

МРТ И ЭЛЕКТРОКАРДИОСТИМУЛЯТОРЫ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Васюков С.С.¹, Кузьменков Д.В.¹,
Устюжанин Д.В.², Шария М.А.^{1,2}

Импантированный кардиостимулятор до недавнего времени являлся абсолютным противопоказанием к проведению МРТ вне зависимости от области исследования. То есть после установки кардиостимулятора пациенты лишались возможности в течение всей жизни, в случае необходимости, получать ту диагностическую информацию, которую предоставляет МРТ. В последние годы, были разработаны и внедрены в клиническую практику новые типы имплантируемых устройств, которые совместимы с МРТ, что позволяет провести обследование данной категории пациентов, в том числе МР-исследование сердца. В обзоре освещены вопросы безопасности проведения МРТ у пациентов с имплантированными МР-совместимыми электрокардиостимуляторами, рассмотрены особенности проведения, отличия от рутинной процедуры, проанализированы качество и интерпретируемость получаемых изображений как в зоне имплантации собственно ЭКС, так и в области электродов.

Ключевые слова: МРТ, магнитно-резонансная томография, компьютерная томография, МРТ-совместимая система электрокардиостимуляции, электрокардиостимулятор, эндокардиальный электрод.

Контактный автор: Васюков С.С., e-mail: ss-card@mail.ru

Для цитирования: Васюков С.С., Кузьменков Д.В., Устюжанин Д.В., Шария М.А. МРТ и электрокардиостимуляторы: современное состояние проблемы. REJR 2021; 11(1):72-77. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-72-77.

Статья получена: 30.12.20

Статья принята: 04.02.21

MRI AND CARDIAC PACEMAKERS: CURRENT STATUS

Vasyukov S.S.¹, Kuzmenkov D.V.¹, Ustyuzhanin D.V.², Shariya M.A.^{1,2}

Purpose. Until recently, an implanted pacemaker was an absolute contraindication to MRI, regardless of the field of study. Patients with pacemakers couldn't undergo MRI and get the diagnostic information. In recent years, new types of implantable devices that are compatible with MRI have been developed and introduced into clinical practice. This allowed MRI examinations for such patients, including cardiac studies. The review focused on the safety of MRI in patients with implanted MR-compatible pacemakers. The features of procedure, differences from the routine study are considered. The images quality and interpretability both in the implantation zone and in the area of the electrodes are discussed.

Keywords: MRI, magnetic resonance imaging, CT, computed tomography, MRI-compatible artificial cardiostimulation system, MR-conditional pacing system, artificial cardiostimulator, artificial cardiac pacemaker, artificial cardiostimulation device, artificial pacemaker, endocardial electrode.

Corresponding author: Vasyukov S.S. e-mail: ss-card@mail.ru

1 – ФГАОУ ВПО
Первый Московский
Государственный
Медицинский
Университет им. И.М.
Сеченова
(Сеченовский
Университет)
Минздрава РФ.
г. Москва, Россия.
2 – ФГБУ «Националь-
ный медицинский
исследовательский
центр кардиологии»
Минздрава России.
г. Москва, Россия.

1 - I.M. Sechenov First
Moscow State Medical
University (Sechenov
University).
2 - National Medical
Research Center of
Cardiology.
Moscow, Russia.

For citation: Vasyukov S.S., Kuzmenkov D.V., Ustyuzhanin D.V., Shariya M.A. MRI and cardiac pacemakers: current status. REJR 2021; 11(1):72-77. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-1-72-77.

Received: 30.12.20

Accepted: 04.02.21

Магнитно-резонансная томография (МРТ) в настоящее время является одним из наиболее востребованных методов диагностики в медицине. МРТ является неинвазивной диагностической методикой, которая, с одной стороны, является безопасной для здоровья человека, а с другой – позволяет получать результаты. Метод основан на явлении ядерно-магнитного резонанса, т. е. на измерении электромагнитного отклика ядер атомов водорода после возбуждения их определенной комбинацией электромагнитных волн в магнитном поле.

Виды МР-томографов и единица измерения магнитного поля.

