stehbens, W. E. Pathology of the cerebral blood vessels / W. E. Stehbens. – St. Louis : Mosby, 1972. – 661 p.
270. Stent-assisted coiling of intracranial aneurysms: clinical and angiographic results in 216 consecutive aneurysms / M. Piotin, R. Blanc, L. Spelle, C. Mounayer et al. // *Stroke*. – 2010. – Jan. – Vol. 41, N 1. – P. 110–115.
271. Stroke: what's new? Cerebral revascularization / J. I. Ausman, M. C. Lee, A. C. Klasen, E. L. Seljeskog et al. // *Minn. Med.* – 1976. – Apr. – Vol. 59, N 4. – P. 223–227.
272. Study of the posterior circulation in moyamoya disease. Clinical and neuroradiological evaluation / S. Miyamoto, H. Kikuchi, J. Karasawa, I. Nagata et al. // *J. Neurosurg.* – 1984. – Dec. – Vol. 61, N 6. – P. 1032–1037.
273. Subclavian carotid transposition and bypass grafting: consecutive cohort study and systematic review / C. S. Cina, H. A. Safar, A. Lagana, G. Arena et al. // *J. Vasc. Surg.* – 2002. – Mar. – Vol. 35, N 3. – P. 422–429.
274. Subclavian steal syndrome. Part 1: Proximal vertebral to common carotid artery transposition in three patients, and historical review / G. L. Bohmfalk, J. L. Story, W. E. Brown, A. E. Marlin // *J. Neurosurg.* – 1979. – Nov. – Vol. 51, N 5. – P. 628–640.
275. Subclavian to middle cerebral artery saphenous vein bypass graft / R. F. Spetzler, R. S. Rhodes, R. A. Roski, M. J. Likavec // *J. Neurosurg.* – 1980. – Oct. – Vol. 53, N 4. – P. 465–469.
276. Submandibular-infratemporal interpositional carotid artery bypass for cranial base tumors and giant aneurysms / W. T. Couldwell, J. K. Liu, A. Amini, P. Kan // *Neurosurgery*. – 2006. – Oct. – Vol. 59, N 4, Suppl 2. – P. 353–359.
277. Successful flow reduction treatment for a middle cerebral artery aneurysm in a patient with systemic lupus erythematosus / K. Takemoto, T. Hatano, Y. Abekura, J. C. Takahashi et al. // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2013. – Vol. 53, N 3. – P. 192–195.
278. Successful obliteration and shrinkage of giant partially thrombosed basilar artery aneurysms through a tailored flow reduction strategy with bypass surgery / S. Miyamoto, T. Funaki, K. Iihara, J. C. Takahashi // *J. Neurosurg.* – 2011. – Apr. – Vol. 114, N 4. – P. 1028–1036.

279. Successful superficial temporal artery-anterior cerebral artery direct bypass using a long graft for moyamoya disease: technical note / A. Kawashima, T. Kawamata, K. Yamaguchi, T. Hori et al. // *Neurosurgery*. – 2010. – Sept. – Vol. 67, N 3, Suppl. Operative. – P. 145–149.
280. Sundt, T. M. Occipital to posterior inferior cerebellar artery bypass surgery / T. M. Sundt Jr., D. G. Piepgras // *J. Neurosurg.* – 1978. – Jun. – Vol. 48, N 6. – P. 916–928.
281. Superficial temporal and occipital artery bypass pedicles to superior, anterior inferior, and posterior inferior cerebellar arteries for vertebrobasilar insufficiency / J. I. Ausman, F. G. Diaz, D. F. Vacca, B. Sadasivan // *J. Neurosurg.* – 1990. – Apr. – Vol. 72, N 4. – P. 554–558.
282. Superficial temporal artery to middle cerebral artery double bypass via a small craniotomy: technical note / S. Yoshimura, Y. Egashira, Y. Enomoto, K. Yamada et al. // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2010. – Vol. 50, N 10. – P. 956–959.
283. Superficial temporal artery to superior cerebellar artery anastomosis for distal basilar artery stenosis / J. I. Ausman, M. C. Lee, N. Chater, R. E. Latchaw // *Surg. Neurol.* – 1979. – Oct. – Vol. 12, N 4. – P. 277–282.
284. Surgery on the lateral skull base with the navigated controlled drill employed for a mastoidectomy (pre clinical evaluation) / M. Hofer, R. Grunert, E. Dittrich, E. Muller et al. // *Stud. Health Technol. Inform.* – 2007. – Vol. 125. – P. 179–184.
285. Surgical management in patients with aneurysmal subarachnoid hemorrhage. The outcomes in the paradigm shift period / B. Czapiga, M. Kozba-Gosztyla, W. Jarmundowicz, T. Szczepański // *Adv. Clin. Exp. Med.* – 2013. – Vol. 22, N 4. – P. 539–547.
286. Surgical skills training and simulation / S. Tsuda, D. Scott, J. Doyle, D. B. Jones // *Curr. Probl. Surg.* – 2009. – Apr. – Vol. 46, N 4. – P. 271–370.
287. Surgical techniques for unclippable fusiform A2-anterior cerebral artery aneurysms and description of a frontopolar-to-A2 bypass / P. R. Chen, A. A. Abula, C. G. McDougall, R. F. Spetzler et al. // *World Neurosurg.* – 2014. – Feb. – Vol. 81, N 2. – P. 441 e9-15.

