ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ДИНАМИЧЕСКАЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ АНГИОГРАФИЯ В ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ КЛИПИРОВАННЫХ АНЕВРИЗМ

Зяблова Е.И.[1,2], Ткачев В.В.[1], Порханов В.А.[1,2]

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

2 – Кубанский государственный медицинский университет. г. Краснодар, Россия.

Цель исследования. Оценка качества выполненного клипирования интракраниальных аневризм неинвазивным методом (динамической МР-ангиографии) в сравнении с «эталонным» методом лучевой диагностики.

Материалы и методы. В рамках изучения отдаленных результатов экстренных открытых операций, выполненных по поводу разрывов внутричерепных аневризм, 13 пациентам, помимо традиционной дигитальной субтракционной ангиографии, выполнено МРА с визуализацией с временным разрешением контрастной кинетики (TRICKS; GE Healthcare).

Результаты. Обследовано 13 пациентов с 16 клипированными аневризмами в острой стадии нетравматического субарахноидального кровоизлияния. У одного пациента найдена шейка аневризмы, подтвержденная церебральной ангиографией, что потребовало повторного клипирования. У одного пациента обнаружена диссекция позвоночной артерии.

Выводы. TRICKS MRA обладает высоким разрешением изображений интракраниальных артерий, возможностью получения этой информации неинвазивно, при этом отсутствует лучевая нагрузка. Послеоперационная оценка клипированных интракраниальных аневризм может осуществляться с помощью этого нового метода визуализации.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография (МРТ), МР-ангиография брахиоцефальных артерий, TRICKS, интракраниальные аневризмы, послеоперационный контроль.

Контактный автор: Зяблова Е.И, e-mail: elenazyablova@inbox.ru

Для цитирования: Зяблова Е.И., Ткачев В.В., Порханов В.А. Динамическая магнитно-резонансная ангиография в послеоперационном контроле клипированных аневризм. REJR 2023; 13(2):16-23. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-2-16-23.

Статья получена: 31.01.23 Статья принята: 19.04.23

POSTOPERATIVE CONTROL IN PATIENTS WITH CLIPPED INTRACRANIAL ANEURYSMS USING DYNAMIC MAGNETIC RESONANCE ANGIOGRAPHY

Zyablova E.I.[1,2], Tkachev V.V.[1], Porkhanov V.A.[1,2]

1 - Research Institute, S.V. Ochapovsky Krasnodar Regional Hospital No. 1.

2 – Kuban State Medical University. Krasnodar, Russia.

Purpose. We used a non-invasive method (dynamic MR angiography) vs. an invasive angiography as the gold standard to evaluate the quality of intracranial aneurysms clipping.

Materials and methods. To evaluate the long-term results of emergent open repair performed for ruptured intracranial aneurysms, 13 patients underwent time-resolved imaging of contrast kinetics-MR angiography (TRICKS; GE Healthcare), as well as invasive digital subtraction angiography.

Results. We examined 13 patients with 16 clipped aneurysms in the acute stage of nontraumatic subarachnoid hemorrhage. In one patient, an aneurysm neck was found with MR angi-

ography, confirmed by invasive angiography, which required repeated clipping. One patient developed a dissection of the vertebral artery.

Conclusion. TRICKS MRA has a number of advantages: high resolution imaging of intracranial arteries, non-invasiveness and absence of radiation exposure compared to CT. As the availability of non-invasive dynamic angiography increases, we consider that this method will become a very useful tool for postoperative control of clipped intracranial aneurysms.

Keywords: magnetic resonance imaging, MR angiography of head and neck, TRICKS, intracranial aneurysms, postoperative control.

Corresponding author: Zyablova E.I., e-mail: elenazyablova@inbox.ru.

For citation: Zyablova E.I., Tkachev V.V., Porkhanov V.A. Postoperative control in patients with clipped intracranial aneurysms using dynamic magnetic resonance angiography. REJR 2023; 13(2):16-23. DOI: 10.21569/2222-7415-2023-13-2-16-23.

Received: 31.04.23 Accepted: 19.04.23

Лечение разорвавшихся интракраниальных аневризм (ИА) у пациентов с острым нетравматическим субарахноидальным кровоизлиянием (нСАК) в первую очередь направлено на предотвращение повторного субарахноидального кровоизлияния (САК). В отдаленном послеоперационном периоде важна визуализация интракраниальных артерий для оценки остаточной аневризмы и возможного повреждения основного сосуда. Современные неинвазивные методики лучевой диагностики дают возможность не только определить источник кровоизлияния в остром периоде нСАК, но и контролировать степень облитерации аневризмы после хирургического лечения, оценивать количество и изменение размеров неразорвавшихся аневризм (если они есть), а также обнаружить возможные повторные разрывы ИА, которые вызывают тяжелые осложнения [1–5].

