



УДК 616.[136+137]-004.6

DOI 10.17802/2306-1278-2022-11-3-8-16

## МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ С КОНТРАСТНЫМ УСИЛЕНИЕМ В РАННЕЙ ОЦЕНКЕ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ СТЕНКИ БРЮШНОЙ АОРТЫ И ОБЩИХ ПОДВЗДОШНЫХ АРТЕРИЙ

А.С. Максимова<sup>1</sup>, В.Е. Сеницын<sup>2</sup>, В.Ю. Усов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, ул. Киевская 111а, Томск, Российская Федерация, 634012;

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Ленинские горы, 1, Москва, Российская Федерация, 119991

### Основные положения

• Изучена картина ранних атеросклеротических изменений стенки брюшной аорты и общих подвздошных артерий у пациентов без клинических проявлений атеросклеротического поражения артерий нижних конечностей по данным магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением. Представлен способ количественной характеристики накопления контраста парамагнетика в стенке брюшной аорты и общих подвздошных артерий.

### Цель

По данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) с парамагнитным контрастным усилением изучить картину раннего атеросклеротического поражения стенки брюшной аорты и общих подвздошных артерий у пациентов без клинических проявлений критического атеросклеротического стенозирования артерий нижних конечностей.

### Материалы и методы

В данное ретроспективное исследование вошли 36 пациентов (46,3±6,7 года), проходивших МРТ поясничного отдела позвоночника с парамагнитным контрастным усилением для выяснения причин внезапно возникающих болей в области пояснично-крестцового отдела и подтверждения или исключения дегенеративно-дистрофических изменений. У больных, включенных в группу исследования, не отмечено признаков стенозирующего атеросклероза нижних конечностей, однако впоследствии, спустя 2,5 и 4 года после проведения МРТ, у двух обследованных развились эпизоды острой ишемии нижних конечностей, потребовавшие ангиохирургических вмешательств. На момент исследования у обоих пациентов зарегистрирован более высокий уровень С-реактивного белка в крови (6,3 мг/л и 5,9 мг/л, у остальных – <4,2 мг/л). МРТ состояла из Т2- и Т1- взвешенных спин-эхо изображений (Т2-ВИ и Т1-ВИ) в аксиальной и сагиттальной проекциях, до и через 10–15 мин после введения контрастного препарата. Рассчитан индекс усиления (ИУ) Т1-ВИ как отношение интенсивностей области стенки аорты и подвздошных артерий на постконтрастном и исходном изображениях в аксиальной проекции: ИУ = интенсивность Т1-ВИ (контраст) / интенсивность Т1-ВИ (исходное).

### Результаты

В зависимости от величин ИУ брюшной аорты при парамагнитном контрастном усилении все пациенты разделены на три группы: группа 1 (n = 11, ИУ ≤1,05); группа 2 (n = 16, 1,05 <ИУ ≤ 1,15); группа 3 (n = 9, ИУ >1,15). ИУ стенки аорты в трех выделенных группах составил 1,03 (1,01; 1,03), 1,10 (1,09; 1,15) и 1,36 (1,16; 1,40) соответственно (p<0,001). Толщина стенки брюшной аорты прогрессивно возрастала от первой к третьей группе, при этом статистически значимые различия выявлены только между первой и третьей, второй и третьей группами исследования (p<0,001). Различий в толщине стенки общих подвздошных артерий и диаметре всех исследованных сосудов у представителей трех групп не выявлено. У двух участников третьей группы впоследствии диагностированы эпизоды ишемического поражения нижних конечностей.

### Заключение

При проведении МРТ-исследований с парамагнитным контрастным усилением, охватывающих область нисходящей аорты, следует оценивать состояние стенки

Для корреспонденции: Александра Сергеевна Максимова, [asmaximova@yandex.ru](mailto:asmaximova@yandex.ru); адрес: ул. Киевская 111а, Томск, Россия, 634012

Corresponding author: Alexandra S. Maksimova, [asmaximova@yandex.ru](mailto:asmaximova@yandex.ru); address: 111a, Kievskaya str., Tomsk, Russian Federation, 634012

брюшной аорты и отходящих от нее ветвей с расчетом ИУ T1-ВИ для анализа патологического неангиогенеза как важнейшего компонента атерогенеза.

**Ключевые слова**

Магнитно-резонансная томография • Парамагнитное контрастирование • Атеросклероз • Аорта • Общие подвздошные артерии

*Поступила в редакцию: 09.04.2022; поступила после доработки: 21.06.2022; принята к печати: 07.07.2022*

## CONTRAST ENHANCED MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN EARLY ASSESSMENT OF ATHEROSCLEROTIC LESION OF ABDOMINAL AORTIC WALL AND COMMON ILIAC ARTERIES

A.S. Maksimova<sup>1</sup>, V.E. Sinitsyn<sup>2</sup>, V.Yu. Usov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, 111a, Kievskaya St., Tomsk, Russian Federation, 634012; <sup>2</sup> Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «M.V. Lomonosov Moscow State University», 1, Leninskie Gory, Moscow, Russian Federation, 119991

**Highlights**

• Early atherosclerotic changes in the abdominal aortic wall and common iliac arteries in patients without clinical manifestations of critical atherosclerotic stenosis of the lower extremity arteries were studied using contrast enhanced magnetic resonance imaging. A method for quantitative characterization of the accumulation of paramagnetic contrast in the abdominal aortic wall and common iliac arteries is presented.

**Aim**

To study the pattern of early atherosclerotic lesions of the abdominal aortic wall and common iliac arteries in patients without clinical manifestations of critical atherosclerotic stenosis of the lower extremity arteries using paramagnetic contrast enhancement (CE-) MRI.

