
PARTE 1: DOENÇA ARTERIAL CORONÁRIA

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA CARDIOVASCULAR

NA DOENÇA ARTERIAL CORONÁRIA

GILBERTO SZARF^{1,2}, GUILHERME SANT'ANNA A. AZEVEDO³, IBRAIM M. PINTO^{4,5},
JULIANO DE LARA FERNANDES^{6,7}

Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo. 2009;19(3):303-12

RSCESP (72594)-1793

A ressonância magnética cardiovascular avançou de forma bastante rápida na última década, sobretudo na avaliação da doença arterial coronária. Com o advento de técnicas de imagem cada vez mais rápidas e com maior resolução espacial, hoje é possível à ressonância avaliar diversos componentes da doença arterial coronária em um único exame de curta duração. Destacam-se nesta avaliação a possibilidade de estudar a perfusão miocárdica para detecção da relevância funcional de estenoses coronárias, a avaliação de contratilidade em repouso e no estresse farmacológico com dobutamina, e a presença ou ausência de viabilidade miocárdica. Além de integrar todos esses elementos diagnósticos em um único exame com alta sensibilidade e especificidade, a ressonância magnética cardiovascular ainda fornece dados prognósticos de curto e longo prazos, tornando o método um dos mais completos para a prática clínica da avaliação da doença arterial coronária.

Descritores: Doença da artéria coronariana. Ressonância magnética. Isquemia miocárdica

ROLE OF CARDIOVASCULAR MAGNETIC RESONANCE IN CORONARY ARTERY DISEASE

Cardiovascular magnetic resonance has advanced very rapidly in the last decade, especially in the evaluation of coronary artery disease. With the development of imaging techniques with improved temporal and spatial resolution, it is currently possible to assess many different aspects of the disease using a single exam in a short duration of time. This assessment comprises myocardial perfusion studies to detect the functional relevance of coronary stenosis, assessment of contractility at rest and during dobutamine pharmacological stress, and presence of myocardial viability. In addition to integrating all these diagnostic elements into a single exam with high sensitivity and specificity, cardiovascular magnetic resonance imaging can also add short and long term prognostic information, making it one of the most comprehensive techniques available for the clinical appraisal of coronary artery disease.

Key words: Coronary artery disease. Magnetic resonance. Myocardial ischemia.

¹ Departamento de Diagnóstico por Imagem – Unifesp – EPM – São Paulo, SP.

² Centro Diagnóstico Fleury – São Paulo, SP.

³ Clínica ECOMAX – Blumenau, SC.

⁴ Hospital do Coração (HCor) – Associação do Sanatório Sírio – São Paulo, SP.

⁵ Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia – São Paulo, SP.

⁶ Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP.

⁷ Radiologia Clínica de Campinas (RCC) – Campinas, SP.

Endereço para correspondência:

Juliano de Lara Fernandes – Rua Antonio Lapa, 1.032 – Campinas, SP – CEP 13025-260

INTRODUÇÃO

A doença arterial coronária é composta por um grande número de diferentes facetas, compreendendo desde a avaliação da aterosclerose subclínica até a avaliação de viabilidade miocárdica. Nessa ampla gama de abordagens da doença, a ressonância ocupa papel central por poder, num único exame de 20 a 45 minutos, dar ao clínico a informação desejada, qualquer que seja o espectro da mesma. Nesse conceito já bastante discutido de *one stop shop*, com exceção hoje ainda da anatomia coronária, a ressonância magnética cardiovascular é o método que mais se aproxima dessa característica na avaliação da doença arterial coronária¹. Este artigo aborda sobretudo a utilização da ressonância magnética na avaliação da isquemia funcional e na pesquisa de infartos e viabilidade miocárdica, dois itens de maior relevância e aplicabilidade clínica em nosso dia-a-dia.

PESQUISA DE ISQUEMIA MIOCÁRDICA

Na avaliação clínica de pacientes com suspeita de doença arterial coronária, exames funcionais, que buscam indícios de isquemia miocárdica, são de fundamental importância para diagnóstico, manejo do tratamento e estabelecimento do prognóstico. Na última década, com o crescente volume de evidências na literatura, maior disponibilidade de equipamentos e capacitação profissional, a ressonância magnética cardiovascular somou-se aos métodos tradicionais disponíveis para tal.

Entre suas principais vantagens destacam-se ausência de radiação ionizante, rápida duração do exame (20-45 minutos), ausência de limitações quanto a biótipo (janela acústica, mamas, atenuação diafragmática) ou características eletrocardiográficas do paciente (bloqueio de ramo esquerdo), e resolução espacial substancialmente maior² (dimensão típica do voxel: ressonância magnética cardiovascular, 1,5 x 1,8 x 8 mm = 21,6 mm³; e cintilografia, 10 x 10 x 10 mm = 1.000 mm³), permitindo detectar alterações subendocárdicas. Agrega também informações sobre áreas de infarto e avaliação de viabilidade miocárdica e função ventricular global e segmentar. A necessidade de pausas respiratórias (entre 5-10 segundos, em média) e o menor histórico clínico podem ser citados como limitações. As contraindicações envolvem a presença de dispositivos ferromagnéticos (desfibriladores implantáveis, marca-passo, clipe cerebral, etc.), claustrofobia intensa (rara) e insuficiência renal nos estágios 4 e 5 (taxa de filtração < 30 ml/min), esta última pelo risco de se desenvolver a rara fibrose sistêmica nefrogênica. Stents coronários, valvas

metálicas e fios de aço cirúrgicos não impedem sua realização.

