

## Гибридная нейрохирургическая операционная: возможности в лечении артериовенозных мальформаций головного мозга

### Аннотация

Статья посвящена новому техническому решению в хирургии цереброваскулярных заболеваний – гибридной нейрохирургической операционной. Операционные такого типа представляют собой современный нейрохирургический операционный зал с размещенной в нем ангиографической установкой, операционным микроскопом и нейронавигацией. Гибридные операционные позволяют сочетать эндоваскулярные и микрохирургические методы в течение одного оперативного вмешательства. В статье представлены технические и организационные моменты, достоинства и недостатки, а также результаты лечения пациентов со сложными цереброваскулярными заболеваниями в условиях гибридной операционной.

### Введение

Современные инвазивные методы лечения цереброваскулярной патологии включают в себя микрохирургические и эндоваскулярные методики, которые зачастую используют последовательно и раздельно, разбивая вмешательство на этапы, выполняемые в разных помещениях больницы и нередко со значительным промежутком времени между ними. Дигитальная субтракционная ангиография (ДСА), в отличие от магнитной резонансной ангиографии (МРА) и компьютерной томографической ангиографии (КТА), позволяет с высокой точностью визуализировать нормальные и патологические сосуды головного мозга. В связи с этим ДСА используется с диагностической целью для точного планирования микрохирургической операции, а также для визуализации при эндоваскулярном закрытии артериальных аневризм и артериовенозных мальформаций (АВМ) головного мозга. Кроме того, ДСА также выполняют для контроля радикальности лечения в ближайшем и отдаленном послеоперационном периодах [1].

Концепция гибридной операционной [2], [3] заключается в объединении эндоваскулярных и микрохирургических методов диагностики и лечения в одном операционном зале. Стационарная рентгенохирургическая ангиографическая система обеспечивает плавный переход между основными микрохирургическими этапами и применением дигитальной субтракционной ангиографии. При этом ангиографическое исследование выполняется без изменения положения головы и тела пациента за счет передвижения С-дуги.

Основным преимуществом наличия ангиографа в операционной является периоперационное обеспечение ангиографическим изображением высокого разрешения с возможностью незамедлительной оценки и интерпретации нейрохирургом гемодинамических изменений после поэтапного выключения

узла АВМ из кровотока [4]. При этом ключевым моментом является возможность максимально радикального удаления сосудистого поражения в рамках одного оперативного вмешательства и в пределах одной операционной комнаты.

Планировка и проектирование гибридной операционной допускают интеграцию любого медицинского оборудования и нахождение смежных специалистов, необходимых для эффективной и своевременной диагностики и лечения пациентов со сложной цереброваскулярной патологией.

Целью рассматриваемой работы стало описание концепции гибридного операционного зала и его возможностей в лечении АВМ головного мозга. Работа проведена в рамках научно-практического сотрудничества между Иркутским государственным медицинским университетом и медицинским университетом г. Фукуи (Япония).

### Техническое оснащение гибридного операционного зала

Гибридный операционный зал оснащен операционным столом «Magnus» («Maquet Getinge Group», Германия), который позиционируется в трех положениях: для введения наркоза, а также для ангиографических и хирургических этапов операции. Голова пациента фиксируется в рентгенпрозрачной трехточечной скобе («Mayfield® Integra Infinity XR2», США) и регистрируется в системе безрамочной нейронавигации «Curve» («BrainLab», Германия). Нейрофизиологический мониторинг осуществляется на аппарате «Neuropack MEB-2208» («Nihon Konden», Япония).

