



Роль магнитно-резонансной ангиографии в оценке результатов лечения аневризм головного мозга и последующем наблюдении за пациентами

© Д.О. Кардаильская^{1*}, Е.И. Зяблова^{1,2}, В.А. Порханов^{1,2}, И.Н. Пронин³, Н.Е. Захарова³

¹ Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, Краснодар, Россия

² Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко, Москва, Россия

* Д.О. Кардаильская, НИИ – ККБ № 1 им. проф. С.В. Очаповского, 350086, Краснодар, ул. 1 Мая, 167, k.daria2702@gmail.com

Поступила в редакцию 24 декабря 2021 г. Исправлена 8 февраля 2022 г. Принята к печати 17 февраля 2022 г.

Резюме

В литературном обзоре представлена актуальная информация о возможностях и новых методах проведения магнитно-резонансной ангиографии у пациентов с аневризмами головного мозга после хирургического лечения. Проанализированы опубликованные статьи по данной теме с использованием базы данных PubMed, а также рассмотрены наиболее важные пути усовершенствования протоколов магнитно-резонансной ангиографии для визуализации и послеоперационного контроля пролеченных аневризм.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, МР-ангиография, цифровая субтракционная ангиография, аневризма, головной мозг, клипирование, эндоваскулярная эмболизация

Цитировать: Кардаильская Д.О., Зяблова Е.И., В.А. Порханов, Пронин И.Н., Захарова Н.Е. Роль магнитно-резонансной ангиографии в оценке результатов лечения аневризм головного мозга и последующем наблюдении за пациентами. *Инновационная медицина Кубани*. 2022;(1):61–68. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2022-25-1-61-68>

The role of magnetic resonance angiography in the intracranial aneurysm treatment assessment and the follow-up of the patients

© Darya O. Kardailskaya^{1*}, Elena I. Zyablova^{1,2}, Vladimir A. Porhanov^{1,2}, Igor N. Pronin³, Natalya E. Zakharova³

¹ Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1, Krasnodar, Russian Federation

² Kuban State Medical University, Krasnodar, Russian Federation

³ Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery, Moscow, Russian Federation

* Darya O. Kardailskaya, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1, 1 Maya str., 167, Krasnodar, 350086, k.daria2702@gmail.com

Received: December 24, 2021. Received in revised form: February 8, 2022. Accepted: February 17, 2022.

Abstract

The presented literature review shows up-to-date information about the possibilities and new methods of magnetic resonance angiography in patients with cerebral aneurysms who have undergone surgical treatment. The articles for analyses have been taken from the PubMed database. The most important aspects of the implementation and the possibilities of improving magnetic resonance angiography protocols for visualization and postoperative control of treated cerebral aneurysm have been considered.

Keywords: magnetic resonance tomography, MR cerebral angiography, digital subtraction angiography, aneurysm, brain, clipping, endovascular embolization

Cite this article as: Kardailskaya D.O., Zyablova E.I., Porhanov V.A., Pronin I.N., Zakharova N.E. The role of magnetic resonance angiography in the intracranial aneurysm treatment assessment and the follow-up of the patients. *Innovative Medicine of Kuban*. 2022;(1):61–68. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2022-25-1-61-68>



В настоящее время магнитно-резонансная ангиография (МРА) все более востребована в качестве эффективного метода наблюдения за пациентами с клипированными или эмболизированными аневризмами. МРА по сравнению с компьютерно-томографической ангиографией (КТА) и инвазивной церебральной субтракционной ангиографией (ЦСА) имеет свои преимущества: отсутствие радиационного излучения, малоинвазивность, ограниченное количество проводимых процедур. Однако этот метод также обладает и недостатками, к примеру невозможностью длительного нахождения определенной категории пациентов в закрытом пространстве по причине клаустрофобии. Кроме того, наличие инородных металлических предметов в теле обследуемого будет являться противопоказанием к проведению обследования.

Необходимо отметить, что использование МРА также эффективно для диагностики на первичном этапе аневризм головного мозга (АГМ). В соответствующих клинических условиях важно найти скрининговое исследование, которое поможет выявить АГМ. Комбинация МРТ и МРА позволяет обнаружить аневризму в 60–85% случаев. Этот скрининговый метод добавляет несколько минут сканирования к среднему МРТ-исследованию, однако является надежным неинвазивным методом выявления АГМ [1]. Для обнаружения аневризмы при остром нетравматическом субарахноидальном кровоизлиянии (САК) диагностическая ценность МРА не так высока, т.к. ее применение в острой фазе кровотечения ограничено (рис. 1) [2].

