

В ПОМОЩЬ ПРАКТИЧЕСКОМУ ВРАЧУ

УДК 616.133.33-007.64:616.145.11/13-007-053.1]-073.755.4-073.86

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОНТРАСТНОЙ (3D FFE) И ВРЕМЯ-ПРОЛЕТНОЙ (3D TOF) МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ АНГИОГРАФИИ В ДИАГНОСТИКЕ АНЕВРИЗМ И МАЛЬФОРМАЦИЙ СОСУДОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

О.Ю. Бородин

ГОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Минздравсоцразвития России, Томск
НИИ кардиологии СО РАМН, Томск
E-mail: cyber@cardio.tsu.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF DYNAMIC CONTRAST-ENHANCED (3DFFE) AND TIME-OF-FLIGHT (3D TOF) MAGNETIC RESONANCE ANGIOGRAPHY IN THE DIAGNOSTICS OF ANEURYSMS AND MALFORMATION OF CEREBRAL VESSELS

O.Yu. Borodin

Siberian State Medical University, Tomsk
Institute of Cardiology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences

Разработка и апробация эффективной методики динамической МР-ангиографии с возможностью цифровой субтракции по маске неконтрастных изображений, а также проведение сравнительного анализа диагностических возможностей 3D-TOF и 4D-MRA явилась целью настоящего исследования. Проведено ретроспективное исследование на архивных данных сочетанного использования бесконтрастной время-пролетной 3D-TOF и 4D МР-ангиографии для диагностики наиболее распространенных заболеваний сосудов головного мозга. По принципу “одного окна”, в рамках одного магнитно-резонансного исследования показана возможность диагностики и верификации наиболее распространенных патологических изменений сосудов, таких как артериальные аневризмы и сосудистые мальформации.

Ключевые слова: магнитно-резонансная ангиография, динамическая контрастная ангиография, время-пролетная ангиография, сравнительный анализ, аневризмы, мальформации.

Development and approbation of effective methods of dynamic MR angiography with digital subtraction by mask of non-contrast images, and also comparative analysis of diagnostic capabilities of 3D-TOF and 4D-MRA constitute the aim of this study. Retrospective study on archived data of the combined use of time-of-flight 3D-TOF and 4D MRA was performed for the diagnosis of the most common vascular disease of the brain. According to the principle of “one window” within one magnetic resonance imaging there is a possibility of diagnostics and verification of the most common vascular lesions such as arterial aneurysms and vascular malformations.

Key words: magnetic resonance angiography, dynamic contrast angiography, time-of-flight angiography, comparative analysis, aneurysms, malformations.

Введение

Использование контрастной магнитно-резонансной ангиографии (МРА) позволяет получать высокоинформативные ангиограммы всего тела в качестве метода первичной диагностики [1]. К несомненным преимуществам метода магнитно-резонансной томографии (МРТ) следует отнести отсутствие ионизирующего излучения, высо-

кий мягкотканый контраст и возможность одновременной оценки структуры и функции в области интереса. Используемые контрастные средства в диагностических дозах не обладают нефротоксичностью [2]. Это дает возможность проведения более частых динамических контрольных исследований на фоне лечения и/или после оперативного вмешательства.

Контрастная динамическая 3D магнитно-резонансная ангиография (4DMPA) головного мозга в последнее время все больше внедряется в клиническую практику для диагностики таких патологических изменений сосудов, как артерио-венозные мальформации и сосудистые аневризмы. При этом длительность одной фазы контрастной МР-ангиографии может колебаться в диапазоне от 12 до 20 с [3]. Этого достаточно, чтобы получить ангиографические изображения в артериальную фазу без заметного венозного вклада на изображениях. При сравнительном анализе цифровой субтракционной ангиографии с контрастированной 4D MRA на сверхпроводящем МР-томографе 1,5 тесла (8 каналов, скорость нарастания градиентов 150 Т/м/с) сходимость результатов, по данным Каппа анализа, при классификации АВМ (питающие артерии, топографическая анатомия узла, дренирующие вены) были в диапазоне от хорошей до превосходной [4]. Контрастная МР-ангиография с болюсным введением парамагнетика в сравнении с цифровой субтракционной ангиографией классифицирована, как эквивалентная в определении питающих артерий, топографической анатомии узла, а также в выявлении дренирующих вен АВМ (ретроспективно 70, 90 и 80% соответственно).

В исследовании [5] на высокопольном МР-сканере 3T показано, что динамическое 4D МР-ангиографическое исследование значительно расширяет диагностические возможности определения всех характеристик мальформаций в сравнении с субтракционной ангиографией. Выявлена умеренная межмодальная сходимость результатов Каппа анализа в определении питающих артерий ($K=0,68$), а также превосходная сходимость в определении топографии ($K=1,0$) и дренирующих вен ($K=1,0$). Авторы данной работы рекомендуют 4DMP-ангиографию в качестве первичной диагностики мальформаций головного мозга. 4D-MPA способна визуализировать внутримозговые мальформации и приближена по своим возможностям к цифровой субтракционной ангиографии [6]. К сожалению, несмотря на достаточно высокое качество 3DTOF ангиограмм, использование данной техники для визуализации мальформаций головного мозга ограничено. Это связано, в первую очередь, с выраженной сатурацией области низкого потока [7].

В отношении аневризм и диагностики последствий их эмболии высказывается мнение, что контрастная МРА на сверхпроводящем магнитно-резонансном томографе с напряженностью магнитного поля 1,5 тесла предпочтительна перед цифровой субтракционной ангиографией в 91% случаев, а в 9% случаев эквивалентна ей [8].

Приведенные данные позволяют обоснованно признать метод контрастной динамической МР-ангиографии (4D МРА) методом первичной диагностики патологии сосудов всего тела, включая сосуды головного мозга. Вместе с тем, широкое распространение метода время-пролетной бесконтрастной МРА (3DTOF) и в то же время отсутствие данных сравнительного анализа диагностических возможностей 3DTOF и 4D МРА в отечественной литературе, особенно в отношении наиболее распространенных высокопольных МРТ с напряженностью магнитного поля 1,5 тесла, затрудняет внедрение метода 4D МРА в клиническую практику.