Все магнитно-резонансные томографы можно условно разделить на три группы – низкочастотные, среднечастотные и высокочастотные. Такое деление обусловлено показателем напряженности магнитного поля, которое генерирует томограф. Единицей измерения напряженности магнитного поля является «Тесла» (Тл), которая получила свое название в честь сербского ученого Николы Тесла. Низкочастотные аппараты имеют напряженность до 0,5 Тл, среднечастотные – 0,5-1,5 Тл, высокочастотные – 2-3 Тл. Иногда также в отдельную группу выделяют сверхвысокочастотные аппараты мощностью более 3 Тл. В большинстве современных клиник в Российской Федерации сегодня установлены среднечастотные МР-томографы мощностью 1,5 Тл, реже встречаются высокочастотные аппараты мощностью 3 Тл и низкочастотные (менее 1,0 тесла). На аппаратах с полем выше 4-7 Тл МРТ в рутинной практике пока не проводится. Такие МР-томографы устанавливаются в настоящее время исключительно в научно-исследовательских лабораториях.

МРТ и современные электрокардиостимуляторы.

Ежегодно в Европе выполняется около 8 миллионов МРТ, и в дальнейшем число этих исследований будет только увеличиваться [1]. В Российской Федерации ежегодно выполняется около 1 миллиона МР-исследований. МРТ является наиболее востребованной процедурой в таких специальностях, как неврология, онкология, травматология и ортопедия, кардиология, урология, гинекология.

Еще 10 лет назад наличие у пациента имплантированного электрокардиостимулятора (ЭКС) являлось абсолютным противопоказанием

к проведению МРТ из-за риска создания помех в работе ЭКС, необратимого повреждения микросхемы ЭКС, нагревания и некроза миокарда в месте контакта электродов ЭКС, повреждения тканей, непосредственно прилегающих к корпусу ЭКС и др. [4, 7 - 9].

В Российской Федерации первое сообщение о применении МРТ у пациента с имплантированным ЭКС опубликовало ФГУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава РФ совместно с компанией Medtronic 13.08.2012 г. [2]. У пациента был имплантирован МРТ-совместимый ЭКС Advisa DR MRI производства компании Medtronic (рис. 1).

В 2013 году появилось сообщение об успешном проведении МРТ двум пациентам с имплантированными электрокардиостимуляторами Accent DR MRI производства компании St.Jude Medical (рис. 2) в Российском кардиологическом центре (ФГБУ РКНПК МЗ РФ) [3].

В настоящее время, по оценкам специалистов, в проведении МРТ по медицинским показаниям нуждаются до 75% пациентов с имплантированным ЭКС [5, 13, 15]. Учитывая эти данные, ведущие мировые производители ЭКС (Medtronic, Boston Scientific, Biotronik, St.Jude Medical) в течение 10 лет активно разрабатывают и внедряют в клиническую практику МРТ-совместимые технологии, позволяющие (при соблюдении определенных условий) проводить процедуру МРТ пациентам с имплантированными ЭКС.

Система электрокардиостимуляции (система ЭКС), которая имплантируется пациенту, помимо самого ЭКС, включает в себя электроды, которые проводятся трансвенозно и устанавливаются в полостях сердца. Таких эндокардиальных электродов в системе ЭКС может быть от одного до трех в зависимости от показаний. Таким образом, фирмы-производители разрабатывают и выпускают как МРТ-совместимые ЭКС, так и МРТ-совместимые эндокардиальные электроды.

Современные системы ЭКС можно разделить на две большие группы – МР-совместимые системы ЭКС и МР-несовместимые системы ЭКС. К последним, в частности, относятся все отечественные ЭКС и эндокардиальные электроды, а также некоторые импортные модели. МР-совместимые системы ЭКС, в свою очередь, можно условно разделить на частично МР-совместимые и полностью МРТ-совместимые.



Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. МРТ-совместимый электрокардиостимулятор Advisa DR MRI (Medtronic) с электродами (рисунок доступен на интернет-ресурсе: <https://www.medtronic.com>).

Fig. 1. MRI-conditional cardiac pacemaker Advisa DR MRI (from Medtronic) with electrodes.

(Available at: <https://www.medtronic.com>).



Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. МРТ-совместимый электрокардиостимулятор Accent DR MRI (St. Jude Medical/Abbot) с электродом (рисунок доступен на интернет-ресурсе: <https://www.cardiovascular.abbott>).

Fig. 2. MRI-conditional cardiac pacemaker Accent DR MRI (from St. Jude Medical/Abbot) with electrodes.

(Available at: <https://www.cardiovascular.abbott>).

