

Артефакты при магнитно-резонансной томографии сердца: способы устранения и правильной интерпретации

Краковская К.А.¹, Железняк И.С.^{1,2}, Труфанов Г.Е.^{1,2}, Рудь С.Д.^{1,2},
Меньков И.А.², Грищенко А.С.², Кравчук В.Н.², Тишко В.В.²

¹ ФГБУ «Федеральный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург, Россия

Cardiac Magnetic Resonance Imaging Artifacts: Correction and Proper Interpretation

Krakovskaya K.A.^{1,2}, Zheleznyak I.S.^{1,2}, Trufanov G.E.^{1,2}, Rud S.D.^{1,2},
Menkov I.A.², Grischenkov A.S.², Kravchuk V.N.², Tishko V.V.²

¹ Federal Almazov Medical Research Centre, St. Petersburg, Russia

² S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Цель исследования: описание артефактов при МРТ сердца и разработка способов их устранения или правильной интерпретации.

Материал и методы. На магнитно-резонансном томографе 1,5 Тл обследовано 156 пациентов с ишемической болезнью сердца. Методика МРТ сердца с контрастным усилением включала оценку сократительной функции левого желудочка, визуализацию отека и острого повреждения миокарда, оценку перфузии и рубцовых изменений миокарда.

Результаты. Различные артефакты при проведении МРТ сердца с контрастным усилением были визуализированы практически у каждого обследованного пациента. Качество визуализации сердца при МРТ напрямую зависело от частоты сердечных сокращений и регулярности ритма. На качество изображений также влиял ток крови в полостях сердца и крупных сосудах. Кроме того, возникли артефакты от коронарных стентов, сосудистых клипс, серкляжа грудины, наложения других органов. Во время исследования часто наблюдались артефакты «гиперинтенсивного миокарда» и «темного ободка», которые имитировали отек эндокарда и дефект перфузии миокарда.

Выводы. Несмотря на наличие определенных артефактов, которые могут влиять на качество изображений и их анализ, существуют эффективные способы устранения или уменьшения ряда артефактов. Артефакты «гиперинтенсивного эндокарда» и «темного ободка» можно дифференцировать с истинной патологией.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, сердце, артефакты, устранение, интерпретация.

The aim of the study was to describe the cardiac magnetic resonance imaging artifacts and to develop ways to eliminate or interpret them.

Materials and methods. 1.5 T contrast-enhanced cardiac magnetic resonance imaging was performed 156 patients with coronary artery disease. Technique of cardiac MRI included an assessment of left ventricular contractility, visualization of edema and acute myocardial damage, assessment of perfusion and myocardial scarring.

Results. Various artifacts during cardiac MRI with contrast enhancement were visualized in almost every patient. The quality of cardiac magnetic resonance imaging depended on heart rate and blood flow in the cavities. In addition there were artifacts from the coronary stents, vascular clips, sternum's cerclage, as well as overlaying other organs and structures. During the study, were frequently observed "hyperintense endocardium" and "dark rim" artifacts which simulated endocardial edema and myocardial perfusion defect.

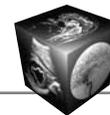
Conclusion. The study found that despite the presence of certain artifacts that can affect the quality of the images and their analysis, there are effective ways to eliminate or reduce them. "Hyperintense endocardium" and "dark rim" artifacts can be distinguished from true pathology.

Key words: cardiac magnetic resonance imaging, heart, artifacts, correction, interpretation.

Введение

Визуализация сердца является сложной задачей в МРТ, так как его оси не совпадают с анатомическими осями человека, оно быстро сокращается и смещается при дыхании, в полостях сердца находится быстро движущаяся кровь, в то же время минимальные структурные изменения могут приводить к значительным функциональным нарушениям.

МРТ сердца с контрастным усилением является эффективным методом диагностики структур-



ных и функциональных изменений миокарда как при ишемической болезни сердца, так и при коронарогенных заболеваниях миокарда [1, 2].