Таким образом, целью настоящей работы стало проведение сравнительного анализа методов 3DTOF и 4D магнитно-резонансной ангиографии в оценке возможности диагностики наиболее распространенных патологических состояний сосудов головного мозга.

Материал и методы

Настоящее исследование выполнено ретроспективно на архивных данных пациентов, направленных в кабинет МРТ клиник Сибирского государственного медицинского университета Томска в период с сентября 2008 по май 2011 гг. Каждое магнитно-резонансное томографическое исследование выполнено на высокопольном МРТ Excelart Vantage 1.5T (TOSHIBA, Япония). Параметры градиентной системы: напряженность градиентного поля – 30 мТ/м, скорость нарастания напряжения 50 мТ/м/мс. Использовалась квадратурная одноканальная катушка для головы с центрацией исследования на середину катушки.

В исследование включены все пациенты с направлением на контрастную МРА головного мозга в количестве 63 человек, которым кроме стандартного магнитно-резонансного исследования головного мозга, включающего T1 и T2 взвешенные, FLAIR и T1 постконтрастные изображения, было выполнено ангиографическое исследование без контрастного усиления по протоколу время-пролетной 3DTOF МР-ангиографии и дополнено контрастной динамической 3D FFE МРА (4D МРА).

Бесконтрастное МР-ангиографическое исследование выполнялось по протоколу 3DTOF без контрастного усиления, с толщиной среза 1,3 мм, в аксиальной проекции перпендикулярно ходу магистральных сосудов: внутренних сонных артерий, позвоночных артерий и базилярной артерии. Использовались 3 слаба, 6 срезов на перекрытие слаб и с общим охватом до 9,5 см. Верхний край верхнего края мозолистого тела, а нижний край области интереса, как правило, совпадал с уровнем большого затылочного отверстия. Полученные исходные изображения ангиограмм анализировались, а также по ним строились полипроекционные реформации ангиограмм для вывода на печать.

Динамическая 3D МР-ангиография (4D МРА) головного мозга выполнялась в режиме 3D быстрого градиентного эха (3D FFE) на фоне болюсного введения гадолинийсодержащего парамагнетика в дозе 0,1 ммоль/кг веса. В качестве контрастирующих агентов использовались коммерческие гадолинийсодержащие контрастные препараты: магневист (Gd-DTPA-NMG₃, концентрация 0,5 ммоль/мл), омнискан (Gd-DTPA-BMA, концентрация 0,5 ммоль/мл) и гадовист (Gd-DO3A, концентрация 1,0 ммоль/мл). Болюс парамагнетика во всех случаях дополнялся болюсом физиологического раствора (Sol. NaCl 0,9% – 20 мл). Введение парамагнетика обеспечивалось использованием двухколбового автоматического шприца инъектора Spectris Solaris EP. Скорость введения препаратов составила 1–2 мл/с.

Определение начала артериальной фазы осуществлялось с использованием опции "Visual Prepare". Появление

болюса контрастного вещества в области интереса определялось визуально, и запуск основного исследования осуществлялся вручную.

Протокол основного исследования включал в себя получение трех серий изображений быстрого 3D градиентного эха (3D FFE) толщиной одного среза до 2,2 мм с интерполяцией промежуточных срезов, поле зрения FOV=20x22,5см, матрица 160x192, размер воксела с учетом интерполяции 1,3x1,2x1,1 мм. Общая толщина 3D блока исследования составляла до 60 мм, а продолжительность одной серии не превышала 23 с. Позиционирование зависело от цели исследования. Как правило, 4D МРА выполнялось в корональной проекции через область виллизиевого круга с захватом внутренних сонных артерий, интракраниальных сегментов позвоночных артерий, базилярной артерии, интракавернозных сегментов обеих ВСА, а также проксимальные и средние отделы передних, средних и задних мозговых артерий. В целом исследование проходило от 35 до 60 мин в зависимости от показаний.

При МРА у каждого пациента оценивались следующие параметры:

- локализация и число аневризм;
- количество питающих мальформацию артерий;
- наличие и размер узла мальформации;
- наличие и число венозных дренажей мальформации.

Статистический анализ сходимости результатов 3DTOF и контрастной динамической 3D FFE МР-ангиографии проводился с использованием Каппа анализа (Cohen, 1960; Fleiss et al., 2003). В данном случае рассчитывается коэффициент Каппа (К) в диапазоне от 0 до 1, где К=1 – характеризует наилучшую сходимость классифицируемых систем, а К=0 – характеризует отсутствие сходимости результатов лучше, чем случайная. При К<0 считается, что сходимость результатов хуже, чем случайная. Интерпретация сходимости по рассчитанному значению К проводилась следующим образом (Altman, 1991): <0,2 – плохая, 0,21–0,4 – удовлетворительная, 0,41–0,6 – средняя, 0,61–0,8 – хорошая, 0,8–1,0 – очень хорошая.

Сравнительная оценка информативности и диагностической точности бесконтрастной МР-ангиографии и контрастной динамической МР-ангиографии проводилась с использованием ROC-анализа (Receiver Operative Characteristic curve analysis, Griner et al., 1981). Для каждого оцениваемого признака строилась ROC-кривая в координатах чувствительности и специфичности от 0 до 100%. Считается, что чем ближе расположена кривая к левому верхнему углу, тем признак более чувствительный и специфичный для определяемой патологии. Для каждой кривой количественно оценивается коэффициент AUC (Area Under Curve), значимость различий оценивается по методу Hanley & McNeil (1982, 1983 гг.) при критическом уровне значимости $p=0,05$. Для всех статистических анализов использовался пакет MedCalc for Windows (MedCalc Software, Mariakerke, Belgium).

Результаты

В данное исследование ретроспективно с использованием архивных данных было включено 63 пациента, которым были выполнены 3DTOF и 4DMRA сосудов головного мозга.

Сосудистые артериальные аневризмы были выявлены в 12 исследованиях. Сходимость результатов диагностики аневризм составила от “среднего” уровня до “хорошего” ($K=0,46$, 95% ДИ от 0,11 до 0,8), таблица 1.

