

Ressonância magnética de tórax em portadores de dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis condicionais para ressonância magnética: contra-indicação clássica ou exame seguro

Chest magnetic resonance imaging in patients with magnetic resonance imaging-conditional pacemakers: classical contraindication or a safe test

Silvio Fernando Castro Rosatti¹, Fernando Manuel Araújo-Moreira², Luís Carlos Trevelin³, Sildes Rosa⁴

Resumo: Introdução: Este estudo teve por objetivo verificar o impacto do artefato de suscetibilidade magnética produzido pelo gerador de pulsos e pelos cabos-eletrodos dos dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis nas imagens geradas pela ressonância magnética de tórax, avaliando, assim, sua interferência no resultado final do exame, além de analisar as possíveis alterações no funcionamento dos dispositivos, por meio da avaliação e da comparação dos parâmetros (limiares de estimulação atriais e ventriculares, impedâncias dos cabos-eletrodos atriais e ventriculares, amplitudes das ondas P e R e status da bateria) pré- e pós-ressonância magnética. **Método:** Foram realizados exames de ressonância magnética de tórax em 20 portadores de dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis ProMRI[®], sendo 11 do sexo masculino e 9 do sexo feminino. As imagens e os artefatos gerados e o funcionamento pré- e pós-exame dos dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis foram avaliados e comparados. **Resultados:** A avaliação da imagem gerada mostrou que o artefato de suscetibilidade magnética produzido por esses dispositivos não provocou interferência significativa na imagem, não afetando a avaliação do resultado e, conseqüentemente, o diagnóstico. As avaliações dos dispositivos pré- e pós-exame de ressonância magnética demonstraram que não ocorreram danos na interface cabo-eletrodo/miocárdio, alterações na impedância e sensibilidade dos cabos-eletrodos, e alterações nas capacidade remanescente das baterias. **Conclusão:** O exame de ressonância magnética de tórax em portadores de dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis ProMRI[®] pode ser realizado com segurança, sem alterar o funcionamento dos dispositivos e sem prejudicar a imagem da ressonância magnética, desde que algumas regras e condições sejam seguidas corretamente.

Descritores: Ressonância Magnética; Marcapasso Cardíaco Artificial; Diagnóstico por Imagem.

Abstract: Background: This study was aimed at assessing the impact of magnetic susceptibility artifact produced by the pulse generator and the leads of cardiac implantable electronic devices on the images generated by chest magnetic resonance imaging, and therefore evaluate its impact on the final result of the test, in addition to analyzing possible changes in the operation of these devices, by means of the evaluation and comparison of parameters (atrial and ventricular pacing thresholds, atrial and ventricular lead impedance, P and R wave amplitudes and battery status) before and after magnetic resonance imaging. **Method:** Chest magnetic resonance imaging was performed in 20 patients with ProMRITM cardiac implantable electronic device, 11 males and 9 females. The images and the artifacts and pre and post test operation of cardiac implantable electronic

Trabalho realizado na Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de São Carlos e na Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.

1. Doutor em Biotecnologia, cirurgião cardiovascular da Santa Casa de Misericórdia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil. 2. Doutor em Física, professor associado da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil. 3. Doutor em Informática, professor associado da UFSCar, São Carlos, SP, Brasil. 4. Engenheiro, especialista em Produto, Biotronik, São Paulo, SP, Brasil.

Correspondência: Silvio Fernando Castro Rosatti. Rua Ray Wesley Herrick, 1.501 – casa 292 – Jardim Guanabara – São Carlos, SP, Brasil – CEP 13565-090

E-mail: silviorosatti@ig.com.br

Artigo submetido em 3/2015 e publicado em 3/2015.

devices were evaluated and compared. **Results:** The analysis of the generated image showed that the magnetic susceptibility artifact produced by these devices did not cause significant interference in the image and did not affect the evaluation of the outcome and consequently, the diagnosis. Evaluations of the device before and after magnetic resonance imaging showed that there were no damages on the lead/myocardium interface, and nor in the impedance and sensitivity of the leads and there were no changes in the remaining capacity of the batteries. **Conclusion:** Chest magnetic resonance imaging in patients with the ProMRI™ cardiac implantable electronic device can be performed safely with no impact on the operation of the devices and on the image generated by magnetic resonance imaging, as long as certain rules and conditions are followed.

Keywords: Magnetic Resonance; Cardiac Pacemaker, Artificial; Diagnostic Imaging.

Introdução

O nome mais respeitado em ressonância magnética é o do engenheiro croata Nikola Tesla, que dedicou grande parte de sua vida aos estudos dos campos magnéticos. A unidade de campo da ressonância é medida em unidades tesla (T), em sua homenagem. Um exame de 1,5 T representa 30 mil vezes a intensidade do campo magnético da Terra, que não é muito acentuada (em torno de 60 microteslas, suficiente apenas para movimentar a agulha de uma bússola)¹.

