



ИНТРАОПЕРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА В УСЛОВИЯХ ГИБРИДНОЙ ОПЕРАЦИОННОЙ

А. В. Сергеев, М. М. Тастанбеков, А. В. Савелло, Ф. А. Чемурзиева,
А. Н. Назарбеков, А. Каушик

ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург

ЦЕЛЬ: изучение результатов интраоперационной диагностики при сосудистой патологии головного мозга, используя возможности гибридной операционной.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проводилась интраоперационная диагностика в гибридной операционной, включающая плоскодетекторную компьютерную томографию с внутривенным контрастированием, перфузией и селективную церебральную ангиографию. За 5 лет было выполнено 78 диагностических манипуляций в гибридной операционной 72 пациентам. 23 пациентам с аневризмами сосудов головного мозга проводился интраоперационный контроль с помощью внутривенной компьютерной ангиографии, селективной церебральной ангиографии. 34 пациентам после комбинированного удаления артериовенозной мальформации головного мозга проводилась контрольная селективная церебральная ангиография. 15 пациентам с окклюзирующими заболеваниями брахиоцефальных артерий проводилась селективная церебральная ангиография, компьютерно-томографическая перфузия для оценки потенциала наложенного анастомоза, изменения кровоснабжения мозга до и после операции.

РЕЗУЛЬТАТЫ: в результате использования методов интраоперационной диагностики выявлено 2 случая с неполным клипированием шейки аневризмы, один случай остаточной части и один случай интраоперационного разрыва артериовенозной мальформации. В результате интраоперационной диагностики подтверждена эффективность наложенных экстра-интракраниальных анастомозов в 9 случаях окклюзирующих заболеваний внутренней сонной артерии, в 5 случаях болезни Моя-Моя, в 8 случаях сложных аневризм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Интраоперационная визуализация при сосудистой патологии головного мозга в гибридной операционной улучшает результаты и ускоряет процесс диагностики во время операции, что дает преимущества в незамедлительной оценке качества выполненной операции, своевременном выявлении возможных осложнений, позволяет сменить вид операции без транспортировки пациента в другую операционную.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Гибридная операционная, интраоперационная компьютерная томография, интраоперационная церебральная ангиография

Для цитирования: Сергеев А. В., Тастанбеков М. М., Савелло А. В., Чемурзиева Ф. А., Назарбеков А. Н., Каушик А. Интраоперационная диагностика сосудистых заболеваний головного мозга в условиях гибридной операционной. Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. 2021;13(4):85–93.

INTRAOPERATIVE DIAGNOSTICS OF VASCULAR DISEASES OF THE BRAIN IN A HYBRID OPERATING ROOM

A. V. Sergeev, M. M. Tastanbekov, A. V. Savello, F. A. Chemurzieva, A. N. Nazarbekov, A. Kaushik

FSBI “NMITs im. V. A. Almazov” Ministry of Health of Russia, St. Petersburg

OBJECTIVE: Studying the results of intraoperative diagnostics in neurovascular pathology by using the capabilities of a hybrid operating room.

MATERIALS AND METHODS: The hybrid operating room concept encompasses simultaneous haemodynamic control, non-invasive and invasive diagnostics and immediate surgical and/or interventional treatment. Intraoperative diagnostics was performed in a hybrid operating room with the help of flat-detector computed tomography with intravenous contrast enhancement, perfusion, and selective cerebral angiography. For 5 years, 78 diagnostic procedures were performed in the hybrid operating room in 72 patients. 23 patients with cerebral aneurysms underwent intraoperative control using intravenous computed angiography and selective cerebral angiography. Control selective cerebral angiography was performed in 34 patients after combined removal of cerebral arteriovenous malformation. 15 patients with occlusive diseases of the brachiocephalic arteries underwent selective cerebral angiography and computed tomographic perfusion to assess the potential of the anastomosis and the dynamic change in the blood circulation before and after surgery.

RESULTS: As a result of using the methods of intraoperative diagnostics, 2 cases with incomplete clipping of the aneurysm neck, one case of the residual part of the arteriovenous malformation, and one case of intraoperative arteriovenous malformation rupture at the stage of endovascular embolization were revealed. As a result of intraoperative diagnostics,

the effectiveness of extra-intracranial anastomoses was confirmed in 9 cases of occlusive diseases of the internal carotid artery, in 5 cases of Moya-Moya disease, in 8 cases of complex aneurysms.

CONCLUSION: The hybrid operating room concept of intraoperative imaging in vascular pathology of the brain improves results and speeds up the diagnostic process during the operation, which gives advantages in the immediate assessment of the quality of the operation performed. The timely identification of possible complications allows you to change the type of operation without transporting the patient to another operating room.

KEY WORDS: Hybrid operating room, intraoperative computed tomography, intraoperative cerebral angiography

For citation: Sergeev A. V., Tastanbekov M. M., Savello A. V., Chemurzieva F. A., Nazarbekov A. N., Kaushik A. Intraoperative diagnostics of vascular diseases of the brain in a hybrid operating room. The Russian Neurosurgical Journal named after prof. A. L. Polenov. 2021;13(4):85–93.