Рентгенохирургическая ангиографическая система «Allura Xper FD20» («Phillips», Нидерланды) включает в себя С-дугу с плоскочелюстным детектором, размером рабочего поля 30 × 40 см и матрицей высокого разрешения 2560 × 2048 точек. Изображение ДСА выводится на цветной жидкокристалличес-

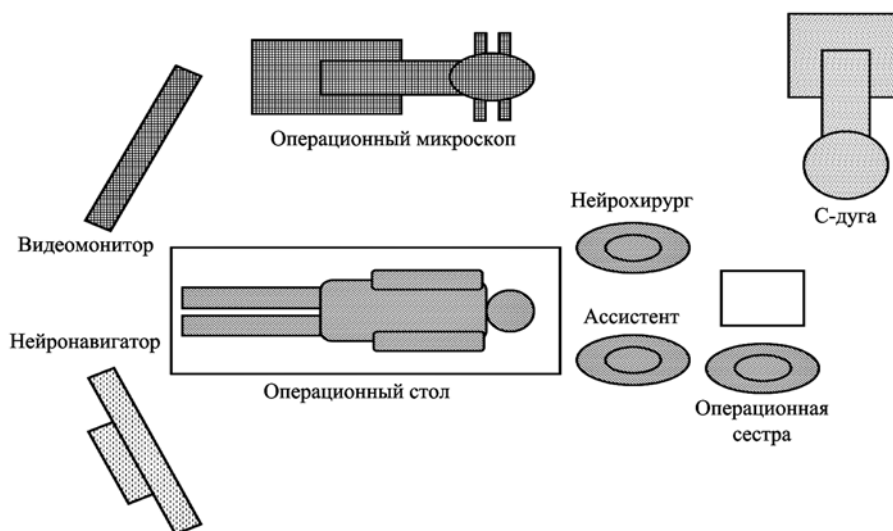


Рис. 1. Схематический план гибридного операционного зала (пояснения в тексте)

кий дисплей с диагональю 56 дюймов («FlexVision XL», «Phillips», Нидерланды). Потолочная подвесная фиксация позволяет производить моторизованное перемещение С-дуги и дисплея, обеспечивая быструю визуализацию в различных проекциях и компактное размещение дуги в зале.

Микрохирургические этапы вмешательства выполняются под увеличением операционного микроскопа «Leica M720 OH5» с модулями для флюоресценции FL400/800 («Leica Microsystems», Германия/Швейцария), позволяющими выполнять интраоперационную видеоангиографию с индоцианиновым зеленым (рис. 1).

### Техника выключения АВМ в условиях гибридного операционного зала

Технологию хирургического лечения АВМ в условиях гибридного операционного зала рассмотрим на примере лечения пациентки 46 лет с АВМ правой височной доли, grade II (по классификации Spetzler-Martin). АВМ асимптоматична, выявлена при МРТ головного мозга по поводу судорожного припадка (рис. 2а, б). Пациентке выполнены тотальная микрохирургическая резекция и клипирование АВМ правой височной доли через субтемпоральную краниотомию с интраоперационной церебральной ДСА.

#### Подготовка в операционной

После начала наркоза пациент уложен на операционный стол с фиксацией головы в скобе. Произведены разметка, обработка и отграничение операционного поля для краниотомии и доступа к бедренной артерии.

#### Диагностическая церебральная ДСА

Первым этапом выполнена катетеризация правой бедренной артерии по методу Сельдингера. По стандартной методике последовательно выполнена селективная церебральная ДСА ветвей внутренней сонной и позвоночной артерий в прямой и боковой проекциях (рис. 2в-д). Оставление направляющего внутрисосудистого катетера требует непрерывного орошения его просвета гепаринизированным физиологическим раствором (5000 ЕД гепарина и 1000 мл физиологического раствора) до следующей интраоперационной ангиографии.

#### Микрохирургический этап операции

При помощи системы безрамочной нейронавигации с учетом полученных данных предоперационной ДСА выполнена

прицельная правосторонняя субтемпоральная краниотомия, визуализирован основной поверхностный клубок патологических АВМ. Выполнена флуоресцентная видеоангиография с индоцианиновым зеленым, которая позволила определить локализацию сосудистого узла, основные патологические приводящие и отводящие сосуды АВМ. Выполнены микрохирургическая диссекция и выделение узла с поэтапным клипированием приводящих передней и средней височных артерий. Контрольная видеоангиография с индоцианином зеленым на операционном микроскопе выявила наличие потока контраста в узле АВМ, но не позволила визуализировать источник кровоснабжения.

