

AVISO IMPORTANTE: Para citar este artigo proceder segundo orientações abaixo para respeitar os direitos dos autores e o fator de impacto da revista.

Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E; Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013; 15: 91.

Padronização dos protocolos de ressonância magnética cardiovascular (RMCV), atualização 2013.

Christopher M Kramer^{1*}, Jörg Barkhausen², Scott D Flamm³, Raymond J Kim⁴, Eike Nagel⁵, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols

Resumo

Este documento é uma atualização da publicação de 2008 realizado como força tarefa pela comissão para padronização dos protocolos da Sociedade de Ressonância Magnética Cardiovascular (**SCMR**). Desde a publicação original, 3 documentos adicionais já foram publicados (Elaboração de laudos, Pós processamento e Cardiopatias Congênitas) e devem ser relatados em conjunto com este documento. A seção dos princípios gerais e técnicas foram ampliadas e padronizadas com mais técnicas comumente utilizadas na realização da ressonância magnética cardiovascular (RMCV). Entretanto, ainda precisamos avançar na área de caracterização tecidual/mapas, de forma que esses protocolos foram deixados como opcionais. Os autores desejam que este documento possa padronizar e simplificar a abordagem do paciente clínico na realização da RMCV. O mesmo será atualizado em intervalos regulares de acordo com os avanços na área da RMCV.

Introdução

Este documento é uma atualização da publicação de 2008 como força tarefa pela comissão para padronização dos protocolos da Sociedade de Ressonância Magnética Cardiovascular (**SCMR**) [1]. Desde a publicação original, 3 documentos adicionais já foram publicados e devem ser relatados em conjunto com este documento. O primeiro documento é sobre a elaboração de laudos publicado pela força tarefa da SCMR em 2010 [2]. Todas as referências dos protocolos anteriores foram excluídas deste documento uma vez que abordados neste documento atual. Além disso, todas as referências das análises metodológicas foram excluídas do protocolo atual uma vez que eles foram revisados em sua totalidade pela recente publicação da força tarefa em Pós-processamento pela SCMR[3]. Todos os protocolos referentes as cardiopatias congênitas foram excluídos, uma vez que já se publicou um documento separado relacionado a este tópico[4].

A seção dos princípios gerais e técnicas foi expandida

a medida que mais técnicas de RMCV foram padronizadas e se tornaram comumente utilizadas. Entretanto ainda precisamos avançar na área de caracterização tecidual/mapas, de forma que esses protocolos foram deixados como opcionais. Os autores desejam que este documento possa padronizar e simplificar a abordagem do paciente clínico na realização da RMCV. O mesmo será atualizado em intervalos regulares de acordo com os avanços na área da RMCV.

Técnicas Gerais

Considerações sobre a Intensidade do Campo Magnético

1. A RMCV pode ser realizada em diferentes intensidades de campo magnético. Atualmente a maioria dos exames são realizados em campos de 1.5T.
2. A RMCV de 3T requer um *shimming* cuidadoso e ajustes nos pulsos de radiofrequência para evitar artefatos.
3. Por causa da melhora na relação sinal-ruído (SNR), a 3T é vantajosa nas imagens de perfusão de primeira passagem. Além disso, as seqüências de *tagging* e

* Correspondence: ckramer@virginia.edu

¹Departments of Medicine and Radiology, University of Virginia Health System, Lee Street, Box 800170, Charlottesville, VA 22908, USA

Full list of author information is available at the end of the article

- fluxo 4D podem se beneficiar nas 3T.
- As sequências de *steady-state free precession* (precessão livre no estado de equilíbrio) geralmente são de escolha para imagens de cine em 1.5T, entretanto, apresenta vários desafios na 3T incluindo o aumento dos artefatos de bandas escuras, artefatos de fluxo e seleção de *flip angle* subótimos em virtude das restrições da taxa de absorção específica (SAR).
 - Os dispositivos que foram testados em 1.5T podem não ser seguros em 3T: verificar informações específicas relacionadas a segurança dos dispositivos de RM nos equipamentos de alto campo magnético.

Agentes estressores

- Dobutamina: dose máxima habitual de 40 mcg/kg/min
- Atropina: frações de 0.25 mg (dose máxima de 2 mg)
- Adenosina: 140 mcg/kg/min, (considerar um aumento de até 210 mcg/kg/min na dose, dependendo das regras institucionais e locais, se após 2-3 minutos a frequência cardíaca não tiver aumentado 10 bpm e/ou a pressão arterial não cair >10 mmHg).
- Regadenoson: 0.4 mg dose única.

Contra-indicações

Dobutamina

- Hipertensão arterial grave (> 220/120 mmHg).
- Angina instável
- Estenose valvar aórtica significativa (gradiente valvar aórtico de pico > 50 mmHg ou área valvar aórtica <1 cm²)
- Arritmias cardíacas complexas incluindo fibrilação atrial com frequência cardíaca não controlada.
- Miocardiopatia hipertrófica obstrutiva
- Miocardite, endocardite, pericardite
- Insuficiência cardíaca descompensada.