**Methods**

The retrospective study included 36 patients (25 men, 11 women) who underwent MRI of the lumbar spine with CE, without signs of atherosclerosis of the lower extremities. Subsequently, 2.5 and 4 years after CE-MRI, two patients developed acute leg ischemia and required vascular surgeries. At the time of the study, both had higher levels of C-reactive protein in the blood (6.3 mg/L and 5.9 mg/L, while the other patients had <4.2 mg/L). MRI included T2 – and T1-weighted spin-echo scans (T2-w and T1-w) in the axial and sagittal planes, before and in 10-15 minutes after contrast injection. The index of enhancement (IE) of T1-w was calculated based on the ratio of mean intensities of the region of arterial wall over aorta and iliac arteries in CE-MRI and pre-contrast MRI:  $IE = \frac{Int.T1-w_{CE}}{Int.T1-w_{pre-contrast}}$ .

**Results**

Depending on the IE of the abdominal aortic wall in CE-MRI, patients were divided into three groups: group 1 (n = 11) with  $IE \leq 1.05$ ; group 2 (n = 16) with  $1.05 < IE \leq 1.15$ ; group 3 (n = 9) with  $IE > 1.15$ . The aortic IE in all three groups was 1,03 (1,01;1,03); 1,10 (1,09;1,15); 1,36 (1,16;1,40) respectively ( $p < 0.001$ ). The thickness of the abdominal aortic wall progressively increased moving up the group 1, while statistically significant differences were found only between the groups 1 and 3, and the groups 2 and 3 ( $p < 0.001$ ). There were no differences in the wall thickness of the common iliac arteries and the diameter of all vessels studied between the groups. Two patients from the group 3 later presented with acute limb ischemia.

**Conclusion**

The state of the abdominal aortic wall and common iliac arteries should be evaluated, and IE of T1-w should be calculated when performing CE-MRI examination of the area of the descending aorta to assess pathological neoangiogenesis as the most important component of atherogenesis.

**Keywords**

Magnetic resonance imaging • Paramagnetic enhancement • Atherosclerosis • Aorta • Common iliac arteries

*Received: 09.04.2022; received in revised form: 21.06.2022; accepted: 07.07.2022*

## Список сокращений

ИУ – индекс усиления	T1-ВИ – T1-взвешенные изображения
MPT – магнитно-резонансная томография	T2-ВИ – T2-взвешенные изображения

**Введение**

Сердечно-сосудистые заболевания остаются одной из ведущих причин смертности трудоспособного населения во всем мире, и в большинстве случаев основной причиной их развития служит атеросклероз [1]. Атеросклероз – системное заболевание, которое многие годы может не проявлять признаков и симптомов атеросклеротического сужения сосудов, но в конечном итоге у большинства пациентов манифестирует в виде неудовлетворительной перфузии органов (стенокардия, перемежающаяся хромота) либо острых, опасных для жизни состояний (инфаркт, инсульт). Именно поэтому ранняя диагностика и своевременно начатое лечение играют первостепенную роль. Кроме того, крайне важна возможность визуализировать стенку сосуда и оценить риск прогрессирования и формирования манифестных стадий болезни. Наиболее часто атеросклеротический процесс затрагивает сонные, коронарные, крупные периферические артерии, а также аорту [2].

Атеросклеротическое поражение аорты служит одним из ключевых факторов риска смерти от сердечно-сосудистых заболеваний и может привести к серьезным осложнениям, таким как аневризма, расслоение, аортогенная эмболия. Несмотря на то что периферические артерии из-за их поверхностного расположения, протяженности и прямого хода идеальны для визуализации стенок сосудов, они до сих пор остаются недостаточно изученными. В качестве показателя скрининга для выявления обструкции периферических артерий применяют лодыжечно-плечевой индекс, который помогает объективно оценить кровоток в сосудах нижних конечностей, при этом данный тест не позволяет определить распространенность, степень и точную локализацию атеросклеротического поражения сосуда [3, 4]. В настоящее время внутрисосудистое ультразвуковое исследование является диагностическим стандартом количественной оценки атеросклеротических бляшек коронарных сосудов [5, 6], но высокая стоимость и инвазивность ограничивают использование этого метода для периферического кровообращения. На сегодняшний день в большинстве случаев для выявления атеросклеротического поражения используют методы оценки просвета артерий. Однако значительная часть артериальной стенки может быть поражена атеросклеротической бляшкой до того, как просвет будет нарушен. Таким образом, обширное атеросклеротическое поражение сосуда может быть недооценено

или полностью пропущено с помощью привычных способов оценки просвета сосуда, таких как катетерная рентгеновская, магнитно-резонансная или компьютерная томографическая ангиографии.

Возможным эффективным решением могла бы стать магнитно-резонансная томография (MPT) с использованием парамагнитных контрастных препаратов. MPT с контрастным усилением способна выявить неоваскуляризацию, потенциально улучшить дифференциацию компонентов и предоставить ценную информацию о нестабильности атеросклеротической бляшки *in vivo* [7–10]. Результаты MPT широко подтверждены гистологически, что свидетельствует об эффективности данного метода в изучении атеросклеротического поражения сосудов [11, 12]. Доказана эффективность MPT для оценки регресса бляшек аорты [1] и сонных артерий [13] после длительной терапии аторвастатином. Подтверждена способность MPT дифференцировать основные компоненты атеросклеротической бляшки, в том числе липидное ядро, включения кальция, кровоизлияние и наличие тромба. Кроме того, с помощью MPT можно точно и с хорошей воспроизводимостью измерять размеры артериальной стенки сосуда [14, 15]. MPT с высоким пространственным разрешением стала одним из наиболее многообещающих методов неинвазивного исследования атеросклеротических заболеваний крупных сосудов – аорты, сонных и периферических артерий.

Ценность MPT в том, что технология позволяет точно охарактеризовать состав бляшек с возможностью различить липидное ядро, фиброз, кальцификацию и внутривенные кровоизлияния. Именно состав бляшки, а не степень стеноза определяет исход для пациента. Таким образом, MPT является надежным инструментом визуализации, позволяющим обнаружить атеросклеротическое поражение сосуда даже на ранней стадии заболевания и идентифицировать состав бляшек. В особенности это важно у больных с повышением циркулирующих маркеров воспаления, в частности С-реактивного белка [15]. Раннее обнаружение атеросклеротического поражения способствует первичной профилактике за счет изменения образа жизни, назначения своевременной лекарственной терапии, в частности у пациентов, входящих в группу риска по сердечно-сосудистым заболеваниям.