O princípio básico do exame de ressonância magnética é a emissão e a absorção de energia eletromagnética por núcleos de átomos sob campo magnético após excitação por pulsos de radiofrequência. A chave para gerar as imagens de ressonância magnética é a estrutura e a presença de água nos distintos tecidos do corpo humano. O corpo humano tem aproximadamente 63% de água e gordura, constituídos por átomos de hidrogênio. Os núcleos de hidrogênio possuem frequência específica de ressonância magnética para o campo magnético estático. Depois da excitação por um pulso de radiofrequência, os spins dos átomos de hidrogênio emitem sinais eletromagnéticos, que são transformados em imagem pelo computador. Tecidos diferentes possuem percentuais diferentes de átomos de hidrogênio, resultando em imagens com vários tons de cinza.

Acredita-se que a ressonância magnética seja inofensiva para o paciente, pois utiliza fortes campos magnéticos e radiação não ionizante na faixa de radiofrequência, o que a torna adequada para o acompanhamento de doenças crônicas, quando é necessária a obtenção de imagens com maior frequência.

Entre 1973, quando foi publicada a primeira imagem de ressonância magnética, e 2003, 10 mil equipamentos de ressonância magnética haviam sido instalados no mundo. Aproximadamente 75 milhões de exames de ressonância magnética são realizados anualmente² e o número de exames efetuados vem aumentando significativamente ao

longo dos últimos anos^{3,4}. A tecnologia de ressonância magnética é uma das ferramentas diagnósticas mais importantes na prática clínica atual, com expectativa de crescimento de 10% ao ano no Mundo Ocidental⁵.

O primeiro marcapasso cardíaco, mais recentemente denominado dispositivo cardíaco eletrônico implantável (DCEI), foi desenvolvido em 1930 com um sistema de manivela como gerador de energia. De dimensões e peso consideravelmente grandes, o primeiro implante de marcapasso cardíaco foi realizado em 1958 com um dispositivo do tamanho de um disco de hóquei com apenas dois transistores. Os marcapassos de hoje contêm tecnologia de informática altamente sofisticada e são muito menores. Estima-se em mais de 2 milhões os doentes que tiveram esses dispositivos implantados em todo o mundo. Os marcapassos cardíacos são os implantes eletricamente ativos mais frequentemente encontrados em pessoas que possam ser encaminhadas para o procedimento de ressonância magnética^{6,7}.

Dos campos eletromagnéticos necessários à formação da imagem no exame de ressonância magnética decorrem fenômenos físicos que podem resultar em algum grau de interação eletromagnética com os geradores: a intensidade do campo magnético estático, que, por sua vez, determina a frequência de ressonância; a potência de radiofrequência; a intensidade do campo de gradiente; e a taxa de variação dos gradientes. A influência desses parâmetros nos DCEIs pode ser dividida em dois grupos: os que prejudicam o funcionamento dos DCEIs de maneira transitória e os que o fazem de forma definitiva. As ocorrências relatadas na literatura que podem colocar a segurança do paciente em risco incluem: inibição prolongada do gerador, resultando em assistolia ventricular; estimulação em alta frequência, que pode conduzir a taquicardia ventricular maligna; e aquecimento excessivo do tecido adjacente ao gerador e/ou cabos-eletrodos, que pode aumen-

tar o limiar de comando. Também são reportadas outras situações que não trazem risco à segurança do paciente, como desconforto em razão da movimentação do gerador ou leve sensação de aquecimento. O campo de radiofrequência aplicado ao tecido biológico é definido por uma grandeza física denominada *Specific Absorption Rate* (SAR), que é a taxa de potência por unidade de massa de tecido e tem como unidade watts por quilograma (W/kg). O valor da SAR depende principalmente da geometria e das propriedades eletromagnéticas da região do corpo exposta ao campo de radiofrequência, além da frequência em uso. O implante de um elemento de alta condutividade elétrica no interior do corpo humano, como um gerador de pulsos de marcapasso, muda as propriedades eletromagnéticas do tecido adjacente. A aplicação da radiofrequência induz correntes elétricas nas partes metálicas e conseqüente risco de aquecimento nas proximidades. As possíveis complicações do uso da ressonância magnética pelos pacientes portadores de marcapassos ou outros dispositivos implantáveis são: movimentação do dispositivo (gerador e cabo-eletrodo); ativação ou dano da chave magnética; reprogramação espúria; inibição ou reversão assíncrona do gerador; ativação do sensor; aquecimento do sistema; e retorno ao modo *back-up* (*reset* eletrônico)⁷.

Pesquisadores acreditam que entre 50% e 75% dos pacientes com implantes ativos receberão ao menos uma indicação para realizar exame de ressonância magnética no decorrer da vida útil de seus dispositivos⁶. Estudo publicado por Martin et al.⁸ demonstra que o exame de ressonância magnética é solicitado para 17% dos portadores de marcapasso no intervalo de 12 meses após o implante do dispositivo. Muitos pacientes com DCEIs necessitam da ressonância magnética para diagnóstico conclusivo, mas em decorrência dos riscos são proibidos de realizar o exame. Logo a atenção se voltou para dispositivos projetados especificamente para serem seguros no ambiente de ressonância magnética.