Atropina

- Glaucoma de angulo fechado
- Miastenia grave
- Uropatia obstrutiva
- Enfermidades obstrutivas gastrointestinais

Adenosina ou Regadenoson

- Bloqueio AV de 2° ou 3° grau ou doença do nó sinusal
- Pressão arterial sistólica menor que 90 mmHg
- Bradycardia sinusal (frequência cardíaca <40 bpm)
- Doença broncoconstrictora ou broncoespástica ativa com uso regular de inalação.
- Hipersensibilidade conhecida a adenosina ou regadenoson.

- (Os efeitos colaterais são descritos como menos significativos com regadenoson comparado com a adenosina, no entanto, a meia vida do regadenoson é maior)

Preparo do paciente

- Obter o termo de consentimento informado para exames com estresse.
- Para alcançar os efeitos adequados, os pacientes deverão suspender 12–24 horas antes do exame as medicações que podem atuar como antagonistas aos agentes estressores.

Dobutamina: beta bloqueadores e nitratos.

Adenosina/regadenoson: cafeína (café, chá, bebidas ou alimentos cafeinados, por exemplo, chocolate, medicamentos cafeinados), teofilina, dipiridamol

Nota: Há evidências crescentes que os efeitos da cafeína e nicotina podem ser superados por altas doses de adenosina bem como de regadenoson.

- O jejum não é obrigatório, mas muitas vezes é aconselhado por causa dos conhecidos efeitos adversos dos agentes estressores, incluindo náuseas e vômitos; o que pode ser deletério quando o paciente está em posição supina no espaço restrito dentro do magneto
- Duas vias de acesso venoso devem estar disponíveis em cada braço, uma para o gadolínio e outra para a adenosina. O local preferencial para a infusão de contraste é a fossa antecubital. O manguito para a medida da pressão arterial deve ser posicionado com cuidado para que não interfira com a infusão do gadolínio e da adenosina. Para o regadenoson é necessário somente um acesso.

Potenciais efeitos adversos

Dobutamina em altas doses pode provocar dor torácica e palpitações. Complicações mais graves são raras, incluindo:

- Infarto
- Fibrilação ventricular
- Taquicardia ventricular sustentada

Adenosina e regadenoson podem causar rubor facial, dor torácica, palpitações, falta de ar. Efeitos colaterais mais graves incluem:

- Bloqueio AV transitório
- Hipotensão transitória
- Taquicardia sinusal transitória
- Broncoespasmo

Equipamento e segurança para realização do estresse farmacológico

- Material para monitorização (aparelho de pressão arterial, eletrocardiograma para monitorizar o ritmo

cardíaco, comando de voz para comunicação com o paciente)

2. Preparo e treinamento para retirar o paciente rapidamente de dentro do magneto
3. Política de reanimação cardiopulmonar local
4. Desfibrilador
5. Drogas para tratamento de emergência
 - a. Imediatamente a mão: beta-bloqueador (ex: esmolol ou metoprolol), nitroglicerina, aminofilina
 - b. No carrinho de emergência: ter todas as drogas padronizadas para emergência (incluindo: epinefrina, beta-bloqueadores, atropina, broncodilatadores, antiarrítmicos)
6. Para dobutamina – observar a motilidade da parede ventricular durante a reconstrução da imagem imediatamente realizada após a aquisição .

Módulo de dose e segurança do gadolínio

Ver Tabela1.

Notas:

1. Volumes e taxa de infusão dependem da duração da varredura: os valores indicados são recomendações para os tempos habituais da varredura.
2. As taxas de infusão são diferentes para contrastes 1 molar. Como regra geral, divide-se a taxa de infusão pelo fator 2.
3. Os agentes de contraste com maior relaxação (ex: gadobenato de dimeglumina) requer pequenas doses.
4. Sobre os protocolos, o termo “gadolínio” se refere ao gadolínio quelado.

Considerações sobre segurança:

1. O uso do contraste gadolínio deve ser evitado em pacientes com insuficiência renal crônica estágios 4 ou 5 (taxa estimada de filtração glomerular <30 mL/min/1.73 m²), e particularmente para aqueles em diálise, insuficiência renal aguda e hepatopatia crônica devido a preocupações com fibrose nefrogênica sistêmica (FNS).
2. A dose do gadolínio utilizado deverá ser a menor possível para obter uma qualidade de imagem adequada.
3. O risco de FNS depende em parte do gadolínio quelado utilizado. Utilize as diretrizes institucionais, regionais ou nacionais para guiar a escolha do agente em pacientes com disfunção renal.
4. Se não houver alternativa nos pacientes dialíticos, o gadolínio deve ser administrado e a diálise deverá ser realizadas de acordo com os protocolos institucionais, regionais ou nacionais.

