

Магнитно-резонансная томография с парамагнитным контрастным усилением в оценке атеросклеротического поражения аорты и его взаимосвязи с тяжестью повреждения миокарда при инфарктеМаксимова А. С.¹, Синицын В. Е.², Лишманов Ю. Б.^{1,3}, Усов В. Ю.^{1,3}

Цель. По данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) с парамагнитным контрастным усилением (ПМКУ) изучить взаимоотношения повреждения миокарда и контрастирования атеросклеротического поражения аорты у пациентов, перенесших острый инфаркт миокарда и проходивших МРТ сердца перед операцией аортокоронарного шунтирования и пластикой по Дору или Мениканти.

Материал и методы. В исследование были включены 42 пациента (38 мужчин, 4 женщины), проходивших МРТ сердца с ПМКУ. Средний возраст составил 57,7±8,75 лет. Для анализа атеросклеротического поражения аорты оценивались T1-взвешенные сканы (TR=400-650 мс, TE=12-20 мс) в аксиальной плоскости до и спустя 10-15 мин после ПМКУ. Наряду с визуальным анализом картины определялись диаметр, толщина стенки аорты и индекс усиления (ИУ) T1-взвешенного спин-эхо изображения (T1-ВИ), как отношение интенсивностей области стенки аорты при ПМКУ и исходном изображении: ИУ=Инт. T1-ВИ(контраст)/Инт. T1-ВИ(исходное). У всех пациентов, по данным МРТ сердца с ПМКУ, оценивалась доля повреждения миокарда левого желудочка, как соотношение массы миокарда, поврежденного при перенесенном инфаркте, и массы левого желудочка: $ДПМ_{\text{иокард}} = \frac{ММ_{\text{оим}}}{М_{\text{лж}}}$.

Результаты. В зависимости от значения ИУ аорты пациенты были разделены на три группы: 1 гр. (n=9) с ИУ ≤ 1,05; 2 гр. (n=15) с 1,05 < ИУ ≤ 1,15; 3 гр. (n=18) с ИУ > 1,15. Мы сравнили значения толщины стенки и диаметра нисходящей аорты среди этих групп. Провели попарный анализ с введением поправки Бонферрони для выявления межгрупповых различий. Не выявлено значимых различий по диаметру аорты этих групп (F=0,15; p=0,86); значения составили 2,41±0,33; 2,54±0,63; 2,53±0,51 см, соответственно. Толщина стенки аорты в группах 1-3 составила 2,05±0,58; 3,34±0,68 и 3,80±0,46 мм (F=17,39; p<0,001). Различаются первая и вторая, первая и третья группы, а между второй и третьей статистически значимых различий не выявлено. Между группами 1, 2 и 3 отмечены также рост и различия по показателю $ДПМ_{\text{иокард}}$, который составил: при минимальном ИУ аорты (группа 1) — 0,11±0,03, при промежуточном ИУ (группа 2) — 0,19±0,08, а при высоком ИУ — 0,25±0,15.

Заключение. МРТ аортальной стенки с ПМКУ может использоваться в качестве средства визуализации атеросклероза и прогнозирования осложнений атеросклеротических поражений аорты, при этом оценка атеросклеротического поражения аорты легко комбинируется с исследованием сердца. Усиленное включение парамагнетика в стенку аорты при распространенном атеросклерозе как правило связано с большей тяжестью ишемического повреждения миокарда. При проведении МРТ сердца с ПМКУ целесообразно оценивать состояние нисходящей аорты с расче-

том ИУ T1-взвешенного изображения для уточнения тяжести атерогенеза и сердечно-сосудистого риска.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, парамагнитное контрастирование, атеросклероз аорты.

Конфликт интересов: не заявлен.

¹ Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск;
² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва;
³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия.

Максимова А.С. — к.м.н., н.с. отделения рентгеновских и томографических методов диагностики, ORCID: 0000-0002-4871-3283, Синицын В.Е. — д.м.н., профессор, зав. кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии Факультета фундаментальной медицины, ORCID: 0000-0002-5649-2193, Лишманов Ю.Б. — д.м.н., профессор, член-корр. РАН, руководитель научного направления "Лучевая диагностика" НИИ кардиологии, ORCID: 0000-0001-7324-504X, Усов В.Ю.* — д.м.н., профессор, зав. отделением рентгеновских и томографических методов диагностики, ORCID: 0000-0002-7352-6068.