288. Suzuki, J. Comments on "moyamoya disease" / J. Suzuki, A. Takaku, M. Asahi; ed. T. Kudo // *A Disease with Abnormal Intracranial Vascular Networks*. – Tokyo : Igakushoin, 1967. – P. 73–75.
289. Suzuki, Y. Simulation of endovascular neurointervention using silicone models: imaging and manipulation / Y. Suzuki, M. Fujitsuka, J. C. Chaloupka // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2005. – Nov. – Vol. 45, N 11. – P. 567–572.
290. Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery / K. Gurusamy, R. Aggarwal, L. Palanivelu, B. R. Davidson // *Br. J. Surg.* – 2008. – Sept. – Vol. 95, N 9. – P. 1088–1097.
291. Tailored flow alteration treatment for intracranial internal carotid artery aneurysms: strategy beyond parent artery occlusion with bypass. Case report / K. Sato, M. Yamada, K. Abe, H. Oka et al. // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2012. – Vol. 52, N 4. – P. 213–216.
292. Takahashi, J. C. Moyamoya disease: recent progress and outlook / J. C. Takahashi, S. Miyamoto // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2010. – Vol. 50, N 9. – P. 824–832.
293. "Target bypass": a method for preoperative targeting of a recipient artery in superficial temporal artery-to-middle cerebral artery anastomoses / K. Kikuta, Y. Takagi, Y. Fushimi, K. Ishizu et al. // *Neurosurgery*. – 2008. – Jun. – Vol. 62, N 6, Suppl. 3. – P. 1434–1441.
294. Testing technical skill via an innovative "bench station" examination / R. Reznick, G. Regehr, H. MacRae, J. Martin et al. // *Am. J. Surg.* – 1997. – Mar. – Vol. 173, N 3. – P. 226–230.
295. The Barrow Ruptured Aneurysm Trial / C. G. McDougall, R. F. Spetzler, J. M. Zabramski, S. Partovi et al. // *J. Neurosurg.* – 2012. – Jan. – Vol. 116, N 1. – P. 135–144.
296. The Barrow Ruptured Aneurysm Trial: 3-year results / R. F. Spetzler, C. G. McDougall, F. C. Albuquerque, J. M. Zabramski et al. // *J. Neurosurg.* – 2013. – Jul. – Vol. 119, N 1. – P. 146–157.
297. The "bonnet bypass". Case report / R. F. Spetzler, R. A. Roski, R. S. Rhodes, M. T. Modic // *J. Neurosurg.* – 1980. – Nov. – Vol. 53, N 5. – P. 707–709.