Церебральная ангиография (ЦАГ) является «эталонным методом» для оценки состояния ИА после микрохирургического лечения. Этот метод позволяет оценивать наличие рецидивирующего потока в аневризме, обладает высоким пространственным разрешением и возможностями 3D-реконструкции. Однако он является инвазивным и связан с определенным риском инфаркта мозга, побочными реакциями на контрастный препарат, гематомами в месте пункции [6–8].

В последнее время методом выбора послеоперационного мониторинга аневризм все чаще признается КТ-ангиография (КТА), которая позволяет оценивать степень закрытия аневризмы. Основная область применения КТА – послеоперационное наблюдение за клипированными аневризмами. Важно отметить, что визуализация и при этом диагностическая точность КТ для оценки остаточной аневризмы после клипирования, согласно проведенным исследованиям, оценивается в 88,1% [9]. Двухэнергетическая КТ также рассматривается как перспективный метод визуализации клипированных ИА и является потенциальной заменой ЦАГ [10]. Компьютерная томографическая ангиография также может выполняться с помощью динамической техники для получения информации о кровотоке в интракраниальных артериях. Однако ограничением динамической КТ-ангиографии являются значительно более высокие дозы облучения (поскольку сканирование проводится несколько раз в одном и том же месте среза) [11].

Магнитно-резонансная ангиография (МРА) (с контрастным усилением и без него) все активнее используется в настоящее время как метод неинвазивной диагностики для контроля послеоперационных разорвавшихся аневризм. Более широкое применение этот метод находит в случае эмболизированных аневризм. Тем не менее, по мере развития технологий сканирования появляются новые последовательности, позволяющие снизить количество артефактов и точно визуализировать клипированные аневризмы. Дополнение бесконтрастной МРА введением гадолиний-содержащего контрастного препарата, как правило, повышает точность диагностики и, в ряде случаев, позволяет избежать ЦАГ [12].

В 2003–2004 гг. компания GE Healthcare (Чалфонт-Сент-Джайлс, Англия) разработала новый метод визуализации на основе исследований, частично проведенных на кафедре медицинской физики Университета Висконсина [16–19]. Этот новый метод визуализации, известный как технология визуализации кинетики контраста с разрешением по времени или

динамическая МРА (Time Resolved Imaging of Contrast KineticS, TRICKS), представляет собой динамическое изображение внутрисосудистого потока контрастного препарата. TRICKS обеспечивает относительно высокое пространственное разрешение, а также предоставляет информацию о динамическом потоке, которое ранее было недоступно без более инвазивных исследований, таких как интервенционная ангиография [11].

TRICKS обеспечивает МР-ангиографию с хорошим пространственным и временным разрешением, с возможностью отслеживания пика артериальной фазы с минимальным уровнем сигналов от венозного кровотока, а также получать данные о различных фазах кровотока после получения изображений. Временная выборка и рекомбинация комплексных данных улучшают временную составляющую динамической 3D-визуализации без ухудшения пространственного разрешения.

Данная методика нашла свое применение в предоперационной диагностике мальформаций спинного мозга, сосудистых поражений орбит и мягких тканей лицевой области. Однако пока нет данных о применении данной методики в послеоперационном контроле клипированных ИА [11, 13, 14].

Представляем наш первоначальный опыт применения TRICKS MRA в послеоперационной оценке клипированных ИА у пациентов, перенесших острое нСАК.

Материалы и методы.

В отдаленном послеоперационном периоде, спустя 3-6 месяцев после микрохирургического клипирования ИА несъемными аневризматическими клипсами YASARGIL фирмы Aesculap, пациенты были приглашены на контрольное исследование для оценки остаточной аневризмы и возможного повреждения основного сосуда. Согласно инструкции медицинского изделия (аневризматические клипсы YASARGIL из титана и сплава Phynox), пациент, при проведении МРТ с силой магнитного поля 1,5 и 3 Тесла, не подвергается дополнительному риску, а артефакты, которые создают клипсы на изображениях МРТ, – умеренные. Однако, в зависимости от МР-частоты импульсов, величина артефактов может меняться.

Пациенты были без клинических проявлений повторных нСАК.

