

Ressonância Magnética em Portadores de Sistema Artificial de Estimulação Cardíaca - Indicar ou Não?

Silvio Fernando Castro ROSATTI ¹, Fernanda Ferretti de OLIVEIRA ², Wender GERALDELLI ³
Sildes ROSA ⁴, Carlos Ernesto Garrido SALMON ⁵

RELAMPA 78024-525

RESUMO: *Este artigo busca compilar e organizar as informações atualmente disponíveis e sugerir algumas medidas de segurança para a realização do exame de Ressonância Magnética (IRM), na ausência de alternativa diagnóstica. Até o momento, não há estudos com a finalidade de criar uma normativa de consenso, que envolvam todos os interessados no tema. Estudos recentes indicam que é possível realizar com segurança exames de IRM em portadores de sistemas artificiais de estimulação cardíaca (SAEC), desde que algumas ações preventivas sejam observadas previamente. São abordadas propostas para alcançar um consenso em relação ao exame de IRM no portador de SAEC. Os dispositivos mais novos oferecidos ao mercado já incorporam tecnologia para aumentar a segurança dos pacientes submetidos a IRM.*

DESCRITORES: *Marcapasso Artificial, Imagem por Ressonância, Segurança.*

Introdução

Os primeiros exames a utilizar a técnica diagnóstica de imagem por ressonância magnética (IRM) datam de 1977 ¹. Nos Estados Unidos, até 2008, mais de 150 milhões de pacientes haviam realizado esse tipo de exame ². No Brasil, segundo estatísticas do Ministério da Saúde, existem atualmente mais de 1.000 máquinas de ressonância magnética (RM), a maioria em uso ³. A técnica é uma ferramenta não invasiva poderosa, porém, entre suas principais contra-indicações, está o uso em portadores de estimuladores cardíacos artificiais.

Em relação aos sistemas artificiais de estimulação cardíaca (SAEC), desde os primeiros experimentos conduzidos por Hayes, em 1932, até os dias atuais,

existe a certeza de sua eficácia terapêutica no tratamento das bradicardias e taquicardias ventriculares malignas, além da ação comprovada no auxílio do manejo do portador de insuficiência cardíaca congestiva ⁴.

SAEC e IRM são dois recursos de inegável valor e seu emprego tende a aumentar com o crescimento da expectativa de vida da população. Há, portanto, grande probabilidade do paciente portador de SAEC, em algum momento da sua vida, defrontar-se com indicação de um exame de RM.

Este artigo de revisão enfoca a indicação do exame de IRM em pacientes com dispositivos de estimulação artificial.

[1] Médico com residência médica em cirurgia cardiovascular e especialização em terapia intensiva. [2] Físico médico.

[3] Físico médico. [4] Engenheiro elétrico. [5] Professor doutor da Faculdade de Ciências e Letras de Ribeirão Preto - USP

A Imagem por Ressonância Magnética

A RM é uma modalidade de diagnóstico por imagem bastante importante, em razão de sua grande capacidade diagnóstica e boa sensibilidade a várias propriedades dos tecidos. É um exame relativamente seguro, por se tratar de um método não invasivo que não usa radiações ionizantes, no qual os campos eletromagnéticos aplicados permitem o diagnóstico de condições patológicas variadas.

Nas IRM, o termo “magnético” deve-se ao uso de diferentes tipos de campos magnéticos e “ressonância” refere-se à necessidade de que a radiofrequência (RF) de um campo eletromagnético oscilante seja igual à frequência de precessão dos núcleos de hidrogênio (prótons) de um tecido vivo. Uma alta concentração protônica no tecido em estudo é determinante para um diagnóstico de qualidade. O nível de concentração adequado é encontrado nas moléculas de água, constituinte de aproximadamente 80% da massa corporal de um indivíduo, resultando em uma concentração protônica aproximada de 82,5M (molar).