#### Эндоваскулярный этап операции

Интраоперационную ДСА выполняет нейроинтервенционная бригада через сформированный ранее доступ. Для ее выполнения вместо операционного микроскопа надвигают С-дугу. По стандартной методике из имеющегося бедренного доступа выполняется селективная катетеризация правой внутренней сонной артерии (ВСА). Полученные изображения бассейна правой ВСА благодаря своему высокому разрешению позволили обнаружить приводящую правую переднюю хороидальную артерию, питающую узел АВМ.

#### Продолжение микрохирургического этапа

Наличие остаточного приводящего сосуда, ветви передней хороидальной артерии, явилось показанием к ее клипированию. Для снижения инвазивности и предотвращения риска кровотечения, связанного с диссекцией вблизи узла, произведен селективный транстемпоральный доступ к передней хороидальной артерии. Под контролем нейронавигации и полученных интраоперационно ангиограмм верифицирована правая передняя хороидальная артерия. Выполнена микрохирургическая диссекция с выделением и клипированием питающей АВМ ветви, АВМ тотально резецирована.

#### Эндоваскулярный контроль

Выполненная контрольная ДСА показала радикальное выключение АВМ из циркуляции (рис. 3а, б). Бедренный катетер извлечен, наложена давящая повязка.

Пациентка переведена в отделение нейрохирургии на вторые сутки без неврологического дефицита, выписана на 8-е сутки в удовлетворительном состоянии. МРТ-контроль показал радикальное выключение АВМ (рис. 3в, г).

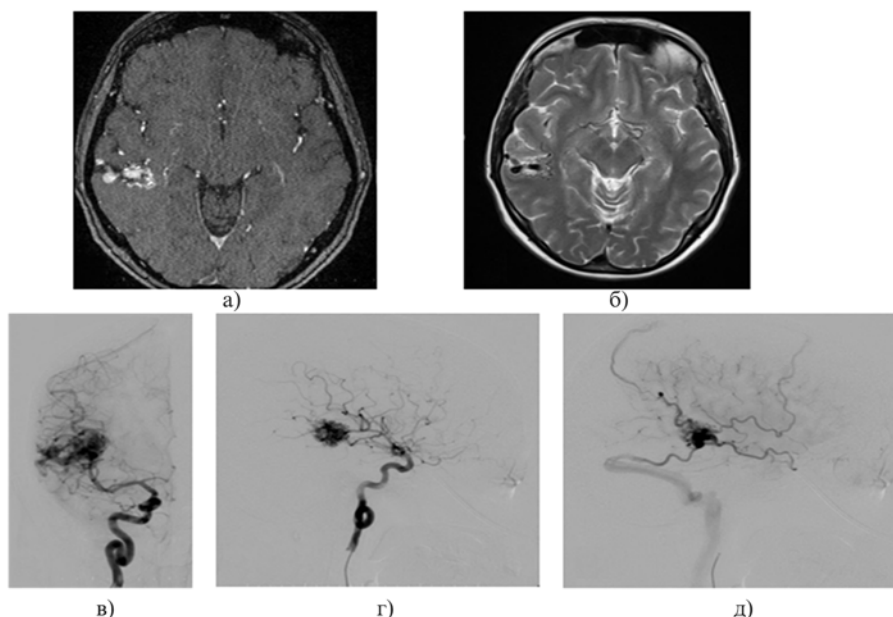


Рис. 2. Предоперационное МРТ-обследование головного мозга: МР-ангиограмма (а), T2-режим (б) и интраоперационные ангиограммы в прямой (в) и боковой (г, д) проекциях визуализируют узел АВМ в правой височной доле, кровоснабжаемый ветвями средней мозговой артерии, и патологический сброс в систему поверхностных вен