**Цель исследования** – изучить картину ранних атеросклеротических изменений стенки брюшной аорты и общих подвздошных артерий по данным

МРТ с контрастным усилением у больных без клинических проявлений атеросклеротического поражения артерий нижних конечностей.

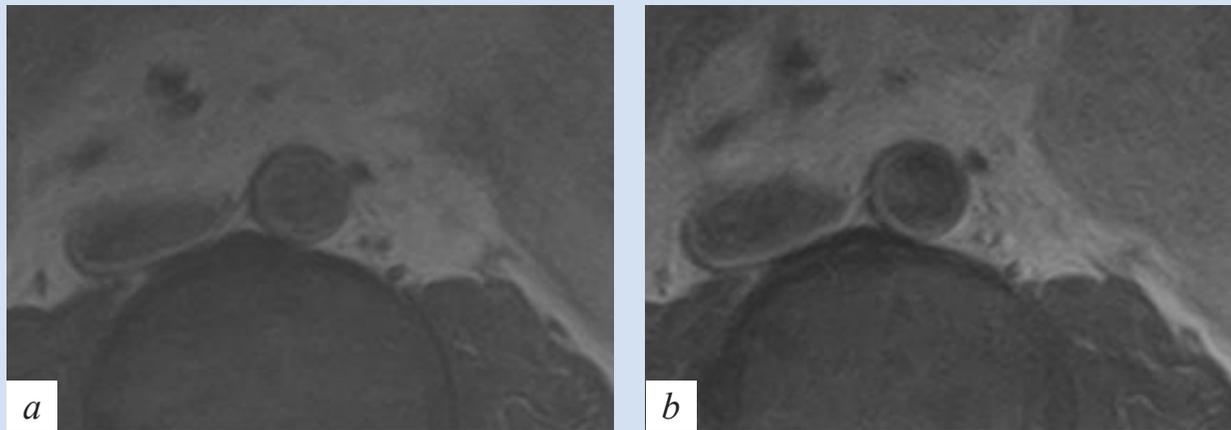
### Материалы и методы

В данное ретроспективное исследование включены 36 пациентов (средний возраст  $46,3 \pm 6,7$  года), которым выполнена МРТ поясничного отдела позвоночника с парамагнитным контрастным усилением. Исследование одобрено локальным этическим комитетом НИИ кардиологии Томского НИМЦ. Все больные подписывали официальное информированное согласие.

Пациенты, включенные в данное исследование, поступали на обследование в отделение рентгеновских и томографических методов диагностики с направлением на МРТ поясничного отдела по-

звоночника с контрастированием для выяснения причин внезапно возникающих болей в области пояснично-крестцового отдела и подтверждения или исключения дегенеративно-дистрофических изменений.

Перед началом исследования в каждом случае проведен подробный опрос пациентов. Критерием включения в исследование стало отсутствие клинических признаков стенозирующего атеросклероза нижних конечностей по данным опроса (боли при ходьбе, повышенная утомляемость, онемения нижних конечностей). Критериями исключения были абсолютные либо относительные противопоказания к проведению МРТ (наличие искусственного водителя ритма, любые немедицинские или ферромагнитные металлические предметы, находящиеся в теле пациента, аллергические реакции

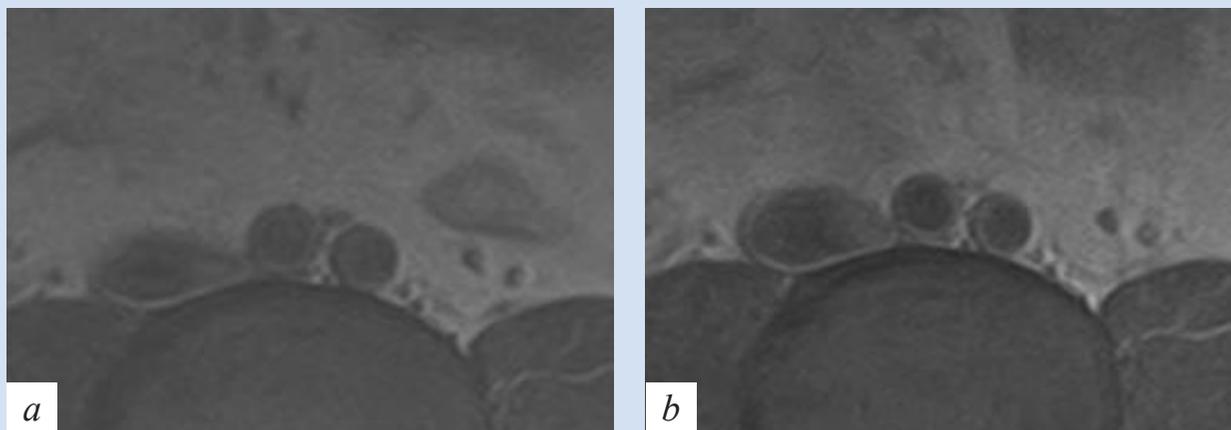


**Рисунок 1.** МРТ-исследование брюшной аорты с парамагнитным контрастным усилением в аксиальном расположении срезов (во время МРТ поясничного отдела позвоночника): *a* – исходное T1-взвешенное изображение; *b* – T1-взвешенное изображение после парамагнитного контрастного усиления

**Примечание:** индекс усиления – 1,09, диаметр аорты – 1,60 см, толщина стенки аорты – 2,25 мм.

**Figure 1.** MRI of the abdominal aorta with paramagnetic contrast enhancement, axial plane (during lumbar spine MRI). *a* – original T1-weighted image; *b* – T1-weighted image after paramagnetic contrast enhancement

**Note:** index of enhancement – 1,09, aortic diameter – 1,60 cm, aortic wall thickness – 2,25 mm.



**Рисунок 2.** МРТ-исследование общих подвздошных артерий с парамагнитным контрастным усилением в аксиальном расположении срезов (во время и как часть МРТ поясничного отдела позвоночника): *a* – исходное T1-взвешенное изображение; *b* – T1-взвешенное изображение после парамагнитного контрастного усиления

**Примечание:** левая общая подвздошная артерия (индекс усиления – 1,08, диаметр – 1,05 см, толщина стенки – 2,02 мм); правая общая подвздошная артерия (индекс усиления – 1,06, диаметр – 1,02 см, толщина стенки – 1,84 мм).