Введение: Обзор научной литературы по теме интраоперационной диагностики в гибридной операционной (ГО) демонстрирует стремление нейрохирургов к оптимизации методов мониторинга, выполненных нейрососудистых операций в момент оперативного вмешательства [1,2,3,4]. Применение флюоресцентных препаратов, ультразвуковой диагностики в сосудистой нейрохирургии является наиболее распространенным вариантом интраоперационного контроля [5,6]. В связи с недостаточной информативностью результатов, получаемых при использовании этих методов, некоторые исследователи предлагают применять интраоперационные компьютерную томографию (КТ) с ангиографией и селективную церебральную ангиографию (ЦА) [7,8,9,10]. Для этих целей используют ГО (рис. 1), оснащенную оборудованием, позволяющим выполнять интраоперационную ЦА, КТ, КТ-перфузию, магнитно-резонансную томографию (МРТ) [1,11,12,13,14].

Ряд авторов указывает на преимущества интраоперационной диагностики в интегрированной операционной, особенно при возникновении осложнений во время операции: неполное выключение или разрыв аневризм, артериовенозных мальформаций (АВМ). В подобных случаях они предлагают сменить метод хирургического вмешательства, что сопряжено с задержками в диагностике осложнений [1,2,3,11].

В данной статье описан опыт использования ГО для интраоперационной диагностики, проводимой пациентам с цереброваскулярными заболеваниями, выполнен литературный обзор.

Материалы и методы: ГО оборудована многоосевым роботизированным ангиографическим комплексом и операционным столом с рентген-негативной декой для этапа эндоваскулярной хирургии, без нарушения условий стерильности. Интеллектуальная система позиционирования роботизированной С-дуги позволяет получить высококачественные изображения двумерной ЦА во всех проекциях, а также интраоперационно выполнить 3D-ангиографию и плоскодетекторную КТ. Для оценки перфузии головного мозга используется режим Dyna PBV Neuro. Рентгеновский операционный стол с вариантами подголовников и фиксаторов для головы пациента (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид гибридной операционной.

Fig. 1. General view of the hybrid operating room.

С марта 2017 по сентябрь 2021 выполнено 78 диагностических манипуляций в ГО 72 пациентам (таблица 1).

Табл. 1. Количество диагностических манипуляций в гибридной операционной.

Table. 1. The number of diagnostic manipulations in the hybrid operating room.

Патология	ЦА	ПДКТ	КТ-перфузия
Аневризмы	8	15	-
АВМ	34	-	-
Болезнь Моя-Моя	-	-	10
Окклюзии БЦА	1	1	9
Итого:	43	16	19

23 пациентам после микрохирургического клипирования аневризм сосудов головного мозга до закрытия операционной раны выполнялась интраоперационная ЦА или проводилось внутривенное плоскодетекторное КТ-ангиографическое исследование с возможностью построения 3D изображения (рис. 2). Оценивалась радикальность выключения аневризмы из кровотока после микрохирургического наложения сосудистого клипса, а также оценивалось состояние расположенных рядом функционально значимых сосудов. В 8 случаях сложных аневризм, после наложения обходного анастомоза, проводилась оценка потенциала шунта с помощью баллон-окклюзирующего теста, без зашивания раны и транспортировки пациента в другую операционную (рисунок 3).

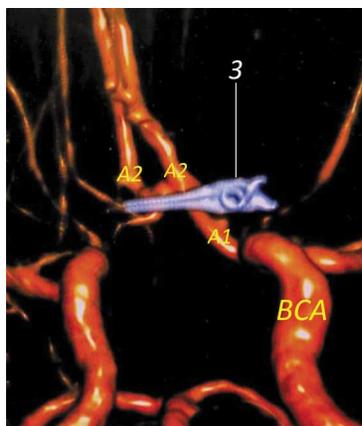


Рис. 2. Интраоперационная, внутривенная, плоскодетекторная КТ-ангиография сосудов головного мозга после клипирования аневризмы передней соединительной артерии. 3 – сосудистый клипс; ВСА – внутренняя сонная артерия; А1, А2 – сегменты передней мозговой артерии.

Fig. 2. Intraoperative, intravenous, flat-detector CT angiography of the cerebral vessels after clipping of the aneurysm of the anterior communicating artery. 3 – vascular clip; ICA, internal carotid artery; A1, A2 – segments of the anterior cerebral artery.

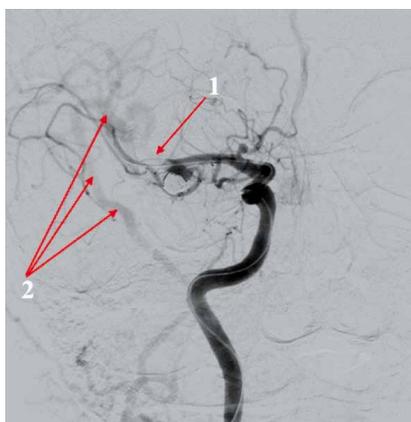


Рис. 3. Церебральная ангиография с баллонокклюзирующим тестом после наложения широкопросветного экстраинтракраниального анастомоза. 1 – баллон перекрывает просвет М1 сегмента правой средней мозговой артерии; 2 – широкопросветный анастомоз с удовлетворительным заполнением дистальных ветвей бассейна средней мозговой артерии.

Fig. 3. Cerebral angiography with balloon occlusion test after wide-lumen extra-intracranial anastomosis. 1 – balloon overlaps the lumen of the M1 segment of the right middle cerebral artery; 2 – wide lumen anastomosis with satisfactory filling of the distal branches of the middle cerebral artery region.