Módulo de anatomia e função ventricular esquerda

1. Imagens exploratórias - axial, coronal e sagital.
2. Axial do tórax (cortes de 8-10 mm) nas seqüências de *steady state free precession* (Precessão livre no estado de equilíbrio - SSFP) ou *fast spin echo* (FSE).
3. Varredura para alinhar as imagens em eixo curto axial - dá-se preferência para as cines em *single-shot* para melhor visualização dos fluxos e motilidade da parede no eixo longo.
 - a. Eixo longo vertical: é prescrito um plano ortogonal no axial do tórax alinhado do ápex até o centro da válvula mitral.
 - b. Eixo longo horizontal: é prescrito ortogonal ao eixo longo vertical, passando do ápex até o centro da válvula mitral.
4. SSFP é a seqüência de escolha para as imagens de cine pois fornece alto sinal-ruído (SNR) e excelente contraste entre o miocárdio e o sangue na cavidade ventricular.
 - a. Em 3T, as imagens de cine SSFP, podem ser comprometidas por artefatos e a seqüência *spoiled gradient-echo* poderá ser uma alternativa
 - b. Estratégias para diminuir ou retirar artefatos de banda incluem *shimming*, diminuição do TR e ajuste da radiofrequência (a seqüência de varredura de frequência poderá ajudar)
5. Para as imagens SSFP em cine eixo curto é planejado um corte no plano da válvula mitral até o ápex. O corte mais basal deverá estar localizado ao nível da junção atrioventricular prescrita no final da diástole a partir das cines dos eixos longos planejados previamente.
 - a. Espessura de corte de 6-8 mm, com intervalos de 2-4 mm para completar 10 mm.
 - b. Resolução temporal ≤ 45 ms entre as fases.
 - c. Se houver disponível, utilizar a aquisição de imagem paralela.
6. Imagens SSFP em cine eixo longo
 - a. O eixo longo 4 câmaras é prescrito a partir do eixo longo vertical do ápice até o centro das válvulas mitral e tricúspide. Ele poderá ser conferido na cine eixo curto basal, utilizando o ângulo costofrênico (margem) até a parede livre do VD.
 - b. O eixo longo vertical, já prescrito na varredura do axial do tórax.
 - c. Eixo longo de via de saída do ventrículo esquerdo (VSVE) prescreve-se passando do ápex ao centro da válvula mitral e alinhados com o centro da VSVE na válvula aórtica, como visualizado na cine eixo curto basal.
 - d. Opcional – podem ser obtidos um conjunto de 3 ou mais eixos longos rotacionais.

Anatomia e função ventricular direita

1. Imagens em eixo curto axial do ventrículo direito (VD) podem ser obtidas de forma semelhante ao mencionado no módulo de anatomia e função do VE. Se o eixo curto axial for utilizado para quantificação, é importante colocar o corte de eixo curto axial imediatamente ao lado do miocárdio do ventrículo direito e cuidar para excluir quantidades de volume atrial de pelo menos um corte basal no final da sístole.
2. Cines em axial cobrindo o VD devem ser considerados para a volumetria do VD.
3. As imagens em eixo longo deverão incluir o eixo longo vertical do VD e alinhadas com fluxo de entrada ao nível da válvula tricúspide e fluxos de saída do VD (nos planos sagital ou sagital oblíquo através da válvula pulmonar).

Módulo de perfusão de primeira passagem

1. Imagem em varredura conforme o módulo de anatomia e função do VE
2. Imagem com pulso de saturação-recuperação com gradiente eco planar (GRE-EPI) híbrido, GRE ou SSFP.
3. Imagens em eixo curto axial (pelo menos 3 cortes por batimento cardíaco)
 - a. Para avaliação de isquemia deve-se atualizar os dados a cada batimento cardíaco
 - b. Espessura de corte de 8mm
 - c. Adquirir em imagem paralela se houver disponibilidade
 - d. Resolução espacial, < 3 mm aproximadamente
 - e. Resolução temporal de 100 a 125 ms ou menor, se possível
 - f. Administração do contraste (0.05 – 0.1 mmol/kg, 3-7 mL/s) seguido de pelo menos 30 mL de soro fisiológico (3-7 mL/s).
 - g. Iniciar a apnéia logo no início da infusão do contraste, antes que o mesmo atinja a cavidade do VE
 - h. A aquisição se faz entre 40-50 batimentos cardíacos

toda a cavidade do VE.