As empresas fabricantes de DCEIs lançaram recentemente sistemas completos de estimulação cardíaca artificial, que podem ser utilizados em exames de ressonância magnética sem restrições de área do corpo a ser examinada, mas respeitando algumas condições gerais preestabelecidas, como:

- utilização de aparelhos de ressonância magnética de 1,5 T;
- exames com SAR de até 4 W/kg (alguns modelos com valores menores);
- sistemas de estimulação implantados há menos de 6 semanas estão contraindicados para exames de ressonância magnética;

- cabos-eletrodos abandonados não compatíveis com ressonância magnética estão contraindicados para a realização desse exame;

- sistemas de estimulação implantados em regiões diferentes da peitoral tanto direita como esquerda estão contraindicados para exames de ressonância magnética;

- doentes que não possuem sistemas de estimulação ProMRI® (Biotronik, Berlim, Alemanha) completos estão contraindicados para exames de ressonância magnética;

- doentes com valores do limiar de captura de estimulação > 2 V e largura de pulso de 0,40 ms estão contraindicados para exames de ressonância magnética;

- doentes com valores de impedância do cabo-eletrodo < 200 ohms e > 1.500 ohms estão contraindicados para exames de ressonância magnética.

É importante ressaltar que cada modelo/marca de marcapasso possui suas restrições e contraindicações, sendo necessário, então, a consulta do manual técnico de cada modelo/marca.

Desde 2012, a Biotronik vem trabalhando na tecnologia ProMRI®, com a família Evia ProMRI® e Entovis ProMRI®, e essa nova plataforma de produtos foi projetada considerando a compatibilidade com a ressonância magnética para corpo inteiro (*full body*). Essa nova tecnologia facilita e expande o diagnóstico por imagem aos portadores de DCEI. Para que o sistema seja compatível com a ressonância magnética, o cabo-eletrodo também precisa ser adequado. A Biotronik, após longos estudos, aprovou como compatíveis para ressonância magnética as atuais famílias de cabos-eletrodos Safio, Sciello, Solia, Corox, Sentus, Linux^{SMART}, Protego (DF-4) e Setrox.

O sistema ProMRI® foi autorizado para utilização no Brasil como condicional à ressonância magnética a partir de 18/8/2014 através da Resolução RE nº 3150 de 15/8/2014 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, publicada no Diário Oficial da União nº 157 (páginas 16 a 19).

A empresa St. Jude Medical (St. Paul, Estados Unidos) lançou o gerador Accent MRI™, que foi projetado para um ambiente de ressonância magnética de até 1,5 T, sem restrições quanto à região do corpo a ser examinada (*full body*). Possui filtros especiais para evitar a entrada de interferências de radiofrequência, uso mínimo de componentes ferromagnéticos, circuito eletrônico modificado para prevenção de danos, estimulação cardíaca induzida e cancelamento de pulso e ainda parâmetro especial de programação otimizada para máxima segurança do paciente e para prevenir alteração do

software. O cabo-eletrodo Tendril MRI™ (St. Jude Medical) oferece vantagens exclusivas para garantir a segurança dos pacientes durante o exame de ressonância magnética: filtros especiais para prevenir o aquecimento do tecido e a estimulação cardíaca não intencional, isolamento especial para confiabilidade a longo prazo, e tubo interno de silicone para proteger os condutores⁹.

A empresa Medtronic (Minneapolis, Estados Unidos) possui a segunda geração da tecnologia SureScan®, que pode ser usada com segurança em ambiente de ressonância magnética. Essa tecnologia é composta pelos geradores da família Ensura MRI™ e pelos cabos-eletrodos CapSure Sense MRI™ e SureScan®¹⁰.

A ressonância magnética prioriza o estudo das estruturas moles do corpo, como articulações, músculos, cérebro, conteúdo da coluna vertebral e tumores, entre outras. Tem indicação mais restrita para os pulmões e determinadas regiões ósseas em razão da baixa concentração de hidrogênio e consequente deterioração da qualidade da imagem obtida. A ressonância magnética é considerada a principal ferramenta de diagnóstico em doenças relacionadas ao sistema nervoso central, sendo de qualidade superior à tomografia computadorizada, que possui indicação em processos agudos, como acidentes vasculares cerebrais e traumas¹¹.

A avaliação de forma reprodutiva, acurada e validada da ressonância magnética dos ventrículos esquerdo e direito fazem do método um padrão de referência para análise de parâmetros geométricos cardíacos e para a análise seriada, ao longo do tempo, de modificações desses parâmetros. Também em decorrência dessa característica, a ressonância magnética é hoje o método de escolha na avaliação precisa de pacientes com insuficiência cardíaca congestiva com disfunção ventricular sistólica. Na avaliação de pacientes com aneurismas ventriculares, a ressonância magnética pode fornecer dados mais precisos dos volumes e da geometria do ventrículo (além da área infartada), sendo importante também no acompanhamento pós-operatório na avaliação da melhora da função cardíaca e da anatomia ventricular¹².