*Автор, ответственный за переписку (Corresponding author): ussov1962@yandex.ru

ИУ — индекс усиления, МРТ — магнитно-резонансная томография, МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, ПМКУ — парамагнитное контрастное усиление.

Рукопись получена 04.11.2019

Рецензия получена 08.11.2019

Принята к публикации 15.11.2019



Для цитирования: Максимова А.С., Синицын В.Е., Лишманов Ю.Б., Усов В.Ю. Магнитно-резонансная томография с парамагнитным контрастным усилением в оценке атеросклеротического поражения аорты и его взаимосвязи с тяжестью повреждения миокарда при инфаркте. *Российский кардиологический журнал*. 2019;24(12):10-14
doi:10.15829/1560-4071-2019-12-10-14

Contrast enhanced magnetic resonance imaging in assessment of aortic atherosclerosis and its relation to severity of myocardial injury due to infarctionMaksimova A. S.¹, Sinitsyn V. E.², Lishmanov Yu. B.^{1,3}, Ussov W. Yu.^{1,3}

Aim. To study the contrast enhanced magnetic resonance imaging (CE-MRI) role in assessment of aortic atherosclerosis and its relation to severity of myocardial injury in myocardial infarction (MI) patients which underwent cardiac MRI before coronary artery bypass grafting and Dor or Menicanti procedures.

Material and methods. The study included 42 patients (38 men, 4 women) who underwent CE-MRI (mean age 57,7±8,75 years). In order to analyze the aortic atherosclerosis, axial T1 weighted images before and after 10-15

minutes after CE was evaluated. Along with visual analysis, the diameter, thickness of the aortic wall, and index of enhancement (IE) of T1 weighted image (WI) (TR=400-650 ms, TE=12-20 ms), as the ratio of post- and pre-contrast intensities of the aortic wall: $IE = \frac{\text{Intensity T1-WI post-contrast}}{\text{Intensity T1-WI pre-contrast}}$ were determined. According to the cardiac CE-MRI, the proportion of left ventricle (LV) injury as the ratio of the MI injury and the LV mass was estimated.

Results. Depending on aortic IE value, patients were divided into three groups: group 1 (9 people) with $IE \leq 1,05$; group 2 (15 people) with $1,05 < IE \leq 1,15$; group 3 (18 people) with $IE > 1,15$. We compared the descending aortic wall thickness and the diameter among these groups. To identify intergroup differences one-way ANOVA with Bonferroni correction was carried out. There were no significant differences in the descending aortic diameters ($F=0,15$; $p=0,86$): group 1 — $2,41 \pm 0,33$, group 2 — $2,54 \pm 0,63$, group 3 — $2,53 \pm 0,51$ cm. The thickness of the aortic wall in groups was $2,05 \pm 0,58$ mm, $3,34 \pm 0,68$ mm and $3,80 \pm 0,46$ mm ($F=17,39$; $p < 0,001$), respectively. The first and second, first and third groups were distinguished, and there was no significant difference between the second and third groups. Between groups 1, 2 and 3 were also noted the increase and differences in proportion of LV injury, which amounted to $0,11 \pm 0,03$ with a minimum IE (group 1), with an intermediate IE (group 2) — $0,19 \pm 0,08$, and with high IE — $0,25 \pm 0,15$.

Conclusion. CE-MRI of the aortic wall can be used as a method of visualizing atherosclerosis and predicting the complications of aortic atherosclerosis. Moreover, the assessment of aortic atherosclerosis can be used in combination with conventional heart examination. The increased CE into the aortic wall in patients with advanced atherosclerosis is usually associated with a greater severity of myocardial injury. During cardiac CE-MRI it is advisable to assess the descending aorta state by calculation of IE T1-WI MRI to clarify the atherosclerosis severity and cardiovascular risk.

Key words: magnetic resonance imaging, paramagnetic enhancement, aortic atherosclerosis.

Conflicts of Interest: nothing to declare.

¹Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Tomsk; ²Moscow State University, Moscow; ³Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia.

Maksimova A.S. ORCID: 0000-0002-4871-3283, Sinitsyn V.E. ORCID: 0000-0002-5649-2193, Lishmanov Yu. B. ORCID: 0000-0001-7324-504X, Ussov W. Yu. ORCID: 0000-0002-7352-6068.