Методика позволяет за одно исследование оценить клапаны и полости сердца, визуализировать зоны отека, ишемии и фиброзных изменений миокарда, а также оценить локальную сократимость и глобальную функцию левого желудочка [3–5]. Однако при проведении исследования врачи могут столкнуться с рядом артефактов, которые нужно компенсировать или дифференцировать с истинной патологией. В литературе описывают сложности визуализации и артефакты, возникающие при оценке сократительной функции левого желудочка, перфузии и отеке миокарда, при имплантированных коронарных стентах [6–9].

МРТ сердца выполняют с синхронизацией сканирования с ЭКГ, поэтому качество визуализации напрямую зависит от частоты сердечных сокращений и регулярности ритма. Многие артефакты возникают как из-за сокращения сердца, так и вследствие оптимизации импульсных последовательностей к малому времени сбора данных [10–12].

Цель исследования

Описать артефакты при выполнении МРТ сердца и предложить способы их устранения или правильной интерпретации.

Материал и методы

На магнитно-резонансном томографе 1,5 Тл обследовано 156 пациентов с ишемической болезнью сердца. Исследуемая группа состояла преимущественно из мужчин (N = 135, 86,5%) в возрасте от 43 до 72 лет (в среднем $55 \pm 10,2$ года). В зависимости от нозологической формы заболевания методика исследования состояла из следующих этапов:

- оценка сократительной функции сердца после выполнения ориентировочных сканов;
- проведение фармакологической нагрузки с использованием аденозинтрифосфата (или получение T2-взвешенных изображений для визуализации отека при остром инфаркте миокарда);
- введение контрастного препарата и оценка перфузии миокарда по методике “первого прохождения” контрастного вещества;
- выполнение отсроченного сканирования через 15 мин для визуализации острого повреждения и рубцовых изменений миокарда.

Результаты

При проведении исследования был выявлен ряд артефактов, которые могут влиять на качество изображений и их анализ.

При частоте сердечных сокращений (ЧСС) более 80 в 1 мин возникают артефакты от быстрого движения стенок сердца, проявляющиеся смазанностью контуров миокарда (рис. 1).

Для корреспонденции: Краковская Кристина Александровна – 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, д. 2, Федеральный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, +7-812-702-37-06. E-mail: krakovskaya@almazovcentre.ru

Краковская Кристина Александровна – аспирант Федерального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова; Железняк Игорь Сергеевич – канд. мед. наук, докторант кафедры рентгенологии и радиологии (с курсом ультразвуковой диагностики) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, младший научный сотрудник НИЛ КТ Федерального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова; Труфанов Геннадий Евгеньевич – доктор мед. наук, профессор, заведующий кафедрой рентгенологии и радиологии (с курсом ультразвуковой диагностики) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, заведующий НИО лучевой диагностики Федерального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова; Рудь Сергей Дмитриевич – канд. мед. наук, доцент кафедры рентгенологии и радиологии (с курсом ультразвуковой диагностики) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, младший научный сотрудник НИЛ КТ Федерального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова; Меньков Игорь Анатольевич – врач-рентгенолог рентгеновского отделения (компьютерной томографии) кафедры рентгенологии и радиологии (с курсом ультразвуковой диагностики) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; Грищенко Александр Сергеевич – врач-рентгенолог рентгеновского отделения (компьютерной томографии) кафедры рентгенологии и радиологии (с курсом ультразвуковой диагностики) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; Кравчук Вячеслав Николаевич – канд. мед. наук, старший преподаватель факультетской хирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; Тишко Валерий Владимирович – канд. мед. наук, заместитель начальника кафедры факультетской терапии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова.