O uso da ressonância magnética cardiovascular para avaliação de isquemia é citado no consenso de angina instável/infarto agudo do miocárdio sem supradesnívelamento da *American Heart Association/American College of Cardiology* (AHA/ACC)³ e tem indicação classe IIa pela I Diretriz de Ressonância e Tomografia Cardiovascular da Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC)⁴. Segundo relatório de adequação do ACC⁵, o método é considerado apropriado para pacientes com probabilidade pré-teste intermediária e eletrocardiograma não-interpretável ou incapazes de se exercitar, e também para avaliação de estenoses angiográficas de significado incerto.

ESTRESSE FARMACOLÓGICO COM DOBUTAMINA

A dobutamina como agente provocador de isquemia é menos utilizada no dia-a-dia clínico que os testes com vasodilatação, embora ofereça acurácia diagnóstica similar⁶ com excelente perfil de segurança⁷. Os protocolos de uso da dobutamina na ressonância magnética cardiovascular usam doses crescentes da droga, com ou sem atropina, de maneira similar aos exames com ecocardiograma, até se atingir a dose máxima de 40 µg/kg/min, sendo realizadas imagens da função global e regional em cada fase de incremento⁸.

A sensibilidade e a especificidade do método são bastante elevadas, sendo relatados valores de 83,4%-96,7% e de 85,5%-94,5%, respectivamente, com acurácia superior à do ecocardiograma de estresse⁸. Em termos prognósticos, sabe-se que a sobrevida livre de eventos em três anos quando a pesquisa de isquemia por perfusão e dobutamina é negativa é de 99,2%⁹.

ESTRESSE FARMACOLÓGICO COM VASODILATADORES

Apesar de já existir relato na literatura sobre utilização de estresse físico¹⁰, sua realização é muito complexa junto ao magneto, sendo utilizado, na prática, o estresse farmacológico. Pode-se optar por infusão de dobutamina e vasodilatadores diretos, como adenosina, ou indiretos, como dipiridamol. O estresse com vasodilatadores é o mais utilizado por provocar menos taquicardia e menor intensidade de movimentação das paredes do ventrículo, e, conseqüentemente, maior facilidade técnica para aquisição das imagens de perfusão.

A dosagem (140 mcg/kg/min para adenosina e 0,56-0,84

mg/kg para dipiridamol, durante 4-6 minutos), a presença de efeitos colaterais maiores (por exemplo, bloqueio atrioventricular avançado) e menores (cefaleia, dor torácica, rubor facial), assim como os cuidados prévios (abstinência de cafeína por 24 horas, pesquisa de doença pulmonar descompensada) e durante a infusão (monitorização eletrocardiográfica e de pressão arterial) são análogos aos dos outros métodos de imagem e já amplamente descritos na literatura^{11,12}.

Durante a vasodilatação farmacológica, o fluxo sanguíneo coronário aumenta cerca de quatro vezes nas artérias normais, mas não nas significativamente obstruídas, onde já ocorre vasodilatação compensatória do leito vascular distalmente à lesão. Isso induz o aparecimento de defeitos perfusionais, pelo direcionamento maior do fluxo para o território não acometido.

A técnica de perfusão pela ressonância magnética cardiovascular, utilizando-se contraste baseado em gadolínio (metal raro, com propriedade de alterar o campo magnético a seu redor), procura criar um filme durante sua passagem junto com o sangue pelo miocárdio do ventrículo esquerdo (contrastação de primeira passagem).

São obtidos, no mínimo, três cortes em eixo curto (cortes em duas e quatro câmaras também podem ser realizados concomitantemente), cobrindo toda a extensão cardíaca. São adquiridas, em média, três a cinco imagens a cada batimento cardíaco, durante 45-60 segundos, após injeção de 0,05 mmol/kg a 0,2 mmol/kg de gadolínio a uma velocidade de 3-5 ml/s, seguido de bolo de 20-50 ml de soro fisiológico, por acesso venoso antecubital. As imagens iniciais são adquiridas em apneia expiratória, garantindo maior qualidade, orientando-se o paciente a realizar incursões respiratórias suaves ao término de sua capacidade de apneia. Um exemplo das imagens obtidas pode ser visto na Figura 1.

Entre as duas sequências de perfusão (estresse e repouso), obtêm-se imagens da anatomia e da função cardíacas em todos os planos; após aproximadamente 5-10 minutos da aquisição da perfusão de repouso, realiza-se a técnica de realce tardio para detecção de áreas de infarto e avaliação de viabilidade miocárdica¹³.

As áreas hipoperfundidas apresentam menor intensidade de sinal, com o contraste demorando mais para chegar aos respectivos territórios coronários, e são traduzidas por segmentos escuros durante a cine. As imagens da perfusão de estresse, realizadas no início do exame, são comparadas às de repouso, realizadas cerca de 15 minutos após. Na presença de defeitos perfusionais apenas no estresse, é feito o diagnóstico de isquemia miocárdica.

Análises quantitativa e semiquantitativa da perfusão podem ser realizadas, apresentando boa correlação com medidas invasivas de reserva de fluxo coronário¹⁴, mas são tecnicamente trabalhosas e demoradas. A análise qualitativa predomina na prática clínica e na maior parte da literatura, com resultados semelhantes.

INTERPRETAÇÃO DO EXAME

A análise da ressonância magnética cardiovascular com estresse para pesquisa de doença arterial coronária não se limita apenas à avaliação da perfusão miocárdica, mas se utiliza de abordagem multifatorial, que aproveita informações relativas à função sistólica tanto global como segmentar, à morfologia cardíaca e à presença de infarto miocárdico.