Received: 04.11.2019 **Revision Received:** 08.11.2019 **Accepted:** 15.11.2019

For citation: Maksimova A.S., Sinitsyn V.E., Lishmanov Yu. B., Ussov W. Yu. Contrast enhanced magnetic resonance imaging in assessment of aortic atherosclerosis and its relation to severity of myocardial injury due to infarction. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(12):10–14. (In Russ.) doi:10.15829/1560-4071-2019-12-10-14

Атеросклероз остается, несмотря на достижения в области его диагностики и лечения, одной из основных причин смертности трудоспособного населения [1, 2]. Тяжесть гемодинамически значимого коронарного и цереброваскулярного атеросклероза тесно связана с неблагоприятными сердечно-сосудистыми осложнениями, в то время как атеросклероз аорты как отдельный фактор риска поражения органов-мишеней, в первую очередь миокарда и мозга, изучен недостаточно. Атеросклероз аорты опасен своими осложнениями (расслоение, аневризма аорты), а до развития осложнений долгое время не проявляется клинически и может быть оценен только путем анализа состояния атеросклеротических бляшек и стенки аорты. Утолщение стенки сосуда является ранним видимым признаком атеросклероза и поэтому составляет один из наиболее важных диагностических показателей тяжести атеросклеротического поражения [3]. Неинвазивные методы визуализации играют важную роль в оценке различных типов бляшек, а также в своевременном контроле изменений, которые происходят на разных стадиях развития атеросклероза. Диагностика атеросклероза аорты как поражения аортальной стенки достаточно трудна и рутинно ультразвуковыми средствами не осуществляется.

В настоящее время магнитно-резонансная томография (МРТ) выступает в качестве ведущего неинвазивного метода визуализации атеросклероза. Исследование сосудистой стенки с помощью МРТ является мощным методом для характеристики атеросклероза в различных сосудистых бассейнах (сонные, коронарные артерии, аорта, периферические и внутричерепные артерии) [4–7]. С помощью МРТ с парамагнитным контрастным усилением

(ПМКУ) аорты возможно точно, неинвазивно, с высоким пространственным разрешением и с высокой воспроизводимостью оценить атеросклеротическое поражение бляшки и стенки [8]. У пациентов с перенесенным острым инфарктом миокарда взаимоотношения патологического неогенеза в стенке аорты и тяжести повреждения собственно миокарда парадоксальным образом остается неизученными.

Поэтому цель настоящей работы состояла в том, чтобы по данным МРТ с парамагнитным контрастным усилением изучить картину атеросклеротического поражения стенки аорты у пациентов, перенесших острый инфаркт миокарда с формированием массивного повреждения, потребовавшего проведения аортокоронарного шунтирования и пластики левого желудочка по Дору или Мениканти.

Материал и методы

В исследование были включены 42 пациента (38 мужчин, 4 женщины), проходивших МРТ сердца с ПМКУ. Средний возраст составил $57,7 \pm 8,75$ лет. МРТ проводилась на магнитно-резонансном томографе Toshiba Vantage Titan с индукцией магнитного поля 1,5 Т. Проведение исследования было одобрено этическим комитетом Научно-исследовательского института кардиологии Томского НИМЦ. Все пациенты, включенные в исследование, подписывали официальное информированное согласие.

Для анализа атеросклеротического поражения аорты оценивались T1-взвешенные изображения ($TR=400-650$ мс, $TE=12-20$ мс) в аксиальной плоскости, записанные в ЭКГ-синхронизированном режиме, на вдохе, при этом исследование выполнялось до и спустя 10–15 мин после ПМКУ. Наряду с визу-