Para a avaliação de neoplasia pulmonar, em algumas situações, a ressonância magnética já é considerada superior a outros métodos de imagem, sendo também superior aos outros métodos na avaliação de algumas afecções do espaço pleural. As vias aéreas mais distais e o espaço alveolar também já podem ser avaliados com a utilização de novos meios de contraste, como o uso de gases nobres inalatórios. A identificação de lesões do parênquima pulmonar tem melhorado progressivamente com a utilização das novas técnicas rápidas de aquisição de imagem.

A ressonância magnética pode ser considerada, hoje, o método de escolha na avaliação das massas mediastinais. As neoplasias mediastinais são diferenciadas em primárias e secundárias, estas últimas mais comumente representadas por linfonodomegalias, mas outras lesões não neoplásicas também podem simular massas mediastinais, como os aneurismas da aorta torácica e o bócio mergulhante¹³.

A ressonância magnética também é o método de imagem de escolha para o estudo do pericárdio. Em decorrência de sua composição fibrosa, o pericárdio saudável revela-se como uma estrutura hipodensa nas sequências ponderadas em T1 e T2. Na pericardite constritiva, as características morfológicas típicas são o espessamento global das lâminas do pericárdio (> 4 mm em espessura) e a presença de realce tardio no pericárdio, que se correlaciona com a fase aguda da inflamação pericárdica¹⁴.

A ressonância magnética evoluiu de forma a integrar as técnicas de diagnóstico e de manuseamento do carcinoma da mama. Permite a avaliação da mama com elevada sensibilidade na detecção de lesões malignas (cerca de 90%)¹¹. A especificidade varia entre 60% e 90%, sendo mais baixa na mulher jovem, nomeadamente, por falsos positivos relacionados com o ciclo ou a terapêutica hormonal. Lesões benignas, como fibroadenomas, papilomas e outras lesões proliferativas, podem por vezes ter comportamento sobreponível a lesões malignas na imagem de ressonância magnética¹⁵.

Este estudo teve por objetivo verificar o impacto do artefato de suscetibilidade magnética produzido pelo gerador de pulsos e cabos-eletrodos dos DCEIs nas imagens geradas pela ressonância magnética de tórax, avaliando, assim, sua interferência no resultado final do exame, além de verificar as possíveis alterações no funcionamento dos DCEIs por meio da avaliação e da comparação dos parâmetros (limiares de estimulação atriais e ventriculares, impedâncias dos cabos-eletrodos atriais e ventriculares, amplitudes das ondas P e R, e *status* da bateria) pré- e pós-ressonância magnética. O artefato de suscetibilidade magnética ocorre na interface de estruturas com suscetibilidades magnéticas diferentes. O tecido dessas estruturas é magnetizado em um grau maior ou menor e a distorção local resultante do campo magnético produz um registro espacial errôneo.

Material e Métodos

Este estudo, de caráter prospectivo, incluiu 20 pacientes, dos quais 11 do sexo masculino e 9 do sexo feminino, portadores de DCEI ProMRI®.

Os exames foram realizados no Centro de Imagens de um hospital filantrópico no período de novembro a dezembro de 2014. O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética Médica da instituição, conforme ofício 09/15. A idade dos pacientes variou entre 30 anos e 82 anos, e a afecção que indicou o uso de DCEI não foi considerada, sendo a fibrose do sistema de condução a mais frequente.

Entre os critérios de inclusão, destacam-se:

- idade > 18 anos;
- primeiro implante;
- uso de geradores Evia ProMRI® ou Entovis ProMRI® e cabos-eletrodos Safio S 53 e/ou Safio S 60, da Biotronik, formando um sistema ProMRI®;
- não possuir outras próteses metálicas que contraindiquem a realização do exame, como cliques metálicos cerebrais e implantes cocleares;
- implante realizado há seis ou mais semanas;
- concordar com o plano de investigação.

Destacam-se como critérios de exclusão:

- cabos-eletrodos abandonados;
- limiares de estimulação altos (> 2 V com 0,4 ms);
- impedância < 200 ohms e > 1.500 ohms;
- claustrofobia;
- gravidez.