Quando o paciente é exposto a um forte campo magnético estático, geralmente entre 0,2 e 3 T (Tesla), promove-se o alinhamento dos momentos magnéticos dos prótons no sentido desse campo. Aplicando-se um segundo campo eletromagnético oscilante e pulsado de RF em direção perpendicular à direção do campo estático, os prótons excitam-se e defletem de suas posições originais. Após a inativação desse campo, os prótons voltam à posição inicial, emitindo energia na forma de ondas eletromagnéticas, que são recebidas e processadas por um sistema digital, gerando a imagem.

Para formar a imagem, cada secção do corpo do paciente é subdividida em uma série de fatias que são codificadas em linhas e colunas individuais, chamadas voxels. No processo de codificação, é utilizado um terceiro campo magnético conhecido como campo de gradiente, que, diferentemente do campo estático, é pulsado.

A imagem obtida é representada por pontos luminosos na tela (pixels), cuja luminosidade é proporcional à intensidade da radiação emitida pelos tecidos em cada

voxel correspondente. Assim, áreas claras correspondem a tecidos emissores de sinais de alta intensidade, enquanto áreas escuras indicam ausência de sinal. Entre esses dois extremos, há uma faixa de sinais representados por tons de cinza, indicando as diferenças constitutivas entre os vários tecidos.

Indicações da IRM

A RM prioriza o estudo das estruturas moles do corpo, tais como cérebro, músculos, articulações, conteúdo da coluna vertebral entre outros. Não é indicada para os pulmões e nem para regiões ósseas, com algumas exceções em patologias ósseas, devido à baixa concentração de hidrogênio. A IRM 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 traumas.

A IRM cardiovascular teve um crescimento considerável nos últimos anos e agora está plenamente estabelecida em grandes centros médicos. A aplicabilidade da IRM tem amplo espectro, como as avaliações de volume, morfologia, massa e função ventricular, infarto agudo do miocárdio, viabilidade e perfusão miocárdica, dor torácica aguda, cardiopatias congênitas, cardiomiopatias, doença cardíaca valvar, doenças do pericárdio, doenças vasculares e doença arterial coronariana. É o padrão-ouro para avaliação da fração de ejeção, com sensibilidade e especificidade altas para pesquisa de fibrose miocárdica, com excelente correlação anatômica⁵.

Potenciais Problemas de Segurança ao SAEC Durante a IRM

Dos campos eletromagnéticos necessários à formação da imagem no exame de IRM decorrem cinco 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 SAEC pode ser dividida em dois grupos: os que prejudicam o funcionamento do SAEC 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 uma taquicardia ventricular maligna, e o aquecimento excessivo do tecido adjacente ao gerador e/ou eletrodo(s), que pode levar ao aumento do limiar de comando. Também são reportadas outras situações que não trazem risco à segurança do paciente, como desconforto devido à movimentação do gerador ou sensação leve de aquecimento.

O campo de RF aplicado ao tecido biológico é definido por uma grandeza física denominada SAR (*Specific Absorption Rate*), que é a taxa de potência por unidade de massa de tecido e tem como unidade watts por quilogramas (W/kg). O valor do SAR depende principalmente da geometria e das propriedades eletromagnéticas da região do corpo exposta ao campo de RF, 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 RF induz correntes elétricas nas partes metálicas e conseqüente risco de aquecimento nas proximidades.

Artigos Publicados:

Foram analisados artigos relacionando IRM e SAEC, publicados sob a forma de relatos de casos, estudos *in vitro* e *in vivo*, pesquisas experimentais ou usando objetos simuladores (materiais equivalentes ao tecido biológico). Em geral, as publicações abordaram os fenômenos envolvidos, assim como os riscos e as

orientações a serem seguidas em portadores de SAEC com indicação inequívoca de IRM.

Relatos de Casos:

Os relatos de caso com frequência abordam situações não planejadas ou controladas e, de maneira geral, pouco danosas. A maioria dos artigos descreve um exame típico de RM em portador de SAEC, usualmente sem qualquer alteração significativa.