298. The DextroBeam: a stereoscopic presentation system for volumetric medical data / L. Serra, R. Kockro, L. C. Goh, H. Ng et al. // *Stud. Health Technol. Inform.* – 2002. – Vol. 85. – P. 478–484.
299. The durability of endovascular coiling versus neurosurgical clipping of ruptured cerebral aneurysms: 18 year follow-up of the UK cohort of the International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) / A. J. Molyneux, J. Birks, A. Clarke, M. Sneade et al. // *Lancet.* – 2015. – Feb. – Vol. 385, N 9969. – P. 691–697.
300. The "Multi Clip" method in unruptured complex middle cerebral artery aneurysms—a case series / D. R. Babbu, H. Sano, Y. Kato, O. Arabi et al. // *Minim. Invas. Neurosurg.* – 2006. – Dec. – Vol. 49, N 6. – P. 331–334.
301. The natural course of unruptured cerebral aneurysms in a Japanese cohort / A. Morita, T. Kirino, K. Hashi, N. Aoki et al. // *N. Engl. J. Med.* – 2012. – Jun. 28. – Vol. 366, N 26. – P. 2474–2482.
302. The potential for improved teamwork to reduce medical errors in the emergency department. The MedTeams Research Consortium / D. T. Risser, M. M. Rice, M. L. Salisbury, R. Simon et al. // *Ann. Emerg. Med.* – 1999. – Sept. – Vol. 34, N 3. – P. 373–383.
303. The role of laboratory dissection training in neurosurgical residency: results of a national survey / V. R. Kshetry, J. P. Mullin, R. Schlenk, P. F. Recinos et al. // *World Neurosurg.* – 2014. – Nov. – Vol. 82, N 5. – P. 554–559.
304. The use of simulation in neurosurgical education and training. A systematic review / M. A. Kirkman, M. Ahmed, A. F. Albert, M. H. Wilson et al. // *J. Neurosurg.* – 2014. – Aug. – Vol. 121, N 2. – P. 228–246.
305. Three-dimensional display in staging hemodynamic brain ischemia for JET study: objective evaluation using SEE analysis and 3D-SSP display / S. Mizumura, J. Nakagawara, M. Takahashi, S. Kumita et al. // *Ann. Nucl. Med.* – 2004. – Feb. – Vol. 18, N 1. – P. 13–21.
306. Tissue-based coronary surgery simulation: medical student deliberate practice can achieve equivalency to senior surgery residents / J. C. Nesbitt, J. St Julien, T. S. Absi, R. M. Ahmad et al. // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* – 2013. – Jun. – Vol. 145, N 6. – P. 1453–1458.

307. Toward reliable operative assessment: the reliability and feasibility of videotaped assessment of laparoscopic technical skills / D. Dath, G. Regehr, D. Birch, C. Schlachta, et al. // *Surg. Endosc.* – 2004. – Dec. – Vol. 18, N 12. – P. 1800–1804.
308. Training models for vascular microneurosurgery / U. Spetzger, A. von Schilling, T. Brombach, G. Winkler // *Acta Neurochir.* – 2011. – Vol. 112, Suppl. – P. 115–119.
309. Training of A3-A3 side-to-side anastomosis in a deep corridor using a box with 6.5-cm depth: technical note / T. Inoue, K. Tsutsumi, K. Saito, S. Adachi et al. // *Surg. Neurol.* – 2006. – Dec. – Vol. 66, N 6. – P. 638–641.
310. Training with simulation improves residents' endovascular procedure skills / D. L. Dawson, J. Meyer, E. S. Lee, W. C. Pevec // *J. Vasc. Surg.* – 2007. – Jan. – Vol. 45, N 1. – P. 149–154.
311. Training with simulation versus operative room attendance / L. M. Desender, I. Van Herzeele, R. Aggarwal, F. E. Vermassen et al. // *J. Cardiovasc. Surg. (Torino)*. – 2011. – Feb. – Vol. 52, N 1. – P. 17–37.
312. Treatment of posterior circulation ischemia with extracranial percutaneous balloon angioplasty and stent placement / A. M. Malek, R. T. Higashida, C. C. Phatouros, T. E. Lempert et al. // *Stroke*. – 1999. – Oct. – Vol. 30, N 10. – P. 2073–2085.
313. Treatment of ruptured cerebral aneurysms – clip and coil, not clip versus coil / Y. Kaku, K. Yamashita, J. Kokuzawa, N. Hatsuda, T. Andoh // *Acta Neurochir.* – 2010. – Vol. 107, Suppl. – P. 9–13.
314. Treatment of unruptured intracranial aneurysms: a nationwide assessment of effectiveness / R. T. Higashida, B. J. Lahue, M. T. Torbey, L. N. Hopkins et al. // *Am. J. Neuroradiol.* – 2007. – Jan. – Vol. 28, N 1. – P. 146–151.
315. Treatment selection for ruptured aneurysm and outcomes: clipping or coil embolization / H. Tenjin, M. Takadou, T. Ogawa, A. Mandai et al. // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2011. – Vol. 51, N 1. – P. 23–29.
316. Tsang, P. S. Principles and practice of aviation psychology / P. S. Tsang, M. A. Vidulich. – Boca Raton, FL : CRC Press, 2002. – 624 p.
317. Universal external carotid artery to proximal middle cerebral artery bypass with interposed radial artery graft prior to approaching ruptured blood blister-like aneurysm of