As informações obtidas por meio de técnicas de perfusão e de realce tardio, métodos independentes, servem para confirmar os achados um do outro. Trabalho de Klem et al. demonstrou que essa abordagem aumentou significativamente a especificidade (de 58% para 87%) e a acurácia (de

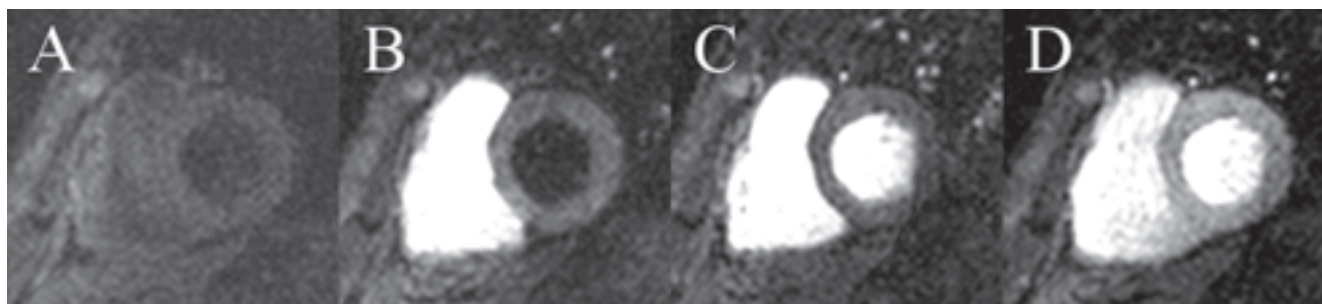


Figura 1. Estudo de perfusão por ressonância magnética em indivíduo normal. Imagens obtidas no eixo curto do ventrículo esquerdo. No início, o coração aparece escuro (A); o contraste, diversos batimentos cardíacos após sua injeção endovenosa, chega em sequência à cavidade ventricular direita (B), à cavidade ventricular esquerda (C) e ao miocárdio (D), causando realce homogêneo do miocárdio, que se apresenta adequadamente perfundido.

68% para 88%) do método, mantendo boa sensibilidade (84% para 89%) para detecção de estenoses $\geq 70\%$, quando comparada à análise isolada da perfusão¹⁵.

Assim, têm-se as seguintes possibilidades de combinações:

1. Presença de realce tardio compatível com infarto isquêmico do miocárdio (não inclui distribuição epicárdica e mesocárdica, que podem ocorrer em outras afecções): confirma doença arterial coronária, independentemente do achado perfusional. Alterações perfusionais são valorizadas e o laudo do exame é positivo para isquemia se houver defeito de perfusão estendendo-se além do território com fibrose.
2. Ausência de realce tardio e perfusão de estresse normal: ausência de isquemia – exame normal.
3. Ausência de realce tardio e perfusão de estresse alterada, com perfusão de repouso normal (defeito reversível): presença de isquemia – exame positivo.
4. Ausência de realce tardio e perfusão de estresse e de repouso alterada (defeito combinado e fixo): artefato – exame normal.

Um exemplo de defeito perfusional com isquemia presente pode ser visto na Figura 2.

Casos de obstrução coronária muito grave podem levar a hipoperfusão ao repouso, mas pioram ao estresse e associam-se, em geral, a alteração segmentar da contratilidade.

ESTUDOS CLÍNICOS

Após validação com estudos em animais no início da década de 90^{16,17}, a capacidade diagnóstica da perfusão de estresse pela ressonância magnética cardiovascular foi avaliada em numerosos estudos clínicos com pacientes, incluindo trabalho conduzido no Brasil por Cury et al.¹⁸.

Em sua maioria, mostraram boa correlação com a coronariografia invasiva e com os outros métodos de imagem, embora questionamentos sobre o tamanho reduzido de algumas amostras possam ser levantados. Considerações sobre viés de seleção e prevalência de doença arterial coronária na população estudada, entre outros erros estatísticos, comuns a todos os métodos não-invasivos para diagnóstico de doença arterial coronária, devem ser lembradas.

Em meta-análise com 37 estudos e 2.191 pacientes, a ressonância magnética cardiovascular apresentou sensibilidade de 91% e especificidade de 81% para o diagnóstico de doença arterial coronária¹⁹. Recentemente, o *Magnetic Resonance Imaging for Myocardial Perfusion Assessment in Coronary Artery Disease Trial (MR-IMPACT)*, maior estudo multicêntrico randomizado de ressonância magnética cardiovascular e também de tomografia computadorizada de emissão de fóton único (SPECT), incluiu