## Место гибридной операционной в современных подходах к лечению АВМ

В настоящее время получение интраоперационных изображений является обязательным этапом любого оперативного вмешательства в сосудистой нейрохирургии. Несмотря на активное развитие методов нейровизуализации (КТ-, МРТ-ангиография), ДСА по-прежнему является «золотым» стандартом диагностики сосудистых мальформаций головного и спинного мозга [5]. Совершенствование флуороскопической техники с применением плоскопанельных детекторов позволило значительно улучшить качество получаемых при ДСА изображений. Более того, нейрохирург с помощью программного обеспечения, встроенного в систему С-дуги, может получить вращающуюся 3D-модель сосудов головного мозга [6]. Важно отметить, что сочетание микрохирургической и эндоваскулярной методик является одним из оптимальных способов лечения сложных аневризм сосудов головного мозга и АВМ. Комплексное использование современной нейронавигации, операционного микроскопа, микрохирургического инструментария, а также интраоперационной ДСА позволяет выполнять безопасное микрохирургическое вмешательство на сосудах головного мозга. Параллельно с этим развитие эндоваскулярных технологий также позволяет эффективно и безопасно выполнять выключение сосудистых аномалий из системного кровотока. В идеале все оперативные вмешательства по поводу сложных АВМ и аневризм сосудов головного мозга должны выполняться при наличии ДСА, 3D-модели, микрохирургического инструментария и эндоваскулярных методов лечения (отделяемые спирали, баллонные катетеры, стенты, клеевые композиции) [7].

### Преимущества и недостатки гибридной операционной в лечении АВМ

Преимущество гибридных операционных в лечении сосудистых аномалий, в том числе и АВМ, доказано целым рядом исследований. К примеру, в работе Iihara с соавт. доказано преимущество гибридной операционной перед обычной портативной ДСА в лечении сложных сосудистых аномалий головного мозга [8]. В исследовании Fandino с соавт. также продемонстрирована эффективность гибридных хирургических методов в лечении сложных аневризм сосудов головного мозга [9].

Однако гибридные операционные комнаты не лишены недостатков. К примеру, стоимость оборудования и организация гибридной операционной требуют огромных инвестиций, а сложные сосудистые аномалии встречаются в популяции не так часто. Yatahawa с соавт., проанализировав затраты на лечение сложных сосудистых аномалий в условиях гибридной операционной, пришли к заключению, что операционные та-

кого типа экономически невыгодны. Авторы объясняют свои выводы тем, что гибридная операционная редко использовалась, а клиническая эффективность гибридных хирургических вмешательств в некоторых случаях была сомнительной [10]. Того же мнения придерживаются и Murayama с соавт. [11].

### Заключение

Концепция гибридной операционной рассмотрена с точки зрения оснащения и организации работы смежных подразделений во время нейрохирургического вмешательства по поводу цереброваскулярной патологии. Основой такой организации является четкое взаимодействие нейроинтервенционных специалистов и нейрохирургов в ходе хирургического вмешательства.

Полученные с помощью интраоперационной ДСА данные о питающих ветвях и резидуальных дренажных сосудах АВМ вносят существенный вклад в эффективность оперативного лечения, контроль радикальности выключения АВМ из кровотока, исключая необходимость повторного вмешательства. Несмотря на значительную стоимость оборудования и обслуживания, концепция гибридной операционной является эффективным и перспективным техническим решением в лечении пациентов со сложной цереброваскулярной патологией, что иллюстрировано клиническим примером и литературными данными, и позволяет снизить частоту выявления послеоперационных остаточных узлов и соответственно повторных операций.

### Список литературы:

1. Бывальцев В.А., Белых Е.Г., Степанов И.А. Выбор способа лечения церебральных аневризм различных локализаций в условиях развития современных эндоваскулярных технологий: метаанализ // Вестник РАМН. 2016. № 1. С. 31-40.
2. Oded G., Stephen J., Moshe H., Mati B., Sagi H. Modern intraoperative imaging modalities for the vascular neurosurgeon treating intracerebral hemorrhage // Neurosurgical Focus. 2013. Vol. 34. № 5. PP. 122-124.
3. McCormick W. Pathology of vascular malformations of the brain // Pathology of Vascular Malformations of the Brain. – Baltimore: Williams & Wilkins, 1984. PP. 44-63.
4. Kim H., Su H., Weinsheimer S., Pawlikowska L., Young W. Brain arteriovenous malformation pathogenesis: A response-to-injury paradigm // Acta Neurochirurgica Supplement. 2011. Vol. 111. PP. 83-92.
5. Haydon D.H., Chicoine M.R., Dacey R.G. The impact of high-field-strength intraoperative magnetic resonance imaging on brain tumor management // Neurosurgery. 2013. Vol. 60. № 1. PP. 92-97.