Contact: Krakovskaya Kristina Aleksandrovna – 197341 Saint-Petersburg, Akkuratova str., 2, Federal Almazov Medical Research Centre. Phone: +7-812-702-37-06. E-mail: krakovskaya@almazovcentre.ru

Krakovskaya Kristina Aleksandrovna – graduate student of the Federal Almazov Medical Research Centre; Zheleznyak Igor Sergeevich – cand. of med. sci., doctorant of the radiology department of the S.M. Kirov Military Medical Academy, junior researcher of the CT laboratory of the Federal Almazov Medical Research Centre; Trufanov Gennadiy Evgenyevich – doct. of med. sci., professor, head of the radiology department of the S.M. Kirov Military Medical Academy, head of the radiology research department of the Federal Almazov Medical Research Centre; Rud Sergey Dmitrievich – cand. of med. sci., lecturer of the radiology department of the S.M. Kirov Military Medical Academy, junior researcher of the CT laboratory of the Federal Almazov Medical Research Centre; Menkov Igor Anatolyevich – radiologist of the radiology department (CT) of the Military Medical Academy; Grischenkov Aleksandr Sergeevich – radiologist of the radiology department (CT) of the S.M. Kirov Military Medical Academy; Kravchuk Vyacheslav Nikolaevich – cand. of med. sci., senior lecturer of the faculty surgery department of the S.M. Kirov Military Medical Academy; Tishko Valeriy Vladimirovich – cand. of med. sci., deputy head of the faculty therapy department of the S.M. Kirov Military Medical Academy.

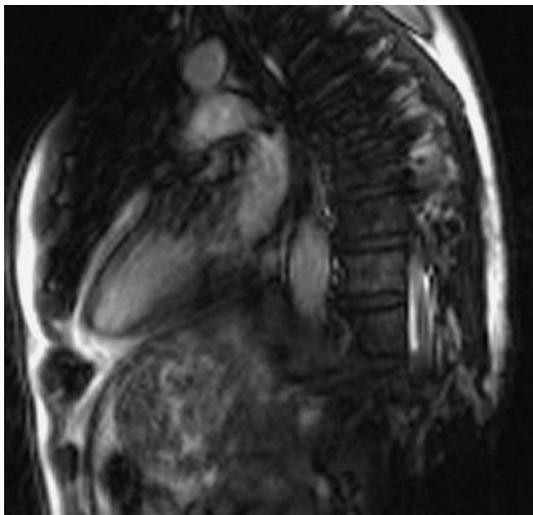


Рис. 1. МРТ-изображение сердца, срез в 2-камерном сечении по длинной оси левого желудочка. ЧСС пациента 103 в 1 мин. Левый желудочек оценить не удается за счет нечеткости и смазанности его контуров.

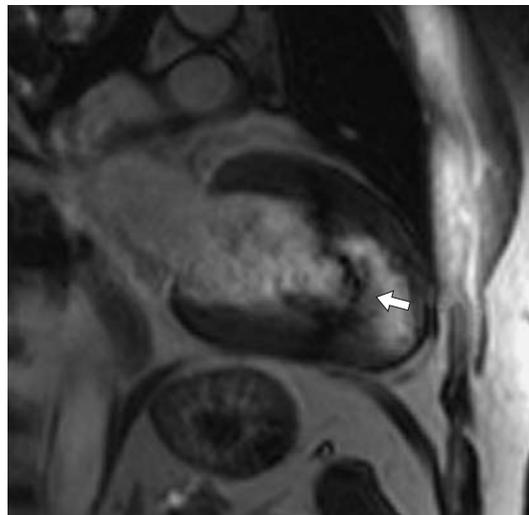


Рис. 2. МРТ-изображение, срез в 2-камерном сечении по длинной оси левого желудочка. В средней 1/3 левого желудочка визуализируется артефакт “темного потока” (стрелка), требующий ручной корректировки контуров миокарда при анализе сократительной функции.