**Figure 2.** MRI of common iliac arteries with paramagnetic contrast enhancement, axial plane (during lumbar spine MRI). *a* – original T1-weighted image; *b* – T1-weighted image after paramagnetic contrast enhancement

**Note:** left common iliac artery (index of enhancement – 1,08, diameter – 1,05 cm, aortic wall thickness – 2,02 mm); right common iliac artery (index of enhancement – 1,06, diameter – 1,02 cm, aortic wall thickness – 1,84 mm).

на контрастные парамагнитные препараты, клаустрофобия и т. д.)

У больных группы исследования не отмечено признаков стенозирующего атеросклероза нижних конечностей, однако впоследствии, спустя 2,5 и 4 года после МРТ, у двух лиц развились эпизоды острой ишемии ноги, потребовавшие ангиохирургических вмешательств. На момент исследования у обоих пациентов зарегистрирован более высокий уровень С-реактивного белка (6,3 и 5,9 мг/л, при уровне не более 4,2 мг/л у остальных участников), что было расценено как проявление воспалительного компонента дегенеративно-дистрофического поражения позвоночника в момент обострения этой патологии.

МРТ состояла из T2- и T1-взвешенных спинэхо изображений (ВИ) в аксиальной и сагиттальной проекциях, до и через 10–15 мин после внутривенного введения контрастного препарата. В качестве парамагнитных контрастных препаратов использованы контрастные комплексы гадолиния в стандартной дозировке – 0,1 ммоль на кг массы тела пациента. На аксиальных срезах T1-ВИ оценены атеросклеротические изменения, значения интенсивности МРТ-сигнала до и после введения контрастного препарата, толщина стенки и диаметр исследуемых сосудов. Далее рассчитан индекс усиления (ИУ) T1-ВИ области стенки брюшной аорты и общих подвздошных артерий как отношение интенсивности постконтрастного и исходного T1-ВИ. Визуальная картина стенки сосудов исходно и при контрастном усилении представлена на рис. 1 и 2. Исследования проведены на МРТ Toshiba Titan Vantage 1,5 Тл (Toshiba Medical, Япония).

### Статистический анализ

Проверка на соответствие выборок нормальному закону распределения проведена с использованием критерия Шапиро – Уилка. Некоторые иссле-

дователи не рекомендуют применять параметрические методы (в том числе дисперсионный анализ), если объем каждой из групп составляет менее 30 наблюдений, даже если выборочные данные имеют нормальное распределение, так как это может привести к искажению результатов, поэтому нами принято решение использовать непараметрический критерий Краскела – Уоллиса для поиска зависимостей между группами. В случае обнаружения статистически значимых различий выполнен попарный анализ групп с помощью критерия Манна – Уитни, а полученная вероятность скорректирована поправкой Бонферрони. Все результаты представлены в виде Me (Q1, Q3), где Me – медиана, Q1, Q3 – нижний и верхний квартили соответственно. Уровень статистической значимости нулевой статистической гипотезы (p) принят равным 0,05. Статистическая обработка результатов проведена с помощью программного пакета STATISTICA, version 10.0 (StatSoft, Inc., США).

### Результаты

По результатам анализа полученных значений ИУ принято решение разделить всех пациентов на группы. Наиболее оптимальным и закономерным в данной поисковой работе оказалось деление на три группы по значению ИУ аорты: группа 1 (n = 11, ИУ ≤ 1,05); группа 2 (n = 16, 1,05 < ИУ ≤ 1,15); группа 3 (n = 9, ИУ > 1,15). Двое больных, у которых впоследствии, отдаленно, развились эпизоды острой ишемии ноги, принадлежали третьей группе с максимальным значением ИУ T1-ВИ. ИУ стенки аорты в первой группе составил 1,03 (1,01; 1,03), во второй – 1,10 (1,09; 1,15), в третьей – 1,36 (1,16; 1,40); между данными показателями обнаружены статистически достоверные различия (p < 0,001). Анализ толщины стенки брюшной аорты показал рост значения данного показателя от первой, 2,13 (2,11; 2,17) мм, к третьей, 2,62 (2,44; 2,78) мм, группе,

Показатели состояния брюшной аорты и общих подвздошных артерий в группах исследования с различными величинами индекса усиления при МРТ с парамагнитным контрастным усилением  
Indicators of abdominal aorta and common iliac arteries by MRI with paramagnetic contrast enhancement in groups with different index of enhancement

Группа исследования / Study group	Брюшная аорта / Abdominal aorta			Левая общая подвздошная артерия / Left common iliac artery			Правая общая подвздошная артерия / Right common iliac artery		
	ИУ / IE	Диаметр, см / Diameter, cm	Толщина стенки, мм / Wall thickness, mm	ИУ / IE	Диаметр, см / Diameter, cm	Толщина стенки, мм / Wall thickness, mm	ИУ / IE	Диаметр, см / Diameter, cm	Толщина стенки, мм / Wall thickness, mm
Группа 1 / Group 1, n = 11	1,03 (1,01; 1,03)	1,67 (1,64; 1,84)	2,13 (2,11; 2,17)	1,01 (1,02; 1,06)	1,13 (1,08; 1,23)	1,89 (1,87; 1,93)	1,02 (1,0; 1,03)	1,06 (1,06; 1,14)	1,71 (1,5; 2,03)
Группа 2 / Group 2, n = 16	1,10 (1,09; 1,15)	1,72 (1,6; 2,01)	2,30 (2,24; 2,47)	1,12 (1,11; 1,14)	1,20 (1,05; 1,25)	1,67 (1,31; 2,32)	1,20 (1,06; 1,24)	1,08 (1,05; 1,15)	1,84 (1,47; 2,41)
Группа 3 / Group 3, n = 9	1,36 (1,16; 1,40)	1,60 (1,54; 1,66)	2,62 (2,44; 2,78)	1,16 (1,09; 1,24)	1,16 (1,06; 1,25)	1,59 (1,44; 1,83)	1,32 (1,16; 1,34)	1,02 (0,96; 1,14)	1,61 (1,26; 1,73)

**Примечание:** ИУ – индекс усиления T1-взвешенного изображения аорты.  
**Note:** IE – index of enhancement of T1-weighted image of aorta.