34 пациентам с АВМ головного мозга после комбинированной хирургии (внутрисосудистой эмболизации и последующего микрохирургического удаления патологии), проводилась контрольная селективная ЦА для оценки радикальности выполненной операции (рисунок 4).

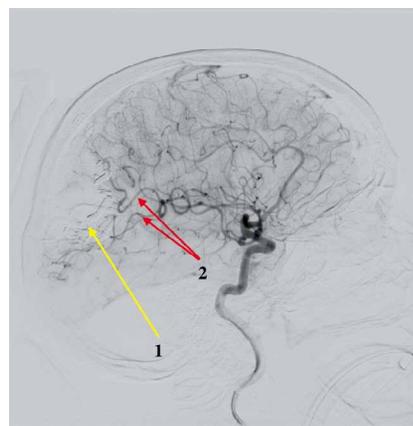


Рис. 4. Интраоперационная селективная церебральная ангиография бассейна правой внутренней сонной артерии после удаления АВМ головного мозга. 1 – безсосудистая область удаленной мальформации; 2 – дистальные ветви средней мозговой артерии.

Fig. 4. Intraoperative selective cerebral angiography of the region of the right internal carotid artery after removal of the brain AVM. 1 – non-vascular area of the removed malformation; 2 – distal branches of the right middle cerebral artery.

В 15 случаях пациентам с окклюзирующими заболеваниями брахиоцефальных артерий, болезнью Моя-Моя после наложения низкопоточного экстраинтракраниального микроанастомоза (ЭИКМА), проводили оценку потенциала шунта с использованием интраоперационной ЦА, плоскодетекторной КТ (ПДКТ), КТ-перфузии до и после операции (рисунок 5).

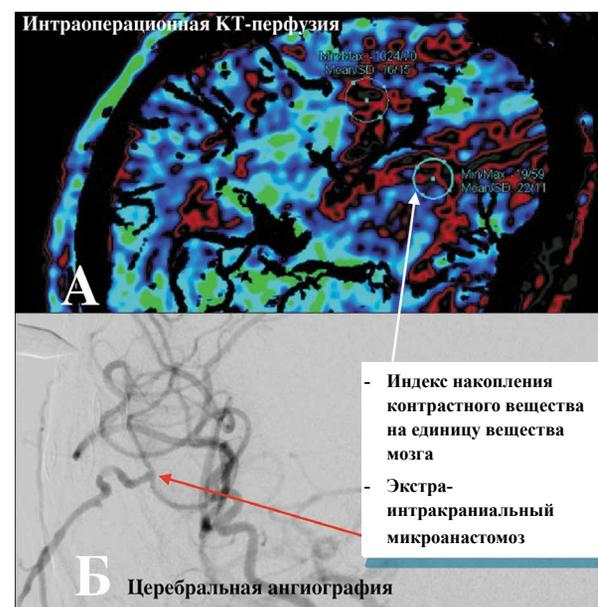


Рис. 5. Интраоперационная нейровизуализация при ЭИКМА. А – интраоперационная КТ-перфузия; Б – интраоперационная церебральная ангиография.

Fig. 5. Intraoperative neuroimaging with Extra-Intracranial Microanastomosis. A – intraoperative CT perfusion; B – intraoperative cerebral angiography.

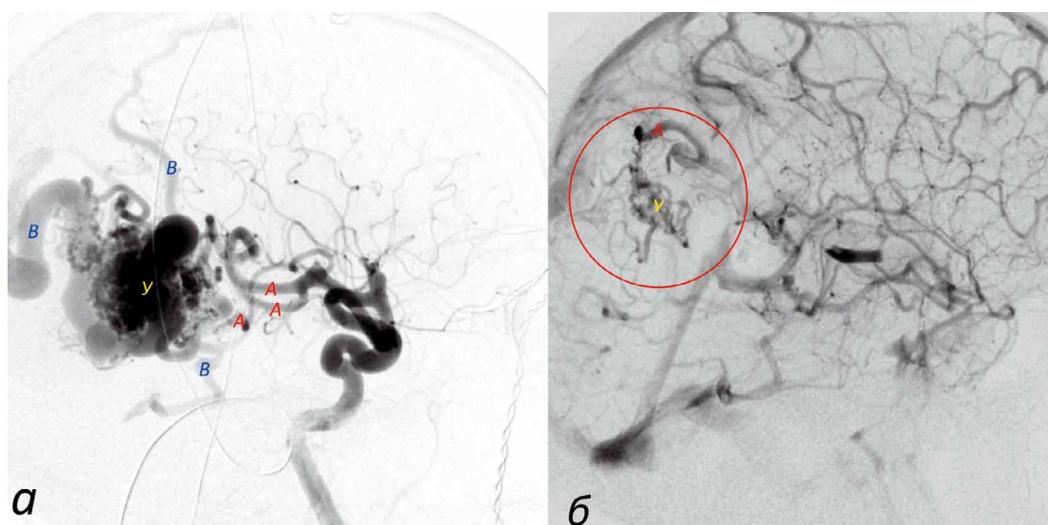


Рис. 6. Церебральная ангиография артериовенозной мальформации головного мозга. а – селективная церебральная ангиография до оперативного вмешательства; б – интраоперационная церебральная ангиография после удаления АВМ. А – афференты мальформации; В – эфференты мальформации; Y – узел мальформации; Красным кругом отмечена остаточная часть мальформации.