Внутривенное введение аденозинтрифосфата в ходе фармакологической нагрузки снижает ЧСС на 5–10 в 1 мин. Если фармакологическая нагрузка не планируется, то для уменьшения желудочковой тахикардии рекомендуется применение селективных бета-адреноблокаторов. Пероральный прием 50 мг метапролола у большинства пациентов позволяет в течение 30–40 мин снизить ЧСС на 10–15 в 1 мин. Дробное внутривенное введение 5 мг метапролола в течение 3–5 мин позволяет добиться того же эффекта намного быстрее.

При оценке сократимости с использованием кинопоследовательностей быстрый ток крови в полостях сердца может вызывать неоднородность основного магнитного поля, что проявляется в виде неровных линейных зон гипоинтенсивного сигнала – артефакт “темного потока” (dark flow artifact) (рис. 2). Этот артефакт снижает точность автоматического определения контуров миокарда при компьютерном анализе сократительной функции сердца, требуя их ручной корректировки. Устранить этот артефакт помогает изменение направления фазового кодирования и положения среза.

В использованной методике в большей части протоколов данные собирались за одну задержку дыхания, однако для оценки перфузии миокарда требовалось 30–40 с. Неиспользование задержки дыхания или ее выполнение в начале сканирования, сразу после введения контрастного вещества приводит к ухудшению визуализации дефектов перфузии миокарда за счет смещения сердца при дыхании. Максимальная разница в интенсивности сигнала между интактным и ишемизированным миокардом

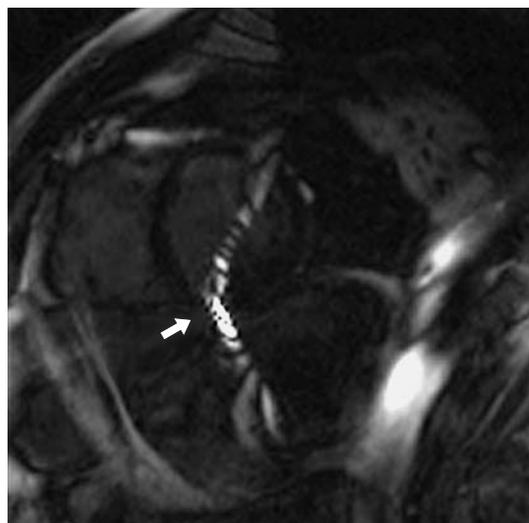


Рис. 3. МРТ-изображение, отсроченное сканирование, срез по короткой оси левого желудочка. На полость левого желудочка накладываются изображения других органов (стрелка).

составляет 30–35% и наблюдается с 16-й по 21-ю секунду от начала введения контрастного вещества.

Выполнение задержки пациентом дыхания не с начала сканирования, а через 10 с (5 с нужно на выполнение команды) обеспечивает неподвижность сердца в момент лучшего контрастирования миокарда и улучшает качество перфузионных изображений.

На качество изображений также могут влиять артефакты от наложения других органов, чаще от левой верхней конечности (рис. 3). Устранить эти

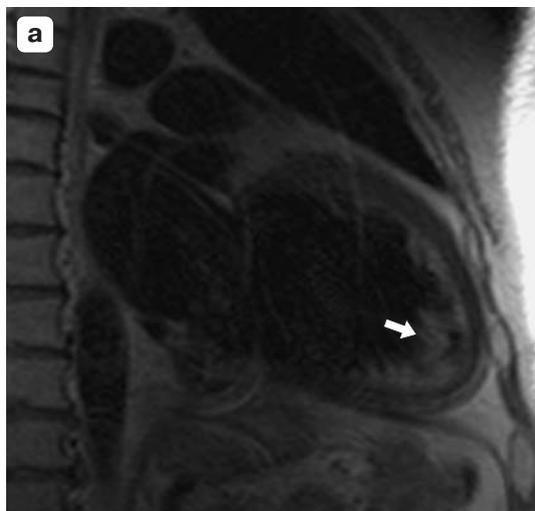
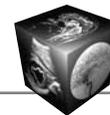


Рис. 4. МРТ-изображение. а – на T2-взвешенном изображении в 2-камерной проекции по длинной оси левого желудочка визуализируется артефакт “гиперинтенсивного эндокарда” (стрелка), имитирующий отек; б – на SSFP-изображении в 2-камерном сечении по длинной оси левого желудочка видна истинная толщина стенки (стрелка).