Na avaliação pré-exame, o DCEI foi interrogado e a programação inicial, os limiares de esti-

mulação e sensibilidade atriais e ventriculares, a voltagem da bateria, bem como as impedâncias dos cabos-eletrodos foram registrados (avaliação do marcapasso). O DCEI foi programado para o modo ProMRI®, segundo orientações do fabricante (Figura 1). O equipamento de ressonância magnética utilizado foi um MAGNETOM ESSENZA (Siemens, Malvern, Estados Unidos) 1,5 T, que preencheu os critérios necessários para um exame seguro: sistema de ressonância magnética com tubo fechado de ímã cilíndrico e campo magnético estático de 1,5 T, inclinação do flanco dos campos gradientes do escâner de ressonância magnética < 200 T/m/s, taxa específica de absorção da cabeça < 4 W/kg, e média da taxa específica de absorção para o corpo inteiro < 3,2 W/kg. Os pacientes foram submetidos a exame de ressonância magnética de tórax, um equipamento para reanimação de emergência permaneceu em local de fácil acesso e funcionários qualificados estavam disponíveis para qualquer atendimento. O eletrocardiograma, a saturação de oxigênio no sangue e os sintomas relatados através de contato por voz foram continuamente monitorados durante o exame.

Após o exame, foram colhidos comentários e sintomas dos pacientes. O DCEI foi reprogramado com os parâmetros iniciais pré-exame (Figura 2) e foi realizada nova avaliação de suas medidas. Se necessário, foram feitos ajustes na programação dos aparelhos. A qualidade das imagens geradas pela ressonância magnética foi analisada, quantificando-se a interferência do artefato de suscetibilidade magnética produzido pelo DCEI.

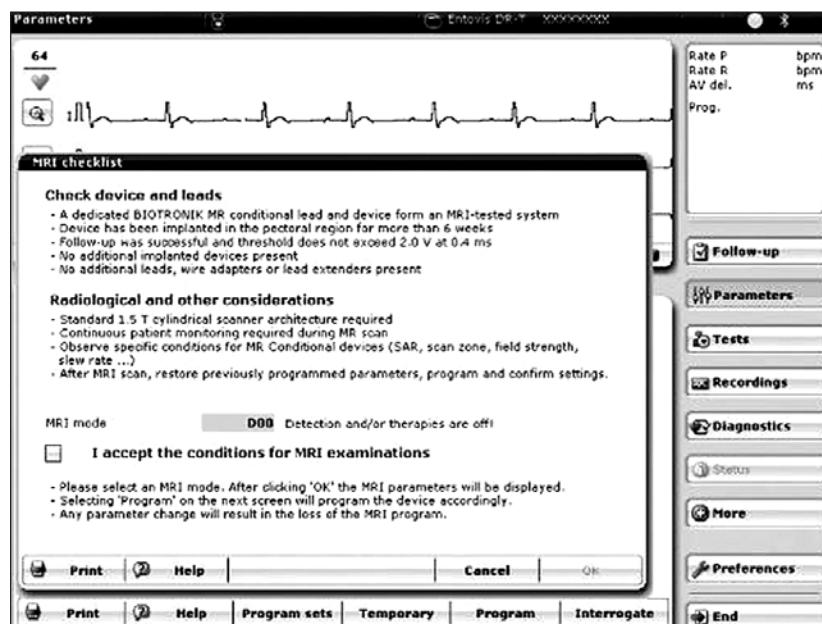


Figura 1: Tela do programador mostrando as condições para o exame de ressonância magnética e o modo de estimulação a ser programado (MRI mode – DOO).

Resultados e Discussão

O gerador de pulsos dos DCEIs produziu o principal e maior artefato de suscetibilidade magnética na imagem da ressonância magnética de tórax dos pacientes estudados, e os cabos-eletrodos tanto atriais como ventriculares produziram artefatos menores e de menor importância.

O artefato gerado pelos geradores dos DCEIs ocupou, em média, 5% de toda a área aproximada do tórax. Nas sequências AXIAL STIR foram observados os maiores artefatos (6,5% da área do tórax) e nas sequências SAGITAL T2, os menores artefatos (3,9% da área do tórax) (Figura 3).

Na Figura 4 o artefato ficou restrito à área ocupada pelo gerador do DCEI, não invadindo

áreas subjacentes importantes para interpretação e diagnóstico da possível afecção pulmonar, pleural, pericárdica, das mamas e cardíaca. O artefato gerado pelos cabos-eletrodos também não prejudicou a interpretação do exame.

Pela análise das imagens de ressonância magnética de tórax dos pacientes estudados pôde-se verificar que o artefato de suscetibilidade magnética decorrente do gerador de pulsos somente prejudica a visualização da região que ele mesmo ocupa, sem interferir nas áreas próximas, essenciais para o diagnóstico de afecções do tórax; portanto, a imagem gerada pela ressonância magnética de tórax nesses pacientes estudados é de ótima qualidade técnica.



Figura 2: Tela do programador mostrando a programação após exame de ressonância magnética, em que os parâmetros anteriores ao exame são restaurados.