Módulo de realce tardio

1. Sequências de pulso:
 - a. Inversão-recuperação segmentada 2D (GRE ou SSFP), reconstruções sensíveis à fase (*phase-sensitive reconstruction of inversion recovery – PSIR*), e sequências 3D são de escolha se os pacientes fizerem uma apnéia satisfatória e se o sinal ruído for adequado.
 - b. Imagens em *single shot* (leitura de SSFP) são feitas como segurança para pacientes com ritmo cardíaco irregular e/ou dificuldade para realizar apnéia
2. Aguardar pelo menos 10 minutos após a injeção do gadolínio (para dose de gadolínio quelado observe a tabela 1). Nota – O tempo poderá ser menor que 10 minutos doses mais baixas forem usadas e o sinal do pool de sangue cair ao sinal do realce tardio. Adquirir as imagens durante a diástole
3. Usar os mesmos cortes e planos nas imagens das cines (eixos longos e curto)
4. Mesma espessura de corte da cine
5. Resolução espacial, 1.4-1.8 mm aproximadamente
6. Duração da aquisição por intervalo R-R deve ser menor que 200 ms, porém nos casos de taquicardia reduzir ainda mais para se evitar uma imagem alterada
7. Ajustar o tempo de inversão para anular o miocárdio normal. Alternativamente, a sequência PSIR pode ser usada exigindo ajustes menos frequentes de T1.
8. A aquisição é feita a cada dois batimentos cardíacos mas deverá ser modificada nos casos de bradicardia, bem como deve ser ampliado para três batimentos cardíacos nos casos de taquicardia ou arritmia.

RMCV de perfusão de estresse com Adenosina/Regadenoson

1. Módulo de estrutura e função do VE (alternativamente pode ser feita entre as perfusões de estresse e repouso, embora o desempenho imediatamente após a infusão do gadolínio pode reduzir a interface de contraste

Tabla 1. Dose de contraste e velocidade de infusão

Indicação	Dose do contraste (mmol/kg de peso corporal)	Velocidade de infusão	Bolus de solução salina	Velocidade de infusão
Perfusão	0.05 – 0.1	3-7 mL/s	30 mL	3-7 mL/s
Realce tardio	0.1-0.2		20 mL	
Angiografia (carótidas, renais, aorta)	0.1-0.2	2-3 mL/s	20 mL	2-3 mL/s
Angiografia dinâmica	0.05	3-5 mL/s	30 mL	3-5 mL/s
Angiografia periférica	0.2	Inicial 10 mL a 1.5 mL/s, o restante a 0.4-0.8 mL/s	20 mL	0.4-0.8 mL/s

de maneira que o contraste esteja homogêneo em

entre o sangue e o endocárdio

2. Imagens de perfusão de estresse com adenosina (dose de 140 mcg/kg/min, opcional de até 210 mcg/kg/min, infundir em no mínimo 3 minutos). Opção – a infusão da adenosina pode ser feita com o paciente fora do magneto.
 - a. Módulo da infusão de perfusão de primeira passagem
 - b. O gadolínio é infundido durante o último minuto da infusão da adenosina
 - c. Parar a infusão da adenosina após imagens de 40 -50 batimentos cardíacos, que é o tempo que o gadolínio passa no miocárdio ventricular.
 - d. Realizar monitorização de ECG e pressão arterial durante a infusão da adenosina e manter por pelo menos após dois minutos do término da infusão
3. Alternativamente: imagem de perfusão de estresse com regadenoson (infusão em bolus de 0.4mg)
 - a. Módulo de perfusão de primeira passagem
 - b. Injetar o gadolínio aproximadamente 2 minutos após o regadenoson
 - c. Adquirir imagens de 40 -50 batimentos cardíacos, que é o tempo que o gadolínio passa no miocárdio ventricular.
 - d. Realizar monitorização de ECG e pressão arterial contínua desde o início da infusão, a cada minuto e até pelo menos 6 minutos após o término do regadenoson
4. Perfusão de repouso
 - a. É necessário aguardar pelo menos 10 minutos para lavar o gadolínio da perfusão de estresse. Durante este tempo, pode-se completar as aquisições da cine de estresse (ex: cines em eixo longo axial), avaliação valvar, etc.
 - b. As imagens de perfusão são repetidas sem adenosina/regadenson utilizando a mesma dose do gadolínio (Nota: o fluxo pode não ter retornado ao basal até 10 minutos após regadenoson)
 - c. Se as imagens de estresse são normais e sem artefatos, pode-se eliminar as imagens de repouso. O gadolínio adicional pode ser dado adicionalmente nas imagens de realce tardio (até um total de 0.1-0.2 mmol/kg).
5. Módulo de realce tardio
 - a. É necessário aguardar pelo menos 5 minutos após a perfusão de repouso
6. Opcional- Quantificação total
 - a. Considere a dupla injeção de contraste para eliminar os efeitos de não homogeneidade entre o agente de contraste e a intensidade de sinal. Isto requer a injeção de um bolus inicial de contraste diluído conforme padronização
 - b. Considere uma sequência de duplo contraste. Do mesmo modo que o bolus duplo corrige os efeitos de não linearidade entre o agente de contraste e a intensidade de sinal sem infusão adicional de contraste diluído, ele requer um software específico que pode não estar disponível em todas as máquinas
 - c. Considere a adição das imagens de densidade de prótons antes da infusão do contraste. Esta poderá como correção basal para uma quantificação

adequada mas requer um software específico que pode não estar disponível em todas as máquinas.