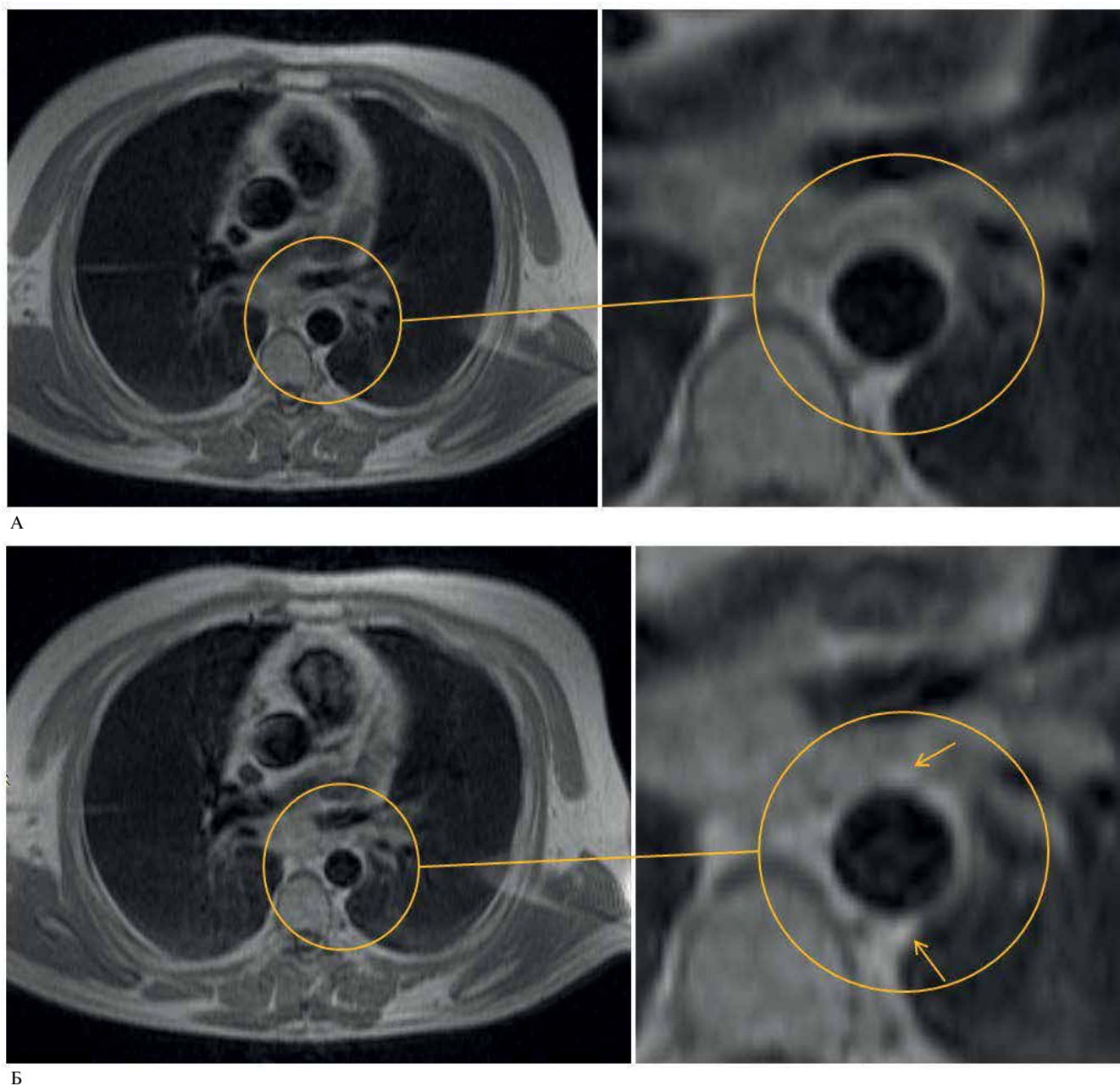


Рис. 1 (А, Б). МРТ исследование сердца перед операцией (АКШ и пластика по Дору) у пациента, перенесшего острый инфаркт миокарда (область аорты, группа 3). **Примечание:** А — исходное T1-взвешенное изображение, Б — T1-взвешенное изображение после парамагнитного контрастного усиления. Стрелками указано накопление контраста парамагнетика в стенке аорты. ИУ=1,21, диаметр аорты — 2,56 см, толщина стенки аорты — 3,61 мм.

альным анализом картины определялись внутренний диаметр аорты, толщина стенки и для оценки степени накопления контрастного препарата в стенке аорты — индекс усиления (ИУ) T1-взвешенного спин-эхо изображения, как отношение интенсивностей области стенки аорты при ПМКУ и исходном изображении:

$$ИУ = \frac{Инт. T1-ВИ_{контраст}}{Инт. T1-ВИ_{исходное}}$$

На рисунке 1 представлен пример, описывающий картину накопления контраста парамагнетика в стенке аорты у пациента, проходившего МРТ сердца

с ПМКУ в порядке предоперационной подготовки, с интенсивным достоверным аортальным накоплением парамагнетика именно в стенке аорты.