the internal carotid artery / T. Ishikawa, T. Mutoh, N. Nakayama, H. Yasuda et al. // *Neurol. Med. Chir. (Tokyo)*. – 2009. – Nov. – Vol. 49, N 11. – P. 553–558.

318. Unruptured intracranial aneurysms – risk of rupture and risks of surgical intervention. International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms Investigators // *N. Engl. J. Med.* – 1998. – Dec. 10. – Vol. 339, N 24. – P. 1725–1733.

319. Validation of an objective structured assessment of technical skill for surgical residents / H. Faulkner, G. Regehr, J. Martin, R. Reznick // *Acad. Med.* – 1996. – Dec. – Vol. 71, N 12. – P. 1363–1365.

320. Van Alphen, H. A. An acute experimental model of saccular aneurysms in the rat / H. A. van Alphen, Y. Z. Gao, W. Kamphorst // *Neurol. Res.* – 1990. – Dec. – Vol. 12, N 4. – P. 256–259.

321. Vein graft bypass in treatment of giant aneurysm / T. Iwabuchi, T. Kudo, M. Hatanaka, N. Oda et al. // *Surg. Neurol.* – 1979. – Dec. – Vol. 12, N 6. – P. 463–466.

322. Venous and arterial bypass grafts for difficult tumors, aneurysms, and occlusive vascular lesions: evolution of surgical treatment and improved graft results / L. N. Sekhar, S. D. Bucur, W. O. Bank, D. C. Wright // *Neurosurgery*. – 1999. – Jun. – Vol. 44, N 6. – P. 1207–1223.

323. Verbal feedback from an expert is more effective than self-accessed feedback about motion efficiency in learning new surgical skills / M. C. Porte, G. Xeroulis, R. K. Reznick, A. Dubrowski // *Am. J. Surg.* – 2007. – Jan. – Vol. 193, N 1. – P. 105–110.

324. Vertebral artery-to-middle cerebral artery bypass with coil embolization of giant internal carotid artery aneurysm: technical case report / V. J. Miele, C. L. Rosen, J. Carpenter, A. Rai et al. // *Neurosurgery*. – 2005. – May. – Vol. 56, N 5. – P. E1159.

325. Vertebrobasilar insufficiency. Part 1: Microsurgical treatment of extracranial vertebrobasilar disease / R. F. Spetzler, M. N. Hadley, N. A. Martin, L. N. Hopkins et al. // *J. Neurosurg.* – 1987. – May. – Vol. 66, N 5. – P. 648–661.

326. Virtual reality implementation in neurosurgical practice: the "can't take my eyes off you" effect / G. Matis, D Silva, O. Chrysou, M. Karanikas et al. // *Turk. Neurosurg.* – 2013. – Vol. 23, N 5. – P. 690–691.