RMCV de estresse com dobutamina

1. Módulo de estrutura e função do VE
2. Estresse com dobutamina
 - a. Elevar a dose da dobutamina em incrementos de 10 mcg/kg/min cada 3 minutos iniciando com 10mcg/kg/min até alcançar a frequência cardíaca alvo [$85\% \times (220 - \text{idade})$]
 - b. Adicionar pequenas doses de atropina se a resposta da frequência cardíaca for inadequada (ver item 1.2, agentes estressores)
 - c. Repetir cines de 3 eixos curtos axiais e 3 eixos longos a cada incremento de dose
 - d. Monitorização contínua de ECG e pressão arterial a cada estágio
 - e. Ver os cortes a medida em que estão sendo feitos
 - f. Se necessário, adaptar as sequências de SSFP para otimizar a resolução temporal durante as elevações da frequência cardíaca
 - g. Suspender o teste se houver alguma alteração nova na motilidade ventricular esquerda, efeito colateral importante ou alcançar a frequência cardíaca máxima.

Módulo de Fluxo

1. Usualmente é feita como parte de outros protocolos cardiovasculares. Pode-se utilizadas as imagens em varredura disponíveis. É melhor se o vaso de interesse estiver representado em duas orientações da angiorressonância (AngioRM) realizado nos equipamentos de ressonância com sequências adicionais (por exemplo:, adicional **bSSFP**, Angio-RM contrastada (CE-MRA), ou T2 em sangue escuro
2. Sequência: a medida de fluxo no sentido perpendicular (“através do plano da imagem”) em cine gradiente eco são comumente aplicadas
3. Para resultados ótimos, o plano da imagem deverá:
 - a) estar centralizado no vaso de interesse
 - b) alinhar em duas projeções ortogonalmente no sentido do fluxo sanguíneo principal
 - c) centralizar no iso centro do magneto
4. Parâmetros de aquisição: espessura de corte 5-8 mm; resolução espacial de pelo menos 1/10 do diâmetro do vaso. A sensibilidade do valor de codificação da velocidade (V_{enc}) deve ser de acordo com a velocidade esperada – após cada imagem, avaliar a presença de *aliasing*. Se o *aliasing* estiver presente, os parâmetros do V_{enc} devem ser alterados de forma correspondente. Se disponível, uma imagem localizatória de velocidade pode ajudar na seleção do V_{enc} ótimo
5. Aquisições de 20-30 quadros são suficientes para a rotina clínica. Para a reconstrução, a segmentação

do espaço-K em múltiplos batimentos pode ser usado dentro dos limites de se conseguir uma apnéia adequada. As técnicas de respiração livre com navigator podem ser aplicadas para melhorar a resolução temporal ou espacial se necessário

6. O tempo de eco (TE) deve ser o mínimo possível, particularmente em estenoses graves

Módulo de Caracterização Tecidual Avançada

A área de caracterização tecidual é um campo de rápido desenvolvimento e as sequências de pulso variam consideravelmente nas diferentes máquinas. Assim os módulos listados abaixo são diretrizes gerais e ainda não há padronização nesta área. Os valores normais devem ser desenvolvidos individualmente ou entre instituições parceiras que utilizam plataformas e sequências de pulso semelhantes.

1. Imagens ponderadas em T2 (T2-W - opcional)
 - a. Sangue escuro em T2-W *STIR (Short Tau Inversion Recovery)*
 - i. Erros potenciais – hiperssinal em áreas de baixo fluxo, queda do sinal devido ao movimento.
 - b. Sequências de sangue claro em T2-W
 - i. Sequência T2 realizado em *single-shot SSFP*
 - ii. Alternativamente pode-se usar *turbo spin echo-steady state free precession*. Erros potenciais – o hiperssinal pode prejudicar a visualização do contorno endocárdico
 - c. Mapa T2 (opcional)
 - i. Sequência T2 realizado *single-shot SSFP* Adquirida com diferentes *tempos de preparo em T2*
 - ii. É necessário corrigir para o movimento
2. Mapa T1 (opcional)
 - a. *Look Locker imaging (MOLLI ou SHMOLLI* ou equivalente)
 - i. Realizar antes da infusão de contraste e em 2 a 4 pontos pós contraste
 - ii. Alternativamente, a infusão contínua de contraste pode ser preferida ao bolus

Módulo de T2*

1. Realizada para avaliar o depósito de ferro miocárdico em doenças como talassemia maior. As imagens serão adquiridas após a análise da função ventricular esquerda. Se as imagens de T2* forem realizadas como parte da avaliação das miocardiopatias, o T2* sempre deve ser realizado antes da administração do contraste
2. Na aquisição, a sequência de pulso e feita em uma única apnéia, de gradiente-eco, multi-eco com uma série de 6-

9 tempos de eco iniciado em 2 ms até 18 ms, com cada eco sendo espaçados por aproximadamente 2ms. Utiliza-se um retardo de 0ms após a onda R. Opcional – em pacientes com depósito de ferro grave uma sequência de pulso com menor espaçamento do tempo de eco pode ser útil para determinar com maior precisão os valores de T2*: uma série de 6-9 tempos de eco iniciando em 1 ms e estendendo-se até aproximadamente 12 ms, com cada eco repetindo de forma iterativa com intervalo de 1 ms aproximadamente.