В условиях неврологического отделения обследовано 13 пациентов, для контроля степени закрытия аневризм была выполнена ЦАГ. Для изучения возможности использования неинвазивной методики у данной группы пациентов, без увеличения лучевой нагрузки, дополнительно применялись МРТ, МРА, динамическая МРА (TRICKS).

Исследования МРТ и МРА выполнялись на аппарате MR Optima MR450w 1,5 T General Electric.

В протокол исследования входили следующие импульсные последовательности: Т1-ВИ, Т2-ВИ, FLAIR, DWI, SWAN, 3D TOF, TRICKS, SPGR (Trics, SPGR – с контрастированием).

При бесконтрастном исследовании оценивались: состояние паренхимы головного мозга и его желудочковой системы, а также субдурального, конвекситального, субарахноидальных пространств и базальных цистерн. Параметры сканирования были следующими: Т1-ВИ (TR:352, TE: 11), Т2-ВИ (TR: 4944–5133, TE 102-104), FLAIR (TR: 8800, TE: 123), 3DTOF (TR: 28, TE:3,2), SPGR (TR: 4,4, TE: 1,4).

Параметры Trics-МРА были следующими: FOV:24×19, NEX = 0,5 количество срезов – 168, короткие, TR / TE (3,4/1,3), толщина среза 2,2 мм.

TRICKS проводилась при введении гадолиний-содержащего контрастного препарата объемом из расчета 0,1 ммоль/кг с помощью болюсного шприца со скоростью 3 мл/с.

Во время болюсной инъекции контрастного вещества повторно (до 16 раз) получали трехмерные изображения МРА интересующей области. Частота кадров составляла примерно 2 с на одну серию. Снимки выполнялись в аксиальной плоскости для первоначальной оценки поражения; при необходимости осуществлялось второе сканирование в выбранной ортогональной плоскости, сагиттальной или коронарной.

После TRICKS проводили SPGR без дополнительного введения контрастного препарата. Полученные изображения TRICKS и SPGR просматривались с помощью проекции максимальной интенсивности трехмерного объема данных в 3D.

При оценке МРА особое внимание уделяли клипированным аневризмам (степень закрытия аневризмы, наличие шейки), поиску других артериальных аневризм, артериовенозных мальформаций.

Церебральная ангиография проводилась на аппаратах Siemens Axiom Artis DTC и General Electric Innova 3000. Выполнялись нативное, субтракционное исследования интра- и экстракраниальных отделов всех БЦА. При выявлении патологии в сосудистом бассейне применялось дополнительное ротационное исследование. По данным ЦАГ радикальность выключения аневризмы из кровообращения определяли согласно классификации Raymond J. – Roy D.

Результаты.

Всего обследовано 13 пациентов, из них 10 женщин (от 37 до 77 лет), 3 мужчины (от 44 до 52 лет). Всем этим пациентам в период острейшего нетравматического субарахноидального кровоизлияния было проведено микрохирургическое клипирование ИА в количестве 16, из

Таблица №1. Распределение локализации клипированных аневризм.

Локализация	Количество	%
Передняя соединительная артерия	5	31,25
Передняя ворсинчатая артерия	1	6,25
Задняя соединительная артерия	2	12,5
Задняя нижняя мозжечковая артерия	2	12,5
Перикаллезная артерия	1	6,25
Внутренняя сонная артерия	1	6,25
Средняя мозговая артерия	4	25

Таблица №2. Результаты оценки качества изображения при МРА и TRICS.

Качество изображения	3DTOF	TRICS
1 – оценить сосуды в месте установки клипс невозможно	16	2
2 – минимальные артефакты не мешают оценке сосуда	–	1
3 – нет артефактов	–	13

них % разорвавшихся (n = 13) и % интактных (n = 3) аневризм. Сроки выполнения контрольных исследований составляли от 8 до 49 месяцев. Все клипсы были выполнены из сплава титана производства BBRAUN Aesculap.

Локализация аневризм не влияла на протокол исследования и качество изображений на TRICKS. Подробное распределение локализации клипированных аневризм представлено в таблице №1.

Качество изображения сосудов при МРА и TRICKS в месте установки клипс оценивалось по 3-балльной шкале, где 3 – нет артефактов, 2 – минимальные не мешают оценке сосуда, 1 – есть артефакты, оценить сосуды в месте установки клипс невозможно. Результаты оценки качества изображения отражены в таблице №2.