Такое деление основано на рекомендациях производителя по проведению МРТ пациентам с МРТ-совместимой системой ЭКС. Так, пациентам с частично МРТ-совместимой системой ЭКС разрешается проводить исследование всех участков тела, за исключением грудной клетки (верхняя зона от позвонка С1 и выше, нижняя зона от позвонка L4 и ниже). Пациентам с полностью совместимыми МРТ-системами ЭКС разрешается проводить исследование всех участков тела (так называемая «full body» томография). Кроме того, частично и полностью МР-совместимые системы ЭКС различаются предельно допустимой мощностью магнитного поля томографа. Как правило, при наличии частично МР-совместимой системы ЭКС максимально допустимая мощность томографа при проведении исследования должна быть не более 1,5 Тл. При наличии полностью МРТ-совместимой системы ЭКС допускается обследование на томографе мощностью 3 Тл.

При этом необходимо отметить, что эндокардиальные электроды также имеют описанные выше рекомендации производителя по проведению МР-сканирования. Поэтому полностью МРТ-совместимой система ЭКС будет только тогда, когда и ЭКС, и эндокардиальные электроды удовлетворяют требованиям производителя для полностью МРТ-совместимых систем (режим сканирования «full body», мощность томографа 3 Тл) [14]. В других вариантах сочетания ЭКС и эндокардиальных электродов система кардиостимуляции будет частично

МРТ-совместимой.

Как же пациенту узнать, безопасно ли с имплантированным ему ЭКС выполнять МРТ? Конечно, ответ на этот вопрос пациент может узнать из подробной справочной информации, которая поставляется производителем вместе с электродами и самим ЭКС. Однако наиболее полную информацию о МРТ-совместимости имплантированного ему устройства пациенту должен предоставить врач, выполнивший операцию по установке ЭКС. Как правило, при выписке врач выдает пациенту специальное медицинское заключение, в котором указывает возможность выполнения и допустимые параметры МРТ.

Также, если пациенту имплантирована МРТ-совместимая система ЭКС, то фирма-производитель, как правило, выдает ему особую карту пациента, в которой указано, что система ЭКС является МРТ-совместимой. При отсутствии описанных выше документов, определить наличие МРТ-совместимой системы, в случае необходимости, можно с помощью соответствующих рентгеноконтрастных меток на корпусе ЭКС при рентгеноскопии (например, символы «MRI» или «PTA»), а также по наличию платиновых меток-колец на проксимальной части МР-совместимых электродов (рис. 3).

Проведение МРТ у пациента с МР-совместимой системой кардиостимуляции.

Перед проведением процедуры МРТ любой МР-совместимый ЭКС должен быть перенастро-

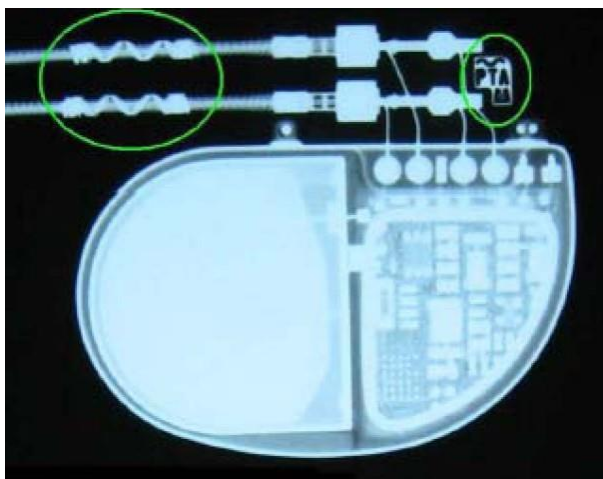


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. Рентгеноконтрастные метки на ЭКС и электродах (обозначены зелеными овалами) подтверждают, что система кардиостимуляции является МРТ-совместимой (рисунок в свободном доступе на интернет-ресурсе: <https://www.slideshare.net>).

Fig. 3. Radiopaque markers on the pacemaker and electrodes (see the ovals outlined with a green line) confirm that the pacing system is MRI-compatible.

(Available at: <https://www.slideshare.net>).



Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. Портативный активатор режима МРТ для электрокардиостимуляторов компании St. Jude Medical/Abbot (рисунок доступен на интернет-ресурсе: <https://www.cardiovascular.abbott>).