3. Adquirir a imagem em eixo curto médio ventricular
4. Espessura de corte de 8-10 mm; resolução espacial de 1.6-3.0 mm aproximadamente.
5. (Opcional) Sequência similar a exposta acima, não trigada com o ECG, adquirida em axial na porção média do fígado pode ser realizada para avaliação de ferro hepático. A ausência do trigger com o ECG permitirá tempos de eco mais próximos e portanto, pode-se adquirir um maior número de ecos.

Protocolos específicos por doenças-

Cardiopatia isquêmica

Infarto agudo do miocárdio ou síndromes coronárias agudas

1. Módulo de anatomia e função do VE
2. Opcional – Módulo de caracterização tecidual avançado
3. Opcional- Módulo de perfusão de primeira passagem (somente em repouso). Considerar o estresse se o vaso culpado já tiver sido revascularizado
4. Para avaliar obstrução microvascular, considerar repetir a perfusão de primeira passagem ou o realce precoce, ex: entre o primeiro e o terceiro minuto após a infusão do contraste
5. Módulo de realce tardio

Cardiopatia isquêmica crônica e viabilidade

1. Módulo de anatomia e função do VE
2. Opcional – Módulo de caracterização tecidual avançado
3. Opcional – baixas doses de dobutamina com infusão de 10 mcg/kg/min durante 5 a 10 minutos, para avaliar a reserva contrátil com a melhora do espessamento parietal
4. Opcional – perfusão de estresse-repouso com adenosina ou altas doses de dobutamina (veja os protocolos de estresse para maiores detalhes) para determinar a presença de déficits perfusionais induzidos pelo medicamento ou anormalidades na parede ventricular.
5. Módulo de realce tardio

Angiografia

Angiorressonância periférica

1. Bobina vascular periférica ou combinação de bobinas como disponíveis. Mangitos de compressão venosa (localizados nas coxas e insuflados até a pressão sub-diafólica) são úteis se disponíveis
2. Imagem em axial, baixa resolução, vasos com AngioRM com *time-of-flight* ou SSFP.
3. Tempo do gadolínio

- a. Opção 1 – Teste bolus em imagem axial ao nível da aorta abdominal; infusão de 2 mL de gadolínio seguido de 20 mL de solução salina. Determinar o pico do realce usando a sequência *single-shot bolus tracking*.
 - b. Opção 2 – Técnica de *bolus trigger* o tempo desde o início da aquisição
4. Angio-RM contrastada com Gadolínio com múltiplo blocos 3D realizada na projeção coronal da metade da aorta abdominal até os pés
- a. Duas aquisições volumétricas – uma pré-contraste (para subtração) e outra durante a administração do gadolínio
 - b. Injetar o gadolínio em 2 fases para minimizar a contaminação venosa seguida por bolus de solução salina. Veja tabela 1
 - c. Espessura de corte de 1-1.5 mm; resolução espacial de 0.8 – 1.5 mm
 - d. Cortes – tipicamente 60 – 100, ou conforme necessário para avaliar os vasos de interesse
 - e. Os volumes do abdome/pelve e músculos podem ter uma pior resolução espacial (grandes vasos), enquanto que nos vasos das pernas a aquisição precisa ser sub-milimétrica. As aquisições anteriores são 15-20 segundos, enquanto que nas pernas a aquisição pode aumentar para 60 a 90 segundos por causa da melhora da resolução espacial. A aquisição do espaço K de forma elíptica e cêntrica tem muitas vantagens nos membros inferiores. Se disponível, a aquisição dinâmica e com múltiplas fases é preferida para os membros inferiores
 - f. É recomendada aquisição paralela (necessário uma bobina multicanais)

Alternativa: protocolo com dupla injeção de contraste

1. Dose única do gadolínio: AngioRM dinâmica das pernas aos pés
2. Dose única do gadolínio: vasos abdominais e coxas

Alternativa: Técnica de angiorressonância sem contraste

1. São utilizadas duas abordagens gerais (além de outras):
 1. “Imagens de sangue fresco” onde as sequências sincronizadas ao ECG *3D fast-spin-echo* com a primeira sincronização na sístole e a segunda na diástole. A subtração das imagens sistólica e diastólica resultam unicamente em imagens arteriais. Isso é passível de maiores volumes e melhores aquisições no eixo z
 - a. Espessura de corte de 2 mm aproximadamente; adquirir com resolução espacial no plano de 0.6-0.8 mm
 - b. Cortes – tipicamente 40, é o necessário para acomodar os vasos de interesse
 - c. É recomendada aquisição paralela (necessário uma bobina de superfície multicanal)
2. *3D SSFP* com um pulso de inversão, que suprime todos os tecidos, e com um TI adequado, permite que o influxo de sangue arterial de fora do volume do

pulso de inversão (IR) para dentro da região de interesse resulte em hiperssinal arterial. Se obtém melhores resultados com aquisições de pequeno volume.