Согласно проведенному анализу оценить радикальность клипирования аневризм с помощью 3DTOF на МРТ не представлялось возможным в 100% случаев из-за артефактов, создаваемых клипсами. В 2-х случаях (12,5%) невозможно было оценить сосуды с помощью TRICKS, но это было связано в большей степени с дефектами контрастирования, в большинстве случаев (87,5%) качество изображения было хорошим.

После выполнения МРТ, МРА 12 пациентам была назначена ЦАГ, один пациент от инвазивной ангиографии отказался. По данным TRICKS и ЦАГ у одного пациента была обнаружена шейка леченной аневризмы, которая в дальнейшем была клипирована микрохирургическим методом (рис. 1).

У одного из пациентов на МРТ определялась локальная диссекция позвоночной артерии, не выявленная на ЦАГ, не потребовавшая какого-либо лечения.

У других пациентов, после контрольного исследования, хирургическое лечение не проводилось.

Обсуждение.

В настоящее время еще не разработаны рекомендации по частоте визуализирующих исследований после клипированных ИА, поэтому для каждого из пациентов выбирается индиви-

Рис. 1 а (Fig. 1 a)

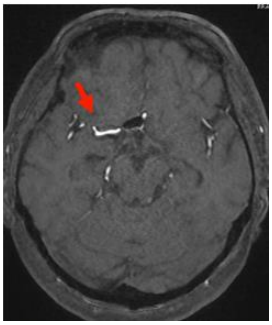

Рис. 1 б (Fig. 1 b)

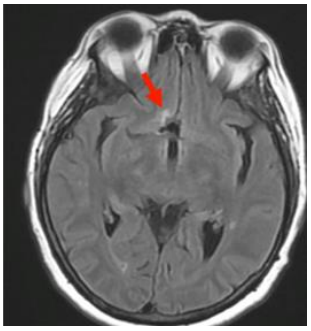

Рис. 1 в (Fig. 1 c)

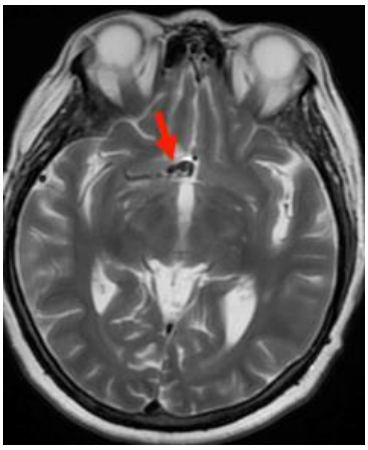

Рис. 1 г (Fig. 1 d)

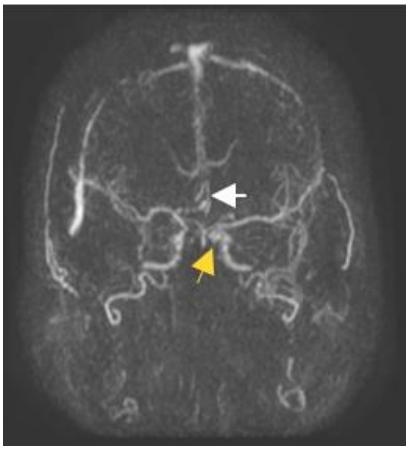

Рис. 1 д (Fig. 1 e)

Рис. 1 е (Fig. 1 f)

Рис. 1 ж (Fig. 1 g)

Рис. 1. А – нативная КТ, B-E – МРТ (B – 3DTOF, C – FLAIR, D – T2-ВИ, E – TRICKS), F-G – ЦАГ. Пациент, 60 лет, состояние после микрохирургического клипирования аневризмы ПСоА. Контрольные исследования через 23 мес. после лечения.

А – На нативной КТ определяется клипса, создающая артефакты (красная стрелка). B, C, D – На МРТ в месте установки клипсы визуализируются артефакты (красная стрелка). E –На МРА- TRICKS артефакты отсутствуют, видна пришеечная часть аневризмы, указанная белой стрелкой, подтвержденная на ЦАГ (F,G). Кроме того, подтверждена аневризма клиноидного отдела левой ВСА (E, желтая стрелка).

Fig. 1. A – non-contrast CT, B-E – MRI (B – 3DTOF, C – FLAIR, D – T2-WI, E – TRICKS), F-G – DSA. Patient, 60 years old, underwent microsurgical clipping of posterior communicating artery aneurysm. Control imaging performed 23 months after treatment.