Fig. 6. Cerebral angiography of cerebral arteriovenous malformation. a – selective cerebral angiography before surgery; б – intraoperative cerebral angiography after AVM removal. A – afferents of malformation; B – efferents of malformation; Y – nodal malformation; The red circle marks the residual part of the malformation.



Рис. 7. Интраоперационное КТ головного мозга. Определяется внутримозговое кровоизлияние с дислокацией мозговых структур.

Fig. 7. Intraoperative CT of the brain. Intracerebral hemorrhage with dislocation of cerebral structures is determined.

Результаты: согласно результатам интраоперационной ПДКТ 15 пациентам, после микрохирургического клипирования аневризм, положение клипс было удовлетворительным. Наблюдалась тотальная окклюзия купола аневризм без существенных стенозов несущих аневризму сосудов и рядом расположенных значимых артерий. У 2 пациентов выявлено неполное клипирование шейки аневризмы, выполнен одномоментный переход на эндоваскулярную операцию. Согласно результатам баллонокклюзирующего теста, у 6 пациентов со сложными аневризмами сосудов головного мозга потенциал обходного анастомоза оценен как удовлетворительный.

При контрольной ЦА, после комбинированной хирургии 34 АВМ головного мозга, в одном случае была выявлена остаточная часть АВМ, которая

не была обнаружена при контрольной видеоангиографии с индоцианином (рисунок 6б). В одном случае, благодаря интраоперационному КТ, диагностирована внутримозговая гематома, образовавшаяся в результате эндоваскулярной эмболизации АВМ (рисунок 7).

Согласно результатам ЦА, ПДКТ, КТ-перфузии у 9 оперированных пациентов с окклюзией ВСА и 5 пациентов с болезнью Мoya-Мoya был подтвержден положительный потенциал обходного анастомоза.

Клинические примеры:

Клинический пример пациента № 1 с разрывом сложной аневризмы А2 сегмента левой передней мозговой артерии, с формированием внутримозговой гематомы на уровне мозолистого тела, массивного субарахноидального кровоизлияния (рисунок 8а). По причине особенностей структуры аневризмы в виде абсолютно широкой шейки, сосудистого спазма, эндоваскулярное выключение аневризмы из кровотока не представлялось возможным (рисунок 8б). В неотложном порядке, по жизненным показаниям, выполнено микрохирургическое клипирование аневризмы. Во время оперативного вмешательства отек мозга значительно ограничивал зоны видимого контроля операционного поля, что осложнило визуализацию дистальных ветвей наложенного клипса. Выполненная флюоресцентная видеоангиография (ФВА) и доплерография не показали заполнения купола аневризмы за счет атеросклеротических и спаечных изменений аневризмы. По данным контрольной, интраоперационной церебральной ангиографии обнаружено заполнение аневризмы по нижнему краю, в области недоклипированной шейки (рисунок 9а).

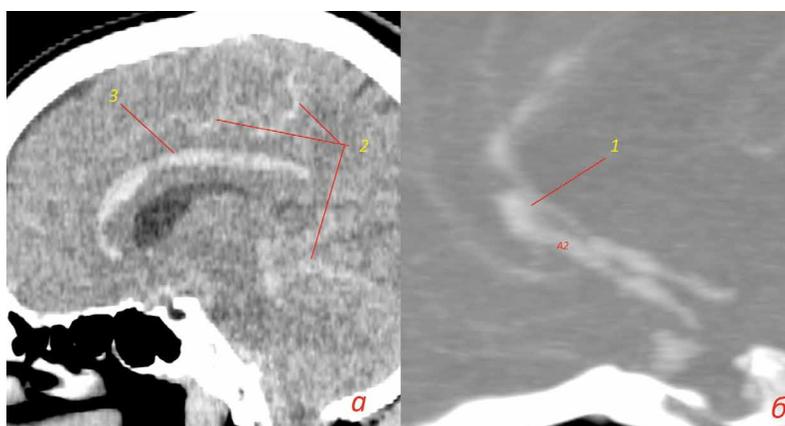


Рис. 8. Мультиспиральная компьютерная томография головного мозга. а – компьютерная томография головного мозга, сагиттальный срез. 2 – субарахноидальное кровоизлияние. 3 – внутримозговая гематома над мозолистым телом. б – МСКТ-ангиография сосудов головного мозга. 1 – аневризма А2 сегмента левой передней мозговой артерии. А2 – сегмент передней мозговой артерии.

Fig. 8. Multiple sliced computed tomography of the brain. a – computed tomography of the brain, sagittal section. 2 – subarachnoid hemorrhage. 3 – intracerebral hematoma over the corpus callosum. b – Multi-Slice Computed Tomography (MSCT) coronary angiography of cerebral vessels. 1 – aneurysm of the A2 segment of the left anterior cerebral artery. A2 – segment of the anterior cerebral artery.