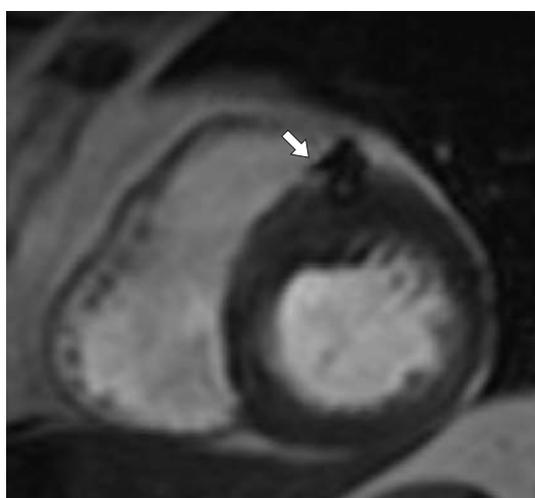


Рис. 5. МРТ-изображение, срез по короткой оси левого желудочка. Артефакты от имплантированного коронарного стента (стрелка) практически не влияют на качество визуализации сердца.

артефакты позволяет исключение левой верхней конечности из поля исследования (положение пациента на спине с левой рукой вверх), увеличение размера поля исследования и изменение ориентации срезов.

На T2 турбо-спин-эхо взвешенных изображениях замедленный турбулентный ток крови около трабекул эндокарда и папиллярных мышц дает гиперинтенсивный сигнал, имитирующий отек эндокарда (рис. 4, а). На появление артефакта “гиперинтенсивного эндокарда” влияет компактность эндокардиального слоя. Для исключения отека эндокарда необходимо сравнить толщину миокарда с киноизображениями подвижного мио-

карда, на которых видна его истинная толщина (рис. 4, б). Аналогичные артефакты от тока крови могут возникать и на T1-взвешенных изображениях, для их устранения целесообразно применение сатурации сигнала от текущей крови на область предсердий параллельно плоскости получаемого среза.

Установленный коронарный стент, серкляж грудины, сосудистые клипсы шунтов не являются противопоказанием к проведению исследования. Исследование без риска для пациента может выполняться даже в ранние сроки после стентирования [13–15]. Но визуализировать стент, его просвет и окружающие ткани невозможно из-за возникновения артефактов от металла (рис. 5). Однако эти артефакты имеют небольшой размер и не влияют на качество визуализации остального миокарда и полостей сердца.

Наиболее сложным для интерпретации является артефакт “темного ободка” (dark rim artifact), возникающий при оценке перфузии миокарда. Данный артефакт чаще всего визуализируется в межжелудочковой перегородке в виде тонкой субэндокардиальной зоны гипоинтенсивного сигнала в момент максимального контрастирования полости левого желудочка (рис. 6, а). Артефакт “темного ободка” образуется в результате интерполяции соседних пикселей с большой разницей в интенсивности сигнала. В отличие от артефакта “темного ободка” истинный дефект перфузии (рис. 6, б) наблюдается не только в момент максимального контрастирования полости левого желудочка, но и сохраняется более длительное время. Дифференциальная диагностика данного артефакта и истинной патологии требует определен-