Fig. 4. Portable MRI mode activator for cardiac pacemakers from St. Jude Medical/Abbot. (Available at: <https://www.cardiovascular.abbott>)

ен в специальном защитном режиме, который заключается в проведении асинхронной стимуляции сердца с определенной частотой и увеличенной амплитудой стимулов [10, 12]. Такую перенастройку может выполнить либо врач, обладающий специальными навыками программирования имплантируемых устройств с помощью специального прибора (программатора), либо сам пациент с помощью портативного МРТ-активатора (если МРТ-активатор имеется у пациента, и он обучен им пользоваться), для самостоятельной активации и деактивации режима МРТ-совместимости ЭКС (рис. 4).

Также сама процедура МРТ пациентам с ЭКС проводится с дополнительными мерами предосторожности – необходим постоянный контроль гемодинамики у пациента (мониторинг ЭКГ, пульсоксиметрия, мониторинг АД), персонал кабинета МРТ должен быть готов к экстренной остановке томографа и проведению реанимационных мероприятий [11]. Также производителями ЭКС рекомендуется присутствие в кабинете МРТ во время проведения исследования специалиста по электрокардиостимуляции и программатора для экстренной проверки ЭКС. После завершения процедуры МРТ ЭКС должен быть проверен на предмет дисфункции и переведен обратно в обычный режим работы [6]. При наличии портативного МРТ-активатора, больной может самостоятельно перевести ЭКС в обычный режим работы, однако пациент должен в ближайшее время обратиться к специалисту по электрокардиостимуляции для полной проверки имплантированного ЭКС.

Обсуждение.

Несмотря на активное внедрение производителями в клиническую практику МРТ-совместимых систем кардиостимуляции и значительные успехи в этой области, в настоящее время остается нерешенным ряд спорных вопросов использования МРТ у пациентов с ЭКС.

Во-первых, остается нерешенной возможность сочетания МРТ-совместимых электродов и МРТ-совместимых ЭКС разных производителей. В настоящее время производители МРТ-совместимых ЭКС проводят их клинические и технические испытания только с МРТ-совместимыми электродами собственного производства и только при таком сочетании ЭКС и электродов у пациента допускают проведение МРТ, а также выполняют гарантийные обязательства в случае возникновения каких-либо технических неисправностей ЭКС после проведения МРТ. При сочетании МРТ-совместимого ЭКС с МРТ-совместимыми электродами другого производителя, фирма-производитель не дает разрешения на проведение МРТ и отказывается от гарантийных обязательств при возникновении каких-либо технических проблем с ЭКС в



Рис. 5 (Fig. 5)

Рис. 5. МРТ сердца, корональная проекция, T1-взвешенная спин-эхо последовательность.

Артефакт в проекции имплантированного ЭКС (стрелка).

Fig. 5. Cardiac MRI, frontal projection, T1-weighted spin-echo sequence.

Artifact in the projection of the implanted cardiac pacemaker (arrow).

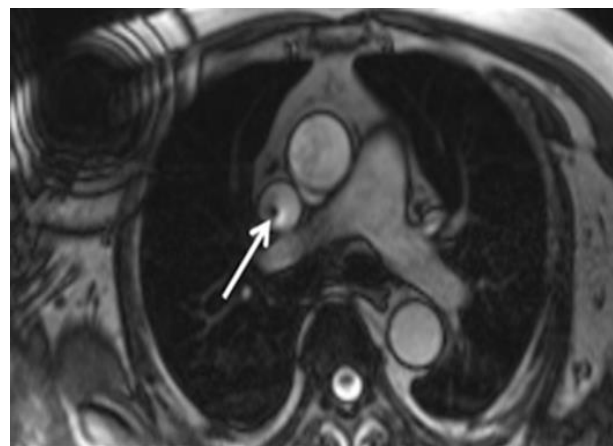


Рис. 6 (Fig. 6)

Рис. 6. МРТ сердца, аксиальная проекция, градиентная TRUFISP последовательность.

Артефакт от электрода в верхней полой вене (стрелка).

Fig. 6. Cardiac MRI, axial projection. Gradient TrueFISP sequence.

Artifact from the electrode in the superior vena cava (arrow).

случае проведения МРТ, хотя фактически такая система ЭКС является МРТ-совместимой.