При постановке диагноза сосудистой аневризмы достоверных различий между контрастной и бесконтрастной МР-ангиографией не выявлено (табл. 2). Различия наиболее ярко проявлялись в деталях, например, при использовании 4D МРА интенсивность МР-сигнала от полости аневризмы была более высокой, и отмечалась более высокая контрастность двух рядом расположенных аневризм. В то же время при 3D TOF ангиографии интенсивность от содержимого аневризмы определялась ниже интенсивности самой артерии, вероятно, за счет значительно более медленного кровотока. В двух случаях отмечалось слияние двух аневризм в одну, если они располагались на противоположных стенках одного и того же уровня артерии (рис. 1).

Сосудистые мальформации выявлены в 17 исследованиях, согласно классификации Д.Е. Мацко (1991 г.), мы распределили их на следующие группы: кавернозные гемангиомы 5, венозные ангиомы – 3, артериовенозная фистула – 1, артериовенозные мальформации 8. Капиллярные ангиомы выявлены не были. Внутримозговые гематомы чаще встречались в случае глубинного расположения мальформации ($n=4$), чем поверхностно ($n=1$). Две глубинные гематомы, визуализированные в субэпендимарных отделах, возможно, связанные с сосудистыми сплетениями боковых желудочков, не содержали в своей структуре ни артериальных, ни венозных функционирующих сосудов и были отнесены к кавернозным ангиомам.

Таблица 1

Каппа анализ выявленных признаков сосудистой патологии при 3D TOF и контрастной 3D FFE МР-ангиографии

	3D FFE	3D TOF	Сходимость результатов
<i>Аневризмы:</i>			
– одна	10	11	$K=0,46 \pm 0,18$, 95% ДИ [0,11–0,8]
– две	1	1	
– четыре	1	0	
<i>Мальформации:</i>			
– артерии			
– ни одной	5	12	$K=0,27 \pm 0,13$, 95% ДИ [0,02–0,5]
– одна	12	4	
– две	0	1	
– размер (по Spetzler–Martin)			
– не определено	3	10	$K=0,49 \pm 0,16$, 95% ДИ [0,17–0,8]
– до 3 см	8	3	
– от 3 до 6 см	4	3	
– более 6 см	2	1	
– венозный дренаж			
– нет	3	15	$K=0,03 \pm 0,02$, 95% ДИ [(-0,02)–0,07]
– одна вена	7	2	
– более одной	7	0	

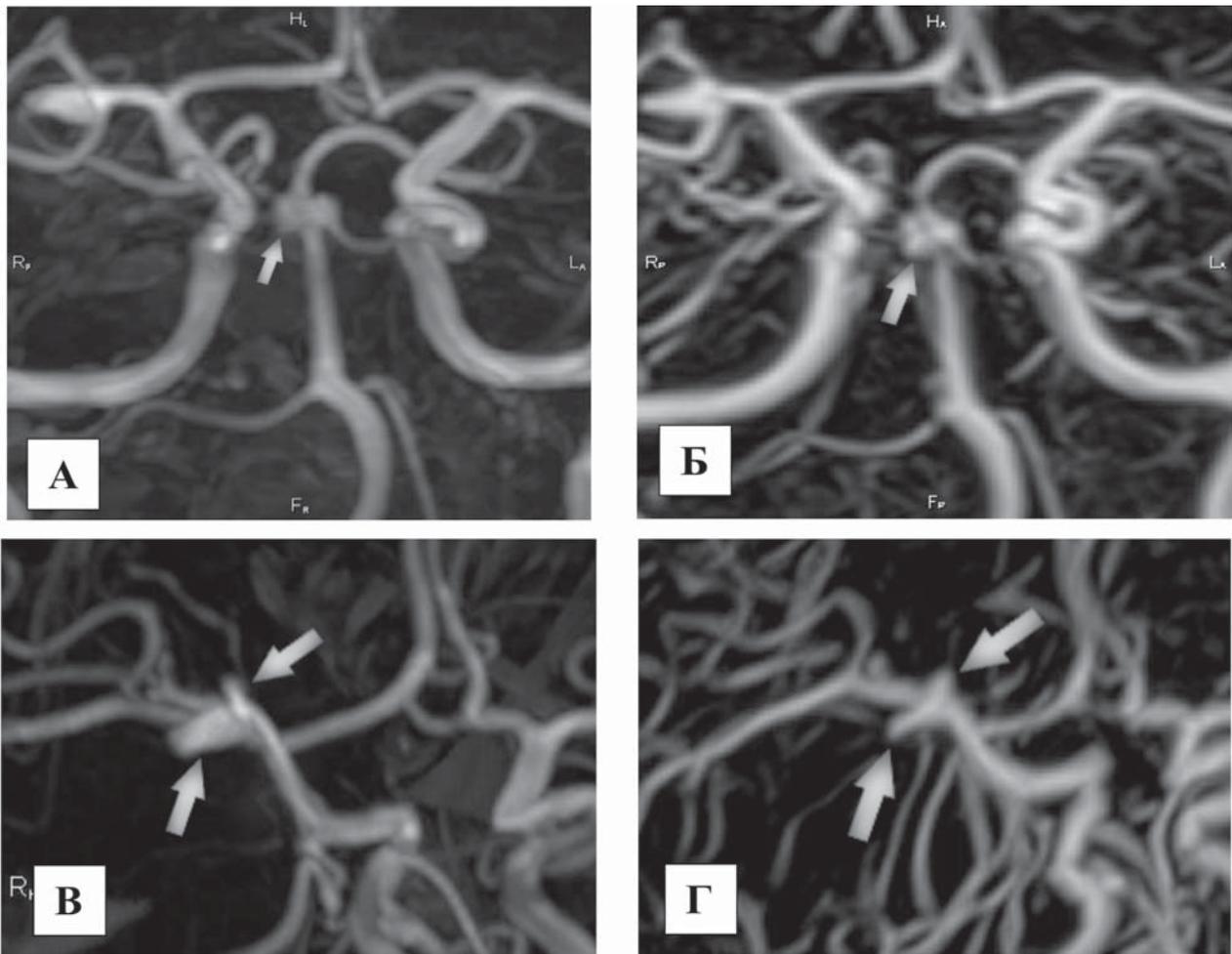


Рис. 1. МР-ангиография сосудов головного мозга, реформации проекции максимальной интенсивности (МIP): А) – 3D TOF – хорошо определяются аневризмы в области терминальных отделов базилярной артерии (белая стрелка); Б) – при 4D MRA выявленное аневризматическое расширение представлено тремя рядом расположенными аневризмами более мелкого калибра (белая стрелка); В) – в области бифуркации М1 сегмента правой средней мозговой артерии на 3D TOF ангиограммах выявлены две аневризмы (белые стрелки); Г) – при 4D MRA подтверждается наличие двух аневризм (белые стрелки)