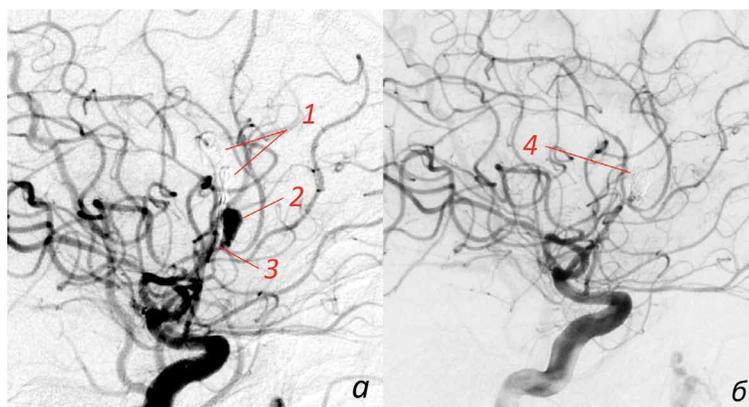


Рис. 9. Интраоперационная селективная церебральная ангиография. а – ангиография после микрохирургического этапа клипирования аневризмы; б – ангиография после эндоваскулярного этапа эмболизации аневризмы; 1 – сосудистый клипс; 2 – купол заполняющейся аневризмы; 3 – дистальные ветви сосудистого клипса и место недоклипированной аневризмы; 4 – микроспирали эмболизированной аневризмы.

Fig. 9. Intraoperative selective cerebral angiography. a – angiography after the microsurgical stage of clipping the aneurysm; b – angiography after the endovascular stage of aneurysm embolization; 1 – vascular clip; 2 – dome of the filling aneurysm; 3 – distal branches of the vascular clip and the site of an under-clipped aneurysm; 4 – microcoils of an embolized aneurysm.

Значительное сужение размеров шейки аневризмы за счет наложенного клипса позволило эмболизировать аневризму микроспиралями эндоваскулярно. Использование интраоперационных методов диагностики, в данном случае ЦА, в гибридной операции позволило своевременно диагностировать функционирование аневризмы после микрохирургического клипирования. Не транспортируя пациента в другую операционную, мы выполнили эндоваскулярную эмболизацию аневризмы микроспиралями, что позволило избежать высоких рисков повторного кровоизлияния (рисунок 9б).

Клинический пример пациента № 2 с АВМ правой теменной доли головного мозга S-M II. В анамнезе у пациент кровоизлияние из АВМ, лечил-

ся консервативно. На (рис. 10) представлена селективная церебральная ангиография в процессе эндоваскулярной эмболизации АВМ в гибридной операции. В процессе эндоваскулярной эмболизации произошел разрыв АВМ. На (рис. 11а) церебральной ангиографии определяется распространение контрастного вещества от места эмболизированной АВМ, что свидетельствует о распространении крови за пределы сосудистого русла. Выполнена интраоперационная КТ головного мозга, подтвердившая разрыв узла АВМ с формированием внутримозговой гематомы (рис. 7). Определены размер, форма, спланирован доступ с целью микрохирургического удаления АВМ и внутримозговой гематомы. Использование интраоперационной диагностики в виде

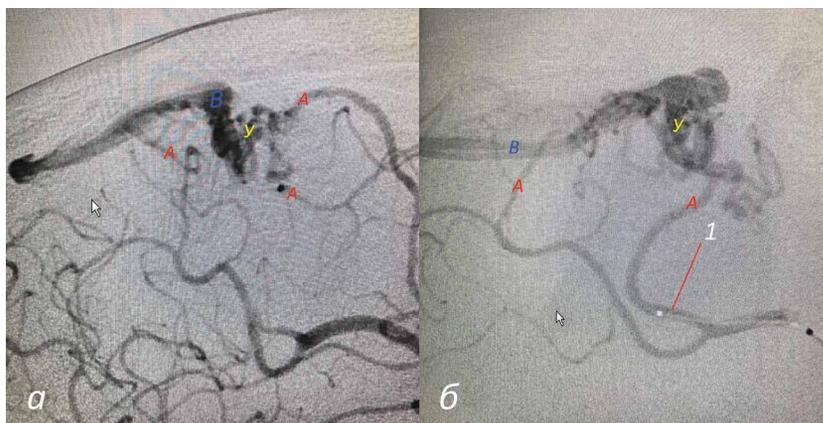


Рис. 10. Селективная церебральная ангиография.

1 – установлен микрокатетер в основной артериальный афферент АВМ перед эмболизацией.

А – афференты мальформации; В – эфференты мальформации; Y – тело мальформации

Fig. 10. Selective cerebral angiography. 1 – a microcatheter was installed in the main arterial afferent of the AVM before embolization.

A – afferents of malformation; B – efferents of malformation; Y – body malformation

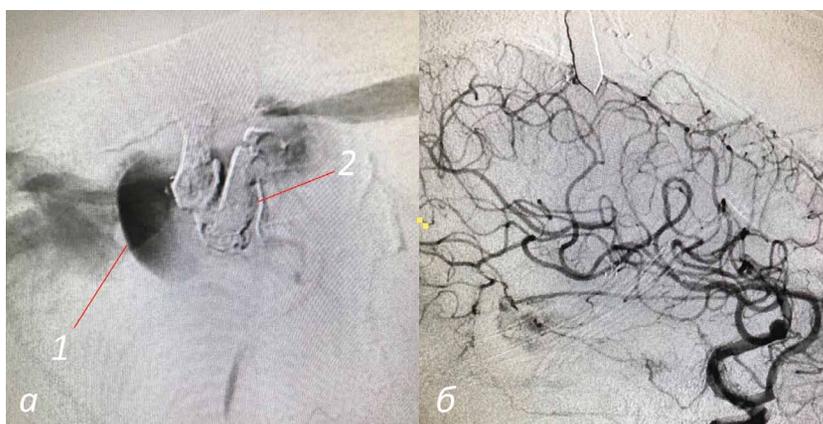


Рис. 11а, б. Церебральная ангиография. а — на ангиографии визуализировано распространение контрастного вещества как следствие внутримозгового кровоизлияния; 1 – разрыв АВМ с распространением контрастного вещества за пределы мальформации; 2 – эмболизирующее вещество в теле мальформации; б – контрольная церебральная ангиография после удаления мальформации и внутримозговой гематомы.