При разрыве АГМ во избежание повторного кровотечения лечение необходимо проводить в кратчайшие

сроки. Эндovasкулярная хирургия рассматривается как метод первой линии. Хирургическое клипирование также используется в лечении данной патологии. Показания к лечению неразорвавшейся АГМ должны обсуждаться в зависимости от различных факторов, включая возраст пациента, размер и расположение аневризмы и др. Далее необходимо проведение контрольных обследований, таких как КТА, МРА и цифровой субтракционной ангиографии [3].

В последнее время с развитием новых технологий МРА в определении степени окклюзии аневризмы и визуализации прилежащих сосудов становится все более диагностически ценным и эффективным методом контроля за эмболизированными и клипированными АГМ. В отечественной литературе содержится недостаточно точной информации о качественном подходе и эффективности использования метода МРА в послеоперационном периоде, однако в зарубежных исследованиях авторы делали попытки улучшить возможности метода еще в конце XX века. Так, в 1998 г. F. Gönner и соавт. провели исследование с использованием метода 3D TOF-MRA с ультракоротким временем эхосигнала для изучения характеристик эмболизированных АГМ, а также возможности их реперфузии и отношения к прилежащим сосудам. Оно выполнялось с применением цифровой субтракционной ангиографии, традиционной 3D TOF-MRA и ультракороткого TE (время эха) 3D TOF-MRA у 14 пациентов с 15-ю эмболизированными АГМ. В 5 случаях (33%) из 15 определялось неполное выключение АГМ, что выявлялось как при традиционной МРА, так и при МРА с ультракоротким TE. Результаты были сопоставимы с цифровой

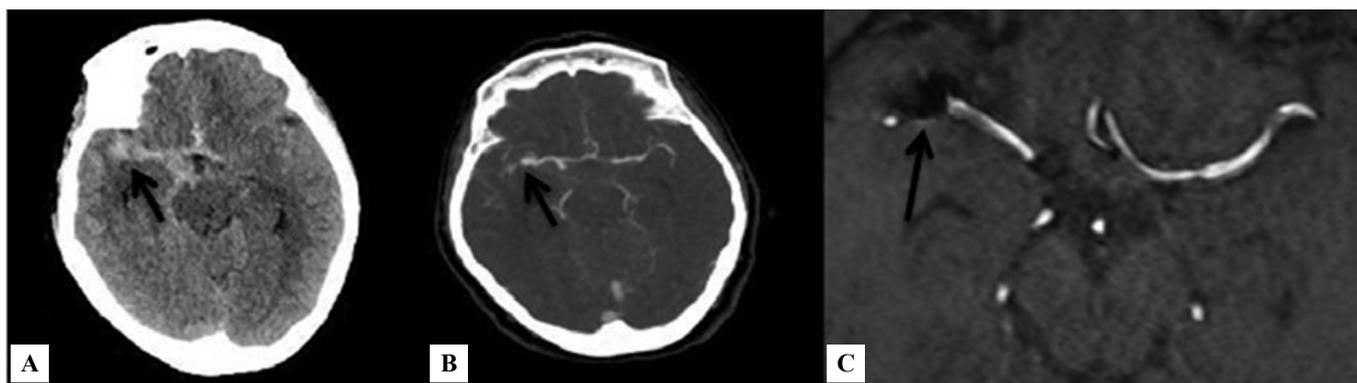


Рисунок 1. Пациент, 64 г., поступил экстренно в приемный покой НИИ – Краевой клинической больницы № 1 г. Краснодара с диагнозом: Нетравматическое САК. На КТ без контрастирования (А) определяется кровь в Сильвиевой щели, межполушарно и в базальных цистернах. На КТАГ брахиоцефальных артерий (В) обнаружен источник кровотечения – разорвавшаяся аневризма правой СМА. Состояние после клипирования разорвавшейся аневризмы правой СМА спустя 6 мес. При проведении МРА в режиме 3D TOF (С) в проекции дистальных ветвей правой СМА определяются очаги выпадения МР-сигнала за счет клипсы

Figure 1. A 64-year-old patient was admitted urgently to the emergency department of Scientific Research Institute – Regional Clinical Hospital no. 1, Krasnodar, with a diagnosis of non-traumatic SAH. Non-contrast CT (A) shows bleeding within the Sylvian fissure, interhemispheric fissure and in the basal cisterns. On CTA of brachiocephalic arteries (B), a source of bleeding was found – a ruptured aneurysm of the right MCA. 6 months after clipping of a ruptured aneurysm of the right MCA (C). By performing 3D TOF MRA (C) in the area of the distal branches of the right MCA, focus of loss of the MR signal due to clips was determined

субтракционной ангиографией. Однако прилежащие сосуды лучше визуализировались при МРА с ультракоротким TE (36%), что, по мнению авторов, связано с уменьшением артефактов восприимчивости [4].