Kanal e Gimbel⁶, entretanto, relataram alguns casos de morte de portadores de SAEC submetidos à IRM em que a caracterização das circunstâncias do óbito foi escassa ou incompleta. Podem ter resultado de inibição do marcapasso, falha de captura ou falha do dispositivo, levando a assistolia prolongada e/ou estimulação cardíaca rápida. Também pode ter ocorrido estimulação assíncrona, gerando taquicardia ou fibrilação ventricular. A maioria dos relatos não permitiu estabelecer qualquer associação direta entre a causa da morte e a presença do SAEC.

Estudos *In Vitro*

Esses trabalhos procuram reproduzir o ambiente de um exame de IRM, agregando a presença de um SAEC na máquina de ressonância magnética. Costumam adotar critérios de controle mais rígidos, como, por exemplo, padronizar o tempo do exame ou então o nível SAR. Outra preocupação importante destes estudos está no monitoramento contínuo da funcionalidade do gerador de pulso e da temperatura nos eletrodos durante todo o teste.

Sommer, et al.⁷ avaliaram 21 modelos de marcapassos e 44 tipos de eletrodos, expondo-os à RM de 0,5 T *in vitro*, com registro contínuo do funcionamento do marcapasso e da temperatura das pontas dos eletrodos. Os geradores foram previamente programados para os modos assíncronos (AOO, VOO, ou DOO). Os resultados mostraram que não houve alteração no modo de estimulação, nem qualquer mudança nos parâmetros programáveis.

Sob uma taxa de absorção (SAR) de 0,6 W/kg, a variação máxima de temperatura registrada nos eletrodos foi de 8,9°C e de 23,5°C sob a ação de um campo com SAR de 1,3 W/kg. A variação da temperatura verificada foi insuficiente para ocasionar danos ao tecido ou qualquer outro problema. O estudo indicou que a IRM pode ser realizada de maneira segura em pacientes com SAEC, desde que sejam tomadas algumas precauções, como monitoramento contínuo por ECG, limitações na área de exposição à RF e programação prévia do SAEC para o modo assíncrono.

Achenbach, et al.⁸ investigaram os efeitos da IRM sobre objetos que simulam tecidos biológicos, na presença de marcapassos e eletrodos implantáveis. Vinte e cinco eletrodos expostos a IRM de 1,5T tiveram a temperatura de suas pontas monitoradas continuamente. Onze marcapassos (cinco unicamerais e seis de dupla-câmara) foram expostos a IRM. A reação dos geradores foi monitorada visando identificar qualquer anomalia. Os geradores foram programados nos modos VOO/DOO e VVI/DDD. Nos 90 segundos iniciais do exame, ocorreu um aumento de temperatura de 63,1°C na ponta de um dos eletrodos. Em sete eletrodos, o aumento de temperatura foi superior a 15°C. Embora nenhuma disfunção tenha sido constatada nos modos de estimulação assíncrona (VOO/DOO), notou-se inibição e estimulação rápida nos modos VVI e DDD.

Estudos In Vivo

Tais estudos têm como características o controle das variáveis envolvidas, a participação de indivíduos reais e o uso de séries maiores nos ensaios, o que permite avaliar com maior precisão os possíveis efeitos da IRM no SAEC.

Roguín, et al.⁹ reportaram que, apesar das contraindicações tradicionais aos exames de IRM em portadores de SAEC, atualmente os dispositivos são menores e fabricados com menor quantidade de material magnético, o que proporciona maior proteção a interferências eletromagnéticas. A análise do funcionamento do marcapasso, do aumento de temperatura de eletrodos e do

grau de distorção da imagem a 1,5T levou os autores a concluir que não houve alteração na funcionalidade, nem distorção na imagem em SAEC mais modernos. Comparadas às obtidas na ausência dos dispositivos, as imagens geradas demonstraram alta qualidade e as distorções foram decorrentes apenas da sequência ou do plano de varredura escolhidos. O limiar de estimulação e a amplitude dos sinais intrínsecos não se alteraram num período de até oito semanas após o exame. Verificaram ainda que a variação da temperatura não ocasionou fibrose ou necrose próxima às pontas dos eletrodos. Os resultados sugeriram que modelos mais novos de SAEC podem ser submetidos a exames de IRM.