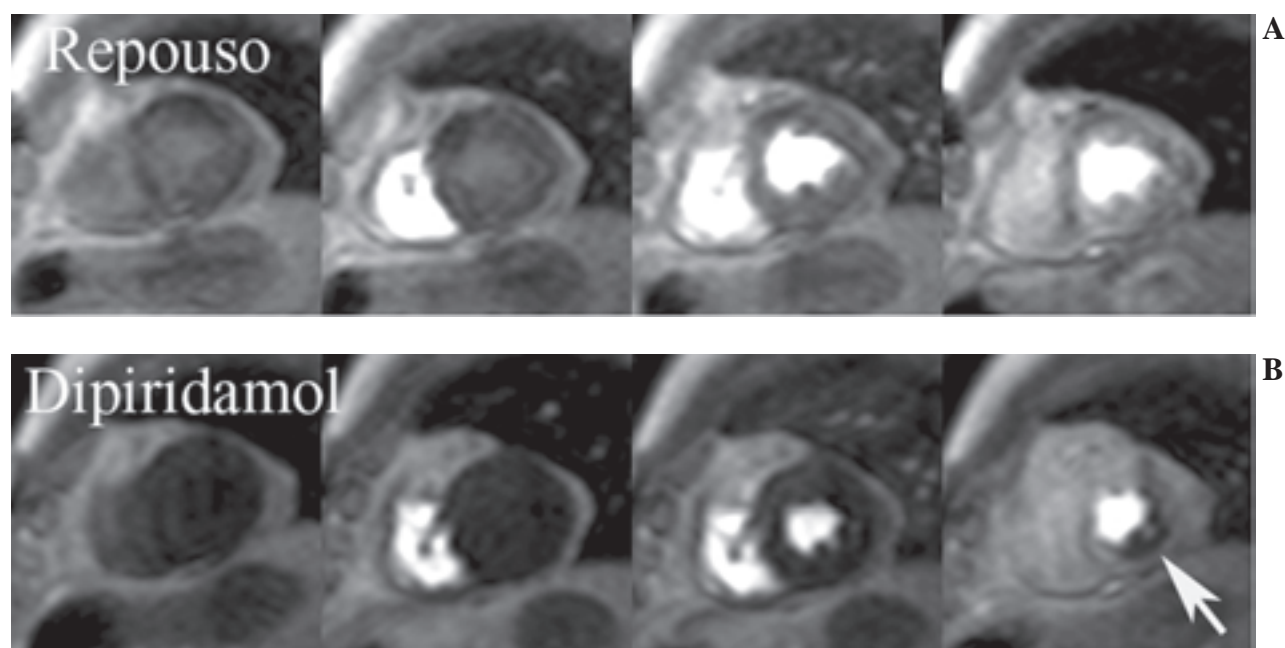


Figura 2. Estudo de perfusão por ressonância magnética em um indivíduo com isquemia. Em A, imagens obtidas em repouso no eixo curto do ventrículo esquerdo, demonstrando primeira passagem normal do meio de contraste (gadolinio). Em B, após injeção endovenosa de dipiridamol (0,56 mg/kg), observa-se defeito de perfusão significativo na região do subendocárdio da parede ínfero-posterior (seta branca) do ventrículo esquerdo.

234 pacientes e comparou diretamente o desempenho diagnóstico da ressonância magnética cardiovascular com a cintilografia por SPECT, demonstrando acurácia de 86% para a ressonância magnética cardiovascular, com desempenho semelhante ao do *gated*-SPECT e sugerindo superioridade sobre a população total de SPECT²⁰.

O valor prognóstico da ressonância magnética cardiovascular com estresse em pacientes com suspeita de doença arterial coronária foi avaliado em contexto de pronto-socorro²¹ e ambulatorial²¹⁻²³, com resultados bastante satisfatórios, tendo os exames alterados a capacidade de identificar corretamente os pacientes com alto risco para eventos cardiovasculares maiores. Em trabalho com 513 pacientes e seguimento de três anos, Jahnke et al. demonstraram sobrevida livre de eventos de 99,2% naqueles que apresentaram ressonância magnética cardiovascular normal.⁹

AValiação DA VIABILIDADE PELA RESSONÂNCIA MAGNÉTICA CARDIOVASCULAR

Nos pacientes com doença arterial coronária com disfunção ventricular, além da avaliação de isquemia, torna-se importante detectar áreas de tecido viável para o planejamento terapêutico, uma vez que a revascularização de miocárdio não-funcionante, porém viável, pode melhorar a função ventricular e a sobrevida²⁴⁻²⁶.

Os conceitos de miocárdio hibernante e atordoado descrevem situações em que há comprometimento reversível da contração ventricular (portanto, há tecido viável na região afetada). O primeiro se refere à disfunção do ventrículo esquerdo em repouso decorrente do fluxo coronário reduzido, que pode ser parcial ou totalmente revertida pela revascularização e/ou pela redução da demanda de oxigênio do miocárdio²⁷. O segundo se refere à disfunção mecânica prolongada após evento isquêmico, mesmo após restabelecimento da perfusão normal e ausência de lesão tecidual permanente²⁸.

A detecção de tecido viável, hibernante ou atordoado, e sua diferenciação em relação à área de infarto (que, por definição, não pode ser viável) podem assumir grande importância na decisão terapêutica²⁹ de indicar ou não revascularização para aquela região.

Clinicamente existem algumas opções para se avaliar a ocorrência de infarto agudo do miocárdio; no entanto, elas fornecem informações limitadas. O eletrocardiograma, apesar de muito útil, é pouco sensível nos casos de pequenos infartos. Os marcadores sorológicos, como os níveis de creatina quinase e de troponinas, podem apresentar evolução temporal

atípica caso tenha ocorrido reperfusão, além de não fornecerem informações em relação à localização do território lesado. Além disso, os níveis de creatina quinase demoram horas para se elevar e as troponinas só voltam ao nível normal após as primeiras duas semanas do evento isquêmico (impedindo parcialmente a identificação de reinfartos e de infartos antigos). A presença de alteração da contratilidade em repouso não fornece informações suficientes em relação à viabilidade, porque tanto o tecido necrótico como o tecido viável podem apresentar comprometimento da função contrátil.

A maneira mais precisa de se estabelecer o diagnóstico de infarto é a presença de morte celular³⁰; no entanto, na prática clínica tal avaliação histológica não é viável. Dessa maneira, algumas alternativas clinicamente possíveis, porém menos precisas, de se avaliar viabilidade foram desenvolvidas, entre elas melhora contrátil após dobutamina em baixa dose, ausência de defeito fixo no mapeamento com tálío, presença de metabolismo de glicose, e presença de paredes com espessura adequada e que apresentam espessamento durante a sístole. Entretanto, o padrão de referência para definição de viabilidade clínica é a recuperação da função contrátil pós-revascularização do miocárdio.