Fig. 11a, b. Cerebral angiography. a – the spread of contrast agent is visualized as a result of intracerebral hemorrhage during angiography; 1 – AVM rupture with the spread of contrast agent beyond the malformation; 2 – embolizing substance in the malformation body; b – control cerebral angiography after removal of the malformation and intracerebral hematoma.

КТ головного мозга в гибридной операционной позволило избежать транспортировки пациента на КТ головного мозга. В результате выявленного интраоперационного осложнения удалось осуществить быстрый переход с эндоваскулярного этапа на открытую операцию с радикальным удалением АВМ и внутримозговой гематомы, без транспортировки в другую операционную, что предопределило благоприятный исход. На (рис. 11б, в) представлен интраоперационный контроль церебральной ангиографии и КТ после удаления АВМ.

Вышеперечисленные клинические примеры демонстрируют преимущества интраоперационных методик диагностики в гибридной операционной при сложных нейроваскулярных заболеваниях. ЦА, плоскодетекторная КТ, КТ-перфузия в процессе хирургического вмешательства позволили сократить время принятия решений в тактике хирургического лечения.

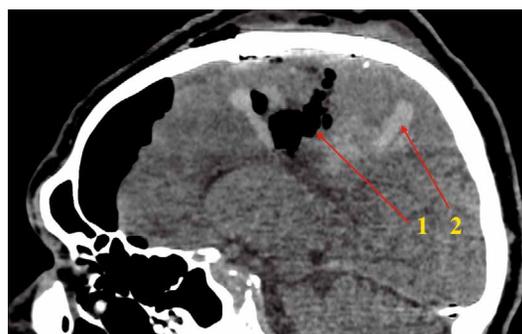


Рис. 11в. Интраоперационный КТ-контроль после удаления узла АВМ и внутримозговой гематомы. 1 – полость после удаления АВМ, внутримозговой гематомы; 2 – остаточная кровь в мозговом веществе.

Fig. 11c. Intraoperative CT control after removal of the AVM node and intracerebral hematoma. 1 – cavity after removal of AVM, intracerebral hematoma; 2 – residual blood in the medulla.

Обсуждение.

Опубликованный опыт зарубежных исследователей использования гибридной операционной для интраоперационной диагностической ЦА и КТ описан в ряде работ исследователей [11,15,2,4,15]. Авторы отметили преимущества интраоперационной диагностической КТ и ЦА при микрохирургическом и эндоваскулярном методах лечения. Нейрохирурги клиники Тайвань за год работы в гибридной операционной выполнили 54 диагностические процедуры интраоперационной КТ и ЦА пациентам с аневризмами головного мозга [11]. Специалисты медицинского университета г. Женева за 3 года работы выполнили 99 процедур диагностики оперированным пациентам: 51 пациенту после клипирования аневризм, 12 пациентам после операций на АВМ головного мозга [15]. Отделение нейрохирургии и неотложной медицины Токио, Япония, с 2003 по 2008 гг. выполнило 332 операции в гибридной операционной при различных нейрохирургических патологиях. Из них пред- и послеоперационная диагностика проводилась 12 пациентам с клипированными аневризмами и 132 пациентам с эмболизированными АВМ и аневризмами [2].

Авторы приводят примеры того, как интраоперационная диагностика помогла выявить осложнения в процессе оперативного вмешательства. В своем клиническом опыте мы столкнулись с рядом аналогичных случаев. В представленной серии микрохирургического лечения аневризм был выявлен 1 случай недоклипированной аневризмы, описанный в клиническом примере № 1, 1 случай остаточной части АВМ после микрохирургического удаления и случай интраоперационного разрыва АВМ на этапе эндоваскулярной эмболизации (клинический пример № 2). По данным отделения нейрохирургии института нейрорадиологии Швейцарии из 82 пациентов, оперированных по поводу аневризм, диагностировано 4 случая недоклипированных аневризм в ходе контрольной ЦА в гибридной операционной [16]. По данным нейрохирургов университета Швейцарии в результате проведенного ЦА при комбинированном удалении АВМ у 4 пациентов из 25 были визуализированы остаточные части АВМ [17]. По данным исследователей отделения нейрохирургии Токио выявлено 3 интраоперационных разрыва АВМ на этапе эндоваскулярной эмболизации [18].