Также у всех пациентов по данным МРТ сердца с ПМКУ, для оценки тяжести перенесенного повреждения миокарда в исходе острого инфаркта, оценивалась доля повреждения миокарда левого желудочка, как соотношение массы миокарда, поврежденного при перенесенном инфаркте, и массы левого желудочка, как представлено детально ранее [9]:

$$ДПМок_{лж} = \frac{ММ_{ОИМ}}{М_{лж}}$$

Таблица 1

**Показатели состояния аорты и обширности повреждения миокарда
в группах исследования с различными величинами ИУ аортальной стенки при ПМКУ**

	Группа 1 (n=9)	Группа 2 (n=15)	Группа 3 (n=18)	р (1-2)	р (1-3)	р (2-3)
	ИУ $\leq 1,05$	$1,05 < \text{ИУ} \leq 1,15$	ИУ $> 1,15$			
Диаметр аорты, см	2,41 $\pm$ 0,33	2,54 $\pm$ 0,63	2,53 $\pm$ 0,51	p>0,05	p>0,05	p>0,05
Толщина стенки аорты, мм	2,05 $\pm$ 0,58	3,34 $\pm$ 0,68	3,80 $\pm$ 0,46	p<0,001	p<0,001	p>0,05
ДПМиок _{лж}	0,11 $\pm$ 0,03	0,19 $\pm$ 0,08	0,25 $\pm$ 0,15	p>0,05	p<0,05	p>0,05

Примечание: уровень статистической значимости различий р — сравнение между группами.

Сокращения: ИУ — индекс усиления T1-ВИ взвешенного изображения аорты, ДПМиок_{лж} — доля повреждения миокарда левого желудочка.

Проверка выборок на соответствие нормальному закону распределения проводилась с помощью критерия Шапиро-Вилка. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (р) принимался равным 0,05. Для поиска межгрупповых различий использовался дисперсионный анализ. После анализа всех трех групп в совокупности, проводился попарный анализ с введением поправки Бонферрони.

Результаты

В зависимости от значения ИУ аорты при ПМКУ пациенты были разделены на три интервальные группы: первая группа (9 человек) с ИУ $\leq 1,05$; вторая группа (15 человек) с $1,05 < \text{ИУ} \leq 1,15$; третья группа (18 человек) с ИУ $> 1,15$. Результаты определения исследованных нами показателей у этих групп представлены в таблице 1. Так, мы сравнили значения толщины стенки и диаметра нисходящей аорты среди этих групп. В результате не выявлено значимых различий по диаметру аорты для всех этих групп ($F=0,15$; $p=0,86$). Толщина стенки аорты в группах 1-3 прогрессивно возрастала от $2,05 \pm 0,58$ мм, до $3,80 \pm 0,46$ мм, при этом выявлены статистически значимые различия между данными показателями ($F=17,39$; $p<0,001$). Различаются первая и вторая, первая и третья группы на уровне значимости $p<0,001$, а между второй и третьей статистически значимых различий не выявлено.

Доля повреждения миокарда левого желудочка у представителей трех групп исследования составила прогрессивный рост от первой группы ($0,11 \pm 0,01$) к третьей ($0,25 \pm 0,15$). Статистически различаются первая и третья группы на уровне значимости $p<0,05$ (табл. 1).

Обсуждение

МРТ является безопасной неинвазивной методикой, позволяющей визуализировать просвет сосуда и его стенку [6, 10, 11]. С помощью МРТ можно визуализировать, а также количественно оценить все основные компоненты атеросклеротической бляшки, в том числе фиброзную ткань, кальцинированный и липидный компоненты бляшки [2]. Применение

контрастных агентов, которые избирательно повышают визуализацию различных областей, играет сегодня ключевую роль для МРТ и значительно расширяет ее диагностическую значимость. В настоящее время МРТ с контрастным усилением стала одним из наиболее информативных методов визуализации атеросклеротических бляшек, оценки их состояния и структуры [11]. В первую очередь эти исследования сконцентрированы на изучении каротидного атеросклероза как наиболее доступной и “удобной” для исследования модели. Появляется все больше данных свидетельствующих о том, что неоваскуляризация и геморрагии внутри бляшки являются важными факторами, способствующими её нестабильности и ухудшению прогноза для пациента [12]. Накопление контраста парамагнетика позволяет визуализировать процессы неоваскулогенеза в стенке, при этом большинство вновь образовавшихся *vasa vasorum* обладают тонкими стенками, имеют высокую проницаемость, сопровождающуюся воспалительной инфильтрацией.