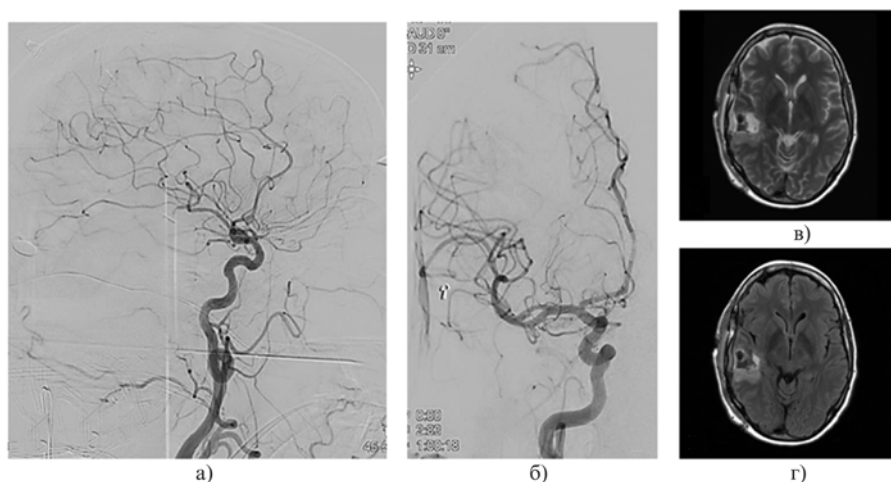


Рис. 3. Интраоперационные ДСА-граммы в боковой (а) и прямой (б) проекциях после клиппирования питающих АВМ ветвей из передней хороидальной артерии, а также послеоперационные МРТ-граммы в T2- (в) и T1-режимах (г) демонстрируют полное выключение мальформации из кровотока

6. *Leng L.Z., Rubin D.G., Patsalides A., Riina H.A.* Fusion of intraoperative three-dimensional rotational angiography and flat-panel detector computed tomography for cerebrovascular neuronavigation // *World Neurosurg.* 2013. Vol. 79. PP. 504-509.
7. *Бывальцев В.А.* Превентивная реваскуляризация для профилактики ишемических и геморрагических инсультов / Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2010.
8. *Iihara K., Satow T., Matsushige T., Kataoka H., Nakajima N., Fukuda K.* Hybrid operating room for the treatment of complex neurovascular and brachiocephalic lesions // *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases.* 2012. Vol. 65. PP. 178-183.
9. *Fandino J., Taussky P., Marbacher S., Muroi C., Diepers M., Fathi A.* The concept of a hybrid operating room: Applications in cerebrovascular surgery // *Acta Neurochirurgica Supplement.* 2013. Vol. 115. PP. 113-117.
10. *Yamakawa K., Kiyama S., Murayama Y., Uezono S.* Incidence and neurological outcomes of aneurysm rupture during interventional neuroradiology procedures in a hybrid operating suite // *J. Anesth.* 2012. Vol. 26. PP. 592-594.
11. *Murayama Y., Arakawa H., Ishibashi T., Kawamura D., Ebara M., Irie K., Takao H.* Combined surgical and endovascular treatment of complex cerebrovascular diseases in the hybrid operating room // *J. Neurointerv. Surg.* 2013. Vol. 5. PP. 489-493.