при этом достоверность различий подтверждена только между первой и третьей, второй и третьей группами ( $p < 0,001$ ); между первой и второй достоверных различий не обнаружено.

При расчете ИУ левой общей подвздошной артерии получены достоверные различия только между первой и третьей ( $p < 0,001$ ) группами, значение ИУ в группах 1–3 составило 1,01 (1,02; 1,06), 1,12 (1,11; 1,14) и 1,16 (1,09; 1,24) соответственно ( $p < 0,05$ ). С правой стороны в общей подвздошной артерии достоверные различия ИУ найдены только между первой и третьей группами ( $p < 0,05$ ).

Достоверных различий по толщине стенки общих подвздошных артерий и диаметру всех исследуемых сосудов у представителей трех групп исследования не выявлено (таблица).

### Обсуждение

Ранее показано, что на начальных стадиях атеросклероза реакция артериальной стенки на образование бляшек заключается в расширении «наружу», сохранении просвета и увеличении только внешнего диаметра – так называемое внешнее, или положительное ремоделирование артерий [16]. В действительности просвет, как правило, не уменьшается до тех пор, пока 40% площади, ограниченной внутренней эластичной пластиной, не будет занято атеросклеротической бляшкой. Именно поэтому своевременная диагностика, замедление прогрессирования заболевания, предотвращение развития серьезных осложнений крайне важны, особенно у бессимптомных пациентов.

Современные методы визуализации атеросклероза включают большой арсенал распространенных и в целом общедоступных инструментов диагностики (рентгеновская ангиография, ультразвуковое исследование, компьютерная томографическая ангиография, МРТ, однофотонная эмиссионная компьютерная, оптическая когерентная и позитронно-эмиссионная томографии). Эти способы могут быть использованы для обнаружения анатомических, физиологических и гемодинамических последствий атеросклеротического поражения сосудов, дополненных информацией о составе бляшек и общей тяжести заболевания. На сегодняшний день ультразвуковые методы исследования по-прежнему занимают первое место в клинической практике для диагностики стенозов сонных и периферических артерий не в последнюю очередь из-за их экономической эффективности, портативности, безвредности и неинвазивности, при этом для рутинной диагностики состояния стенки аорты их широко не используют [6]. Кроме этого, важную роль в диагностике атеросклероза играет мультиспиральная компьютерная томография, но для оценки воспалительных компонентов в атеросклеротически измененной стенке аорты ультра-

звуковые и рентгеновские методы в повседневной практике широко не применяют [1]. Идеальный метод мониторинга атеросклеротических поражений сосудов должен быть неинвазивным, точным, безопасным, хорошо воспроизводимым и способным визуализировать не только просвет, но и стенку сосуда. В настоящее время МРТ с парамагнитным контрастным усилением занимает лидирующее место в оценке атеросклеротического поражения сосудистой стенки и становится ведущей неинвазивной, точной и хорошо воспроизводимой методикой визуализации не только просвета, но и структуры бляшки с возможностью дифференциации ее компонентов [17–19]. МРТ с высоким пространственным разрешением в исследовании сосудистой стенки является мощным методом характеристики атеросклеротического поражения в различных сосудистых бассейнах (аорта, брахиоцефальные, коронарные, периферические, интракраниальные артерии) [20–22].

В представленной работе установлено, что нарастание интенсивности контрастного усиления стенки аорты уже на ранних стадиях сопровождается ее утолщением – начальным ремоделированием. В группе пациентов с наиболее выраженным контрастированием стенки спустя несколько лет отмечены эпизоды ишемии нижних конечностей. Атеросклероз артерий нижних конечностей развивается относительно медленнее, чем коронарный и атеросклероз сонных артерий. Показано, что при первичном обнаружении атеросклеротического поражения периферических артерий, например поверхностной бедренной артерии, как правило, выявляют атеросклероз коронарных артерий [23]. Как и большинство сердечно-сосудистых заболеваний, атеросклероз «молодеет» и очевидно, что атеросклеротическая бляшка или интенсивный патологический неангиогенез стенки артерий нижних конечностей указывают на общую предрасположенность к атеросклерозу и уязвимость к коронарной смерти и ишемическим периферическим катастрофам. Мы проанализировали атеросклеротическое поражение общих подвздошных артерий как наиболее доступных для визуализации при МРТ поясничного отдела позвоночника с парамагнитным контрастным усилением. Выявленная взаимосвязь поражения брюшной аорты, а также общих подвздошных артерий в очередной раз подтверждает теорию о генерализованном поражении сосудов при атеросклерозе.

Очевидно, что количественная характеристика накопления контраста парамагнетика в стенке аорты у пациентов, входящих в группу риска по атеросклерозу и возрасту, обоснована и необходима при проведении МРТ поясничного отдела позвоночника и других исследований этой области с парамагнитным контрастным усилением. Полученные в данном исследовании начальные результаты показывают,

что своевременная МР-диагностика атеросклеротического поражения аортальной стенки и стенки подвздошных артерий, назначение адекватного лечения, коррекция факторов риска будут способствовать снижению частоты серьезных осложнений и смертности от данной патологии.

### Заключение

При проведении МРТ-исследований с парамагнитным контрастным усилением, охватывающих область нисходящей аорты, следует оценивать состояние стенки брюшной аорты, общих подвздошных артерий и рассчитывать индекс усиления T1-взвешенных изображений для оценки патологического неангиогенеза как важнейшего компонента атерогенеза. МРТ аортальной стенки и стенок крупных артериальных сосудов с парамагнитным контрастным усилением может выступать инстру-

ментом первичной визуализации атеросклеротического поражения и прогнозирования осложнений атеросклероза аорты. Кроме того, МРТ является высокоэффективным методом визуализации для мониторинга антиатеросклеротической терапии.