Исследователи констатируют преимущества интраоперационной ЦА в сравнении с ФВА, контактной доплерографией в выявлении остаточных частей аневризм и АВМ после микрохирургического лечения. Наш опыт оперативных вмешательств подтвердил целесообразность выполнения интраоперационной ЦА. Выполненная ФВА и доплерография в процессе операции пациенту с аневризмой и пациенту с АВМ головного мозга не обнаружили остаточных частей патологии. Однако благодаря использованию интраоперационной ЦА удалось выявить недоклипированную часть аневризмы (рисунок 9а) и остаток

не удаленного узла АВМ (рисунок 6б). Нейрохирурги клиники Тайвань провели сравнение эффективности ФВА и интраоперационной ЦА. Из 35 клипированных аневризм в гибридной операционной в 17.1% не были выявлены остаточные части аневризм при использовании ФВА, но удалось подтвердить осложнение благодаря интраоперационным КТ-ангиографии и ЦА [11]. Сравнение эффективности интраоперационной ФВА и ЦА показало меньшую информативность индоцианина в диагностике остаточных частей АВМ, по данным исследователей университета Швейцарии. В серии комбинированного удаления АВМ в результате ФВА у 2 пациентов из 25 не было выявлено остатков АВМ, но после выполнения ЦА были визуализированы остаточные части АВМ [17].

Интраоперационный контроль КТ, КТ-ангиографии и ЦА на этапах микрохирургического или эндоваскулярного вмешательств способствовал переходу от одного вида хирургического лечения к другому. В нашей серии выявлен 1 случай остаточной части АВМ, 1 случай интраоперационного разрыва АВМ на этапе эмболизации, 1 случай недоклипированной аневризмы. Удалось сменить вид вмешательства и радикально справиться с патологией, не прибегая к транспортировке пациента в другую операционную, что снизило риски возможных осложнений, улучшило исход лечения. Нейрохирурги отделения нейрохирургии Кореи за время работы в гибридной операционной отметили преимущества при неотложной хирургии аневризм и АВМ головного мозга. У 44 оперированных пациентов с остро разорвавшимися аневризмами удалось радикально выключить аневризму после частичной эндоваскулярной эмболизации. 6 пациентам с разорвавшейся АВМ головного мозга вначале выполнена частичная эндоваскулярная эмболизация, затем микрохирургическое удаление [3].

В своем клиническом опыте мы отметили удобство применения интраоперационной диагностики при наложении ЭИКМА с хронической окклюзией внутренней сонной артерии, при болезни Мoya-Мoya. Опубликованного опыта использования гибридной операционной для интраоперационной диагностики при данной патологии не было найдено. ЦА позволила выполнить интраоперационный контроль с целью выявления возможного тромбоза шунта. Интраоперационная КТ-перфузия до и после наложения анастомоза помогла оценить изменения гемодинамики. В настоящее время интраоперационный контроль возможного тромбоза шунта при выполнении подобных операций состоит в оценке функции шунта с использованием ФВА, контактной доплерографией [19,20]. Требуется исследование большего количества случаев (в нашей серии рассмотрено 19 пациентов) для подтверждения эффективности интраоперационных ЦА, КТ-ангиографии, КТ-перфузии в сравнении с ФВА, контактной доплерографией.

Заключение.

Интраоперационная диагностика в гибридной операционной позволяет оценить технический результат микрохирургического и эндоваскулярного вмешательств, не прибегая к транспортировке пациента и пролонгации наркоза. Так же интраоперационная диагностика помогает распознать возможные осложнения в течение операции, что, при необходимости, позволяет менять тактику хирургического вмешательства: перейти от МХ к ЭХ и наоборот. Применение этой технологии позволило нам существенно ускорить время принятия решений в тактике хирургического лечения.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

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

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Compliance with patient rights and principles of bioethics.

All patients gave written informed consent to participate in the study.

ORCID авторов / ORCID of authors

Сергеев Андрей Владимирович/
Sergeev Andrei Vladimirovich
<https://orcid.org/0000-0002-7603-5838>

Малик Маратович Тастанбеков/
Malik Maratovich Tastanbekov
<https://orcid.org/0000-0003-3675-9302>

Савелло Александр Викторович/
Savello Aleksander Viktorovich
<https://orcid.org/0000-0002-1680-6119>

Чемурзиева Фатима Алихановна/
Chemurzieva Fatima Alikhanovna
<https://orcid.org/0000-0002-1461-0286>

Назарбеков Азамат Назарбекович/
Nazarbekov Azamat Nazarbekovich
<https://orcid.org/0000-0003-2916-0975>