В этом же году I. M. Burtcher и соавт. выполнили собственное МР-исследование с целью сравнения титановых зажимов с клипсами из нержавеющей стали для клипирования АГМ. Они стремились определить, возможно ли снижение артефактов от клипс путем изменения параметров МР-изображений в наиболее часто используемых импульсных последовательностях. Так, артефакты от трех металлических клипс сравнивали в трех импульсных последовательностях. Использовали следующие клипсы: титановый Yasargil FT 752 T, стандартный Yasargil FE 752 K и, для сравнения, ферромагнитный клипс Scoville En-58J. Сканирование проводили в трех последовательностях: спин-эхо (SE), градиент-эхо (GE) и быстрое спиновое эхо (FSE). Были оценены три параметра изображения в отношении их влияния на объем артефактов: пропускная способность, TE и ETL (echo train length). Титановые клипсы давали меньше артефактов, чем клипсы из нержавеющей стали. Единственным параметром, который в определенной мере влиял на объем артефактов, была пропускная способность в последовательности спин-эхо, но не градиентное эхо. Последовательность GE вызывала появление более крупных артефактов, чем последовательность SE, и демонстрировала обширные артефакты с более длинным TE [5].

В 2002 г. X. Leclerc и соавт. изучили значение МРА с контрастным усилением (КУ) при аневризмах передней соединительной артерии (ПСоА), эмболизированными с применением спиралей Guglielmi. В этом проспективном исследовании 20 пациентов обследованы с помощью ЦСА, TOF-MRA и МРА с КУ через 12 мес. после лечения. Аневризмы классифицировались в соответствии с наличием остаточной шейки: полная окклюзия, небольшая остаточная шейка, большая или не поддающаяся оценке остаточная шейка. Метод цифровой субтракционной ангиографии использовался в качестве референсного. Результаты показали, что среди 5 случаев с остаточной шейкой, видимых при цифровой субтракционной ангиографии, 3D TOF-MRA смогла их выявить только у трех пациентов. 2 незначительные остаточные шейки не были обнаружены при TOF-MRA, при этом все остаточные шейки, выявленные при цифровой субтракционной ангиографии, были диагностированы при МРА с КУ. Однако один случай полной окклюзии АГМ, обнаруженный на цифровой субтракционной ангиографии, ошибочно классифицирован как небольшая остаточная шейка при МРА с КУ. Таким образом, чувствительность и специфичность методов составила: для 3D TOF-MRA – 60 и 100%, для МРА с КУ – 100 и 93% соответственно [6].

N. Yamada и соавт. для улучшения эффективности визуализации остаточного кровотока после

эмболизации АГМ спиралью разработали свою методику TOF-MRA. Исследования проводили на 1.5 T томографе с использованием очень короткого TE (1,54–1,60 мс) и высокого пространственного разрешения ($0,3 \times 0,3 \times 0,3$ мм³). Для уменьшения расфокусировки вращения, а также сатурации спина объем изображения был расположен таким образом, чтобы шейка исследуемой аневризмы находилась в пределах 2 см от участка притока крови в сканирующем объеме. Исследования МРА проводили у 39 пациентов, сравнивая их с цифровой субтракционной ангиографией. В результате при МРА определялись все материнские артерии, что подтвердилось при ЦСА. Остаточный кровоток на МРА визуализировался чаще (38 исследований), чем при ЦСА (25 исследований). Пространство остаточного потока, определяемое с помощью МРА, всегда было больше, чем с помощью цифровой субтракционной ангиографии [7].

N. Anzalone и соавт. также сравнивали диагностическую эффективность 3D TOF-MRA и МРА с КУ на 3.0 T аппарате при исследованиях АГМ, эмболизированных спиралью [8]. Они были выполнены 52 пациентам с 54 АГМ эндоваскулярной установкой спиралей Guglielmi. 3D TOF-MRA (TR/TE = 23/3,5; фактор SENSE = 2,5) и МРА с КУ с использованием трехмерной сверхбыстрой последовательности градиентного эхо (TR/TE = 5,9/1,8; фактор SENSE = 3) с добавлением 0,1 ммоль/кг гадолената димеглумина за один сеанс исследования. При анализе данных визуализация остаточной части АГМ была значительно лучше при МРА с КУ по сравнению с 3D TOF-MRA для 10 (31,3%) из 32 АГМ, которые считались остаточными проходными на обеих последовательностях. Артефакты от спирали определялись в 5 случаях на TOF-MRA, но ни в одном случае на МРА с КУ. Исходя из этого отмечается, что при послеоперационном контроле как бесконтрастная TOF-MRA, так и МРА с КУ на 3.0 T аппарате одинаково эффективны для классификации эмболизированных аневризм как окклюзированных, так и остаточными проходными. Однако МРА с КУ превосходит TOF-MRA для визуализации остаточной проходности и сочетается с меньшим количеством артефактов [8].