Sommer, et al.¹⁰ avaliaram uma estratégia segura em exames de IRM extratorácicos (exclusão da região torácica) em pacientes não dependentes de marcapasso. Participaram 82 portadores de dispositivos implantáveis, submetidos a um total de 115 exames de IRM de 1,5T. Para minimizar o aquecimento dos eletrodos, o SAR foi limitado a 1,5 W/kg. Todos os marcapassos foram reprogramados antes do exame: se a frequência cardíaca era < 60 bpm, o modo assíncrono era usado para evitar uma inibição pelo campo magnético; se a frequência cardíaca era > 60 bpm, o modo de demanda era ativado para evitar competição por estimulação com o campo de ressonância magnética, evitando uma potencial arritmia. Todos os pacientes foram monitorados com ECG e oximetria e os geradores foram interrogados imediatamente antes e depois do exame. Todos os exames de IRM mostraram-se completamente seguros e não houve inibição do marcapasso ou indução de arritmias.

J. Rod Gimbel¹¹ estudou o efeito da ressonância magnética de 3,0T em portadores de SAEC. Decidiu usar campos magnéticos superiores a 1,5T, em virtude da quantidade crescente de máquinas de 3,0T em uso, pois a técnica proporciona melhoria na relação sinal-ruído da imagem, bem como tempos menores de aquisição de imagem. O estudo consistiu de 16 exames a 3,0T, num grupo de 14 pacientes portadores de SAEC. Em todos, havia a presença de um eletrofisiologista. Em pacientes não dependentes de marcapasso, o dispositivo foi reprogramado, alterando o modo de funciona-

mento, de maneira a reduzir os efeitos dos campos presentes no exame sobre o SAEC. Para os dependentes de marcapasso, foi escolhido o modo assíncrono. Para uma maior segurança no exame, adotou-se uma estratégia chamada de MRI-S, em que M significa monitoramento contínuo; R, reprogramação do gerador implantável; I representa o modo de “invisibilidade” aos efeitos magnéticos e S significa limitação do SAR, que, no estudo, foi limitado a 2 W/kg. Todos os exames foram realizados com sucesso. Não foram observadas arritmias ou qualquer alteração nos parâmetros de programação. Limiares de estimulação, sensibilidade e impedância de bateria e eletrodos tampouco foram alterados.

Bogner, et al.¹² realizaram estudos *in vivo* e *in vitro*, tendo concluído que o exame de IRM ainda deve ser contraindicado em pacientes dependentes de marcapasso. Em não dependentes, recomendaram o monitoramento contínuo durante todo o exame, bem como o acompanhamento após o exame.

Mollerus, et al.¹³ estudaram uma série de 52 pacientes não dependentes de marcapasso e verificaram que a minoria apresentou arritmias relacionadas ao exame de IRM. Atribuíram as arritmias ao comportamento esperado do dispositivo em um ambiente de IRM.

Pulver, et al.¹⁴ avaliaram 11 portadores de SAEC submetidos a IRM e também concluíram que o exame pode ser realizado com segurança em pacientes não dependentes de marcapasso. Já em pacientes dependentes, recomendaram que fossem feitos outros estudos para estabelecer as medidas práticas cabíveis.

Tendências Atuais

Estudos recentes sugerem que exames de IRM em portadores de SAEC podem ser realizados com relação risco-benefício razoável, desde que adotadas algumas precauções específicas de segurança.