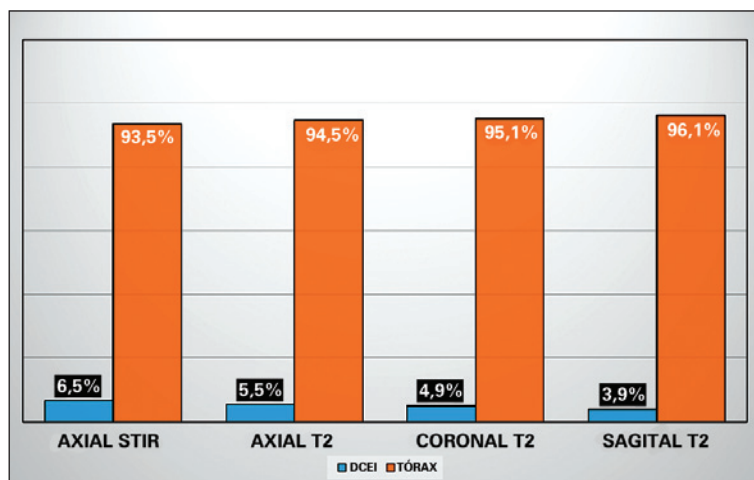


Figura 3: Porcentagem da área do artefato dos dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis em relação à área aproximada do tórax nas sequências AXIAL STIR, AXIAL T2, CORONAL T2 e SAGITAL T2. DCEI = dispositivo cardíaco eletrônico implantável.

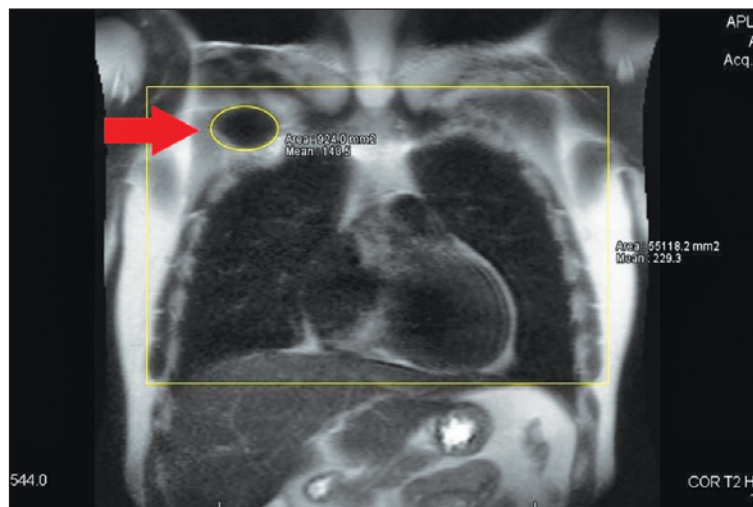


Figura 4: Área do artefato gerado pelo dispositivo cardíaco eletrônico implantável de 924 mm² (seta) e área total aproximada do tórax de 55.118,2 mm² (Coronal T2).

Após o exame de ressonância magnética, foram avaliados os seguintes parâmetros:

- limiares de estimulação atriais e ventriculares;
- impedâncias dos cabos-eletrodos atriais e ventriculares;
- amplitudes das ondas P e R;
- *status* da bateria.

O limiar de estimulação é a quantidade mínima de energia capaz de despolarizar o miocárdio. A amplitude do limiar de estimulação é medida em volts. Foram consideradas mudanças significativas nos limiares de estimulação atriais ou ventriculares quando ocorreram aumentos > 0,5 V. Mudanças < 0,5 V podem ser encontradas frequentemente e foram desconsideradas.

Mudanças nos limiares de estimulação foram encontradas em 34 dos 40 cabos-eletrodos estudados, porém nenhum deles com aumento significativo (> 0,5 V). A Tabela 1 mostra o limiar médio pré- e pós-ressonância magnética dos cabos-eletrodos atriais e ventriculares.

A ação do campo de radiofrequência durante o exame de ressonância magnética é tal que correntes elétricas são induzidas no(s) cabo(s)-eletrodo(s) presente(s) no paciente. Essas correntes induzidas podem causar efeito deletério no músculo cardíaco, como lesão na região da interface entre o cabo-eletrodo e o miocárdio. A eventual lesão resultante da passagem da corrente elétrica pode ser avaliada indiretamente pelo limiar de comando da câmara em estudo. Exatamente por esse motivo (risco de ocorrer lesão resultante de correntes induzidas), os cabos-eletrodos de marcapasso habilitados para exame de ressonância magnética são projetados e fabricados visando à

Tabela 1: Limiar médio pré- e pós-ressonância magnética dos cabos-eletrodos atriais e ventriculares

	Limiar atrial pré-exame (V)	Limiar atrial pós-exame (V)	Limiar ventricular pré-exame (V)	Limiar ventricular pós-exame (V)
Média	0,73	0,78	0,69	0,63

eliminação ou, ao menos, à redução da magnitude das correntes elétricas induzidas pelo campo de radiofrequência. Os valores verificados dos limiares de comando pré- e pós-ressonância magnética indicam que não ocorreu lesão na região de interface entre o cabo-eletrodo e o miocárdio.