Таблица 2

Сравнительный ROC-анализ чувствительности и специфичности признаков выявления аневризм и мальформаций методами 3D TOF и контрастной динамической 3D FFE (по Hanley&MnNeil, 1983)

	AUC	SE	95% ДИ	p
<i>Аневризмы (выявлено в 12 из 63 исследований)</i>				
- 3D FFE	1,0	0	0,9-1,0	1,0
- 3D TOF	1,0	0	0,9-1,0	
<i>Мальформации (выявлено в 17 из 63 исследований)</i>				
- артерии 3D FFE	0,85	0,06	0,7-0,9	0,03*
- артерии 3D TOF	0,65	0,08	0,5-0,76	
- дренаж 3D FFE	0,91	0,05	0,8-0,97	0,0001*
- дренаж 3D TOF	0,56	0,08	0,4-0,7	
- SM grade 3D FFE	0,91	0,05	0,8-0,97	0,01*
- SM grade 3D TOF	0,71	0,08	0,6-0,8	

Примечание: AUC – площадь под кривой чувствительность-специфичность, SE – стандартная ошибка, ДИ – доверительный интервал, p – достигнутый уровень значимости, SM grade – грейд размера мальформации по Spetzler-Martin, * – различия значимы.

При сравнительном Каппа анализе (табл. 1) средняя сходимость результатов отмечалась только в определении размеров мальформации ($K=0,49$; 95% ДИ от 0,17 до 0,8). Плохая сходимость наблюдалась в определении питающих артерий ($K=0,27$; 95% ДИ от 0,02 до 0,5). При анализе диагностических возможностей выявления венозного дренажа 3D TOF ангиография не позволяла его определить, тогда как 4D MRA высокоэффективно позволила оценить венозное русло мальформаций в каждом случае ($K=0,03$; 95% ДИ от -0,02 до 0,07).

При сравнительной оценке ROC-кривых определения характеристик сосудистых мальформаций отмечено значимое преимущество контрастной МРА по протоколу быстрого градиентного эха 3D FFE над время-пролетной 3D TOF МРА (рис. 2). Наиболее значимые различия получены в выявлении путей венозного дренажа – в случае 3D TOF оценка имела в большей степени случайный характер (табл. 2). Для бесконтрастной МР-ангиографии по 3D TOF площади под кривой (AUC) чувствительность-специфичность в выявлении питающих мальформацию артерий (AUC=65%), а также в определении размера

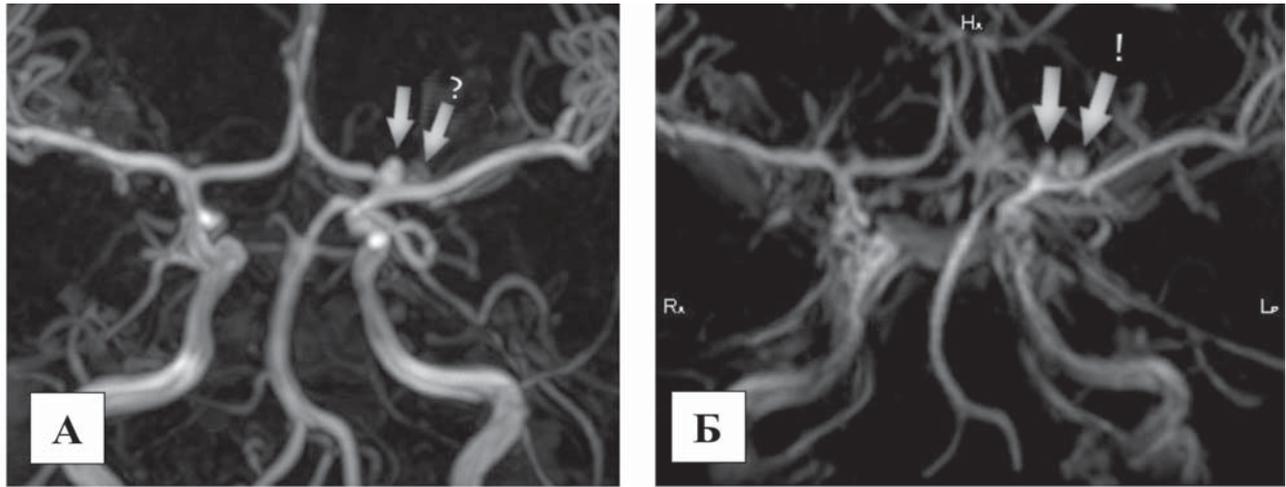


Рис. 2. МР-ангиография сосудов головного мозга, MIP реформации: А) – 3D TOF ангиография, Б) – 4D МР-ангиография

(AUC=71%) оказались достаточно велики для постановки диагноза мальформации, однако значительно отличались от аналогичных характеристик для динамической 3D градиентное эхо МР-ангиографии (AUC в диапазоне от 85 до 91%).

По данным 3D TOF (А) в области бифуркации левой внутренней сонной артерии четко определяется аневризма с хорошим кровотоком в ней, с достаточно высокой контрастностью по отношению к окружающим тканям. Чуть дистальнее определяется еще одна аневризма с достаточно узкой шейкой, в результате чего в ее полости кровоток достаточно низкий и отношение сигнал-шум заметно ниже, чем у первой аневризмы (белые стрелки). В случае контрастной 4D МРА (Б) отношение сигналшум визуально между аневризмами не отличается. Оценивая сочетание результатов бесконтрастной и контрастной МР-ангиографии, можно обоснованно заключить, что первая аневризма обладает высоким внутренним кровотоком, а вторая аневризма достаточно низким. По данным контрастной МР-ангиографии, шейки обеих аневризм узкие, тогда как при бесконтрастной МР-ангиографии шейка первой аневризмы широкая.