Várias pesquisas avaliaram a influência da IRM nos pacientes em um campo de 1,5 T¹⁵⁻¹⁸ e outros estudos o fizeram em campos de 0,5T¹⁹⁻²¹. De fato, a avaliação da influência da IRM nos portadores de SAEC em campos

menores que 0,5 T é de especial interesse, uma vez que a segurança durante o procedimento é relacionada com a força do campo e a frequência de ressonância²²⁻²⁵. Campos magnéticos menos intensos diminuem o torque e as forças de translação sobre o marcapasso e seus eletrodos; enquanto potências menores de radiofrequência reduzem o SAR, o risco de aquecimento nos eletrodos e, conseqüentemente, o risco de danos térmicos ao paciente.

Stratch, et al.²⁶ reportaram resultados satisfatórios e seguros em exames de IRM a 0,2T em 114 portadores de marcapasso artificial. Neste estudo, pacientes com eletrodos abandonados (rupturas, defeitos de isolamento ou alto limiar de comando), não foram excluídos. Os resultados obtidos foram os seguintes:

1. movimento do SAEC: não foi observado em nenhum caso, pois os dispositivos não possuíam materiais ferromagnéticos²⁷ e, além disso, a força máxima exercida sobre eles não superou a força gravitacional²⁸.
2. aquecimento dos eletrodos pela ação dos campos de RF: apesar dos resultados experimentais indicarem que há aquecimento da ponta dos eletrodos, os resultados *in vivo* não mostraram danos histológicos por aquecimento, nem aumento do limiar de comando.
3. indução de fibrilação ventricular por perda de função do marcapasso: a estimulação assíncrona, aliada ao aumento da frequência magnética do marcapasso, pode ocasionar esse problema, uma vez que o limiar de ocorrência da fibrilação diminui com o aumento da frequência cardíaca²⁹.
4. dano permanente ou transitório ao SAEC: não foi relatado.
5. inibição da estimulação: essa ocorrência foi registrada em um aparelho de 3,0T³⁰.
6. mudança de modo ou perda dos dados de programação causada por reset eletrônico: pôde ser revertida por programação pós-IRM e não representou prejuízo real durante o exame.
7. diminuição da voltagem da bateria do marcapasso: não foi relatada.
8. limiar de estimulação: não houve variação.
9. eletrodos abandonados: não representaram risco real.

Discussão

Ultimamente se observa uma nova tendência em relação ao exame de IRM no portador de SAEC. O paradigma mudou de franca contra-indicação para indicação com algumas restrições, principalmente na Europa e nos Estados Unidos da América³¹. Isso se deve provavelmente ao pequeno número de casos com alterações, comparados a um número maior de casos em que nada anormal foi observado.

A análise dos artigos apreciados nesta revisão permitiu constatar que a maioria falha em sua principal missão: indicar de maneira categórica, com suporte científico e até legal, qual a taxa de risco potencialmente presente durante um exame de IRM ao portador de SAEC. Esse assunto envolve várias áreas da atividade humana:

1. o conhecimento médico relacionado ao paciente, sua condição clínica atual e suas necessidades terapêuticas e diagnósticas, além de aperfeiçoamento das terapias em uso, adoção de novas abordagens terapêuticas e consciência dos riscos existentes.
2. o conhecimento exato, usado na idealização dos equipamentos implantáveis de estimulação cardíaca, bem como na fabricação dos aparelhos de diagnóstico por ressonância magnética.
3. as bases físicas que dão amparo conceitual para a elaboração dos métodos diagnósticos por RM e a ação provável da radiação emitida e, finalmente,
4. o interesse econômico, com representantes em todas as áreas acima citadas.

Até o momento, não se conhece qualquer esforço conjunto, com a presença coordenada de todos participantes acima citados. Provavelmente, essa é a única maneira de avançar de maneira segura e com embasamento científico para definir com clareza quais as indicações, contra-indicações e normas de segurança que devam ser seguidas na realização do exame de RM para o portador de SAEC. Entretanto, o caminho consensual ainda é pouco provável, em razão da grande divergência de interesses entre os setores envolvidos.