### Конфликт интересов

А.С. Максимова заявляет об отсутствии конфликта интересов. В.Е. Синицын заявляет об отсутствии конфликта интересов. В.Ю. Усов заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Финансирование

Исследование частично выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-15-00313) в части выполнения МРТ-исследований, обработки результатов, интерпретации данных и участия в написании рукописи (А.С.М.).

### Информация об авторах

*Максимова Александра Сергеевна*, кандидат медицинских наук научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики Научно-исследовательского института кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук» (НИИ кардиологии Томского НИМЦ), Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-4871-3283

*Синицын Валентин Евгеньевич*, доктор медицинских наук, профессор заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии факультета фундаментальной медицины федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-5649-2193

*Усов Владимир Юрьевич*, доктор медицинских наук, профессор старший научный сотрудник отделения рентгеновских и томографических методов диагностики Научно-исследовательского института кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук» (НИИ кардиологии Томского НИМЦ), Томск, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-7352-6068

### Вклад авторов в статью

*MAS* – существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание статьи и ее корректировка, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*SVE* – существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

*UVU* – существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, написание статьи и ее корректировка, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

### Author Information Form

*Maksimova Alexandra S.*, PhD, Researcher at the Department of Diagnostic Radiology and Tomography, Cardiology Research Institute, Federal State Budgetary Scientific Institution “Tomsk National Research Medical center of the Russian Academy of Sciences” (Tomsk NRMС), Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-4871-3283

*Sinitsyn Valentin E.*, PhD, Professor, Head of the Department of Diagnostic Radiology and Radiation Therapy, Faculty of Medicine, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «M.V. Lomonosov Moscow State University», Moscow, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-5649-2193

*Usov Vladimir Y.*, PhD, Professor, Senior Researcher in the Department of Diagnostic Radiology and Tomography, Cardiology Research Institute, Federal State Budgetary Scientific Institution “Tomsk National Research Medical center of the Russian Academy of Sciences” (Tomsk NRMС), Tomsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-7352-6068

### Author Contribution Statement

*MAS* – significant contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*SVE* – significant contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