A impedância dos cabos-eletrodos é a resistência dos cabos-eletrodos medida em ohms. Impedâncias muito altas ou baixas podem representar dano estrutural nos cabos-eletrodos. Foram consideradas mudanças significativas nas impedâncias dos cabos-eletrodos atriais e ventriculares quando ocorreram alterações > 100 ohms, tanto para mais como para menos, em relação às medidas prévias. Da mesma maneira que acontece com os limiares, a ação das correntes elétricas de radiofrequência, próximas à interface entre o cabo-eletrodo e o miocárdio, pode resultar em alterações significativas no valor da impedância. Mudanças < 100 ohms podem ser encontradas normalmente e, portanto, foram desconsideradas.

As impedâncias dos cabos-eletrodos estudados, tanto atriais como ventriculares, não apresentaram mudanças significativas nas avaliações após o exame de ressonância magnética por não apresentarem variações > 100 ohms para mais ou para menos, conforme a Tabela 2 (impedâncias médias), significando que não aconteceram danos na interface entre o cabo-eletrodo e o miocárdio.

A identificação precisa da atividade intrínseca do paciente é fundamental para o correto funcionamento dos geradores cardíacos. E, para isso, é preciso que a despolarização de cada câmara cardíaca seja adequadamente identificada pelo gerador. Dessa maneira, são medidas as amplitudes das ondas P (em volts, correspondente à despolarização atrial) e das ondas R (em volts, correspondente à despolarização ventricular). Novamente, a ação de correntes elétricas induzidas pelo campo de radiofrequência ou até mesmo a ação do campo magnético estático, eventualmente movimentando o cabo-eletrodo de sua posição original de implante, podem resultar na alteração das amplitudes das ondas P e R. No presente estudo não ocorreram alterações significativas nas amplitudes das ondas P e R, demonstrando que esses cabos-eletrodos não sofreram danos ou foram movimentados durante o exame de ressonância magnética, conforme a Tabela 3 (amplitudes médias).

A bateria é a fonte de energia dos DCEIs e deve fornecer energia tanto para o circuito eletrônico como para cada pulso durante a vida útil do sistema. São produzidas com sistemas de lítio-iodo-polivinilpiridina. O *status* (capacidade remanescente da bateria) é determinado pela verificação de sua voltagem, mostrando, dessa maneira, a expectativa de longevidade. As baterias possuem tensão em torno de 3 V. Valores de tensão < 2,5 V e de resistência > 5.000 ohms representam desgaste da bateria. Desgaste precoce da bateria após exame de ressonância magnética pode indicar dano irreversível no gerador de pulso, diminuindo a vida útil do sistema.

As capacidades remanescentes das baterias dos DCEIs estudados não apresentaram mudanças nas avaliações pré- e pós-ressonância magnética (capacidades médias), significando que não houve desgaste precoce durante o exame de ressonância magnética (Tabela 4).

Tabela 2: Impedâncias médias pré- e pós-ressonância magnética dos cabos-eletrodos atriais e ventriculares

	Impedância atrial pré-exame (Ω)	Impedância atrial pós-exame (Ω)	Impedância ventricular pré-exame (Ω)	Impedância ventricular pós-exame (Ω)
Média	574,1	579,5	575,6	573,7

Tabela 3: Amplitudes médias das ondas P e R pré- e pós-ressonância magnética

	Amplitude das ondas P pré-exame (V)	Amplitude das ondas P pós-exame (V)	Amplitude das ondas R pré-exame (V)	Amplitude das ondas R pós-exame (V)
Média	3,55	3,58	11,62	12,27

Os 20 pacientes foram questionados quanto a sinais e sintomas, porém negaram a ocorrência de palpitações, dor no peito, vibração do DCEI, tontura ou síncope. Um dos pacientes relatou muito barulho durante o exame. Nenhum exame precisou ser interrompido a pedido dos pacientes ou por alguma alteração clínica observada (queda de saturação, taquicardia, bradicardia, arritmia).

O eletrocardiograma registrado durante todo o exame de ressonância magnética não apresentou alteração significativa (taquicardia, bradicardia, inibição da estimulação, arritmia induzida, fibrilação atrial ou ventricular) nos pacientes estudados.

A oximetria de pulso permaneceu estável, sem quedas significativas durante os exames, mesmo quando os pacientes se encontravam em apneia necessária para melhor qualidade técnica da imagem.

Conclusão

Atualmente a ressonância magnética de tórax vem ganhando crescentes indicações para auxiliar no diagnóstico e no acompanhamento de pacientes portadores de afecções torácicas, tornando-se um método de referência para análise de parâmetros de volume e contratilidade global e regional ventriculares. É também utilizada para diagnóstico e manuseio do carcinoma de mama, para estudo do pericárdio, para avaliação das neoplasias pulmonar e pleural, para mensuração do fluxo das artérias pulmonares e aorta, e para avaliações precisas de massas mediastinais.

Assim sendo, o número de pacientes com indicação de exame de ressonância magnética de tórax durante sua vida também tem aumentado. Em consequência, existe maior probabilidade de nos depararmos com uma indicação de ressonância magnética de tórax em paciente portador de DCEI.