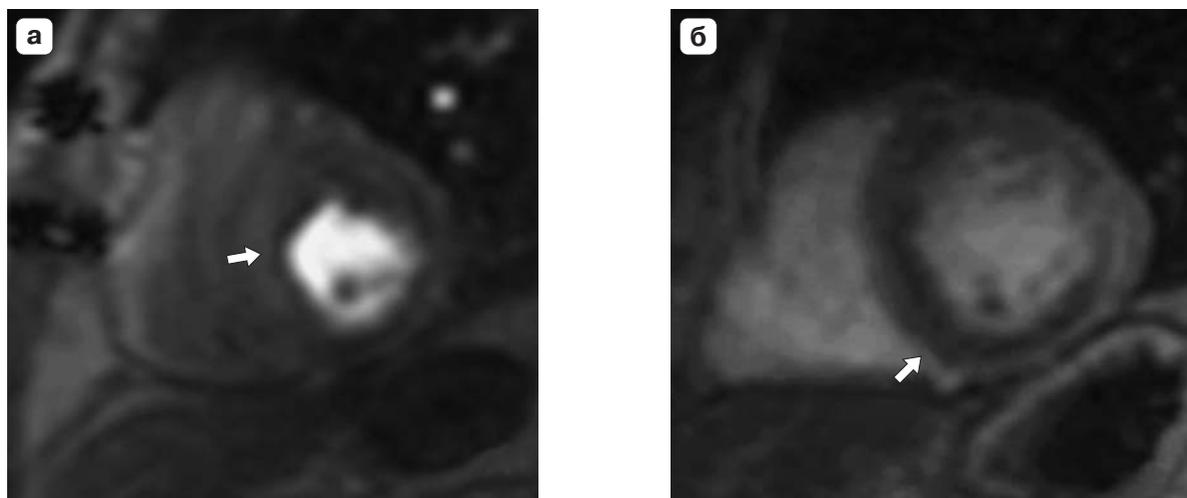


Рис. 6. МРТ-изображение, оценка перфузии миокарда, изображения по короткой оси левого желудочка. а – в раннюю фазу контрастирования левого желудочка визуализируется тонкий субэндокардиальный артефакт “темного ободка” (стрелка) в области перегородки; б – в позднюю фазу контрастирования левого желудочка сохраняется трансмуральный дефект перфузии миокарда перегородки с переходом на заднюю стенку (стрелка).

ного опыта, их сравнительные характеристики представлены в таблице.

Обсуждение

При проведении МРТ любой области человеческого организма могут возникать различные артефакты, связанные с физическими основами метода и использованными импульсными последовательностями. Исследование сердца не исключение, кроме того, синхронизация сканирования с ЭКГ и адаптация импульсных последовательностей к короткому времени сбора данных приводят к появлению новых артефактов.

Артефакты при МРТ тела широко освещены в литературе, однако особенности артефактов при МРТ сердца описаны только в единичных зарубежных публикациях [10–12]. При этом значимость артефактов при МРТ сердца очень высока, так как они влияют на визуализацию небольших структурных изменений в сердце, которые могут приводить к значительным функциональным нарушениям. Физические основы возникновения артефакта “тонкого ободка” детально описаны в работах

E.V.R. Di Bella и соавт. (2005) [6], P. Ferreira и соавт. (2009) [7], однако его сравнительная характеристика с истинными дефектами перфузии мало освещена. В нашем исследовании сделана попытка описания специфических артефактов, которые наиболее часто возникают при МРТ сердца, а также разработки простых способов их компенсации или устранения. Разработанные критерии дифференциальной диагностики артефакта “тонкого ободка” и истинного дефекта перфузии позволяют надежно дифференцировать эти два состояния. Предложенные методы укладки пациента и задержки дыхания ранее в литературе не описывались.

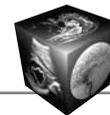
Заключение

При проведении МРТ сердца с контрастным усилением могут возникать различные артефакты, которые влияют на качество и интерпретацию изображений.