Обсуждение

Высокая значимость динамической контрастной МР-ангиографии в диагностике заболеваний периферической сосудистой системы не вызывает сомнения. 3D TOF без контрастного усиления в диагностике заболеваний сосудов головного мозга методами магнитно-резонансной томографии является бесспорным лидером [9], т.к. позволяет достаточно просто и с высоким пространственным разрешением в течение 10–15 мин получить изолированное изображение всех артериальных сосудов головного мозга. Следует обратить внимание, что качество получаемых изображений сосудов зависит от скорости потока и степени его турбулентности, что заметно сказывается на результатах. При снижении кровотока и при сильных изги-

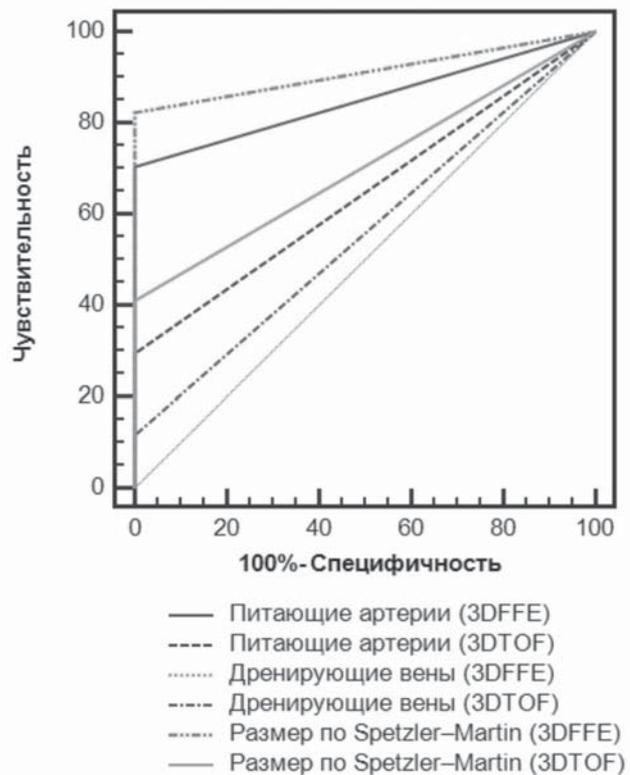


Рис. 3. ROC-анализ чувствительности и специфичности выявляемых признаков мальформации по Spetzler-Martin. Отмечается значимое различие диагностических возможностей 3D TOF и 4D МР-ангиографии визуализации мальформаций сосудов головного мозга

бах сосуда МР-сигнал может искажаться или пропадать, что создает неопределенность для исследователя в постановке правильного диагноза следующего вида: если выявлены патологические изменения просвета сосуда, значит ли, что они есть на самом деле, равно как и отсутствие патологических изменений дает ли гарантию их отсутствия? В последнее время предлагается использовать внутривенное контрастное усиление в стандартной дозе