A – On non-contrast CT, the clip which creates artifacts is determined. B, C, D – On MRI artifacts are visualized at the clipping site. E – There are no artifacts on MRA-TRICKS, the cervical part of the aneurysm is visible, indicated by a white arrow, subsequently confirmed by DSA (F, G). In addition, an aneurysm of the supraclinoid segment of the left internal carotid artery was confirmed (E, yellow arrow).

дуальный алгоритм, в зависимости от его состояния и характеристик аневризмы. Оптимальное регулярное наблюдение позволяет предотвратить повторный разрыв ИА, снизить тревожность пациентов и минимизировать их инвалидизацию.

Вне зависимости от выбранной техники хирургического лечения интракраниальных аневризм, необходим дальнейший контроль пациентов для ранней диагностики послеоперационных осложнений и рецидивов.

Неинвазивная визуализация с помощью компьютерной и магнитно-резонансной томографии, предоставляя важную информацию о патологическом процессе, необходима на различных этапах лечения пациентов. Роль ее была предметом многочисленных редакционных статей. Поскольку визуализация может быть дорогостоящей, ее оправданное использование призвано дать уникальные данные, которые помогут изменить курс лечения или предоставит специальную информацию, которая сможет помочь в консультации пациентов.

Использованию МР-ангиографии в послеоперационном контроле пациентов после микрохирургического клипирования интракраниальных аневризм посвящено немного исследований, так Takubo et al. в 2020 на фантоме изучали характерные особенности получающихся от клипс артефактов [16].

Так Ryu et al. в своем исследовании применяли «бесшумное сканирование» (Silent МРА). Было обследовано 119 пациентов со 126 пролеченными ИА; сравнению подлежали МРА в режимах TOF и Silent. В результате исследования были получены данные, что МРА в режиме Silent является важным дополнением к послеоперационному контролю клипированных ИА, которое повышает точность визуализации [17].

Возможности динамической МРА с контрастным усилением все чаще используется в различных медицинских направлениях, в том числе в сердечно-сосудистой, челюстно-лицевой хирургии и неврологии [18–21]. Послеоперационная оценка леченных интракраниальных аневризм особенно успешно подходит для этого нового метода визуализации.

Наш опыт, основанный на небольшой серии использования динамической магнитно-резонансной ангиографии, показал, что TRICKS обладает огромным потенциалом для получения важной новой информации об интракраниальных артериях. Метод TRICKS, несмотря на небольшое количество пациентов в исследовании, позволил получить данные, которые в двух случаях способствовали обнаружению патологических изменений интракраниальных артерий: 1 – шейки аневризмы, подтвержденной церебральной ангиографией, 1 – диссекции позвоночной артерии. В обоих случаях патология обнаружена благодаря информации, предоставленной динамической магнитно-резонансной ангиографией. Традиционная магнитно-резонансная ангиография не позволила получить сведения об остаточной шейке аневризмы, которая оказалась столь важной для постановки правильного диагноза.

Наше исследование ограничено небольшим количеством случаев и отсутствием, а также использованием этой методики только на магнитно-резонансном томографе одного производителя. В других медицинских учреждениях, возможно, используют другие программы динамической МРА, эти системы могут немного отличаться от TRICKS. В дальнейшем мы планируем ознакомиться и с другими инновационными системами визуализации.

Заключение.

Динамическая магнитно-резонансная ангиография в послеоперационном контроле клипированных аневризм в сравнении с КТ-ангиографией и ЦАГ имеет ряд преимуществ: высокое разрешение изображений интракраниальных артерий, возможность получения этой информации неинвазивно, без лучевой нагрузки и йодсодержащего контрастного препарата, а также отсутствие артефактов.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы

1. Зяблова Е.И., Ачмиз Н.З., Ткачев В.В., Порханов В.А. КТ-ангиография брахиоцефальных артерий при неотложной диагностике разрыва аневризм головного мозга. REJR. 2022; 12 (2): 65-73. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-2-65-73.

2. Зяблова Е.И, Порханов В.А., Синицын В.Е. Предоперационная лучевая диагностика острых субарахноидальных кровоизлияний вследствие разрыва церебральных аневризм. REJR. 2021; 11 (2): 19-31. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-2-19-31.