Как известно, пациенты с АГМ после лечения могут быть подвержены риску развития новых аневризм. Частота образования АГМ *de novo* у 65 пациентов через 5 лет после эмболизации спиралью проанализирована M. E. Sprengers и соавт. с использованием 3.0 T МРА высокого разрешения. Данные МР-изображения сравнивались с МРА и КТА в раннем послеоперационном периоде (рис. 2). АГМ, обнаруженные при проведенной ангиографии, классифицировались как неизменные, возникшие АГМ *de novo*, и не сопоставимые с предыдущими. Таким образом, у 13 пациентов (20%) были обнаружены 24 дополнительные АГМ, 4 из них были не сопоставлены

с предыдущими изображениями, 2 – клипированы. Из оставшихся 20 АГМ одна определялась как аневризма *de novo*, одна – незначительно увеличилась в размерах и 18 остались без изменений. Частота образования аневризмы *de novo* через 5 лет составила 1,54%. Для дополнительных АГМ, известных непосредственно на момент первичной эмболизации спиралями, и для одной аневризмы *de novo*, выявленной на МРА, лечение не было показано. Таким образом, скрининг МРА через 5 лет после проведенной эмболизации АГМ для выявления аневризм *de novo* и роста дополнительных аневризм имеет низкую

эффективность с точки зрения обнаружения АГМ, нуждающихся в лечении [9].

Хотя ЦСА по-прежнему считается «золотым» стандартом для определения остаточного кровотока N.A. Vakker и соавт. попытались доказать, может ли МРА заменить ЦСА и стать основным методом контроля эмболизированных и клипированных АГМ. Проспективно были изучены 190 пациентов с эмболизированными АГМ (в исследование были включены больные как с первично разорвавшимися, так и с неразорвавшимися АГМ). Протокол визуализации включал 1.5 T 3D TOF-MRA и цифровую