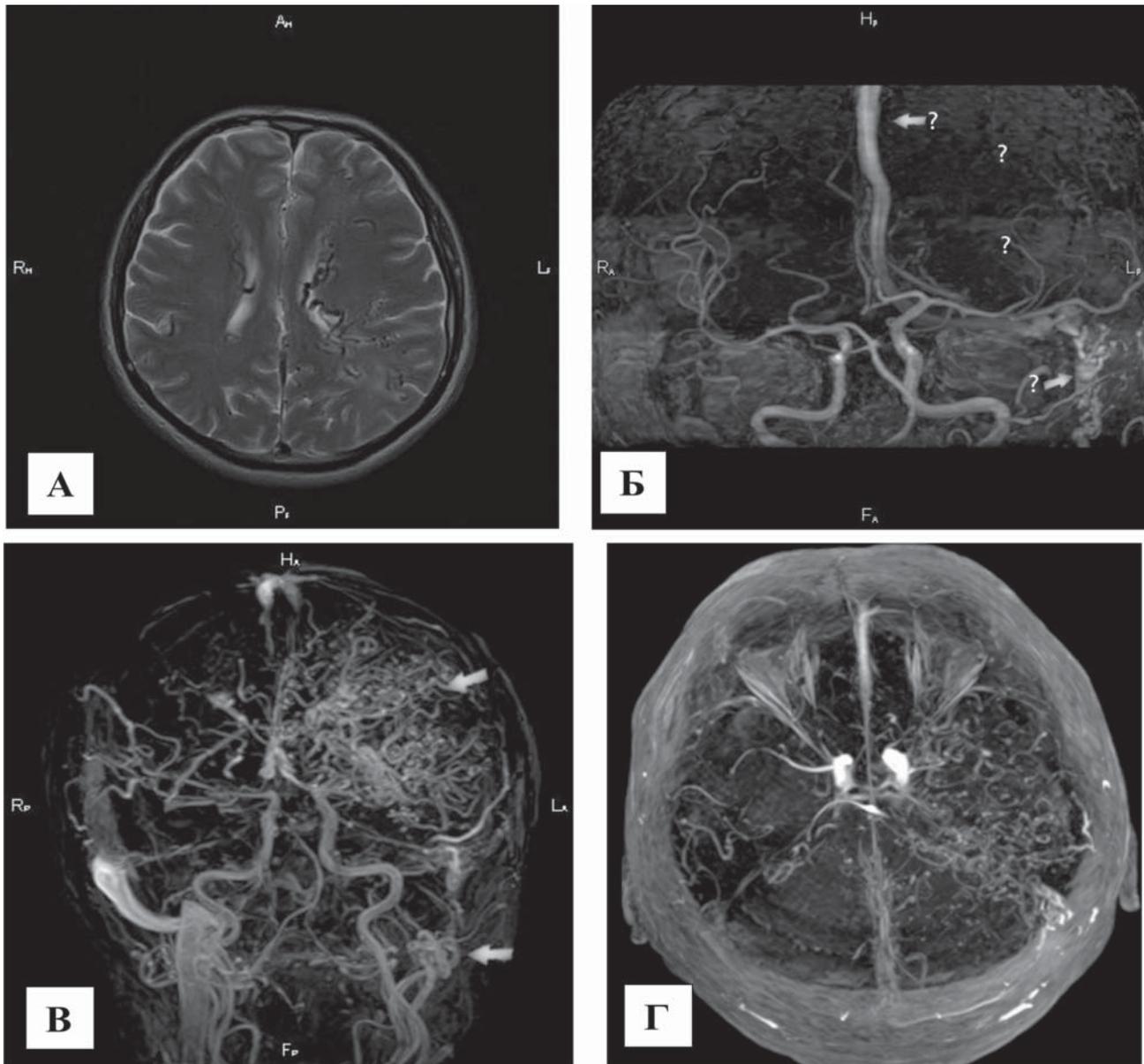


Рис. 4. МР-ангиографическое исследование сосудов пациента К., 52 г. А) T2 взвешенное изображение, видны множественные извитые гипоинтенсивные сосудистые структуры преимущественно в перивентрикулярных отделах левого полушария. Б) 3D TOF – отмечается визуализация измененного левого сигмовидного и поперечного синуса с переходом на верхний сагиттальный синус. Обеднение сосудистого рисунка в бассейне левой СМА. В) и Г) 4D МР-ангиография артериальная и поздняя венозная фазы. Поперечные синусы, задние отделы верхнего сагиттального синуса и прямой синус не попали в область интереса. Хорошо определяется сосудистая венозная сеть мальформации. Вдоль левой внутренней яремной вены видна еще одна АВ-мальформация, шунтирующая артериальную кровь в венозную сеть левого полушария (белые стрелки). Это объясняет визуализацию верхнего сагиттального синуса при 3D TOF, несмотря на его пресатурацию за счет ретроградного кровотока. Венозный сброс из мальформации осуществляется в правую внутреннюю яремную вену через глубокие вены

для улучшения визуализации сосудистых структур головного мозга с медленным кровотоком при остром нарушении мозгового кровообращения [10]. Техника быстрого градиентного эха является в большей степени T1 взвешенной и поэтому на постконтрастных МР-ангиограммах происходит выраженное обогащение сосудистого рисунка, причем в большей степени за счет венозных сосудов и венозных синусов с медленным кровотоком [11]. К сожалению, задача заметно осложняется при наличии внутримозговой гематомы, т.к. окисленная форма

гемоглобина – метгемоглобин обладает парамагнитными свойствами, и на фоне гематомы, а также вблизи от нее выявить патологически измененные сосуды и аневризмы на практике представляется достаточно сложным. Также необходимо помнить о большой длительности сбора данных при время-пролетной МР-ангиографии, что не позволяет оценить гемодинамику мальформации в отличие от селективной и суперселективной цифровой субтракционной ангиографии, особенно в ситуации “скорой помощи” и при дефиците времени.

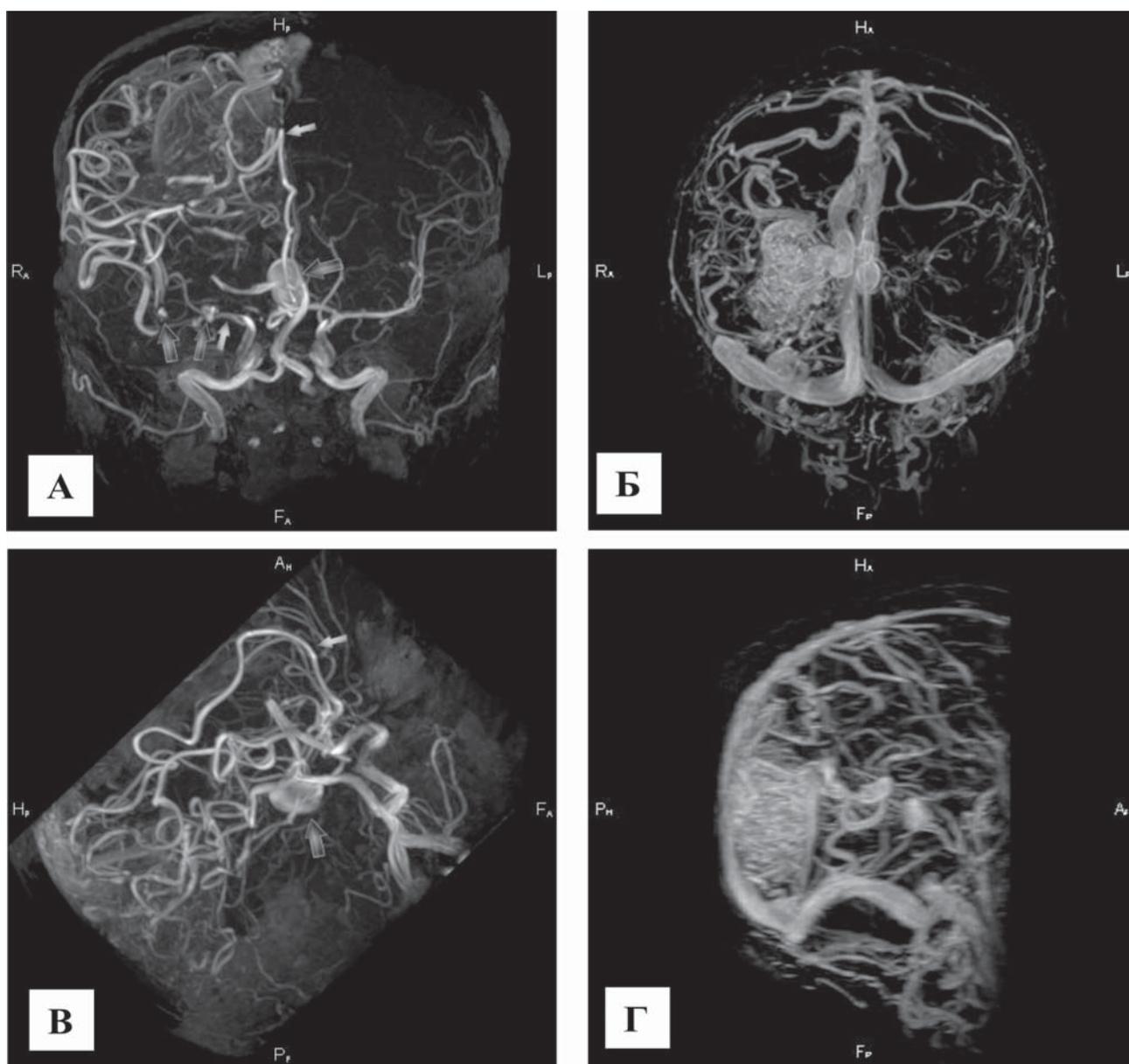


Рис. 5. МР-ангиография сосудов головного мозга пациентки К, 49 л: А) и В) 3D TOF в корональной и боковой проекции. Крово-снабжение мальформации правой затылочной области осуществляется из бассейна правой СМА и правой ПМА (белые стрелки), гигантская аневризма бифуркации базилярной артерии и более мелкого калибра аневризмы по ходу правой средней мозговой артерии (темные стрелки); Б) и Г) 4D МР-ангиография – венозная фаза – хорошо определяется анатомия мальформации и венозный отток в поверхностные и глубокие вены