327. Virtual reality simulation: basic concepts and use in endoscopic neurosurgery training / A. R. Cohen, S. Lohani, S. Manjila, S. Natsupakpong et al. // *Childs Nerv. Syst.* – 2013. – Aug. – Vol. 29, N 8. – P. 1235–1244.
328. Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery / K. S. Gurusamy, R. Aggarwal, L. Palanivelu, B. R. Davidson // *Cochrane Database Syst. Rev.* – 2009. – N 1. – P. CD006575.
329. Weaver, S. J. Team-training in health care: brief update review / S. J. Weaver, M. A. Rosen // *Making Health Care Safer II: An Updated Critical Analysis of the Evidence for Patient Safety Practices.* Agency for Healthcare Research and Quality (US) Evidence Reports/Technology Assessments. – 2013. – Vol. 211. – P. 472–480.
330. What is the cost associated with the implementation and maintenance of an ACS/APDS-based surgical skills curriculum? / E. Danzer, K. Dumon, G. Kolb, L. Pray et al. // *J. Surg. Educ.* – 2011. – Vol. 68, N 6. – P. 519–525.
331. Wiebers, D. O. Unruptured intracranial aneurysms: natural history and clinical management. Update on the international study of unruptured intracranial aneurysms / D. O. Wiebers // *Neuroimag. Clin. N. Am.* – 2006. – Aug. – Vol. 16, N 3. – P. 383–390.
332. Yaşargil, M. G. Experimental small vessel surgery in the dog including patching and grafting of cerebral vessels and formation of functioning extra-intracranial shunts, in Donaghy RMP / M. G. Yaşargil // *Microvascular Surgery*; Ed. M. G. Yaşargil. – Stuttgart: George-Thieme, 1967. – P. 87–126.
333. Yaşargil, M. G. *Microneurosurgery*: in 4 volumes / M. G. Yaşargil. – N.-Y. : Thieme Stratton, 1984. – Vol. 1. – 242 p.
334. Yaşargil, M. G. *Microsurgery: Applied to Neurosurgery* / M. G. Yaşargil. – N.-Y. : George Thieme Verlag, 1969. – 230 p.
335. Yaşargil, M. G. Operative anatomy, in Yaşargil MG (ed.): *Microsurgical Anatomy of the Basal Cisterns and Vessels of the Brain, Diagnostic Studies, General Operative Techniques and Pathological Considerations of the Intracranial Aneurysms* / M. G. Yaşargil. – Stuttgart ; N.-Y. : Verlag GT, 1984. – Vol. 1. – P. 72–134.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Северо-Западный объективный инструмент оценки микроанастомоза

(перевод с англ. из El Ahmadieh TY et. al. Didactic and Hands-on Module Enhances Resident Microsurgical Knowledge and Technical Skill. Neurosurgery. 2013 Oct;73 Suppl 1:S51-6)

Имя наблюдателя _____ Время начала упражнения _____

Имя респондента _____ Время окончания упражнения _____

Дата _____ Итоговое время _____

Пожалуйста, обведите цифру для каждой категории, независимо от уровня экзаменуемого.

| Осанка и поза | | | | |
|---|---|--|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Сгорбленная спина, скрученные запястья, поджатые плечи, широкий размах движений. | | Хорошая осанка и поза в начале, но ухудшается к концу процесса, изредка производит размашистые движения. | | Оптимально эргономичная и расслабленная поза, экономные движения. |
| Использование хирургического микроскопа | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Часто перенастраивает положение микроскопа, фокусное и рабочее расстояние. Часто работает вне фокуса или использует увеличение, которое затрудняет надлежащее ориентирование в операционном поле. Двигает хирургическое поле вместо микроскопа. | | Работает в пределах фокусного расстояния большую часть времени, но перенастраивает его во многих случаях. Знаком с использованием микроскопа, но еще не профессионально. | | Оптимизирует увеличение, фокусное расстояние и другие оптические установки микроскопа в начале задания и изменяет их только по мере необходимости. |
| Знание хирургического инструментария | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Постоянно использует не подходящий для задачи инструмент. | | Использует подходящий для задачи инструмент большую часть времени. При ошибке быстро меняет инструмент на правильный. | | Точное соответствие инструмента задаче, хорошее знание инструментов и их использование в соответствии с хирургической потребностью. |
| Владение хирургическим инструментом | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Часто делает инструментами неуверенные или неловкие движения. | | Компетентное использование инструментов, хотя изредка возникают резкие, неуклюжие движения. | | Плавные движения инструментов, без неловкости. |