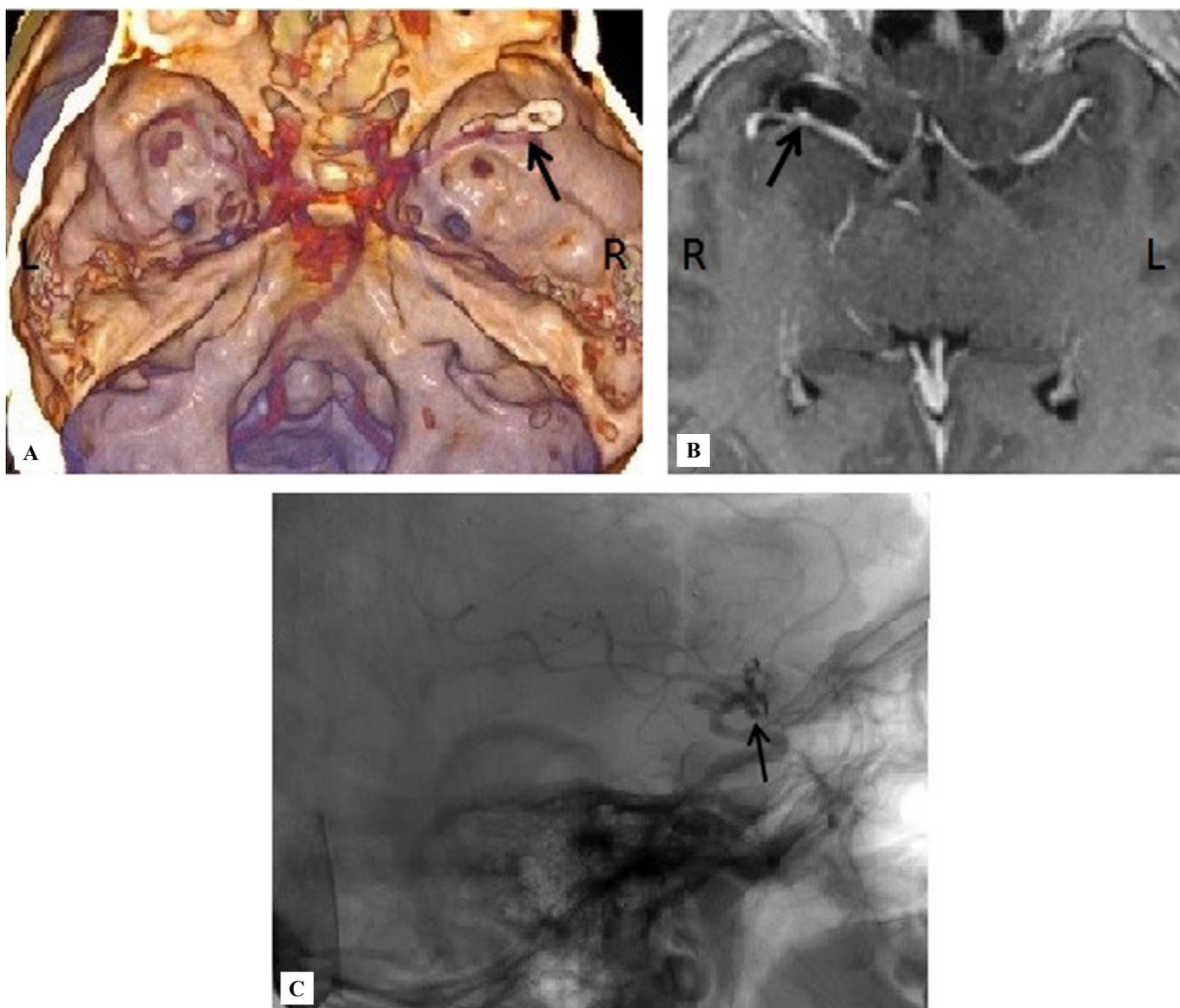


Рисунок 2. Пациент после клипирования разорвавшейся аневризмы развилки правой СМА с использованием амагнетного клипса FT770T «Aesculap» в условиях нейрохирургического стационара в НИИ – Краевой клинической больнице № 1 г. Краснодара. Для сравнения приведены сканы 3D реконструкции КТА (А), МР-исследование с КУ в режиме SPGR (В), и ЦСА (С). Необходимо отметить, что при использовании МРА с КУ в режиме SPGR визуализируется «материнская» артерия на всем протяжении

Figure 2. Patient after clipping of a ruptured aneurysm of the right MCA using the amagnetic clips FT770T “Aesculap” in a neurosurgical department of Scientific Research Institute – Regional Clinical Hospital no. 1, Krasnodar. For comparison, the scans of 3D reconstruction of CTA (A), CE-MR with SPGR (B), and DSA (C) are shown. It should be noted that when using CE-MRA with SPGR, the artery is visualized through its entire length

субтракционную ангиографию через 3 мес. и через 1 год после лечения. Результаты были следующими: 141 из 190 пациентов выполнены как МРА, так и цифровая субтракционная ангиография через 3 мес. после лечения. У 2 из 141 обследуемых (1,4%) небольшая остаточная шейка показала ложноотрицательные результаты при МРА. У одного пациента (0,7%) было проведено дополнительное клипирование АГМ. У 25 из 141 обследуемых дальнейшее наблюдение (> 3 мес.) в результате различных причин состояло только из цифровой субтракционной ангиографии. У 24/25 из этих пациентов одни только первичные МР-ангиограммы неизменно приводили к дополнительному проведению цифровой субтракционной ангиографии. Исходя из данных проведенного исследования можно отметить, что 1.5 T TOF-MRA – это возможный метод первичного наблюдения пациентов после эмболизации АГМ. Учитывая все итоговые показатели, авторы предлагают осуществление МРА-контроля через 3 мес. после лечения АГМ и только в том случае, когда проведенная МРА не дает результатов (например, из-за артефактов катушки или в случае подозрения на реканализацию). В связи с этим следует выполнить ЦСА дополнительно [10].

Z. Serafin и соавт. провели анализ литературы на тему диагностической ценности ангиографических методов и уточнения оптимальных сроков для последующего наблюдения за пациентами после эндоваскулярного лечения церебральных аневризм. С использованием баз данных MEDLINE, PubMed, Embase и Cochrane Collaboration были изучены статьи в период с января 1991 по март 2011 г., в которых проводилось сравнение эффективности выполнения цифровой субтракционной ангиографии и МРА в рамках послеоперационного контроля. Систематический обзор выявил 35 соответствующих исследований: 3 – по диагностической ценности трехмерной (3D) ЦСА, 30 – по эффективности МРА и 3 – по указанию сроков для последующего наблюдения. Обзор показал, что 3D ЦСА имеет чувствительность 100% и специфичность 58,3–94,7%, тогда как МРА – чувствительность 28,4–100,0% и специфичность – 50,0–100,0%. Доля реканализированных аневризм между ранним контрольным осмотром через 6 мес. и отсроченной визуализацией через 1,5–6 лет составила 0–2,5%. Таким образом, анализируя данный обзор, можно сделать вывод, что МРА является лучшим методом визуализации для последующего наблюдения. В отдельных случаях, если необходима инвазивная ангиография, следует рассматривать возможность использования 3D ЦСА для повышения точности диагностики. Большинству пациентов со стабильным и адекватным выключением аневризмы через 6 мес. после эмболизации спиралями может не потребоваться дальнейшее наблюдение [11].