Após evento isquêmico associado a morte celular, algumas alterações estruturais ocorrem na região do infarto e o processo de cicatrização se completa em três a quatro meses. Os estudos cardíacos por ressonância magnética demonstram que a espessura da parede em áreas de infarto transmural crônico geralmente está abaixo de 6 mm e nessas áreas observa-se acinesia³¹.

A viabilidade utilizando-se a função contrátil pode ser avaliada pelo estudo do aumento da contratilidade do miocárdio em resposta a um estímulo inotrópico (infusão endovenosa de dobutamina).

A função contrátil pode ser avaliada pela ressonância magnética por meio de sequências cine gradiente-eco em que são obtidos vários quadros ao longo do batimento cardíaco. Tais quadros juntos compõem um filme (cine), que permite a avaliação dinâmica da função contrátil. Essas sequências têm resolução temporal de até 30 ms, proporcionam ótima diferenciação entre a cavidade e o músculo cardíaco e permitem boa definição da borda do endocárdio, sem a necessidade da utilização de meios de contraste injetáveis³².

Para avaliação da reserva contrátil pode ser utilizada dobutamina em baixa dose. Nesse caso, geralmente recomenda-se a realização de múltiplas imagens no eixo curto do ventrículo esquerdo e duas imagens no eixo longo durante o repouso e em doses de 5 mg/kg/min e 10 mg/kg/min de

dobutamina. A melhora da função sistólica durante a infusão de dobutamina em baixa dose, quando comparada com as imagens obtidas em repouso, caracteriza a presença de tecido viável³³. Deve-se lembrar que pode ser realizada mesmo em pacientes que apresentam janelas acústicas desfavoráveis ao estudo por ecocardiografia. A ressonância magnética cardiovascular com dobutamina apresenta acurácia superior à da ecocardiografia com dobutamina³⁴, sendo mais uma opção de estudo a ser considerada, principalmente em indivíduos cujo biótipo não favorece a realização do segundo exame⁸.

A forma principal de se avaliar viabilidade por ressonância magnética cardiovascular atualmente consiste na utilização de contraste paramagnético endovenoso (gadolínio), com base no fato de que as regiões com lesão irreversível apresentam realce tardio (Figura 3). Embora os mecanismos responsáveis ainda não tenham sido plenamente elucidados, acredita-se que, nos infartos agudos, a necrose dos miócitos resulte em ruptura de membranas e edema intersticial. Como o gadolínio-DTPA é um agente primariamente extracelular intersticial, o volume de distribuição das moléculas de contraste aumenta na área de infarto. Além disso, o tempo de *wash-out* nessas regiões parece estar prolongado, possivelmente porque haveria redução da superfície efetiva de capilares, diminuindo o transporte de solutos, além de acarretar aumento da distância que esses solutos têm de percorrer para se difundir para fora da região afetada. Nos infartos crônicos também é possível observar realce nas regiões de necrose, provavelmente pelo aumento do espaço extracelular nas áreas de cicatriz colágena. A redução da densidade capilar nessas regiões também altera a cinética, com aumento dos tempos de *wash-out*³⁵⁻³⁸.

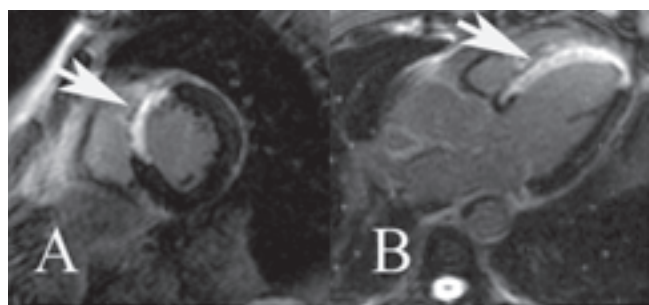


Figura 3. Técnica do realce tardio com imagens obtidas no eixo curto (A) e via de saída do ventrículo esquerdo (B), demonstrando hipersinal (setas brancas) no septo em praticamente toda sua extensão, compatível com necrose. O miocárdio normal é representado pelas áreas de hipossinal no restante do ventrículo esquerdo.

A concordância da área de infarto observada na ressonância magnética por meio de sequências ponderadas em T1 utilizando a técnica do realce tardio com o padrão de referência, que seria o corante cloreto de trifeniltetrazólio (TTC), na afecção já foi descrita em trabalhos com modelos animais. Observou-se que o realce ocorre apenas na área de necrose e que áreas submetidas a um período de isquemia, porém sem necrose, não apresentam realce³⁹.

As imagens obtidas pela ressonância magnética apresentam alta resolução espacial, permitindo a distinção de infartos subendocárdicos que podem não ser detectados por SPECT ou que não estão associados à alteração da motilidade da parede³⁵.

A resolução espacial da ressonância magnética cardiovascular para avaliação de infartos é de cerca de 1,5 x 1,8 x 8,0 mm, enquanto a de SPECT é de 10 x 10 x 10 mm. Acredita-se que esse seja o motivo pelo qual pequenos infartos não são detectados por SPECT. Isso foi avaliado por Wagner et al., que demonstraram concordância perfeita entre os dois métodos para grandes infartos, porém discordância significativa para os infartos subendocárdicos (muitos dos quais não detectados por SPECT)³⁵.