Каушик Абхилаш/Kaushik Abhilash
<https://orcid.org/0000-0001-7497-0489>

Литература/References

- Dammann Ph., Jägersberg M., Kulcsar Z., Radovanovic I. Clipping of ruptured intracranial aneurysms in a hybrid room environment—a case-control study. *J. Acta Neurochir.* 2017;159;7:1291–1298. <https://doi.org/10.1007/s00701-017-3212-2>
- Murayama Y., Saguchi T., Ishibashi T. Endovascular operative suite: future directions for treating neurovascular disease. *Neurosurg.* 2006; 104;6:925–930. <https://doi.org/10.3171/jns.2006.104.6.925>
- Jeon H.J., Lee J. Y., Cho B. M. Four-Year Experience Using an Advanced Interdisciplinary Hybrid Operating Room: Potentials in Treatment of Cerebrovascular Disease. *J Korean Neurosurg Soc.* 2019; 62;1:35–45. <https://doi.org/10.3340/jkns.2018.0203>
- Murayama Y., Irie K., Saguchi T., Ishibashi T., Ebara M. Robotic Digital Subtraction Angiography Systems Within the Hybrid Operating Room. *J. Neurosurgery.* 2011; 68; 5:1427–1432. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e31820b4f1c>
- Zhao X, Belykh E, Cavallo C, Valli D, Gandhi S., et al. Application of Fluorescein Fluorescence in Vascular Neurosurgery // *J. Font Surg.* 2019. Vol. 6, № 52. P.1–13 doi:10.3389/fsurg.2019.00052
- Burkhardt T, Siasios G, Schmidt NO, Reitz M, Regelsberger J, Westphal M. J. Intraoperative Micro-Doppler in Cerebral Arteriovenous Malformations. *J. Neurol Surg A.* 2015; 76;6:451–455. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1551829>
- Swiatnicki W., Komunski P. Intraoperative fluorescein videoangiography in cerebral aneurysm surgery – a preliminary study. *J. Pol Merkur Lekarski.* 2019;29(281):183–186.
- Foster C.H., Morone P. J., Tomlinson S. B., Cohen-Gadol A. A. Application of Indocyanine Green During Arteriovenous Malformation Surgery: Evidence, Techniques, and Practical Pearls. *J. Front Surg.* 2019;6:70. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2019.00070>
- Hui P.J., Yan Y.H., Zhang S.M., Wang Z., Yu Z. Q. Intraoperative microvascular Doppler monitoring in intracranial aneurysm surgery. *Chin Med J.* 2013;126(13):2424–2429. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20130395>
- Дубовой А.В., Гулай Ю. С., Овсянников К. С., Старикова О. В. Интра-интракраниальные микроанастомозы: идеологическая дилемма и тенический вызов. Российский нейрохирургический журнал имени профессора А. Л. Поленова. 2018;10(2):25–35. [Dubovoi A. V., Gulai Yu.S., Ovsyannikov K. S., Starikova O. V. Intra-intrakranial'nye mikroanastomozy: ideologicheskaya dilemma i tenicheskii vyzov. Rossiiskii neurokhirurgicheskii zhurnal imeni professora A. L. Polenova. 2018;10(2):25–35. (In Russ..)]
- Fong Y. W., Hsu S. K., Huang C. T., Hsieh C. T., Chen M. H., Huang J. S. Impact of intraoperative 3-dimensional volume-rendering rotational angiography on clip repositioning rates in aneurysmal surgery. *World Neurosurg.* 2018;114:573–580. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.03.035>
- Armonda R. A., Thomas J. E., Rosenwasser R. H. The interventional neuroradiology suite as an operating room. *Neurosurg Clin N Am.* 2000;11;1: 1–20. [https://doi.org/10.1016/S1042-3680\(18\)30142-6](https://doi.org/10.1016/S1042-3680(18)30142-6)
- Calligaro K. D., Dougherty M. J., Patterson D. E., Raviola C. A., DeLaurentis D. A. Value of an endovascular suite in the operating room. *Ann Vasc Surg.* 1998; 12;3: 296–298. <https://doi.org/10.1007/s100169900157>
- ten Cate G., Fosse E., Hol P. K. Integrating surgery and radiology in one suite: a multicenter study. *J Vasc Surg.* 2004; 40;3:494–499. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2004.06.005>
- Schaller K., Kotowski M., Pereira V., Rufenacht D., Bijlenga Ph. From Intraoperative Angiography to Advanced Intraoperative Imaging: The Geneva Experience. *J. Acta Neurochirurgica.* 2011;109:111–115. https://doi.org/10.1007/978-3-211-99651-5_18
- Fandino J., Taussky P., Marbacher S., Muroi C., Diepers M., Fathi A. R. The concept of a hybrid operating room: applications in

- cerebrovascular surgery. *Acta Neurochir Suppl.* 2013; 115:113–117. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1192-5_24
17. Kotowski M., Sarrafzadeh A., Schatlo B., Boex C. Intraoperative angiography reloaded: a new hybrid operating theater for combined endovascular and surgical treatment of cerebral arteriovenous malformations: a pilot study on 25 patients. *J. Acta Neurochir.* 2013; 155;11:2071–2078. <https://doi.org/10.1007/s00701-013-1873-z>
 18. Tian J., Lin Z., Zhang J., Yang Q. Combined surgical and endovascular treatments of complex cerebral arteriovenous malformation in hybrid operating room. *J Chines medicine.* 2014; 94; 47:3763–3766
 19. Lim Y.C., Shin Y.S., Chung J. Combined endovascular and microsurgical procedures as complementary approaches in the treatment of a single intracranial aneurysm. *J Korean Neurosurg Soc.* 2008; 43; 1:21–25. <https://10.10.3340/jkns.2008.43.1.21>
 20. Лукшин В.А., Усачев Д.Ю., Пронин И.Н., Шмигельский А.В., Ахмедов А.Д., Шевченко Е.В. Критерии эффективности хирургической реваскуляризации головного мозга у больных с хронической церебральной ишемией. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко.* 2016; 80;2:53–62. <https://10.10.17116/neiro201680253>
 21. Lukshin V.A., Usachev D. Yu., Pronin I. N., Shmigel'skii A. V., Akhmedov A. D., Shevchenko E. V. Kriterii effektivnosti khirurgicheskoi revaskulyarizatsii golovnogogo mozga u bol'nykh s khronicheskoi tserebral'noi ishemiei *Voprosy neirokhirurgii im. N.N. Burdenko.* 2016;80, № 2. S.53–62. DOI:10.17116/neiro201680253–62