*UVU* – significant contribution to the concept and design of the study, data collection, analysis and interpretation, manuscript writing, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Corti R., Fuster V. Imaging of atherosclerosis: magnetic resonance imaging. *European Heart Journal*. 2011; 32(14):1709-1719. doi:10.1093/eurheartj/ehr068.
2. Zhang L., Zhang N., Wu J., Zhang L., Huang Y., Liu X., Chung Y.C. High resolution three dimensional intracranial arterial wall imaging at 3 T using T1 weighted SPACE. *Magn Reson Imaging*. 2015; 33(9):1026-1034. doi:10.1016/j.mri.2015.06.006.
3. Максимова А.С., Лишманов Ю.Б., Усов В.Ю. Роль магнитно-резонансной томографии в исследовании атеросклеротического поражения аорты. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*. 2018; 8(4):184-193. doi:10.21569/2222-7415-2018-8-4-184-193.
4. Han Y., Guan M., Zhu Z., Li D., Chen H., Yuan C., Li C., Wang W., Zhao X. Assessment of longitudinal distribution of subclinical atherosclerosis in femoral arteries by three-dimensional cardiovascular magnetic resonance vessel wall imaging. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2018; 20:60. doi:10.1186/s12968-018-0482-7.
5. Koskinas K.C., Ughi G.J., Windecker S., Tearney G.J., Räber L. Intracoronary imaging of coronary atherosclerosis: validation for diagnosis, prognosis and treatment. *European Heart Journal*. 2016; 37(6):524-535. doi:10.1093/eurheartj/ehv642.
6. Tarkin J.M., Dweck M.R., Evans N.R., Takx R.A., Brown A.J., Tawakol A., Fayad Z.A., Rudd J.H. Imaging Atherosclerosis. *Circulation Research*. 2016; 118:750-769. doi:10.1161/CIRCRESAHA.115.306247.
7. Maximova A.S., Babokin V.E., Bukhovets I.L., et al. Contrast-enhanced MRI of aortal atherosclerosis syndrome types and prediction of dissection. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2015; 17(1):256. doi:10.1186/1532-429X-17-S1-P256.
8. Wagner S., Schnorr J., Ludwig A., Stangl V., Ebert M., Hamm B., Taupitz M. 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; 8:767-779. doi:10.2147/IJN.S38702.
9. Li T., Zhao X., Liu X., Gao J., Zhao S., Li X., Zhou W., Cai Z., Zhang W., Yang L. Evaluation of the early enhancement of coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced MR angiography. *European Journal of Radiology*. 2011; 80(1): 136-142. doi:10.1016/j.ejrad.2010.07.020.
10. Porambo M.E., DeMarco J.K. MR imaging of vulnerable carotid plaque. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*. 2020; 10(4):1019-1031. doi: 10.21037/cdt.2020.03.12.
11. Altaf N., Stephen D.G., Beech A., Gladman J.R., Morgan P.S., MacSweeney S.T., Auer D.P. Plaque hemorrhage is a marker of thromboembolic activity in patients with symptomatic carotid disease. *Radiology*. 2011; 258(2):538-45. doi:10.1148/radiol.10100198.
12. Qiao H., Li D., Cao J., Qi H., Han Y., Han H., Xu H., Wang T., Chen S., Chen H., Wang Y., Zhao X. Quantitative evaluation of carotid atherosclerotic vulnerable plaques using in vivo T1 mapping cardiovascular magnetic resonance: validation by histology. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2020; 22(1):38. doi:10.1186/s12968-020-00624-0.
13. Бобрикова Е.Э., Максимова А.С., Лукьяненко П.И., Аптекарь В.Д., Плотников М.П., Гусакова А.М., Усов В.Ю. Возможности магнитно-резонансной томографии с парамгнитным усилением в проспективной оценке атеросклеротического процесса в динамике терапии аторвастатином на примере сонных артерий. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2015; 30(2):96-101. doi:10.29001/2073-8552-2015-30-2-96-101.
14. Cui Y., Qiao H., Ma L., Lu M., Yang J., Yao G., Cai J., Zhao X. Association of age and size of carotid artery intraplaque hemorrhage and minor fibrous cap disruption: a high resolution magnetic resonance imaging study. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*. 2018; 25:1222-30. doi:10.5551/jat.43679.
15. Avci A.Y., Lakadamyali H., Arıkan S., Benli U.S., Kilinc M. High sensitivity C-reactive protein and cerebral white matter hyperintensities on magnetic resonance imaging in migraine patients. *The Journal of Headache and Pain*. 2015; 16:9. doi:10.1186/1129-2377-16-9.
16. Watase H., Sun J., Hippe D.S., Balu N., Li F., Zhao X., Mani V., Fayad Z.A., Fuster V., Hatsukami T.S., Yuan C. Carotid Artery Remodeling is Segment Specific: An in Vivo Study by Vessel Wall Magnetic Resonance Imaging. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2018; 38(4):927-934. doi: 10.1161/ATVBAHA.117.310296.
17. Qi H., Sun J., Qiao H., Chen S., Zhou Z., Pan X., Wang Y., Zhao X., Li R., Yuan C., Chen H. Carotid intraplaque hemorrhage imaging with quantitative vessel wall T1 mapping: technical development and initial experience. *Radiology*. 2018; 287:276-84. doi:10.1148/radiol.2017170526.
18. Zavodni A.E., Wasserman B.A., McClelland R.L., Gomes A.S., Folsom A.R., Polak J.F., Lima J.A., Bluemke D.A. Carotid artery plaque morphology and composition in relation to incident cardiovascular events: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). *Radiology*. 2014; 271:381-9. doi:10.1148/radiol.14131020.
19. Wüst R.C.I., Calcagno C., Daal M.R.R., Nederveen A.J., Coolen B.F., Strijkers G.J. Emerging Magnetic Resonance Imaging Techniques for Atherosclerosis Imaging. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. 2019; 39(5):841-849. doi: 10.1161/ATVBAHA.118.311756.
20. Максимова А.С., Бабокин В.Е., Буховец И.Л., Бобрикова Е.Э., Роговская Ю.В., Лукьяненко П.И., Усов В.Ю. МР-томографическая картина атеросклеротического поражения аортальной стенки при парамагнитном контрастировании. *Атеросклероз*. 2014; 10(3):13-19.
21. Усов В.Ю., Мочула О.В., Рюмшина Н.И., Максимова А.С., Фальковская А.Ю., Ярошевский С.П., Лучич М., Лукьяненко П.И., Беличенко О.И. Патологический неоваскулогенез стенки аорты как предиктор повреждения миокарда у пациентов с артериальной гипертензией, по данным МР-томографического исследования с контрастным усилением. *Терапевт*. 2018; 1-2:17-27.
22. Kojima K., Kimura Sh., Hayasaka K. Aortic plaque distribution, and association between aortic plaque and atherosclerotic risk factors: an aortic angiography study. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*. 2019; 26(11):997-1006. doi:10.5551/jat.48181.
23. Laclaustra M., Casasnovas J.A., Fernández-Ortiz A., Fuster V., León-Latre M., Jiménez-Borreguero L.J., Pocovi M., Hurtado-Roca Y., Ordovas J.M., Jarauta E., Guallar E., Ibañez B., Civeira F. Femoral and carotid subclinical atherosclerosis association with risk factors and coronary calcium: The AWHs Study. *Journal of the American college of cardiology*. 2016; 67:1263-1274. doi:10.1016/j.jacc.2015.12.056.

## REFERENCES

1. Corti R., Fuster V. Imaging of atherosclerosis: magnetic resonance imaging. *European Heart Journal*. 2011; 32(14):1709-1719. doi:10.1093/eurheartj/ehr068.
2. Zhang L., Zhang N., Wu J., Zhang L., Huang Y., Liu X., Chung Y.C. High resolution three dimensional intracranial arterial wall imaging at 3 T using T1 weighted SPACE. *Magn Reson Imaging*. 2015; 33(9):1026-1034. doi:10.1016/j.mri.2015.06.006.