Atualmente, devido à ampla aplicação e forte capacidade diagnóstica da IRM, há casos em que a contra-indicação do exame pode comprometer a qualidade dos cuidados de saúde recebidos.

Ações Tomadas Pelas Empresas Fabricantes De Marcapassos

Algumas empresas vêm desenvolvendo novas famílias de marcapasso que podem ser submetidos a exames de IRM, desde que observadas as seguintes precauções: limitação da região do exame, evitando a área torácica; equipamentos de IRM com campo magnético menor ou igual a 1,5T; limitação do SAR; monitoramento contínuo do paciente durante o exame, avaliação eletrônica abrangente do SAEC, antes e depois do exame de ressonância, visando identificar eventuais alterações.

A Medtronic tem pesquisado intensamente os riscos envolvidos, projetando um marcapasso e um sistema de cabos-eletrodos para trabalhar em tal ambiente, esperando com isso ajudar a muitos pacientes que se beneficiariam da tecnologia da IRM. Recentemente, realizou um estudo clínico internacional para confirmar a eficácia do sistema de estimulação EnRhythm® MRI SureScan™, o primeiro marcapasso desenvolvido e testado para o uso seguro no ambiente da ressonância magnética. O sistema é composto por um marcapasso de dupla-câmara EnRhythm MRI SureScan e um cabo-eletrodo CapSureFix MRI SureScan (Model 5086MRI).

A empresa Biotronik desenvolveu nova família de marcapassos - EVIA®, incluindo geradores bicamerais e unicamerais, que, em combinação com os eletrodos Safio®, para uso atrial e ventricular, forma um sistema condicional para IRM, chamados de ProMRI®. Para a aprovação desse sistema, testou várias combinações do gerador com tamanhos e posições variadas dos eletrodos; tempos de exposição e posição do paciente durante um exame típico de IRM. Oferece ainda o sistema Home Monitoring®, que permite o monitoramento remoto do portador desses dispositivos, alertando automaticamente

os médicos caso ocorra alguma alteração na condição clínica do paciente ou no funcionamento do dispositivo, durante ou após o procedimento de IRM.

Conclusão

Em síntese, portadores de SAEC, podem realizar exames de IRM, desde que sejam submetidos a monitoramento eletrocardiográfico adequado, utilizados aparelhos de até 1,5T e excluída a região torácica do paciente.

RELAMPA 78024-525

ABSTRACT: *This paper seeks to compile and organize information currently available and, if the magnetic resonance imaging (MRI) has been indicated and no alternative diagnosis can be used, suggest some safety measures. Until now no study was conducted involving all stakeholders in this issue, with the aim of creating a normative consensus. Recent papers show that it is possible to perform magnetic resonance imaging in patients with artificial cardiac pacingsystems (ACPS) safely, provided that prior preventive actions are observed. We outlined proposals to reach a consensus on the MRI scan in a patient with ACPS. The newest devices available to the market already incorporate technology to improve safety in MRI scans.*

DESCRIPTORS: *Artificial Pacemaker, Magnetic Resonance Imaging, Safety.*

RELAMPA 78024-525

RESUMEN: *Este trabajo trata de compilar y organizar las informaciones actualmente disponibles y, en caso de que se haya indicado el examen de Resonancia Magnética (IRM) y no se pueda utilizar ninguna alternativa diagnóstica, sugerir algunas medidas de seguridad. Hasta el presente momento no se ha llevado a cabo ningún estudio que abarque a todos los interesados en este tema, con vistas a crear una normativa de consenso. Los trabajos más recientes señalan que es posible realizar exámenes de resonancia magnética en portadores de sistemas artificiales de estimulación cardíaca (SAEC) con seguridad, siempre que observadas las acciones preventivas previamente. Se abordan las propuestas a fin de alcanzar un consenso con respecto al examen de IRM en el paciente portador de SAEC. Los más nuevos dispositivos brindados por el mercado ya incorporan tecnología para aumentar la seguridad en los exámenes de IRM.*