Аналогичный метаанализ провели S.U. Ahmed и соавт. в 2019 г.: были изучены 1579 статей с Embase, PubMed и Cochrane и проведено сравнение МРА и цифровой субтракционной ангиографии в качестве методов для последующего наблюдения за эмболизированными АГМ. Чувствительность и специфичность рассчитаны с использованием степени выключения АГМ, определенной по шкале Raymond-Roy. По результатам исследования, чувствительность и специфичность для 3D TOF-MRA составила 88 и 94%, для МРА с контрастным усилением – 88 и 96% соответственно. Данный анализ показал, что МРА является надежным методом наблюдения за АГМ, пролеченными с использованием эндоваскулярных технологий [12].

В настоящее время во многих центрах при лечении разорвавшихся церебральных аневризм предпочтение отдано их эмболизации спиралями. Однако частота реканализации после такого лечения возникает примерно у 20% пациентов, поэтому из-за возможности ее появления и доступности относительно безопасно повторного эндоваскулярного лечения рекомендовано наблюдение за эмболизированными АГМ.

Z. Serafin и соавт. проспективно провели сравнение диагностической ценности цифровой субтракционной ангиографии и 3D времяпролетной МРА (TOF-MRA). Были обследованы 72 пациента через 3 мес. после эмболизации спиралями методами двухмерной цифровой субтракционной ангиографии (2D ЦСА), трехмерной цифровой субтракционной ангиографии (3D ЦСА) и 3D времяпролетной МРА (3D TOF-MRA). Оценка результатов включала в себя обнаружение остаточного объема, его количественную оценку и обоснованность решения относительно повторного лечения. Во всех случаях изображения 3D TOF-MRA можно было интерпретировать, однако у двух пациентов на цифровой субтракционной ангиографии была видна протрузия петли спирали в материнскую артерию, что не было визуализировано на изображениях 3D TOF-MRA. Необходимо отметить, что во всех случаях, в которых для лечения применялся метод стент-ассистированной эмболизации спиралями, интенсивность сигнала в просвете стента была снижена, что имитировало стеноз внутри стента на объемных изображениях. Чувствительность и специфичность методов в обнаружении остаточного кровотока составила 84,6 и 93,5% для 2D ЦСА; 92,3 и 97,8% – для 3D ЦСА; 84,6 и 91,3% – для 3D TOF-MRA соответственно. Для принятия решения о дальнейшей повторной операции метод 2D ЦСА показал наиболее низкую эффективность по сравнению как с 3D ЦСА, так и с 3D TOF-MRA.

Анализируя данное исследование, можно сделать вывод, что 3D TOF-MRA должен быть приоритетным методом при последующем ведении пациентов после эмболизации АГМ, учитывая инвазивность ЦСА

и незначительную разницу в диагностической эффективности между 3D-ЦСА и 3D TOF-MRA [13].

В 2020 г. S. Takubo и соавт. провели исследование МРА на фантоме с использованием неконтрастной последовательности ультракороткого эхосигнала (UTE) и изучили эффективность его использования у пациентов, перенесших клипирование АГМ. Авторы проанализировали характерные особенности артефактов от клипс путем сканирования фантома со встроенным зажимом с использованием последовательности UTE и временем сканирования 2 мин 52 с. В фантомном исследовании зажим был очерчен как область отсутствия сигнала, полностью окруженная высоким сигналом на исходных изображениях. На реконструированных короткоосевых изображениях зажима, который был расположен перпендикулярно статическому магнитному полю, определялся артефакт в виде четырехлистного клевера. Он исчезал, когда зажим был установлен параллельно статическому магнитному полю. Таким образом, можно отметить, что добавление UTE-MRA к стандартному протоколу является полезным подходом для последующего наблюдения пациентов после клипирования АГМ с клинически приемлемым продлением времени сканирования [14].

Визуализация остаточного объема леченых аневризм при 3D TOF-MRA может быть ограничена из-за магнитной восприимчивости и радиочастотного экранирования, поэтому для оценки клинической эффективности МРА леченых аневризм К. Н. Ryu и соавт. в качестве метода контроля применили методику бесшумного сканирования (silent MRA). 119 пациентам с 126 пролеченными аневризмами были выполнены 3D TOF-MRA и silent MRA во время одного сеанса сканирования. Два нейрорадиолога независимо друг от друга оценили общее качество изображений и визуализацию пролеченной АГМ с использованием 5-балльной шкалы Лайкерта. Анализ данных помог установить, что общие показатели качества изображений примерно одинаковы как при silent MRA, так и при 3D TOF-MRA, однако визуализация потока при silent MRA выше, чем при 3D TOF-MRA. Таким образом, silent MRA превосходит по диагностической эффективности TOF-MRA и является полезным методом в оценке последующего наблюдения леченых аневризм [15].

Как известно, оценка клипированной АГМ и прилежащих церебральных артерий крайне важна для выявления повторного роста аневризм или возникновения послеоперационного церебрального вазоспазма. Но поскольку 3D TOF-MRA является быстрым и неинвазивным методом контроля, вызванный зажимом артефакт на полученных изображениях ограничивает оценку артерии в непосредственной близости от зажима. Хотя 1.5T UTE-MRA и уменьшает металлические артефакты, полученное изображение слишком жесткое для оценки остаточной аневризм, а диапазон описания слишком узок для анализа церебрального вазоспазма.