- a. Volume adquirido: aproximadamente 340 x 300 x 70; com resolução espacial de 1.3 x 1.3 x 1.4 aproximadamente
- b. É recomendada aquisição paralela (necessário uma bobina de superfície multicanal).

Angiorressonância de aorta torácica

1. Localizador em 3 orientações
2. Half-fourier single shot fast spin echo (HASTE) ou SSFP (em uma apnéia, tórax completo). Orientação axial
3. Fast spin eco ponderado em T1 axial da aorta (para hematoma intramural e dissecação)
4. Imagens em cine SSFP no plano sagital, paralelo e no meio da aorta). Opcional– usar localização com 3 pontos, se disponível.
5. Avaliar a válvula aórtica segundo o protocolo valvar.
6. Tempo de contraste
 - a. Opção 1 – Teste bolus de contraste ao nível da aorta abdominal. Infusão de 2ml de gadolínio seguido por 20ml de solução salina. Determinar o tempo de pico do contraste após a injeção
 - b. Opção 2 – Bolus triggering no momento da aquisição
 - c. Opção 3 – Aquisições rápidas 3D multifases, sem tempo de injeção.
7. Angiorressonância 3D realizada com gadolínio (0.1 – 0.2 mmol/kg) (opcional – aquisição sincronizada com o ECG)
 - a. Utilizar resolução espacial de pelo menos 1-1.5 mm.
 - b. Aquisição paralela se disponível
 - c. Fazer pelo menos duas aquisições após a injeção do contraste
8. Opcional – Gradiente eco ponderado em T2 ou Gradiente eco ponderado em T1 pós contraste para aortite
9. Opcional – ver seção 3.2.1 (angiorressonância periférica) para as técnicas de angiorressonância sem contraste

Avaliação de coronárias anômalas

1. Módulo de anatomia e função do VE para identificar alterações na parede ventricular
 - a. Adicionar sequência de eixo longo axial com alta resolução temporal (≤ 20 ms por fase) para determinar com precisão o momento em que a artéria coronária direita está mais parada
2. Sequência de angiorressonância 3D, com navegador respiratório e respiração livre:
 - a. Cortes axiais ao nível do tronco da artéria pulmonar até a metade do átrio direito (pode-se realizar a cobertura completa do coração). Espessura de corte de 1-1.5 mm; adquirida com resolução espacial de 1.0 mm ou menor.
 - b. Cortes – geralmente 50-80, ou o necessário para adquirir as imagens de interesse
 - c. Ajustar o *trigger delay* e o momento da aquisição

- onde a coronária direita encontra-se mais parada.
- d. De preferência, utilizar aquisição paralela.
- e. Posicionar o navegador sobre o diafragma direito.
- f. Opcional – injeção de gadolínio para melhorar a visualização do vaso.

3. Opcional –

- a. Utilizar apneia se as imagens com o navegador estiverem com qualidade ruins ou se o navegador não estiver disponível.
- b. Sequências em T2 podem ser utilizadas.

Avaliação das veias pulmonares – pré e pós ablação

1. Módulo de anatomia e função do VE
2. Angiorressonância 3D realizada em apnéia e com projeção coronal envolvendo as veias pulmonares e o átrio esquerdo (se o tempo de apnéia permitir, essa sequência tem uma maior cobertura anterior)
 - a. Opcional – corte oblíquo centralizando nas veias pulmonares pode reduzir a quantidade de cortes e consequentemente o tempo de apnéia pela menor cobertura do átrio esquerdo
 - b. Opcional – sincronização pelo ECG. Quando o paciente tiver em ritmo irregular a aquisição deverá ser sincronizada com a sístole (isto é, sem *trigger delay*)
 - c. 2-3 aquisições volumétricas – uma pré contraste (para subtração), uma durante a primeira passagem do contraste, uma (opcional) após a administração do contraste
 - d. Injeção de gadolínio (0.1 – 0.2 mmol/kg) a 2-3 mL/seg
 - e. Espessura de corte de 1-2 mm; resolução espacial de 1-1.5 mm.
 - f. Cortes – geralmente 60 – 80, ou conforme necessário para englobar a área de interesse.
 - g. Utilizar aquisição paralela se disponível
3. Opcional – avaliar o phase contrast flow de cada veia pulmonar.

Venografia coronária

1. Sequência de angiorressonância 3D com respiração livre, sincronizada com o navegador respiratório:
 - a. Cortes axiais ao nível do tronco da artéria pulmonar até a metade do átrio direito (pode-se fazer a cobertura completa do coração se necessário). Espessura de corte de 1-1.5 mm; adquirida com resolução espacial de 1.0 mm ou menor.
 - b. Cortes – geralmente 110 – 130, ou conforme necessário para envolver os vasos de interesse
 - c. Ajustar o *trigger delay* e a janela de aquisição no final da sístole (= maior diâmetro venoso) ou alternativamente no meio da diástole, tempo de aquisição por batimento 60-90ms.
 - d. De preferência, utilizar aquisição paralela
 - e. Supressão de gordura.
 - f. Posicionar o navegador sobre o diafragma direito.