Além disso, a ressonância magnética com contraste não oferece apenas a informação “viável” ou “não viável”, mas também o grau de acometimento transmural do infarto. Essa informação tem utilidade na avaliação do prognóstico em relação à melhora funcional. Kim et al.⁴⁰ realizaram ressonância magnética cardíaca em 50 pacientes coronariopatas com disfunção ventricular esquerda crônica antes da revascularização (cirúrgica ou percutânea) com avaliação da função (cinerressonância magnética) e da viabilidade (técnica do realce tardio). Aproximadamente 11 semanas após a revascularização, a cinerressonância magnética foi repetida. Os autores observaram que, quando foram considerados todos os segmentos com déficit de função, houve redução progressiva da proporção de melhora quanto maior era a espessura muscular acometida pelo infarto (“transmuralidade”). Além disso, quanto maior a quantidade de tecido viável com alteração de função maior a melhora da função contrátil e da fração de ejeção após a revascularização⁴⁰.

A avaliação do tamanho da área de infarto detectada pela ressonância magnética foi comparada com outros métodos. Em um estudo, 20 pacientes com infartos crônicos realizaram ressonância magnética com contraste e SPECT por duas vezes. A diferença média da área de infarto pelos dois métodos foi de 0,5% da massa do ventrículo esquerdo (a ressonância magnética cardiovascular subestimando essa área comparando-se com SPECT). A diferença da medida

observada pelos dois exames de ressonância magnética cardiovascular foi de -0,1% (comparativamente a -1,3% para SPECT), o que mostra que a ressonância magnética cardiovascular tem boa reprodutibilidade⁴¹.

Em relação à tomografia por emissão de pósitrons (PET), observou-se que a ressonância magnética cardiovascular tem sensibilidade e especificidade de 96% e 84% para detecção de miocárdio não-viável⁴². Houve boa correlação da medida da área de infarto, mas a ressonância magnética cardiovascular mostrou tendência a subestimar essa medida⁴³, possivelmente pela sua maior resolução espacial, que permite delinear melhor as margens do infarto. Provavelmente pelo mesmo motivo a PET também não conseguiu demonstrar pequenos infartos subendocárdicos identificados pela ressonância magnética.

Além do realce, em alguns casos de infarto agudo do miocárdio, nos primeiros minutos após a injeção de contraste, pode ser observada área de menor intensidade de sinal no subendocárdio, que apresenta realce posteriormente. Acredita-se que essas sejam áreas de obstrução microvascular (*no-reflow*)⁴⁴ e que, por esse motivo, nessas regiões haveria retardo na penetração de contraste (*wash-in*), comparativamente ao restante da área de necrose do miocárdio. Esse achado em pacientes com infarto reperfundido está associado a maior taxa de complicações cardiovasculares⁴⁵ (independentemente do tamanho do

infarto), com aumento dos volumes sistólico e diastólico final e com maior chance de formação de cicatriz fibrosa no seguimento em seis meses. Assim, um mecanismo potencial pelo qual a obstrução microvascular se associa a pior prognóstico seria seu efeito adverso no remodelamento do ventrículo esquerdo após o infarto⁴⁶.

PERSPECTIVAS

A alta resolução espacial proporcionada pela perfusão por ressonância magnética cardiovascular permite visualização de defeitos subendocárdicos e pode ser útil em pacientes portadores de doença arterial coronária microvascular, como na síndrome X e na cardiomiopatia hipertrófica, já havendo alguns estudos com essas afecções^{47,48}. Sequências para a análise angiográfica das coronárias pela ressonância magnética cardiovascular existem, estão em contínuo processo de desenvolvimento, mas ainda não fazem parte dos exames de rotina. Podem ter valor adicional na minoria dos pacientes nos quais se obtêm imagens de excelente qualidade (33% dos casos em estudo recente de Klein et al.⁴⁹). Estudos iniciais de perfusão em aparelhos de alto campo magnético (3 T), que aumentam a relação sinal-ruído e o realce pelo contraste, vêm se mostrando promissores e apresentando resultados melhores que a geração atual de 1,5 T⁵⁰⁻⁵².

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Poon M, Fuster V, Fayad Z. Cardiac magnetic resonance imaging: a "one-stop-shop" evaluation of myocardial dysfunction. *Curr Opin Cardiol*. 2002;17(6):663-70.
2. Kim HW, Klem I, Kim RJ. Detection of myocardial ischemia by stress perfusion cardiovascular magnetic resonance. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2007;15(4):527-40, vi.
3. Anderson JL, Adams CD, Antman EM, Bridges CR, Califf RM, Casey DE Jr, et al. ACC/AHA 2007 guidelines for the management of patients with unstable angina/non ST-elevation myocardial infarction: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2002 Guidelines for the Management of Patients With Unstable Angina/Non ST-Elevation Myocardial Infarction): developed in collaboration with the American College of Emergency Physicians, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society of Thoracic Surgeons: endorsed by the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation and the Society for Academic Emergency Medicine. *Circulation*. 2007;116(7):e148-304.
4. Rochitte CE, Pinto IM, Fernandes JL, Filho CF, Jatene A, Carvalho AC, et al. [Cardiovascular magnetic resonance and computed tomography imaging guidelines of the Brazilian Society of Cardiology]. *Arq Bras Cardiol*. 2006;87(3):e60-100.
5. Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, Poon M, Carr JC, Gerstad NA, et al. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48(7):1475-97.
6. Paetsch I, Jahnke C, Wahl A, Gebker R, Neuss M, Fleck E, et al. Comparison of dobutamine stress magnetic resonance, adenosine stress magnetic resonance, and adenosine stress magnetic resonance perfusion. *Circulation*. 2004;110(7):835-42.