3. Зяблова Е.И., Ткачев В.В., Порханов В.А. Вклад КТ-ангиографии в верификацию источника нетравматического внутричерепного кровоизлияния в условиях экстренного приемного покоя. Инновационная медицина Кубани. 2021; 1: 34-38. DOI: 10.35401/2500-0268-2021-21-1-34-38

4. Pierot L., Cognard C., Anxionnat R., Ricolfi F.; CLARITY Investigators. Endovascular treatment of ruptured intracranial aneurysms: factors affecting midterm quality anatomic results: analysis in a prospective, multicenter series of patients (CLARITY). AJNR Am J Neuroradiol. 2012; 33 (8): 1475-1480. DOI: 10.3174/ajnr.A3003. PMID: 22517279; PMCID: PMC7966533.

5. Lecler A., Raymond J., Rodriguez-Régent C., Al Shareef F., Trystram D., Godon-Hardy S., Ben Hassen W., Meder J. F., Oppenheim C., Naggara O.N. Intracranial aneurysms: recurrences more than 10 years after endovascular treatment – a prospective cohort study, systematic review, and meta-analysis. Radiology. 2015; 277 (1): 173-180. DOI: 10.1148/radiol.2015142496. PMID: 26057784.

6. Raymond J., Guilbert F., Weill A., Georganos S.A., Juravsky L., Lambert A., Lamoureux J., Chagnon M., Roy D. Long-term angiographic recurrences after selective endovascular treatment of aneurysms with detachable coils. Stroke. 2003; 34 (6): 1398-1403. DOI: 10.1161/01.STR.0000073841.88563.E9. PMID: 12775880.

7. Dawkins A.A., Evans A.L., Wattam J., Romanowski C.A., Connolly D.J., Hodgson T.J., Coley S.C. Complications of cerebral angiography: a prospective analysis of 2,924 consecutive procedures. Neuroradiology. 2007; 49 (9): 753-759. DOI: 10.1007/s00234-007-0252-y. PMID: 17594083.

8. Soize S., Gawlitza M., Raoult H., Pierot, L. Imaging follow-up of intracranial aneurysms treated by endovascular means: why, when, and how? Stroke. 2016; 47 (5): 1407-1412. DOI: 10.1161/STROKEAHA.115.011414. PMID: 27026629.

9. Lee J.H., Kim S.J., Cha J., Kim H.J., Lee D.H., Choi C.G., Lee H.K., Suh D.C., Ahn J.S. Postoperative multidetector computed tomography angiography after aneurysm clipping: comparison with digital subtraction angiography. J Comput Assist Tomogr. 2005; 29 (1): 20-25. DOI: 10.1097/01.rct.0000147980.83333.d1. PMID: 15665677.

10. Dolati P., Eichberg D., Wong J.H., Goyal M. The utility of dual-energy computed tomographic angiography for the evaluation of brain aneurysms after surgical clipping: a prospective study. World Neurosurg. 2015; 84 (5): 1362-1371. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.06.027. PMID: 26115801.

11. Kahana A., Lucarelli M.J., Grayev A.M., Van Buren J.J., Burkat C.N., Gentry L.R. Noninvasive dynamic magnetic resonance angiography with Time-Resolved Imaging of Contrast KineticS (TRICKS) in the evaluation of orbital vascular lesions. Arch Ophthalmol. 2007; 125 (12): 1635-1642. DOI: 10.1001/archopht.125.12.1635. PMID: 18071114.

12. Chrysochou C., Buckley D.L., Dark P., Cowie A., Kalra P.A. Gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging for renovascular disease and nephrogenic systemic fibrosis: critical review of the literature and UK experience. J Magn Reson Imaging. 2009; 29 (4): 887-894. DOI: 10.1002/jmri.21708. PMID: 19306428.

13. Расулова Е.В., Пронин И.Н., Афандиев Р.М., Захарова Н.Е. Диагностика метамерной спинальной артериовенозной мальформации (клинический случай). Радиология – практика. 2022; (1): 91-100. DOI: 10.52560/2713-0118-2022-1-91-100

14. Romano A., Tavanti F., Rossi Espagnet M.C., Terenzi V., Cassoni A., Suma G., Boellis A., Pierallini A., Valentini V., Bozzao A. The role of time-resolved imaging of contrast kinetics (TRICKS) magnetic resonance angiography (MRA) in the evaluation of head-neck vascular anomalies: a preliminary experience. Dentomaxillofac Radiol. 2015; 44 (3): 20140302. DOI: 10.1259/dmfr.20140302. PMID: 25410709; PMCID: PMC4614168.