Во-вторых, определенные сложности возникают в ситуациях, когда необходимо срочно выполнить МРТ пациенту с МРТ-совместимой системой ЭКС (например, пациенту с острым нарушением мозгового кровообращения) и отсутствует возможность быстро перевести ЭКС в защитный МРТ-режим (нет в доступности программатора для быстрой перенастройки ЭКС). В таких ситуациях врачу необходимо принимать решение или заменять МРТ другими исследованиями (например, компьютерной томографией), или выполнять МРТ без предварительного перепрограммирования ЭКС с риском повреждения или временного ингибирования ЭКС магнитным полем томографа.

В-третьих, остается нерешенной проблема артефактов от ЭКС и электродов при проведении МРТ сердца и органов грудной клетки, что в отдельных ситуациях значительно затрудняет интерпретацию результатов исследования (рис. 5, 6).

Решить описанные выше спорные вопросы производители ЭКС надеются, с одной сто-

роны, с помощью внедрения новых безэлектродных МРТ-совместимых ЭКС, которые непосредственно прикрепляются к эндокарду («NanoStim» Abbot, «Micra» Medtronic), с другой стороны, с помощью внедрения в ЭКС функции автоматической детекции МР-сканирования и переключения в защитный режим.

Заключение.

Таким образом, на протяжении последних 10 лет производителям ЭКС удалось создать и внедрить в клиническую практику полностью МРТ-совместимые системы кардиостимуляции. Это позволило начать проводить процедуру МРТ пациентам с МРТ-совместимыми ЭКС практически без ограничений. В то же время персонал кабинетов МРТ и сами пациенты с МРТ-совместимыми ЭКС должны соблюдать все необходимые меры безопасности как при подготовке, так и при проведении процедуры МРТ.

Источник финансирования и конфликт интересов.

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

Список литературы:

1. Бокерия О.А., Ахобеков А.А. Безопасность проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантированными электрокардиостимуляторами и кардиовертерами-дефибрилляторами. *Анналы аритмологии.*

2012; 2.
2. В России проведена первая процедура МРТ у пациента с имплантированным кардиостимулятором. URL: <http://himedtech.ru/news/9209.html> // 13.08.2012

3. Шария М.А., Терновой С.К. Кардиостимулятор, совместимый с МРТ (первый опыт обследования). *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2013; 3 (2): 92-95.
4. Goldsher D., Amikam S., Boulos M. et al. Magnetic resonance imaging for patients with permanent pacemakers: initial clinical experience. *Isr. Med. Assoc. J*. 2006; 8: 91-94.
5. Martin E. T., Zeijlemaker V. A., Pedersen, E. M. et al. Magnetic resonance imaging and cardiac pacemaker safety at 1.5-Tesla. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2007; 43: 1315-1324.
6. Burke PT, Ghanbari H, Alexander PB, et al. A protocol for patients with cardiovascular implantable devices undergoing magnetic resonance imaging (MRI): should defibrillation threshold testing be performed post-(MRI). *J Interv Card Electrophysiol*. 2010; 28 (1): 59-66.
7. Luechinger R, Duru F, Scheidegger MB, et al. Force and torque effects of a 1.5- Tesla MRI scanner on cardiac pacemakers and ICDs. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2001; 24 (2): 199-205.
8. Fetter J, Aram G, Holmes DR, et al. The effects of nuclear magnetic resonance imagers on external and implantable pulse generators. *Pacing Clin Electrophysiol*. 1984; 7 (4): 720-727.
9. Luechinger R, Zeijlemaker VA, Pedersen EM, et al. In vivo heating of pace-maker leads during magnetic resonance imaging. *Eur Heart J*. 2005; 26 (4): 376-383. discussion 325-7.
10. Nazarian S, Roguin A, Zviman MM, et al. Clinical utility and

References:

1. Bockeria O. L., Akhobekov A. A. Magnetic resonance imaging safety in patients with implanted cardiostimulators and cardioverters-defibrillators. *Annals of Arrhythmology*. 2012; 2 (in Russian).
2. The first MRI procedure was performed in a patient with an implanted cardiac pacemaker in Russia. URL: <http://himedtech.ru/news/9209.html> // 13.08.2012 (in Russian).
3. Shariya M.A., Ternovoy S.K.. MRI-compatible pacemaker (first experience of the examination). *Russian Electronic Journal of Radiology*. 2013; 3 (2): 92-95 (in Russian).
4. Goldsher D., Amikam S., Boulos M. et al. Magnetic resonance imaging for patients with permanent pacemakers: initial clinical experience. *Isr. Med. Assoc. J*. 2006; 8: 91-94.
5. Martin E. T., Zeijlemaker V. A., Pedersen, E. M. et al. Magnetic resonance imaging and cardiac pacemaker safety at 1.5-Tesla. *J. Am. Coll. Cardiol*. 2007; 43: 1315-1324.
6. Burke PT, Ghanbari H, Alexander PB, et al. A protocol for patients with cardiovascular implantable devices undergoing magnetic resonance imaging (MRI): should defibrillation threshold testing be performed post-(MRI). *J Interv Card Electrophysiol*. 2010; 28 (1): 59-66.
7. Luechinger R, Duru F, Scheidegger MB, et al. Force and torque effects of a 1.5- Tesla MRI scanner on cardiac pacemakers and ICDs. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2001; 24 (2): 199-205.
8. Fetter J, Aram G, Holmes DR, et al. The effects of nuclear magnetic resonance imagers on external and implantable pulse generators. *Pacing Clin Electrophysiol*. 1984; 7 (4): 720-727.

- safety of a proto-col for noncardiac and cardiac magnetic resonance imaging of patients with permanent pacemakers and implantable-cardioverter de fibrillators at 1.5 tesla. *Circulation*. 2006; 114 (12): 1277-1284.
11. Gimbel JR. Unexpected asystole during 3T magnetic resonance imaging of a pacemaker-dependent patient with a 'modern' pacemaker. *Europace*. 2009; 11 (9): 1241-1242.
12. Nazarian S, Hansford R, Roguin A, et al. A prospective evaluation of a protocol for magnetic resonance imaging of patients with implanted cardiac devices. *Ann. Intern. Med*. 2011; 155 (7): 415-424.
13. Ainslie M, Miller C, Brown B, et al. Cardiac MRI of patients with implanted electrical cardiac devices. *Heart*. 2014; 100 (5): 363-369.
14. Gold MR, Sommer T, Schwitter J, Al Fagih A, Albert T, Merkely B, Peterson M, Ciuffo A, Lee S, Landborg L, Cerkvenik J, Kanal E, Evera, M. R. I. Study Investigators. Full-Body MRI in Patients With an Implantable Cardioverter-Defibrillator: Primary Results of a Randomized Study. *J Am Coll Cardiol*. 2015; 65 (24): 2581-2588.
15. Friedman HL, Acker N, Dalzell C, et al. Magnetic resonance imaging in patients with recently implanted pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2013; 36 (9): 1090-1095.

9. Luechinger R, Zeijlemaker VA, Pedersen EM, et al. In vivo heating of pace-maker leads during magnetic resonance imaging. *Eur Heart J*. 2005; 26 (4): 376-383. discussion 325-7.
10. Nazarian S, Roguin A, Zviman MM, et al. Clinical utility and safety of a proto-col for noncardiac and cardiac magnetic resonance imaging of patients with permanent pacemakers and implantable-cardioverter de fibrillators at 1.5 tesla. *Circulation*. 2006; 114 (12): 1277-1284.
11. Gimbel JR. Unexpected asystole during 3T magnetic resonance imaging of a pacemaker-dependent patient with a 'modern' pacemaker. *Europace*. 2009; 11 (9): 1241-1242.
12. Nazarian S, Hansford R, Roguin A, et al. A prospective evaluation of a protocol for magnetic resonance imaging of patients with implanted cardiac devices. *Ann. Intern. Med*. 2011; 155 (7): 415-424.
13. Ainslie M, Miller C, Brown B, et al. Cardiac MRI of patients with implanted electrical cardiac devices. *Heart*. 2014; 100 (5): 363-369.
14. Gold MR, Sommer T, Schwitter J, Al Fagih A, Albert T, Merkely B, Peterson M, Ciuffo A, Lee S, Landborg L, Cerkvenik J, Kanal E, Evera, M. R. I. Study Investigators. Full-Body MRI in Patients With an Implantable Cardioverter-Defibrillator: Primary Results of a Randomized Study. *J Am Coll Cardiol*. 2015; 65 (24): 2581-2588.
15. Friedman HL, Acker N, Dalzell C, et al. Magnetic resonance imaging in patients with recently implanted pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2013; 36 (9): 1090-1095.