МРТ с ПМКУ обеспечивает уникальные преимущества для визуализации компонентов атеросклеротической бляшки и определения нестабильности бляшки [13-16]. В частности, ИУ атеросклеротической бляшки при ПМКУ в T1-взвешенном спин-эхо режиме достоверно коррелирует со степенью патологического неоангиогенеза в толще бляшки [17].

Аорта, являясь самым крупным сосудом, испытывает максимальные гидродинамические нагрузки и больше других артерий подвержена повреждающим факторам. Поэтому использование методов контрастирования сосудистой стенки для исследований аорты логично и ранее уже удалось показать, что при атеросклерозе аорты повреждение может локализоваться как в отдельных участках стенки аорты, так и на большей части окружности и на большом или всем протяжении по длине [8]. Расчет ИУ T1-ВИ позволяет количественно охарактеризовать степень накопления контраста парамагнетика в стенке аорты.

В данной работе мы исследовали соотношения показателя патологического неоангиогенеза в стенке

аорты и тяжести сформировавшегося повреждения левого желудочка у этих перенесших острый инфаркт миокарда лиц. Оказалось, что тяжесть повреждения, оцениваемого как доля миокарда левого желудочка, утраченного в результате острого инфаркта, тесно и достоверно связана с показателем ИУ стенки аорты при МРТ с ПМКУ. Это дополнительно обосновывает то положение, что патологический неоангиогенез при распространенном атеросклерозе является одним из важнейших патогенетических механизмов, ухудшающих прогноз, в нашем случае — способствуя относительно большому объему некроза при большем ИУ.

Конечно, наша работа носит узконаправленный характер и в относительной степени формирует необходимость углубленного исследования взаимосвязи повреждения миокарда при остром инфаркте и интенсивности патологического неоангиогенеза в аортальной и артериальных стенках, а также роли циркулирующих и клеточных воспалительных факторов и механизмов. Однако уже сегодня представляется целесообразным выполнять формально-описательную и количественную оценку накопления контраста парамагнетика у пациентов с атеросклерозом, при проведении у них МРТ сердца и органов грудной клетки с ПМКУ. Представленные здесь начальные

результаты дают основание полагать, что ранняя оценка поражения аортальной стенки средствами МРТ с ПМКУ и раннее активное патогенетическое лечение будут способствовать снижению смертности и патологической пораженности у таких пациентов.

Заключение

Усиленное включение парамагнетика в стенку аорты в ходе МРТ с ПМКУ при распространенном атеросклерозе как правило связано с большей тяжестью ишемического повреждения миокарда.

При проведении МРТ сердца с ПМКУ целесообразно оценивать состояние аорты с расчетом ИУ T1-взвешенного изображения для уточнения тяжести атерогенеза.

МРТ аортальной стенки с ПМКУ может использоваться в качестве средства визуализации атеросклероза и прогнозирования осложнений атеросклеротических поражений аорты, при этом оценка атеросклеротического поражения аорты легко комбинируется с исследованием сердца.