DESCRIPTORES: *Marcapasos Artificial, Imagen por Resonancia, Seguridad.*

Referências Bibliográficas

1. Del Ojo JL, Moya F, Villalba J, Sanz O, Pavón R, Garcia D, et al. Is magnetic resonance imaging safe in cardiac pacemaker recipients? *Pacing Clin Electrophysiol* 2005; 28:274-8.
2. International Society for Magnetic Resonance in Medicine. *Magnetic Resonance Imaging - Information for Patients* 2008. <http://www.ismrm.org/resources/informationfor-patients/>
3. Ministério da Saúde. DATASUS. 2010. Disponível em: URL: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS>
4. Lorga Filho A, Fagundes AA, Barros ARC, De Paola AAV, Pedrosa A, Grupi CJ, et al. *Diretrizes Brasileiras de Dispositivos Cardíacos Eletrônicos Implantáveis (DCEI)*. Martinelli Filho M, editor. São Paulo: Arquivos Brasileiros de Cardiologia 2007;89(6) 210-37.
5. Fonseca FAH. *Ressonância nuclear magnética do coração e vasos*. Doenças Cardiovasculares - Apoio ao Diagnóstico. 1a ed. São Paulo: Planmark Ltda; 2007. p.54-56.
6. Kanal E, Barkovich A, Bell C, Borgstede J, Bradley W, Froelich J, et al. *ACR Guidance Document for Safe MR Practices*. *American Journal of Roentgenology* 2007;188:1447-74.
7. Sommer T, Vahlhaus C, Lauck G, Smekal A, Reinke M, Hofer U, et al. MR imaging and cardiac pacemakers: in vitro evaluation and in vivo studies in 51 patients at 0.5 T. *Radiology* 2000;215:869-79.
8. Achenbach S, Moshage W, Diem B, Bieberle T, Schibgilla V, Bachmann K. Effects of magnetic resonance imaging on cardiac pacemakers and electrodes. *American Heart Journal* 1997;134:467-73.
9. Roguin A, Zviman MM, Meininger GR, Rodrigues ER, Dickfeld TM, Bluemke DA, et al. Modern pacemaker and implantable cardioverter/defibrillator systems can be magnetic resonance imaging safe: in vitro and in vivo assessment of safety and function at 1.5 T. *Circulation* 2004;110:475-82.
10. Sommer T, Naehle CP, Yang A, Zeijlemaker V, Hackenbroch M, Schmiedel A, et al. Strategy for Safe Performance of Extrathoracic Magnetic Resonance Imaging at 1.5 Tesla in the Presence of Cardiac Pacemakers in Non-Pacemaker-Dependent Patients - A Prospective Study With 115 Examinations. *Circulation* 2006;114:1285-92.
11. Gimbel JR. Magnetic Resonance Imaging of Implantable Cardiac Rhythm Devices at 3.0 Tesla. *PACE* 2008;31: 795-801.
12. Bogner P, Toth L, Simor T, Gulyas J, Lukacs G, Papp L, et al. Pacemaker in MR: absolute contraindication? *Orv Hetil Journal* 2008;149(10):435-40.
13. Mollerus M, Albin G, Lipinski M, Lucca J. Ectopy in patients with permanent pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators undergoing an MRI scan. *Pacing and Clinical Electrophysiology* 2009;32(6):772-8.
14. Pulver AF, Puchalski MD, Bradley DJ, Minich LL, Su JT, Saarel EV, et al. Safety and imaging quality of MRI in pediatric and adult congenital heart disease patients with pacemakers. *Pacing and Clinical Electrophysiology* 2009;32(4):450-6.
15. Martin ET, Coman JA, Shellock FG, Pulling CC, Fair R, Jenkins K. Magnetic resonance imaging and cardiac pacemaker safety at 1.5-Tesla. *Journal of the American College of Cardiology* 2004;43:1315-24.