Использование кардиоселективных бета-адреноблокаторов или аденозинтрифосфата в качестве фармакологической нагрузки позволяет уменьшить ЧСС и устранить артефакты от движения

Сравнительные характеристики истинного дефекта перфузии миокарда и артефакта “темного ободка”

Критерий	Истинный дефект перфузии миокарда	Артефакт “темного ободка”
Локализация	В любом сегменте левого желудочка, локализация связана с бассейнами кровоснабжения коронарных артерий	Чаще всего в перегородке
Толщина	Субэндокардиальный, трансмуральный, чем толщина больше, тем больше вероятность истинного дефекта перфузии миокарда	Тонкий, субэндокардиальный
Длительность визуализации	Большая, визуализируется даже когда в полости левого желудочка мало контрастного вещества	Короткая, визуализируется только в момент максимального контрастирования полости левого желудочка



сердца. Наиболее эффективно внутривенное введение бета-адреноблокаторов.

Изменение направления фазового кодирования и положения среза позволяет устранить артефакт “темного потока”.

Оптимизация задержки пациентом дыхания дает возможность улучшить качество перфузионных изображений за счет устранения артефактов от движения сердца при дыхании.

Предложенная укладка пациента позволяет устранить артефакты от наложения других органов.

Артефакты от стентов, сосудистых клипс, серкляжа грудины практически не влияют на качество визуализации сердца.

Артефакты “гиперинтенсивного эндокарда” и “темного ободка” можно дифференцировать с истинной патологией.

Список литературы

1. To A.C., Desai M.Y. Role of cardiac magnetic resonance imaging in assessing ischemic and nonischemic cardiomyopathies. *Expert Rev. Cardiovasc. Ther.* 2012; 10 (2): 223–233.
2. Стукалова О.В. Магнитно-резонансная томография сердца с отсроченным контрастированием – новый метод диагностики заболеваний сердца. *Рос. электрон. журн. луч. диагн.* 2013; 3 (1): 7–17.
3. Ishida M., Kato S., Sakuma H. Cardiac MRI in ischemic heart disease. *Circ. J.* 2009; 73 (9): 1577–1588.
4. Florian A., Jurcut R., Ghingina C., Bogaert J. Cardiac magnetic resonance imaging in ischemic heart disease: a clinical review. *J. Med. Life.* 2011; 4 (4): 330–345.
5. Ahmed N., Carrick D., Layland J. et al. The role of cardiac magnetic resonance imaging (MRI) in acute myocardial infarction (AMI). *Heart Lung Circ.* 2013; 22 (4): 243–255.
6. Di Bella E.V.R., Parker D.L., Sinusas A.J. On the dark rim artifact in dynamic contrast-enhanced MRI myocardial perfusion studies. *Magn. Reson. Med.* 2005; 54 (5): 1295–1299.
7. Ferreira P., Gatehouse P., Kellman P. et al. Variability of myocardial perfusion dark rim Gibbs artifacts due to subpixel shifts. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2009; 11: 17–27.
8. Qayyum A.A., Vejstrup N.G., Ahtarovski K.A. et al. Coronary artery stent mimicking intracardiac thrombus on cardiac magnetic resonance imaging due to signal loss: case report. *Magn. Reson. Imaging.* 2012; 30 (6): 889–892.
9. James S.H., Wald R., Wintersperger B.J. et al. Accuracy of right and left ventricular functional assessment by short-axis vs axial cine steady-state free-precession magnetic resonance imaging: inpatient correlation with main pulmonary artery and ascending aorta phase-contrast flow measurements. *Can. Assoc. Radiol. J.* 2013; 64 (3): 213–219.
10. Saremi F., Grizzard J.D., Kim R.J. Optimizing cardiac MR imaging: practical remedies for artifacts. *Radiographics.* 2008; 28 (4): 1161–1187.
11. Smith T., Nayak K. MRI artifacts and correction strategies. *Imaging Med.* 2010; 2 (4): 445–457.
12. Ferreira P.F., Gatehouse P.D., Mohiaddin R.H., Firmin D.N. Cardiovascular magnetic resonance artifacts. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2013; 15: 41–80.