*Вадим Анатольевич Бывальцев,*  
 д-р мед. наук, зав. курсом нейрохирургии,  
 ФГБОУ ВО «ИГМУ»,  
 руководитель научно-клинического  
 отдела нейрохирургии ФГБНУ «ИНЦХТ»,  
 профессор кафедры травматологии,  
 ортопедии и нейрохирургии,  
 ГБОУ ДПО «ИГМАПО»,  
 гл. нейрохирург,  
 ОАО «РЖД»,  
 руководитель Центра нейрохирургии,  
 НУЗ «ДКБ»,  
 Евгений Георгиевич Бельх,  
 ассистент курса нейрохирургии,  
 ФГБОУ ВО «ИГМУ»,  
 г. Иркутск,  
 Кеничио Кикута,  
 доктор медицины, профессор,  
 Фукуйский медицинский университет,  
 г. Фукуи, Япония,  
 Иван Андреевич Степанов,  
 аспирант курса нейрохирургии,  
 ФГБОУ ВО «ИГМУ»,  
 г. Иркутск,  
 e-mail: edmoilers@mail.ru

*А.Т. Телешев, В.Н. Горшенев, М.А. Яковлева, В.А. Фомичев,  
 Р.С. Фадеев, В.В. Минайчев, В.С. Акатов*

## Гидроксиапатит для замещения дефектов костной ткани

### Аннотация

Осуществлен синтез гидроксиапатита в условиях механоакустической обработки водной реакционной смеси гидрофосфата аммония и нитрата кальция с помощью промышленно значимого роторно-пульсационного аппарата. Установлено, что механоакустическая обработка реакционной смеси позволяет сформировать наноразмерные частицы гидроксиапатита, имеющие преимущественно средний диаметр около 20 нм. Предложена очистка технического гидроксиапатита от следов нитрата аммония путем его термической обработки при температуре 350 °С. Установлено, что кристаллическая фаза гидроксиапатита не является доминирующей в его структуре. Пористость гидроксиапатита составляет величину около 75 % при среднем радиусе поры 2,8 × 103 нм. Установлено, что термически обработанный гидроксиапатит в водной среде приобретает пастообразную форму. Показано, что паста гидроксиапатита не обладает цитотоксичностью, не препятствует адгезии клеток, однако практически полностью ингибирует их распластывание.

### Введение

Костная ткань – живой гетерогенный материал, состоящий из клеток и внеклеточного матрикса, представляющего собой сочетание коллагеновых фибрилл с минеральной фазой (гидроксиапатит – ГАП, карбонатапатит) и воды [1]-[3]. Органическая фибриллярная матрица в основном состоит из коллагеновых волокон первого типа [4]. Волокна коллагена эластичны и устойчивы к излому в отличие от минеральной фазы, определяющей прочность костной ткани [5], [6]. Комбинация высокой ударной вязкости коллагена и высокой жесткости минеральной части обеспечивает высокие механические свойства кости [7]. Искусственные конструкции из композитных материалов, включающие в себя органическую и минеральную части, представляют большой интерес для развития производства биоматериалов, которые имитируют структуру и свойства натуральной костной ткани и пригодны для регенерации опорно-двигательного аппарата. Многочисленные данные [8]-[10] показывают высокую биосовместимость композиций, сочетающих ГАП и коллаген. При создании искусственных биокомпозиций технологические вопросы управления формированием структуры

материала остаются нерешенными. На механическую прочность существенное влияние оказывает степень дисперсности минеральной части композиции. При этом синтетический ГАП, частицы которого характеризуются высокой дисперсностью, может в большей степени способствовать остеобластной дифференцировке мезенхимальных клеток [11], [12].

Целью рассматриваемой работы являлась оптимизация синтеза ГАП, пригодного для заполнения дефектов костной ткани, и создания на его основе остеокондуктивных и остеоиндуктивных материалов.

### Экспериментальная часть

*Процесс получения ГАП* осуществлялся включением в технологическую схему роторно-пульсационного аппарата (РПА) (ООО НПФ «Авиатехника») [13]. Для получения ГАП соответствующей чистоты наиболее приемлемой с позиций контроля за процессом является хорошо известная (например [9], [14]) реакция обмена между диаммонийфосфатом и нитратом кальция. Синтез ГАП с помощью РПА осуществляли следующим образом. Тетрагидрат нитрата кальция в количестве 450,6 г растворяли в 5 л дистиллированной воды, добавляли концен-