As empresas fabricantes de DCEIs trabalharam, na última década, no desenvolvimento de dispositivos compatíveis com ressonância magnética, e, mais recentemente, dispositivos que podem ser submetidos a ressonância magnética sem exclusão da área a ser examinada.

A avaliação da imagem gerada por uma ressonância magnética de tórax em pacientes portadores de DCEIs ProMRI[®] mostrou que o artefato de suscetibilidade magnética produzido por esses dispositivos não provocou interferência significativa na imagem, não afetando, portanto,

Tabela 4: Capacidade média remanescente da bateria em porcentagem de tempo de vida restante

	Pré-exame (%)	Pós-exame (%)
Média	98,8	98,8

a avaliação do resultado e, conseqüentemente, o diagnóstico.

Nesta série, nenhum dos 20 pacientes estudados relatou algum sintoma significativo que justificasse a interrupção ou o cancelamento do exame, e nenhum parâmetro aferido durante o exame apresentou qualquer alteração que pudesse preocupar o examinador.

As avaliações dos DCEIs pré e pós-ressonância magnética demonstraram não ter ocorrido danos na interface entre o cabo-eletrodo e o miocárdio, alterações na impedância e sensibilidade dos cabos-eletrodos, e alterações nas capacidades remanescentes das baterias dos DCEIs, comprovando que o exame de ressonância magnética de tórax em pacientes portadores de DCEIs ProMRI® pode ser realizado com segurança, desde que sejam respeitadas algumas normas e tomadas algumas precauções, passando de uma contraindicação absoluta para um exame seguro.

Referências

1. Rosatti SFC, Melo CS. Ressonância magnética em portadores de dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis. In: Melo CS, ed. Tratado de Estimulação Cardíaca Artificial. 5ª ed. Barueri (SP): Manole Editora; 2015. p. 259-70.
2. Hornak JP. Chapter 1 - Introduction: NMRI or MRI? In: Hornak JP, ed. The Basics of MRI. Rochester, NY: Rochester Institute of Technology, Center for Imaging Science; 1997. Interactive Learning Software 2008. Disponível em: www.cis.rit.edu/htbooks/mri/inside.htm (acessado em 10/10/2014).
3. Marcu CB, Beek AM, van Rossum AC. Clinical applications of cardiovascular magnetic resonance imaging. CMAJ. 2006;175(8):911-7.
4. Schwitter J, Nanz D, Kneifel S, Bertschinger K, Buchi M, Knusel PR, et al. Assessment of myocardial perfusion in coronary artery disease by magnetic resonance: a comparison with positron emission tomography and coronary angiography. Circulation. 2001;103:2230-5.
5. Ahmed S, Shellock FG. Magnetic resonance imaging safety: implications for cardiovascular patients. J Cardiovasc Magn Reson. 2001;3(3):171-82.
6. Kalin R, Stanton MS. Current clinical issues for MRI scanning of pacemaker and defibrillator patients. Pacing Clin Electrophysiol. 2005;28(4):326-8.
7. ASTM F2503-13. Standard Practice for Marking Medical Devices and Other Items for Safety in the Magnetic Resonance Environment. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2013. DOI: 10.1520/F2503. Disponível em: www.astm.org (acessado em 14/12/2014).
8. Martin ET, Coman JA, Shellock FG, Pulling CC, Fair R, Jenkins K. Magnetic resonance imaging and cardiac pacemaker safety at 1.5-Tesla. J Am Coll Cardiol. 2004;43(7):1315-24.
9. Everything and MRI - State of the art - Safe – Simplified. Disponível em: <https://professional-intl.sjm.com/products/crm/pacemakers/dual-and-single-chamber/accnt-mri> [acessado em 21/1/2015].
10. SureScan® engineered specifically for MRI. Disponível em: <http://www.medtronic.com/surescan/evidence.html> [acessado em 21/1/2015].
11. Rosatti SFC, Oliveira FF, Geraldelli W, Rosa S, Salmon CEG. Magnetic resonance imaging in patients with artificial cardiac pacing system: state or not? Relampa. 2011;24(2):87-95.
12. Martinelli Filho M, Zimerman LI, Vasconcelos JTM; Sociedade Brasileira de Cardiologia. Diretrizes Brasileiras de Dispositivos Eletrônicos Implantáveis (DCEI). Arq Bras Cardiol. 2007;89(6):e210-e238.
13. Santos MK, Elias Júnior J, Mauad FM, Muglia VF, Simão C. Ressonância magnética do tórax: aplicações tradicionais e novas, com ênfase em pneumologia. J Bras Pneumol. 2011;37(2):242-58.
14. Marta L, Alves M, Peres M, Ferreira R, Ferreira H, Leal M, et al. Effusive-constrictive pericarditis as the manifestation of an unexpected diagnosis. Rev Port Cardiol. 2015;34(1):69.e1-6.
15. Seabra ZT, Lourenço J. Imagiologia no carcinoma da mama. Rev Port Cir. 2013;27:59-60.