Поэтому разработка и апробация эффективной методики динамической МРА с возможностью цифровой субтракции по маске неконтрастных изображений, а также проведение сравнительного анализа диагностических возможностей 3D TOF и 4D-МРА стали одной из задач настоящего исследования.

Проведено ретроспективное исследование на архивных данных сочетанного использования бесконтрастной время-пролетной 3D TOF и 4D МР-ангиографии для диагностики наиболее распространенных заболеваний сосудов головного мозга. По принципу “одного окна”, в рамках одного магнитно-резонансного исследования показана возможность диагностики и верификации наи-

более распространенных патологических изменений сосудов, таких как артериальные аневризмы и сосудистые мальформации.

Параметры чувствительности и специфичности (100% и 100%) в диагностике аневризм методом 3D TOF достоверно не отличались от таковых при 4D МРА. Установлены деликатные отличия при детализации числа аневризм в случае их близкого расположения друг к другу в пользу контрастной МР-ангиографии, которая, несмотря на меньшее пространственное разрешение, в артериальную фазу позволяет их дифференцировать отдельно ($\kappa=0,45$; 95% ДИ от 0,11 до 0,8). На рисунке 1 видно, что, по данным 3D TOF ангиографии, имеются аневризмы в облас-

ти бифуркации базилярной артерии и бифуркации М1 сегмента правой средней мозговой артерии. При контрастной МР-ангиографии выявленные изменения детализируются лучше за счет большей контрастности рядом расположенных аневризм. На рисунке 2 представлен случай выявления и верификации аневризм М1 сегмента левой средней мозговой артерии. Дистальная аневризма визуализирована с большим значением отношения сигнал/шум при 4D МРА в артериальную фазу, чем при 3D TOF.

В то же время при определении характеристик рентгеномиотики мальформаций выявлены существенные различия диагностических возможностей между 3D TOF и контрастной 4D МРА: 1) визуализация питающих артерий – отмечено значимое различие чувствительности 29,4 и 70,6% соответственно ($p < 0,001$); 2) в определении размера мальформации чувствительность составила 41,2 и 82,4% соответственно ($p < 0,05$); 3) в определении венозного дренажа чувствительность оказалась 11,8 и 82,4% соответственно ($p < 0,001$). При ROC-анализе выявлены высокие значения площади под кривой чувствительность-специфичность (AUC) для контрастной 3D FFE МР-ангиографии: определение питающих артерий – AUC=85%, определение размера мальформации и венозного дренажа AUC=91% (рис. 3).

Необходимо отметить, что в ряде случаев (рис. 4 и 5) только при бесконтрастной время-пролетной МР-ангиографии удавалось определить питающие мальформации артерии, тогда как при контрастной 3D FFE ангиографии хорошо визуализировался сосудистый клубок и дренирующие венозные сосуды.

Такой парадокс, вероятнее всего, связан с особенностями гемодинамики артериовенозной мальформации, когда происходит шунтирование крови и время транзита болюса через мальформацию сокращается до 0,5–1,0 с. Это может затруднять визуализацию артерий при времени сканирования одной фазы в 23 секунды. Данная ситуация эффективно решается путем использования высокопольной МРТ с напряженностью магнитного поля 3Тесла, а также сокращением времени сканирования одной фазы до 1,7 секунды на каждую фазу с использованием техник, ускоряющих время сбора данных (CENTRA, SENSE и др.) [12–20]. С другой стороны, комбинация бесконтрастной время-пролетной 3D TOF и контрастной 4D МРА, как в нашем случае, позволяет адекватно оценить все параметры мальформации даже в случае артериовенозного шунтирования.

Выводы

1. Сочетание диагностических возможностей бесконтрастной 3D TOF и контрастной 4D МР-ангиографии при визуализации аневризм сосудов головного мозга может быть эквивалентным цифровой субтракционной ангиографии головного мозга и применяться не только для диагностики, но и для неинвазивного наблюдения эффективности их эмболизации.
2. Использование бесконтрастной время-пролетной 3D TOF МРА является эффективным методом исследования в случае диагностики аневризм артерий голов-

ного мозга. В данном случае контрастную динамическую 3D FFE МРА целесообразно использовать для верификации выявленных аневризм, детализации их топографии, определения гемодинамических характеристик, а также для исключения ложноположительных и ложноотрицательных результатов по принципу “одного окна” в рамках одного МРА исследования.

3. При диагностике мальформаций сосудов головного мозга бесконтрастная МР-ангиография эффективна в качестве скринингового метода первичного исследования, а также при определении питающих артерий в случае преимущественно артериальной АВ-мальформации. При смешанной и преимущественно венозной сосудистой мальформации наиболее информативным методом диагностики является динамическая 3D быстрого градиентного эха (3D FFE) МР-ангиография в динамическом режиме с временным разрешением 20–23 с.

Заключение

Полученные выводы позволяют отнести динамическую контрастную МР-ангиографию по протоколу 3D градиентного эха (3D FFE) к высокоинформативным методам диагностики, наиболее полно отвечающим на вопросы о состоянии артериального и венозного русла в области интереса. Широкое применение методики позволяет за счет незначительного удорожания магнитно-резонансного исследования наиболее полно выполнить сосудистое исследование головного мозга, по принципу “одного окна” исключить или подтвердить сосудистую патологию в рамках одного исследования. Это, безусловно, сокращает продолжительность диагностического этапа и обеспечивает более ранний переход к началу лечебного процесса. Немаловажно исключение из диагностического процесса фактора ионизирующего излучения и выполнения минимально инвазивных процедур, а также необходимости введения достаточно большой дозы йодных контрастных препаратов. Тем самым можно добиться заметного снижения возможных побочных эффектов и сокращения сроков госпитализации, а также перевода субтракционной ангиографии из лечебно-диагностической процедуры в лечебную.