15. Turski P.A., Korosec F.R., Carroll T.J., Willig D.S., Grist T.M., Mistretta C.A. Contrast-Enhanced magnetic resonance angiography of the carotid bifurcation using the time-resolved imaging of contrast kinetics (TRICKS) technique. Top Magn Reson Imaging. 2001; 12 (3): 175-181. DOI: 10.1097/00002142-200106000-00004. PMID: 11432576

16. Takubo S. 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.

17. Ryu K.H. 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.

18. Du J., Thornton F.J., Mistretta C.A., Grist T.M. Dynamic MR venography: an intrinsic benefit of time-resolved MR angiography. J Magn Reson Imaging. 2006; 24 (4): 922-927. DOI: 10.1002/jmri.20716. PMID: 16958067.

19. Körperich H., Gieseke J., Esdorn H., Peterschröder A., Hoogeveen R., Barth P., Peuster M., Meyer H., Sarikouch S., Beerbaum P. Ultrafast time-resolved contrast-enhanced 3D pulmonary venous cardiovascular magnetic resonance angiography using SENSE combined with CENTRA-keyhole. J Cardiovasc Magn Reson. 2007; 9 (1): 77-87. DOI: 10.1080/10976640600737664. PMID: 17178684.

20. Mohrs O.K., Petersen S.E., Voigtlaender T., Peters J., Nowak B., Heinemann M.K., Kauczor H.U. Time-resolved contrast-enhanced MR angiography of the thorax in adults with congenital heart disease. AJR Am J Roentgenol. 2006; 187 (4): 1107-1114. DOI: 10.2214/AJR.05.0403. PMID: 16985163.

21.Mell M., Tefera G., Thornton F., Siepman D., Turnipseed W. Clinical utility of time-resolved imaging of contrast kinetics (TRICKS) magnetic resonance angiography for infrageniculate arterial occlusive disease. J Vasc Surg. 2007; 45 (3): 543-548. DOI: 10.1016/j.jvs.2006.11.045. PMID: 17223303.

References:

1. Poddubny I.V., Ryabov A.B., Trunov V.O., Kozlov M.Yu., Topilin

1. Zyablova E.I., Achmiz N.Z., Tkachev V.V., Porhanov V.A. Cerebrovascular CTangiography in the emergency diagnostics of ruptured cerebral aneurysms. REJR. 2022; 12 (2): 65-73. DOI: 10.21569/2222-7415-2022-12-2-65-73 (in Russian).

2. Zyablova E.I., Porhanov V.A., Sinitsyn V.E. Pre-surgical diagnostic imaging of aneurysmal subarachnoidal hemorrhages. REJR. 2021; 11 (2): 19-31. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-2-19-31 (in Russian).

3. Zyablova E.I., Tkachev V.V., Porhanov V.A. CT angiography for detecting the cause of intracranial hemorrhage in the emergency department. Innovative Medicine of Kuban. 2021; 1: 34-38. https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-21-1-34-38 (in Russian).

4. Pierot L., Cognard C., Anxionnat R., Ricolfi F.; CLARITY Investigators. Endovascular treatment of ruptured intracranial aneurysms: factors affecting midterm quality anatomic results: analysis in a prospective, multicenter series of patients (CLARITY). AJNR Am J Neuroradiol. 2012; 33 (8): 1475-1480. DOI: 10.3174/ajnr.A3003. PMID: 22517279; PMCID: PMC7966533.

5. Lecler A., Raymond J., Rodriguez-Régent C., Al Shareef F., Trystram D., Godon-Hardy S., Ben Hassen W., Meder J. F.,

Oppenheim C., Naggara O.N. Intracranial aneurysms: recurrences more than 10 years after endovascular treatment – a prospective cohort study, systematic review, and meta-analysis. Radiology. 2015; 277 (1): 173-180. DOI: 10.1148/radiol.2015142496. PMID: 26057784.

6. Raymond J., Guilbert F., Weill A., Georganos S.A., Juravsky L., Lambert A., Lamoureux J., Chagnon M., Roy D. Long-term angiographic recurrences after selective endovascular treatment of aneurysms with detachable coils. Stroke. 2003; 34 (6): 1398-1403. DOI: 10.1161/01.STR.0000073841.88563.E9. PMID: 12775880.

7. Dawkins A.A., Evans A.L., Wattam J., Romanowski C.A., Connolly D.J., Hodgson T.J., Coley S.C. Complications of cerebral angiography: a prospective analysis of 2,924 consecutive procedures. Neuroradiology. 2007; 49 (9): 753-759. DOI: 10.1007/s00234-007-0252-y. PMID: 17594083.