7. Wahl A, Paetsch I, Gollesch A, Roethemeyer S, Foell D, Gebker R, et al. Safety and feasibility of high-dose dobutamine-atropine stress cardiovascular magnetic resonance for diagnosis of myocardial ischaemia: experience in 1000 consecutive cases. *Eur Heart J*. 2004;25(14):1230-6.
8. Nagel E, Lehmkuhl HB, Bocksch W, Klein C, Vogel U, Frantz E, et al. Noninvasive diagnosis of ischemia-induced wall motion abnormalities with the use of high-dose dobutamine stress MRI: comparison with dobutamine stress echocardiography. *Circulation*. 1999;99(6):763-70.
9. Jahnke C, Nagel E, Gebker R, Kokocinski T, Kelle S, Manka R, et al. Prognostic value of cardiac magnetic resonance stress tests: adenosine stress perfusion and dobutamine stress wall motion imaging. *Circulation*. 2007;115(13):1769-76.
10. Jekic M, Foster EL, Ballinger MR, Raman SV, Simonetti OP. Cardiac function and myocardial perfusion immediately following maximal treadmill exercise inside the MRI room. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008;10(1):3.
11. Leppo JA. Comparison of pharmacologic stress agents. *J Nucl Cardiol*. 1996;3(6 Pt 2):S22-26.
12. Karamitsos TD, Arnold JR, Pegg TJ, Cheng AS, van Gaal WJ, Francis JM, et al. Tolerance and safety of adenosine stress perfusion cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with severe coronary artery disease. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2009;25(3):277-83.
13. Jerosch-Herold M, Muehling O. Stress perfusion magnetic resonance imaging of the heart. *Top Magn Reson Imaging*. 2008;19(1):33-42.
14. Costa MA, Shoemaker S, Futamatsu H, Klassen C, Angiolillo DJ, Nguyen M, et al. Quantitative magnetic resonance perfusion imaging detects anatomic and physiologic coronary artery disease as measured by coronary angiography and fractional flow reserve. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50(6):514-22.
15. Klem I, Heitner JF, Shah DJ, Sketch MH Jr, Behar V, Weinsaft J, et al. Improved detection of coronary artery disease by stress perfusion cardiovascular magnetic resonance with the use of delayed enhancement infarction imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47(8):1630-8.
16. Wilke N, Jerosch-Herold M, Wang Y, Huang Y, Christensen BV, Stillman AE, et al. Myocardial perfusion reserve: assessment with multisection, quantitative, first-pass MR imaging. *Radiology*. 1997;204(2):373-84.
17. Klocke FJ, Simonetti OP, Judd RM, Kim RJ, Harris KR, Hedjbeli S, et al. Limits of detection of regional differences in vasodilated flow in viable myocardium by first-pass magnetic resonance perfusion imaging. *Circulation*. 2001;104(20):2412-6.
18. Cury RC, Cattani CA, Gabure LA, Racy DJ, de Gois JM, Siebert U, et al. Diagnostic performance of stress perfusion and delayed-enhancement MR imaging in patients with coronary artery disease. *Radiology*. 2006;240(1):39-45.
19. Nandalur KR, Dwamena BA, Choudhri AF, Nandalur MR, Carlos RC. Diagnostic performance of stress cardiac magnetic resonance imaging in the detection of coronary artery disease: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50(14):1343-53.
20. Schwitter J, Wacker CM, van Rossum AC, Lombardi M, Al-Saadi N, Ahlstrom H, et al. MR-IMPACT: comparison of perfusion-cardiac magnetic resonance with single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease in a multicentre, multivendor, randomized trial. *Eur Heart J*. 2008;29(4):480-9.
21. Ingkanisorn WP, Kwong RY, Bohme NS, Geller NL, Rhoads KL, Dyke CK, et al. Prognosis of negative adenosine stress magnetic resonance in patients presenting to an emergency department with chest pain. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47(7):1427-32.
22. Bodi V, Sanchis J, Lopez-Lereu MP, Nunez J, Mainar L, Monmeneu JV, et al. Prognostic value of dipyridamole stress cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 2007;50(12):1174-9.
23. Pilz G, Jeske A, Klos M, Ali E, Hoefling B, Scheck R, et al. Prognostic value of normal adenosine-stress cardiac magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol*. 2008;101(10):1408-12.
24. Hammermeister KE, DeRouen TA, Dodge HT. Variables predictive of survival in patients with coronary disease. Selection by univariate and multivariate analyses from the clinical, electrocardiographic, exercise, arteriographic, and quantitative angiographic evaluations. *Circulation*. 1979;59(3):421-30.
25. Harris PJ, Harrell FE Jr, Lee KL, Behar VS, Rosati RA. Survival in medically treated coronary artery disease. *Circulation*. 1979;60(6):1259-69.
26. Mock MB, Ringqvist I, Fisher LD, Davis KB, Chaitman BR, Kouchoukos NT, et al. Survival of medically treated patients in the Coronary Artery Surgery Study (CASS) registry. *Circulation*. 1982;66(3):562-8.
27. Rahimtoola SH. The hibernating myocardium. *Am Heart J*. 1989;117(1):211-21.
28. Braunwald E, Kloner RA. The stunned myocardium: prolonged, postischemic ventricular dysfunction. *Circulation*. 1982;66(6):1146-9.
29. Wu KC, Lima JA. Noninvasive imaging of myocardial viability: current techniques and future developments. *Circ Res*. 2003;93(12):1146-58.
30. Kaul S. Assessing the myocardium after attempted reperfusion: should we bother? *Circulation*. 1998;98(7):625-7.
31. Baer FM, Voth E, Schneider CA, Theissen P, Schicha H, Sechtem U. Comparison of low-dose dobutamine-gradient-echo magnetic resonance imaging and positron emission tomography with [¹⁸F]fluorodeoxyglucose in patients with