Особую роль во внедрении методики 4D-МРА играет наличие доступных современных высокоэффективных парамагнитных контрастных средств. К сожалению, их цена весьма высока. Кроме того, на российском рынке отсутствуют отечественные контрастные препараты парамагнетики для магнитно-резонансной томографии. Появление отечественных конкурентноспособных эффективных контрастных средств заметно повысило бы доступность не только обычных контрастных исследований по показаниям, но и возможность более широкого внедрения динамической контрастной 4DMPA, в том числе области головного мозга.

Литература

1. Goyen M., Herborn C.U., Kruger K. et al. Detection of atherosclerosis: systemic imaging for systemic disease with whole-body three-dimensional MR angiography — initial

- experience // Radiology. – 2003. – No. 227. – P. 277–282.
2. Shellock F.G., Kanal E. Safety of magnetic resonance imaging contrast agents // J. Magn. Reson. Imaging. – 1999. – No. 10(3). – P. 477–484.
 3. Isoda H., Takehara Y., Isogai S. et al. Software-triggered contrast-enhanced three-dimensional MR angiography of the intracranial arteries // Am. J. Radiol. – 2000. – No. 174. – P. 371–375.
 4. Farb R.I., McGregor C., Kim J.K. et al. Intracranial arteriovenous malformations: real-time auto-triggered elliptic centric-ordered 3D gadolinium-enhanced MR angiography – initial assessment // Radiology. – 2001. – Vol. 220, No. 1. – P. 244–251.
 5. Nishimura S., Hiraia T., Sasao A. et al. Evaluation of dural arteriovenous fistulas with 4D contrast-enhanced MR angiography at 3T // Am. J. Neuroradiol. – 2010(1). – No. 31. – P. 80–85.
 6. Eddleman C.S., Jeong H.J., Hurley M.C. et al. 4D Radial Acquisition Contrast-Enhanced MR Angiography and Intracranial Arteriovenous Malformations // Stroke. – 2009. – No. 40. – P. 2749.
 7. Ozsarlak O., Van Goethem J.W., Maes M. et al. MR angiography of the intracranial vessels: technical aspects and clinical applications // Neuroradiology. – 2004(12). – No. 46. – P. 955–972.
 8. Agida R., Willinskya R.A., Leea S.-K. et al. Characterization of Aneurysm Remnants after Endovascular Treatment: Contrast-Enhanced MR Angiography versus Catheter Digital Subtraction Angiography // American Journal of Neuroradiology. – 2008(9). – No. 29. – P. 1570–1574.
 9. Sadikin C., Teng M.M., Chen T.Y. et al. The current role of 1.5T non-contrast 3D time-of-flight magnetic resonance angiography to detect intracranial steno-occlusive disease // J. Formos Med. Assoc. – 2007(9). – No. 106. – P. 691–699.
 10. Ishimarua H., Ochic M., Morikawad M. et al. Accuracy of pre- and postcontrast 3D time-of-flight MR angiography in patients with acute ischemic stroke: correlation with catheter angiography // Am. J. Neuroradiol. – 2007(5). – No. 28. – P. 923–926.
 11. Pedraza S., Silva Y., Mendez J. et al. Comparison of preperfusion and postperfusion magnetic resonance angiography in acute stroke // Stroke. – 2004. – No. 35. – P. 2105–2110.
 12. Duran M., Schoenberg S.O., Yuh W.T. et al. Cerebral arteriovenous malformations: Morphologic evaluation by ultrashort 3D gadolinium-enhanced MR angiography // Eur. Radiol. – 2002. – No. 12. – P. 2957–2964.
 13. Farb R.I., McGregor C., Kim J.K. et al. Intracranial arteriovenous malformations: Real-time autotriggered elliptic centric-ordered 3D gadolinium-enhanced MR angiography—initial assessment // Radiology. – 2001. – No. 220. – P. 244–251.
 14. Gaurvit J.Y., Leclerc X., Oppenheim C. et al. Three-dimensional dynamic MR digital subtraction angiography using sensitivity encoding for the evaluation of intracranial arteriovenous malformations: A preliminary study. // Am. J. Neuroradiol. – 2005. – No. 26. – P. 1525–1531.
 15. Ozsarlak O., Van Goethem J.W., Maes M. et al. MR angiography of the intracranial vessels: technical aspects and clinical applications // Neuroradiology. – 2004. – No. 46. – P. 955–972.
 16. Tsuchiya K., Katase S., Yoshino A. et al. MR digital subtraction angiography of cerebral arteriovenous malformations // Am. J. Neuroradiol. – 2000. – No. 21. – P. 707–711.
 17. Gaurvit J.Y., Oppenheim C., Nataf F. et al. Three-dimensional dynamic magnetic resonance angiography for the evaluation of radiosurgically treated cerebral arteriovenous malformations // Eur. Radiol. – 2006. – No. 16. – P. 583–591.
 18. Summers P.E., Kollias S.S., Valavanis A. Resolution improvement in thick-slab magnetic resonance digital subtraction angiography using SENSE at 3T // J. Magn. Reson. Imaging. – 2004. – No. 20. – P. 662–673.
 19. Taschner C.A., Gieseke J., Le Thuc V. et al. Intracranial arteriovenous malformation: time-resolved contrast-enhanced MR angiography with combination of parallel imaging, keyhole acquisition, and K-space sampling techniques at 1.5T // Radiology. – 2008. – No. 246. – P. 871–879.
 20. Tsuchiya K., Aoki C., Fujikawa A. et al. Three-dimensional MR digital subtraction angiography using parallel imaging and keyhole data sampling in cerebrovascular diseases: Initial experience // Eur. Radiol. – 2004. – No. 14. – P. 1494–1497.

Поступила 23.06.2011