М. Katsuki и соавт. предложили методику использования 3 T silent UTE-MRA как метода послеоперационной оценки клипированной аневризм и прилежащих сосудов. На полученных изображениях у показательного пациента после клипирования АГМ артерия, находящаяся в непосредственной близости к клипированной АГМ, была детально изучена, а церебральные сосуды подробно описаны от основного ствола до периферических ветвей с широким диапазоном, что позволило оценить масштаб церебрального вазоспазма [16].

Для уменьшения артефактов от зажимов после клипирования АГМ на МР-ангиограммах М. Katsuki и соавт. предложили использовать протокол PETRA-MRA с применением ультракороткого TE. Авторы привели в пример 2 случая клипированных аневризм, при которых на изображениях, полученных методом PETRA-MRA, лучше визуализировались остаточные шейки и прилежащие сосуды, в отличие от TOF-MRA. Исследование показало, что протокол PETRA-MRA может сократить время и инвазивность, а также быть полезным для обычного наблюдения за клипированной аневризмой с развитием технологии МРА в будущем [17].

Заключение

Итоги данного обзора литературы позволяют сделать выводы, что МРА в послеоперационном контроле леченых АГМ имеет высокую диагностическую ценность, обладает определенными преимуществами и может применяться у данной когорты пациентов в качестве рутинного метода послеоперационного контроля. Для улучшения визуализации и нивелирования артефактов от клипс или эндоваскулярных спиралей рекомендуется включать в протокол обновленные программы сканирования, такие как, к примеру, 3D TOF-MRA с ультракоротким TE или silent MRA, а также использовать протоколы сканирования с контрастным усилением. Необходимо также отметить, что МРА, хоть и является эффективным методом качественной визуализации, все же имеет ряд противопоказаний, таких как наличие в теле пациента электрокардиостимулятора, других металлических инородных тел или вероятность развития у пациента клаустрофобии. При сравнении возможностей МРА и КТА отмечено, что компьютерно-томографическая ангиография, будучи более экономически выгодным методом обследования пациентов, все-таки уступает МРА в визуализации леченых аневризм и окружающей паренхимы головного мозга, при этом является источником ионизирующего облучения, что также имеет свои негативные последствия. Однако, несмотря на все вышеперечисленные новшества в протоколах МРА, традиционная ЦСА остается «золотым» стандартом для оценки леченых АГМ и должна широко использоваться для разрешения любых случаев диагностической неопределенности при неинвазивной визуализации.