13. Patel M.R., Albert T.S.E., Kandzari D.E. et al. Acute myocardial infarction: safety of cardiac MR imaging after percutaneous revascularization with stents. *Radiology.* 2006; 240 (3): 674–680.
14. Синицын В.Е., Стукалова О.В., Куприянова О.М. и др. Безопасность магнитно-резонансной томографии после коронарного стентирования. *Кардиология.* 2007; 47 (6): 94–96.
15. Lopic N., Jelen A., Vrtnik S. et al. Quantitative determination of magnetic force on a coronary stent in MRI. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2013; 37 (2): 391–397.

References

1. To A.C., Desai M.Y. Role of cardiac magnetic resonance imaging in assessing ischemic and nonischemic cardiomyopathies. *Expert Rev. Cardiovasc. Ther.* 2012; 10 (2): 223–233.
2. Stukalova O.V. Magnetic resonance imaging of the heart with delayed contrast enhancement – a new method for diagnosis of heart diseases. *Rossiskiy elektronnyy zhurnal luchevoy diagnostiki.* 2013; 3 (1): 7–17. (in Russian)
3. Ishida M., Kato S., Sakuma H. Cardiac MRI in ischemic heart disease. *Circ. J.* 2009; 73 (9): 1577–1588.
4. Florian A., Jurcut R., Ghingina C., Bogaert J. Cardiac magnetic resonance imaging in ischemic heart disease: a clinical review. *J. Med. Life.* 2011; 4 (4): 330–345.
5. Ahmed N., Carrick D., Layland J. et al. The role of cardiac magnetic resonance imaging (MRI) in acute myocardial infarction (AMI). *Heart Lung Circ.* 2013; 22 (4): 243–255.
6. Di Bella E.V.R., Parker D.L., Sinusas A.J. On the dark rim artifact in dynamic contrast-enhanced MRI myocardial perfusion studies. *Magn. Reson. Med.* 2005; 54 (5): 1295–1299.
7. Ferreira P., Gatehouse P., Kellman P. et al. Variability of myocardial perfusion dark rim Gibbs artifacts due to subpixel shifts. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2009; 11: 17–27.
8. Qayyum A.A., Vejstrup N.G., Ahtarovski K.A. et al. Coronary artery stent mimicking intracardiac thrombus on cardiac magnetic resonance imaging due to signal loss: case report. *Magn. Reson. Imaging.* 2012; 30 (6): 889–892.
9. James S.H., Wald R., Wintersperger B.J. et al. Accuracy of right and left ventricular functional assessment by short-axis vs axial cine steady-state free-precession magnetic resonance imaging: inpatient correlation with main pulmonary artery and ascending aorta phase-contrast flow measurements. *Can. Assoc. Radiol. J.* 2013; 64 (3): 213–219.
10. Saremi F., Grizzard J.D., Kim R.J. Optimizing cardiac MR imaging: practical remedies for artifacts. *Radiographics.* 2008; 28 (4): 1161–1187.
11. Smith T., Nayak K. MRI artifacts and correction strategies. *Imaging Med.* 2010; 2 (4): 445–457.
12. Ferreira P.F., Gatehouse P.D., Mohiaddin R.H., Firmin D.N. Cardiovascular magnetic resonance artifacts. *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2013; 15: 41–80.
13. Patel M.R., Albert T.S.E., Kandzari D.E. et al. Acute myocardial infarction: safety of cardiac MR imaging after percutaneous revascularization with stents. *Radiology.* 2006; 240 (3): 674–680.
14. Sinitsyn V.E., Stukalova O.V., Kupriyanova O.M. et al. Safety of magnetic resonance imaging after coronary stenting. *Kardiologiya.* 2007; 47 (6): 94–96. (in Russian)
15. Lopic N., Jelen A., Vrtnik S. et al. Quantitative determination of magnetic force on a coronary stent in MRI. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2013; 37 (2): 391–397.