8. Soize S., Gawlitza M., Raoult H., Pierot, L. Imaging follow-up of intracranial aneurysms treated by endovascular means: why, when, and how? Stroke. 2016; 47 (5): 1407-1412. DOI: 10.1161/STROKEAHA.115.011414. PMID: 27026629.

9. Lee J.H., Kim S.J., Cha J., Kim H.J., Lee D.H., Choi C.G., Lee H.K., Suh D.C., Ahn J.S. Postoperative multidetector computed tomography angiography after aneurysm clipping: comparison with digital subtraction angiography. J Comput Assist Tomogr. 2005; 29 (1): 20-25. DOI: 10.1097/01.rct.0000147980.83333.d1. PMID: 15665677.

10. Dolati P., Eichberg D., Wong J.H., Goyal M. The utility of dual-energy computed tomographic angiography for the evaluation of brain aneurysms after surgical clipping: a prospective study. World Neurosurg. 2015; 84 (5): 1362-1371. DOI: 10.1016/j.wneu.2015.06.027. PMID: 26115801.

11. Kahana A., Lucarelli M.J., Grayev A.M., Van Buren J.J., Burkat C.N., Gentry L.R. Noninvasive dynamic magnetic resonance angiography with Time-Resolved Imaging of Contrast KineticS (TRICKS) in the evaluation of orbital vascular lesions. Arch Ophthalmol. 2007; 125 (12): 1635-1642. DOI: 10.1001/archopht.125.12.1635. PMID: 18071114.

12. Chrysochou C., Buckley D.L., Dark P., Cowie A., Kalra P.A. Gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging for renovascular disease and nephrogenic systemic fibrosis: critical review of the literature and UK experience. J Magn Reson Imaging. 2009; 29 (4): 887-894. DOI: 10.1002/jmri.21708. PMID: 19306428.

13. Rasulova E.V., Pronin I.N., Afandiev R.M., Zakharova N.E. Diagnosis of spinal metameric arteriovenous malformation syndrome (case report). Radiology – Practice. 2022; (1): 91-100. DOI: 10.52560/2713-0118-2022-1-91-100 (in Russian).

14. Romano A., Tavanti F., Rossi Espagnet M.C., Terenzi V., Cassoni A., Suma G., Boellis A., Pierallini A., Valentini V., Bozzao A. The role of time-resolved imaging of contrast kinetics (TRICKS) magnetic resonance angiography (MRA) in the evaluation of head-neck vascular anomalies: a preliminary experience. Dentomaxillofac Radiol. 2015; 44 (3): 20140302. DOI: 10.1259/dmfr.20140302. PMID: 25410709; PMCID: PMC4614168.

15. Turski P.A., Korosec F.R., Carroll T.J., Willig D.S., Grist T.M., Mistretta C.A. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of the carotid bifurcation using the time-resolved imaging of contrast kinetics (TRICKS) technique. Top Magn Reson Imaging. 2001; 12 (3): 175-181. DOI: 10.1097/00002142-200106000-00004. PMID: 11432576.

16. Takubo S. 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.

17. Ryu K.H. 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.

18. Du J., Thornton F.J., Mistretta C.A., Grist T.M. Dynamic MR venography: an intrinsic benefit of time-resolved MR angiography. J Magn Reson Imaging. 2006; 24 (4): 922-927. DOI: 10.1002/jmri.20716. PMID: 16958067.

19. Körperich H., Gieseke J., Esdorn H., Peterschröder A., Hoogeveen R., Barth P., Peuster M., Meyer H., Sarikouch S., Beerbaum P. Ultrafast time-resolved contrast-enhanced 3D pulmonary venous cardiovascular magnetic resonance angiography using SENSE combined with CENTRA-keyhole. J Cardiovasc Magn Reson. 2007; 9 (1): 77-87. DOI: 10.1080/10976640600737664. PMID: 17178684.

20. Mohrs O.K., Petersen S.E., Voigtlaender T., Peters J., Nowak B., Heinemann M.K., Kauczor H.U. Time-resolved contrast-enhanced MR angiography of the thorax in adults with congenital heart disease. AJR Am J Roentgenol. 2006; 187 (4): 1107-1114. DOI: 10.2214/AJR.05.0403. PMID: 16985163.

21. Mell M., Tefera G., Thornton F., Siepman D., Turnipseed W. Clinical utility of time-resolved imaging of contrast kinetics (TRICKS) magnetic resonance angiography for infrageniculate arterial occlusive disease. J Vasc Surg. 2007; 45 (3): 543-548. DOI: 10.1016/j.jvs.2006.11.045. PMID: 17223303.