Rosatti SFC, Oliveira FF, Geraldelli W, Rosa S, Salmon CEG. Ressonância magnética em portadores de sistema artificial de estimulação cardíaca - indicar ou não? *Relampa* 2011; 24(2):87-95.

Referências Bibliográficas

16. Nazarian S, Roguin A, Zviman MM, Lardo AC, Dickfeld TL, Calkins H, et al. Clinical utility and safety of a protocol for noncardiac and cardiac magnetic resonance imaging of patients with permanent pacemakers and implantable cardioverter defibrillators at 1.5 Tesla. *Circulation* 2006;114:1277-84.
17. Shellock FG, Fischer L, Fieno DS. Cardiac pacemakers and implantable cardioverter defibrillators: in vitro magnetic resonance imaging evaluation at 1.5-Tesla. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2007; 9:21-31.
18. Shellock FG, Tkach JA, Ruggieri PM, Masaryk TJ. Cardiac pacemakers, ICDs, and loop recorder: evaluation of translational attraction using conventional ('longbore') and 'short-bore' 1.5 and 3.0 Tesla MR systems. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2003;5:387-97.
19. Vahlhaus C, Sommer T, Lewalter T, Schimpf R, Schumacher B, Jung W, et al. Interference with cardiac pacemakers by magnetic resonance imaging: are there irreversible changes at 0.5 Tesla? *Pacing and Clinical Electrophysiology* 2001;24:489-95.
20. Sommer T, Lauck G, Schimpf R, Smekal A, Wolke S, Block W, et al. RMI in patients with cardiac pacemakers: in vitro and in vivo evaluation at 0.5 Tesla. *Rofo* 1998;168:36-43.
21. Heatlie G, Pennell DJ. Cardiovascular magnetic resonance at 0.5T in five patients with permanent pacemakers. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2007; 9:15-9.
22. Luechinger R, Duru F, Scheidegger MB, Boesiger P, Candinas R. Force and torque effects of a 1.5 Tesla RMI scanner on cardiac pacemakers and ICDs. *Pacing and Clinical Electrophysiology* 2001;24:199-205.
23. Schmiedel A, Hackenbroch M, Yang A, Nahle CP, Skowasch D, Meyer C, et al. Magnetic resonance imaging of the brain in patients with cardiac pacemakers. Experimental and clinical investigations at 1.5 Tesla. *Rofo* 2005;177:731-44.
24. Luechinger R, Zeijlemaker VA, Pedersen EM, Mortensen P, Falk E, Duru F, et al. In vivo heating of pacemaker leads during magnetic resonance imaging. *European Heart Journal* 2005;26:376-83.
25. Schenck JF. Safety of strong, static magnetic fields. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2000;12:2-19.
26. Strach K, Naehle CP, Muhlsteffen A, Hinz M, Bernstein A, Thomas D, et al. Low-field RMI: Increased safety for pacemaker patients? *Europace* 2010;12:952-60.
27. Irnich W, Irnich B, Bartsch C, Stertmann WA, Guffler H, Weiler G. Do we need pacemakers resistant to magnetic resonance imaging? *Europace* 2005;7: 353-65.
28. Luechinger RC. Safety aspects of cardiac pacemakers in magnetic resonance imaging [tese online]. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology Zurich; 2002. Disponível em URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download>.
29. Irnich W, Weiler G. The problems associated with asynchronous pacing stimulation. *Rechtsmedizin* 2009;19:152-6.
30. Gimbel JR. Unexpected asystole during 3T magnetic resonance imaging of a pacemaker - dependent patient with a 'modern' pacemaker. *Europace* 2009;11:1241-2.
31. Dempsey M, Condon B, Hadley D. RMI Safety Review. *Seminars in Ultrasound, CT, and RMI*. 2002;23(5):392-401.

Rosatti SFC, Oliveira FF, Geraldelli W, Rosa S, Salmon CEG. Ressonância magnética em portadores de sistema artificial de estimulação cardíaca - indicar ou não? *Relampa* 2011; 24(2):87-95.