Литература/References

- Zamani A. MRA of intracranial aneurysms. *Clin Neurosci*. 1997;4(3):123–129. PMID: 9186031.
- Pierot L, Portefaix C, Rodriguez-Régent C, et al. Role of MRA in the detection of intracranial aneurysm in the acute phase of subarachnoid hemorrhage. *J Neuroradiol*. 2013;40(3):204–210. PMID: 23664329. <https://doi.org/10.1016/j.neurad.2013.03.004>
- Pierot L, Kadziolka K, Portefaix C, et al. Treatment for intracranial aneurysms. *Presse Med*. 2012;41(5):532–541. PMID: 22364802. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2011.12.012>
- Gönnér F, Heid O, Remonda L, et al. MR angiography with ultrashort echo time in cerebral aneurysms treated with Guglielmi detachable coils. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1998;19(7):1324–1328. PMID: 9726477. PMID: PMC8332223.
- Burtscher IM, Owman T, Romner B, et al. Aneurysm clip MR artifacts. Titanium versus stainless steel and influence of imaging parameters. *Acta Radiol*. 1998;39(1):70–76. PMID: 9498874. <https://doi.org/10.1080/02841859809172153>
- Leclerc X, Navez JF, Gauvrit JY, et al. Aneurysms of the anterior communicating artery treated with Guglielmi detachable coils: follow-up with contrast-enhanced MR angiography. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2002;23(7):1121–1127. PMID: 12169468. PMID: PMC8185743.
- Yamada N, Hayashi K, Murao K, et al. Time-of-flight MR angiography targeted to coiled intracranial aneurysms is more sensitive to residual flow than is digital subtraction angiography. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2004;25(7):1154–1157. PMID: 15313700. PMID: PMC7976517.
- Anzalone N, Scomazzoni F, Cirillo M, et al. Follow-up of coiled cerebral aneurysms at 3T: comparison of 3D time-of-flight MR angiography and contrast-enhanced MR angiography. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008;29(8):1530–1536. PMID: 18556359. PMID: PMC8119060. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1166>
- Sprengers ME, van Rooij WJ, Sluzewski M, et al. MR angiography follow-up 5 years after coiling: frequency of new aneurysms and enlargement of untreated aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2009;30(2):303–307. PMID: 18971290. PMID: PMC7051390. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A1353>
- Bakker NA, Westerlaan HE, Metzemaekers JD, et al. Feasibility of magnetic resonance angiography (MRA) follow-up as the primary imaging modality after coiling of intracranial aneurysms. *Acta Radiol*. 2010;51(2):226–232. PMID: 20088646. <https://doi.org/10.3109/02841850903436642>
- Serafin Z, Strzeńniewski P, Lasek W, et al. Methods and time schedule for follow-up of intracranial aneurysms treated with endovascular embolization: a systematic review. *Neurol Neurochir Pol*. 2011;45(5):421–430. PMID: 22127936. [https://doi.org/10.1016/S0028-3843\(14\)60309-1](https://doi.org/10.1016/S0028-3843(14)60309-1)
- Ahmed SU, Mocco J, Zhang X, et al. MRA versus DSA for the follow-up imaging of intracranial aneurysms treated using endovascular techniques: a meta-analysis. *J Neurointerv Surg*. 2019;11(10):1009–1014. PMID: 31048457. <https://dx.doi.org/10.1136/neurintsurg-2019-014936>
- Serafin Z, Strzeńniewski P, Lasek W, et al. Follow-up after embolization of ruptured intracranial aneurysms: a prospective comparison of two-dimensional digital subtraction angiography, three-dimensional digital subtraction angiography, and time-of-flight magnetic resonance angiography. *Neuroradiology*. 2012;54(11):1253–1260. PMID: 22488210. PMID: PMC3509325. <https://doi.org/10.1007/s00234-012-1030-z>
- Takubo S, Kawasaki K, Nagatari T, et al. Clinical usefulness of ultra-short TE MRA for follow-up imaging after cerebral aneurysm clipping. *Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi*. 2020;76(2):177–184. PMID: 32074526. https://doi.org/10.6009/jjrt.2020_JSRT_76.2.177
- Ryu KH, Baek HJ, Moon JI, et al. Usefulness of noncontrast-enhanced silent magnetic resonance angiography (MRA) for treated intracranial aneurysm follow-up in comparison with time-of-flight MRA. *Neurosurgery*. 2020;87(2):220–228. PMID: 31625579. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyz421>
- Katsuki M, Narita N, Ozaki D, et al. Three tesla magnetic resonance angiography with ultrashort echo time describes the arteries near the cerebral aneurysm with clip and the peripheral cerebral arteries. *Surg Neurol Int*. 2020;11:224. PMID: 32874727. PMID: PMC7451165. https://doi.org/10.25259/SNI_329_2020
- Katsuki M, Kakizawa Y, Yamamoto Y, et al. Magnetic resonance angiography with ultrashort echo time evaluates cerebral aneurysm with clip. *Surg Neurol Int*. 2020;11:65. PMID: 32363060. PMID: PMC7193191. https://doi.org/10.25259/SNI_59_2020

Сведения об авторах

Кардаильская Дарья Олеговна, врач-рентгенолог, Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-4725-4345>

Зяблова Елена Игоревна, к. м. н., заведующая рентгеновским отделением, Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского; доцент кафедры лучевой диагностики, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-6845-5613>

Порханов Владимир Алексеевич, академик РАН, д. м. н., профессор, главный врач НИИ – ККБ № 1 им. проф. С.В. Очаповского; заведующий кафедрой онкологии с курсом торакальной хирургии ФПК и ППС, Кубанский государственный медицинский университет (Краснодар, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-0572-1395>

Пронин Игорь Николаевич, академик РАН, д. м. н., профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий отделением рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики, НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко (Москва, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-4480-0275>

Захарова Наталья Евгеньевна, профессор РАН, д. м. н., ведущий научный сотрудник отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики, НМИЦ нейрохирургии им. ак. Н.Н. Бурденко (Москва, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-0516-3613>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Darya O. Kardailskaya, Radiologist, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1 (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-4725-4345>

Elena I. Zyablova, Cand. Sci. (Med.), Head of Radiology Department, Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1; Associate Professor of Radiodiagnosis Department, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-6845-5613>

Vladimir A. Porhanov, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor, Chief Doctor of the Scientific Research Institute – Ochapovsky Regional Clinical Hospital no. 1; Head of the Department of Oncology with the Course of Thoracic Surgery, Faculty of Advanced Training and Professional Retraining of Specialists, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-0572-1395>

Igor N. Pronin, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Research, Head of the Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery (Moscow, Russian Federation). <https://doi.org/10.3109/02841850903436642>

Natalya E. Zakharova, Professor of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Leading Researcher of the Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery (Moscow, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-0516-3613>

Conflict of interest: *none declared.*