Конфликт интересов: все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

- Lozano R, Naghavi M, Foreman K. Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012;380:2095-128. doi:10.1016/S0140-6736(12)61728-0.
- Anderson JD, Kramer ChM. MRI of Atherosclerosis: Diagnosis and Monitoring Therapy. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*. 2007;5(1):69-80. doi:10.1586/14779072.5.1.69.
- Lorenz MW, Markus HS, Bots ML, et al. Prediction of clinical cardiovascular events with carotid intima-media thickness: a systematic review and meta-analysis. *Circulation*. 2007;115(4):459-67. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.628875.
- Yuan C, Mitsumori LM, Beach KW, et al. Carotid atherosclerotic plaque: noninvasive MR characterization and identification of vulnerable lesions. *Radiology*. 2001;221:285-99. doi:10.1148/radiol.2212001612.
- Fayad ZA, Fuster V. Clinical imaging of the high-risk or vulnerable atherosclerotic plaque. *Circulation Research*. 2001;89:305-16. doi:10.1161/hh1601.095596.
- Roes SD, Westenberg JJ, Doornbos J, et al. Aortic vessel wall magnetic resonance imaging at 3.0T: a reproducibility study of respiratory navigator gated free-breathing 3D black blood magnetic resonance imaging. *Magnetic Resonance in Medicine*. 2009;61:35-44. doi:10.1002/mrm.21798.
- Swartz RH, Bhuta SS, Farb RI, et al. Intracranial arterial wall imaging using high-resolution 3-Tesla contrast-enhanced MRI. *Neurology*. 2009;72:627-34. doi:10.1212/01.wnl.0000342470.69739.b3.
- Maksimova AS, Babokin VE, Bukhovets IL, et al. Contrast-enhanced MRI imaging of atherosclerotic lesions of the aortic wall. *Atherosclerosis*. 2014;10(3):13-9. (In Russ.) Максимова А.С., Бабокин В.Е., Буховец И.Л., и др. МР-томографическая картина атеросклеротического поражения аортальной стенки при парамагнитном контрастировании. *Атеросклероз*. 2014;10(3):13-9.
- Usov WYu, Bakhmetyeva MI, Belichenko OI, et al. Quantitative semiautomatic measurement of myocardial damage, calculated from contrast-enhanced MRI using middle and high-field MRI — scanners. *Therapist*. 2019;8:19-30. (In Russ.) Усов В.Ю., Бахметьева М.И., Беличенко О.И., и др. Количественная полуавтоматическая оценка повреждения миокарда по данным МР-томографического исследования с парамагнитным контрастным усилением на средне и высокопольных МР-томографах. *Терапевт*. 2019;8:19-30.
- Hingwala D, Kesavadas Ch, Sylaja PN, et al. Multimodality imaging of carotid atherosclerotic plaque: going beyond stenosis. *Indian Journal of Radiology and Imaging*. 2013;23(1):26-34. doi:10.4103/0971-3026.113616.
- Coolen B F, Calcagno C, van Ooij P, et al. Fayad Vessel wall characterization using quantitative MRI: what's in a number? *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*. 2018;31(1):201-22. doi:10.1007/s10334-017-0644-x.
- Van der Veken B, De Meyer GR, Martinet W. Intraplaque neovascularization as a novel therapeutic target in advanced atherosclerosis. *Expert Opinion on Therapeutic Targets*. 2016;20(10):1247-57. doi:10.1080/14728222.2016.1186650.
- Wagner S, Schnorr J, Ludwig A, et al. Contrast-enhanced MR imaging of atherosclerosis using citrate-coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles: calcifying microvesicles as imaging target for plaque characterization. *International Journal of Nanomedicine*. 2013;8:767-79. doi:10.2147/IJN.S38702.
- Li T, Zhao X, Liu X, et al. Evaluation of the early enhancement of coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced MR angiography. *European Journal of Radiology*. 2011;80(1):136-42. doi:10.1016/j.ejrad.2010.07.020.
- Sirol M, Moreno PR, Purushothaman K-R, et al. Increased neovascularization in advanced lipid-rich atherosclerotic lesions detected by gadofluorine-enhanced MRI: implications for plaque vulnerability. *Circulation*. 2009;119(5):391-6. doi:10.1161/CIRCIMAGING.108.801712.
- Wasserman BA, Sharrett AR, Lai S, et al. Risk factor associations with the presence of a lipid core in carotid plaque of asymptomatic individuals using high-resolution MRI: the MultiEthnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Stroke*. 2008;39(2):329-35. doi:10.1161/STROKEAHA.107.498634.
- Bobrikova EE, Maksimova AS, Plotnikov MP, et al. Simultaneous cerebral MRI and MR-angiographic study of carotid arteries as screening technique for high-risk carotid atherosclerosis. *Siberian Medical Journal (Tomsk)*. 2015;30(4):49-56. (In Russ.) Бобрикова Е.Э., Максимова А.С., Плотников М.П., и др. Комплексное магнитно-резонансное томографическое исследование сонных артерий и головного мозга в скрининге каротидных стенозов высокого риска. *Сибирский медицинский журнал (г. Томск)*. 2015;30(4):49-56.