| Обращение с сосудом и бережное отношение к тканям | | | | |
|--|---|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Часто повреждает сосуд несоразмерным применением силы, с перфорацией или разрывом стенки. Ранение сосуда вследствие ненадлежащего обращения с иглой или инструментом или во время формирования узла. | | Приемлемое или единичное случайное повреждение, которое не влияет на целостность сосуда, но может теоретически способствовать повреждению интимы и/или тромбозу. Компетентное использование инструментов, хотя изредка возникают грубые неуклюжие движения. Грубые движения возле линии анастомоза при завязывании узлов. | | Сосуд почти интактный в конце выполнения задачи. Отсутствуют движения, которые могут способствовать повреждению эндотелия интимы или тромбозу. Высокая сноровка в обращении с тканями. |
| Безопасное обращение с иглой | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Непоправимое повреждение иглы, потребовался новый шовный материал для завершения анастомоза. | | Игла умеренно деформирована, но все еще функциональна. | | Игла не повреждена и не деформирована в конце выполнения задачи. |
| Равномерность наложения швов | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Расстояние от мест вколов до края анастомоза неодинаковое. Расстояние между соседними вколами неодинаковое. | | Примерно 50 % мест вколов выполнено равномерно от края. Расстояние между соседними вколами одинаковое. | | Все вколы иглой ровные и регулярные. |
| Расстояние между швами | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Постоянно неравномерные интервалы. Неоптимальное количество швов для завершения анастомоза (более или менее чем 10–12 для $d = 3$ мм, 6–8 – для $d = 1$ мм). | | Более 50 % интервалов идентичны и равномерны, использовано неоптимальное количество швов (более или менее чем 10–12 для $d = 3$ мм, 6–8 – для $d = 1$ мм). | | Интервалы равномерны, количество швов соответствует размеру сосуда и рекомендованному количеству швов (10–12 для $d = 3$ мм, 6–8 – для $d = 1$ мм). |
| Завязывание узлов и экономия нити | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Швы слабо затянуты и потенциально могут развязаться. Швы затянуты чрезмерно сильно, прорезывают или травмируют стенку сосуда. Неэкономно использует нить: для завершения анастомоза требуется три и более нитей. | | Допустимое качество узлов, но неравномерно и не постоянно. Кончики отрезаны на оптимальном расстоянии. Для завершения анастомоза требуется две нити. | | Отличные хирургические узлы, затянутые с хорошей силой и натяжением. Оптимальная длина кончиков нитей. Анастомоз выполнен одной нитью. |

| Владение иглой под микроскопическим увеличением | | | | |
|--|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Много ненужных движений, много попыток захватить иглу, много движений для успешного прокола ткани иглой, часто теряет иглу из вида. | | Мало ненужных движений, мало попыток захвата иглы, мало движений требуется для успешного прокола ткани. | | Нет ненужных движений, захват иглы с первого раза, экономные и эффективные движения, большинство проколов ткани выполняет успешно с первой попытки. |
| Владение нитью под микроскопическим увеличением | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Много ненужных движений, много попыток для захвата нити и завязывания узла. Нить часто рвется или загибается от чрезмерного применения силы. | | Мало ненужных движений, мало попыток для успешного захвата нити. Разрывы нити минимальны и не вредят формированию узла. | | Нет ненужных движений. Экономные и эффективные движения. Большинство захватов нити и завязывание узла с первой попытки. |
| Оценка выполненного анастомоза без давления | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Сильное искривление или скручивание сосуда. Сосуд полностью деформирован либо анастомоз не закончен. | | Нет скручивания сосуда, небольшая деформация сосуда | | Хорошая линия анастомоза, анастомоз выглядит функциональным. |
| Оценка выполненного анастомоза под давлением | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Струя жидкости, протекающая между соседними швами. Профузное истечение без специфического источника. Окклюзия анастомоза. | | Умеренное истечение жидкости по линии анастомоза без специфического источника. | | Небольшое истечение жидкости, в основном из мест вкола иглы, которое <i>in vivo</i> могло бы остановиться прикладыванием ватного тампона. |
| Оценка выполненного анастомоза – осмотр просвета | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Стеноз >70 %. Задняя стенка захвачена одним из швов. | | Стеноз 10–50 %. Наслаивающиеся края, минимально компримирующие просвет сосуда. Свободная задняя стенка. | | Отсутствие значимого стеноза, который мог бы ограничить кровоток. |
| Результат (субъективно) | | | | |
| 0 | | | | 1 |
| Не зачет | | | | Зачет |