3. Maksimova A.S., Lishmanov Yu.B., Ussov W.Yu. Role of magnetic resonance imaging in studies of atherosclerosis of aorta. REJR. 2018; 8(4):184-193. (In Russian). doi:10.21569/2222-7415-2018-8-4-184-193.
4. Han Y., Guan M., Zhu Z., Li D., Chen H., Yuan C., Li C., Wang W., Zhao X. Assessment of longitudinal distribution of subclinical atherosclerosis in femoral arteries by three-dimensional cardiovascular magnetic resonance vessel wall imaging. Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance. 2018; 20:60. doi:10.1186/s12968-018-0482-7.
5. Koskinas K.C., Ughi G.J., Windecker S., Tearney G.J., Räber L. Intracoronary imaging of coronary atherosclerosis: validation for diagnosis, prognosis and treatment. European Heart Journal. 2016; 37(6):524-535. doi:10.1093/eurheartj/ehv642.
6. Tarkin J.M., Dweck M.R., Evans N.R., Takx R.A., Brown A.J., Tawakol A., Fayad Z.A., Rudd J.H. Imaging Atherosclerosis. Circulation Research. 2016; 118:750-769. doi:10.1161/CIRCRESAHA.115.306247.
7. Maximova A.S., Babokin V.E., Bukhovets I.L., et al. Contrast-enhanced MRI of aortal atherosclerosis syndrome types and prediction of dissection. Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance. 2015; 17(1):256. doi:10.1186/1532-429X-17-S1-P256.
8. Wagner S., Schnorr J., Ludwig A., Stangl V., Ebert M., Hamm B., Taupitz M. 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; 8:767-779. doi:10.2147/IJN.S38702.
9. Li T., Zhao X., Liu X., Gao J., Zhao S., Li X., Zhou W., Cai Z., Zhang W., Yang L. Evaluation of the early enhancement of coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced MR angiography. European Journal of Radiology. 2011; 80(1): 136-142. doi:10.1016/j.ejrad.2010.07.020.
10. Porambo M.E., DeMarco J.K. MR imaging of vulnerable carotid plaque. Cardiovascular Diagnosis and Therapy. 2020; 10(4):1019-1031. doi: 10.21037/cdt.2020.03.12.
11. Altaf N., Stephen D.G., Beech A., Gladman J.R., Morgan P.S., MacSweeney S.T., Auer D.P. Plaque hemorrhage is a marker of thromboembolic activity in patients with symptomatic carotid disease. Radiology. 2011; 258(2):538-45. doi:10.1148/radiol.10100198.
12. Qiao H., Li D., Cao J., Qi H., Han Y., Han H., Xu H., Wang T., Chen S., Chen H., Wang Y., Zhao X. Quantitative evaluation of carotid atherosclerotic vulnerable plaques using in vivo T1 mapping cardiovascular magnetic resonance: validation by histology. Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance. 2020; 22(1):38. doi:10.1186/s12968-020-00624-0.
13. Bobrikova E.E., Maksimova A.S., Lukyanenok P.I., Aptekar V.D., Plotnikov M.P., Gusakova A.M., Ussov W.Yu. Magnetic resonance imaging with paramagnetic contrast enhancement as a tool for the control of antiatherosclerotic treatment with atorvastatine in case of carotid stenosis. The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine. 2015; 30(2):96-101. (In Russian). doi:10.29001/2073-8552-2015-30-2-96-101
14. Cui Y., Qiao H., Ma L., Lu M., Yang J., Yao G., Cai J., Zhao X. Association of age and size of carotid artery intraplaque hemorrhage and minor fibrous cap disruption: a high resolution magnetic resonance imaging study. Journal of Atherosclerosis and Thrombosis. 2018; 25:1222-30. doi:10.5551/jat.43679.
15. Avci A.Y., Lakadamyali H., Arikan S., Benli U.S., Kilinc M. High sensitivity C-reactive protein and cerebral white matter hyperintensities on magnetic resonance imaging in migraine patients. The Journal of Headache and Pain. 2015; 16:9. doi:10.1186/1129-2377-16-9.
16. Watase H., Sun J., Hippe D.S., Balu N., Li F., Zhao X., Mani V., Fayad Z.A., Fuster V., Hatsukami T.S., Yuan C. Carotid Artery Remodeling is Segment Specific: An in Vivo Study by Vessel Wall Magnetic Resonance Imaging. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology. 2018; 38(4):927-934. doi: 10.1161/ATVBAHA.117.310296.
17. Qi H., Sun J., Qiao H., Chen S., Zhou Z., Pan X., Wang Y., Zhao X., Li R., Yuan C., Chen H. Carotid intraplaque hemorrhage imaging with quantitative vessel wall T1 mapping: technical development and initial experience. Radiology. 2018; 287:276-84. doi:10.1148/radiol.2017170526.
18. Zavodni A.E., Wasserman B.A., McClelland R.L., Gomes A.S., Folsom A.R., Polak J.F., Lima J.A., Bluemke D.A. Carotid artery plaque morphology and composition in relation to incident cardiovascular events: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). Radiology. 2014; 271:381-9. doi:10.1148/radiol.14131020.
19. Wüst R.C.I., Calcagno C., Daal M.R.R., Nederveen A.J., Coolen B.F., Strijkers G.J. Emerging Magnetic Resonance Imaging Techniques for Atherosclerosis Imaging. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology. 2019; 39(5):841-849. doi: 10.1161/ATVBAHA.118.311756.
20. Максимова А.С., Бабокин В.Е., Буховец И.Л., Бобрикова Е.Э., Роговская Ю.В., Лукьяненко П.И., Усов В.Ю. МР-томографическая картина атеросклеротического поражения аортальной стенки при парамагнитном контрастировании. Атеросклероз. 2014; 10(3):13-19.
21. Усов В.Ю., Мочула О.В., Рюмшина Н.И., Максимова А.С., Фальковская А.Ю., Ярошевский С.П., Лучич М., Лукьяненко П.И., Беличенко О.И. Патологический неоваскулогенез стенки аорты как предиктор повреждения миокарда у пациентов с артериальной гипертензией, по данным МР-томографического исследования с контрастным усилением. Терапевт. 2018; 1-2:17-27.
22. Kojima K., Kimura Sh., Hayasaka K. Aortic plaque distribution, and association between aortic plaque and atherosclerotic risk factors: an aortic angiography study. Journal of Atherosclerosis and Thrombosis. 2019; 26(11):997-1006. doi:10.5551/jat.48181.
23. Laclaustra M., Casasnovas J.A., Fernández-Ortiz A., Fuster V., León-Latre M., Jiménez-Borreguero L.J., Pocovi M., Hurtado-Roca Y., Ordovas J.M., Jarauta E., Guallar E., Ibañez B., Civeira F. Femoral and carotid subclinical atherosclerosis association with risk factors and coronary calcium: The AWHs Study. Journal of the American college of cardiology. 2016; 67:1263-1274. doi:10.1016/j.jacc.2015.12.056.

**Для цитирования:** Максимова А.С., Синицын В.Е., Усов В.Ю. Магнитно-резонансная томография с контрастным усилением в ранней оценке атеросклеротического поражения стенки брюшной аорты и общих подвздошных артерий. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2022;11(3): 8-16. DOI: 10.17802/2306-1278-2022-11-3-8-16

**To cite:** Maksimova A.S., Sinitsyn V.E., Usov V.Yu. Contrast enhanced magnetic resonance imaging in early assessment of atherosclerotic lesion of abdominal aortic wall and common iliac arteries. Complex Issues of Cardiovascular Diseases. 2022;11(3): 8-16. DOI: 10.17802/2306-1278-2022-11-3-8-16