- chronic coronary artery disease. A functional and morphological approach to the detection of residual myocardial viability. *Circulation*. 1995;91(4):1006-5.
32. Ichikawa Y, Sakuma H, Kitagawa K, Ishida N, Takeda K, Uemura S, et al. Evaluation of left ventricular volumes and ejection fraction using fast steady-state cine MR imaging: comparison with left ventricular angiography. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2003;5(2):333-42.
33. Wagner A, Mahrholdt H, Sechtem U, Kim RJ, Judd RM. MR imaging of myocardial perfusion and viability. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2003;11(1):49-66.
34. Baer FM, Voth E, LaRosee K, Schneider CA, Theissen P, Deutsch HJ, et al. Comparison of dobutamine transesophageal echocardiography and dobutamine magnetic resonance imaging for detection of residual myocardial viability. *Am J Cardiol*. 1996;78(4):415-9.
35. Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, Elliott MD, Regenfus M, Parker M, et al. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet*. 2003;361(9355):374-9.
36. Lima JA, Judd RM, Bazille A, Schulman SP, Atalar E, Zerhouni EA. Regional heterogeneity of human myocardial infarcts demonstrated by contrast-enhanced MRI. Potential mechanisms. *Circulation*. 1995;92(5): 1117-25.
37. Flacke SJ, Fischer SE, Lorenz CH. Measurement of the gadopentetate dimeglumine partition coefficient in human myocardium in vivo: normal distribution and elevation in acute and chronic infarction. *Radiology*. 2001;218(3): 703-10.
38. Judd RM, Lugo-Olivieri CH, Arai M, Kondo T, Croisille P, Lima JA, et al. Physiological basis of myocardial contrast enhancement in fast magnetic resonance images of 2-day-old reperfused canine infarcts. *Circulation*. 1995;92(7):1902-10.
39. Fieno DS, Kim RJ, Chen EL, Lomasney JW, Klocke FJ, Judd RM. Contrast-enhanced magnetic resonance imaging of myocardium at risk: distinction between reversible and irreversible injury throughout infarct healing. *J Am Coll Cardiol*. 2000;36(6):1985-91.
40. Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med*. 2000;343(20):1445-53.
41. Mahrholdt H, Wagner A, Holly TA, Elliott MD, Bonow RO, Kim RJ, et al. Reproducibility of chronic infarct size measurement by contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Circulation*. 2002;106(18):2322-7.
42. Kuhl HP, Beek AM, van der Weerd AP, Hofman MB, Visser CA, Lammertsma AA, et al. Myocardial viability in chronic ischemic heart disease: comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging with (18)F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol*. 2003;41(8):1341-8.
43. Klein C, Nekolla SG, Bengel FM, Momose M, Sammer A, Haas F, et al. Assessment of myocardial viability with contrast-enhanced magnetic resonance imaging: comparison with positron emission tomography. *Circulation*. 2002;105(2):162-7.
44. Kloner RA, Ganote CE, Jennings RB. The "no-reflow" phenomenon after temporary coronary occlusion in the dog. *J Clin Invest*. 1974;54(6):1496-508.
45. Wu KC, Zerhouni EA, Judd RM, Lugo-Olivieri CH, Barouch LA, Schulman SP, et al. Prognostic significance of microvascular obstruction by magnetic resonance imaging in patients with acute myocardial infarction. *Circulation*. 1998;97(8):765-72.
46. Gerber BL, Rochitte CE, Melin JA, McVeigh ER, Bluemke DA, Wu KC, et al. Microvascular obstruction and left ventricular remodeling early after acute myocardial infarction. *Circulation*. 2000;101(23):2734-41.
47. Lanza GA, Buffon A, Sestito A, Natale L, Sgueglia GA, Galiuto L, et al. Relation between stress-induced myocardial perfusion defects on cardiovascular magnetic resonance and coronary microvascular dysfunction in patients with cardiac syndrome X. *J Am Coll Cardiol*. 2008;51(4):466-72.
48. Petersen SE, Jerosch-Herold M, Hudsmith LE, Robson MD, Francis JM, Doll HA, et al. Evidence for microvascular dysfunction in hypertrophic cardiomyopathy: new insights from multiparametric magnetic resonance imaging. *Circulation*. 2007;115(18): 2418-25.
49. Klein C, Gebker R, Kokocinski T, Dreyse S, Schnackenburg B, Fleck E, et al. Combined magnetic resonance coronary artery imaging, myocardial perfusion and late gadolinium enhancement in patients with suspected coronary artery disease. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008;10(1):45.
50. Cheng AS, Pegg TJ, Karamitsos TD, Searle N, Jerosch-Herold M, Choudhury RP, et al. Cardiovascular magnetic resonance perfusion imaging at 3-tesla for the detection of coronary artery disease: a comparison with 1.5-tesla. *J Am Coll Cardiol*. 2007;49(25):2440-9.
51. Kelle S, Hamdan A, Schnackenburg B, Kohler U, Klein C, Nagel E, et al. Dobutamine stress cardiovascular magnetic resonance at 3 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008;10(1):44.
52. Thomas D, Strach K, Meyer C, Naehle CP, Schaare S, Wasmann S, et al. Combined myocardial stress perfusion imaging and myocardial stress tagging for detection of coronary artery disease at 3 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008;10(1):59.