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Объективная структурированная оценка навыков клипирования аневризмы

Имя наблюдателя _____ Имя респондента _____

Время, прошедшее после окончания учебы _____ Дата _____.____._____

Время начала упражнения _____ Время окончания упражнения _____ Затраченное время _____

Тренировался респондент раньше? Да/Нет _____ Основная рука: левая/правая _____

Обведите в кружок цифру в каждой категории, вне зависимости от уровня респондента

| 1. Осанка и поза | | | | |
|---|---|--|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Сгорбленная спина, скрученные запястья, поджатые плечи, широкий размах движений. | | Хорошая осанка и поза в начале, но ухудшается к концу процесса, изредка производит размашистые движения. | | Оптимально эргономичная и расслабленная поза, экономные движения. |
| 2. Использование хирургического микроскопа | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Часто перенастраивает положение микроскопа, фокусное и рабочее расстояние. Часто работает вне фокуса или использует увеличение, которое затрудняет надлежащее ориентирование в операционном поле. Двигает хирургическое поле вместо микроскопа. | | Работает в пределах фокусного расстояния большую часть времени, но перенастраивает его во многих случаях. Знаком с использованием микроскопа, но еще не профессионально. | | Оптимизирует увеличение, фокусное расстояние и другие оптические установки микроскопа в начале задания и изменяет их только по мере необходимости. |
| 3. Знание хирургического инструментария | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Постоянно использует не подходящий для задачи инструмент. | | Использует подходящий для задачи инструмент большую часть времени. При ошибке быстро меняет инструмент на правильный. | | Точное соответствие инструмента задаче, хорошее знание инструментов и их использование в соответствии с хирургической потребностью. |

| 4. Владение хирургическим инструментом | | | | |
|---|---|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Часто делает инструментами неуверенные или неловкие движения. | | Компетентное использование инструментов, хотя изредка возникают резкие, неуклюжие движения. | | Плавные движения инструментов, без неловкости. |
| 5. Время и движения | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Много лишних движений. | | Эффективное расходование времени и действий, но иногда делает ненужные движения. | | Экономия движений и максимальная эффективность. |
| 6. Течение времени операции и планирование хода операции | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Часто останавливается или нуждается в обсуждении следующего шага. | | Демонстрирует способность к планированию хода операции с устойчивым выполнением этапов операции. | | Явно планирует ход операции, с легким переходом от одного движения к другому. |
| 7. Навык наложения клипсы | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Скудная техника, несущий сосуд компримирован или неполное выключение аневризмы клипированием. | | Умеренно хорошая техника, несущий сосуд умеренно стенозирован, полное выключение аневризмы. | | Отличная техника, оптимальное положение клипсы, аневризма полностью выключена из кровотока без компримирования несущего сосуда. |
| 8. Бережное отношение к тканям | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Часто применяет к тканям излишнюю силу или повреждает их ненадлежащим использованием инструмента. | | Осторожно обращается с тканями, но иногда ненамеренно повреждает их. | | Последовательно и бережно относится к тканям, с минимальным повреждением. |
| 9. Навык микродиссекции | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Скудная техника, часто повреждает сосуды. Аневризма выделена недостаточно. | | Умеренно хорошая техника диссекции близко к сосудам, с допустимым ненамеренным повреждением, которое не влияет на состоятельность стенки сосуда. Адекватное выделение аневризмы и несущего сосуда. | | Отличная техника острой и тупой диссекции, сохранение сосудов, адекватное и достаточное выделение аневризмы и несущего сосуда. |

Общий счет = ____ (из максимальных 45 баллов)