- g. Não utilizar pré-pulso de preparação de T2, e sim pulso de inversão (determinar o tempo de inversão antes da aquisição usando o *TI-scout* ou *Look-Locker*)
- h. Realizar após a injeção do contraste.

Outras

Cardiomiopatias não isquêmicas do VE incluindo miocardite

1. Módulo de anatomia e função do VE
2. Opcional – Módulo avançado de caracterização tecidual
3. Opcional – somente para miocardite

Relação de realce precoce – imagem ponderada em T1 antes e após a administração do gadolínio com medida da relação da intensidade de sinal entre o miocárdio e a musculatura esquelética.

4. Módulo de realce tardio
5. Opcional – perfusão de estresse – repouso com adenosina ou altas doses no estresse com dobutamina (veja métodos e contraindicações nos protocolos de estresse) para relatar a ausência ou presença de isquemia que poderá estar presente em uma cardiopatia mista.

Cardiomiopatia hipertrófica

1. Módulo de anatomia e função do VE
2. Imagens da via de saída do VE incluindo cine 3 câmaras SSFP para avaliar turbulência de fluxo, movimento sistólico anterior da válvula mitral e realizar quantificação de velocidade de fluxo se houver gradiente
3. Opcional – considerar módulo de caracterização tecidual avançada
4. Opcional – considerar módulo de perfusão de estresse com vasodilatador
5. Módulo de realce tardio

Cardiomiopatia arritmogênica do ventrículo direito

1. Módulo anatomia e função do VE – considerar espessura de corte de 5-6mm
2. Imagens em cine SSFP axial ou oblíqua (espessura de corte 5-6 mm) incluindo todo o VD, incluindo a via de saída. Recomenda-se uma projeção em eixo longo vertical do VD alinhado com a válvula tricúspide.
3. Sequências opcionais
 - a. Imagens de sangue escuro nos planos axial e oblíquo (*fast spin eco* com duplo pulso de inversão-recuperação ponderado em T1)
 - b. Repetir os mesmos cortes na aquisição com supressão de gordura
 - c. Módulo de realce tardio com as mesmas orientações de corte acima. Considerar anulação em T1 para o VD

Doenças valvares

Pacientes com próteses valvares podem realizar ressonância

em máquinas de 1.5 e 3T com segurança. A força exercida pelo batimento cardíaco é muitas vezes maior do que a força exercida pelo campo magnético.

1. Módulo de anatomia e função do VE
 - a. Usar eixo longo horizontal para anatomia e alterações de fluxo nas válvulas mitral e tricúspide.
 - b. Usar cortes de via de saída do ventrículo esquerdo para válvulas mitral e aórtica.
 - c. Usar eixo longo vertical para válvula mitral.
 - d. Projeção coronal para válvula aórtica.
 - e. Projeções adicionais (eixo longo do VD e via de saída do VD se necessário).
2. Questões específicas
 - a. Avaliação da morfologia valvar em cine SSFP realizada no plano da válvula em questão. Devem ser tomado cuidados para otimizar o nível e o ângulo da imagem
 - b. Nota – para planimetria de uma valva estenótica, recomenda-se cortes contínuos ou levemente superpostos em cine com alta resolução, perpendicular ao jato incluindo desde o orifício valvar até imediatamente abaixo do plano valvar. Planimetria é mais eficiente quando o corte é perpendicular ao jato, em detrimento a um corte oblíquo, e o jato deve ser claramente visualizado.
 - c. Imagem gradiente eco ou híbrida gradiente eco/eco pode visualizar os jatos regurgitantes com maior sensibilidade (somente para análise qualitativa)
 - d. Nas insuficiências mitral e tricúspide uma sequência de cortes de 5mm em cine alinhada a direção de fluxo de entrada e perpendicular a linha de coaptação, da comissura superior até a mais inferior (imagens em 4 câmaras). A orientação pode ser no plano da via de saída do ventrículo esquerdo para a mitral e axial para a tricúspide. Essa forma permite avaliação de prolapsos, *tethering* ou regurgitações de ambos os folhetos da válvula mitral.
 - e. Ajustar o valor de codificação de velocidade de acordo com a velocidade atual (usar a menor velocidade que não provoque *aliasing*)
 - f. Usar o menor TE possível para jatos com alto fluxo.

Doenças pericárdicas

1. Módulo de anatomia e função do VE
2. Imagens de *fast spin echo* ponderadas em T1 ou T2
 - a. 2-3 cortes representativos em eixo longo e 3-4 cortes representativos em eixo curto para medir a espessura pericárdica (normal ≤ 3 mm)
 - b. Se a suspeita for de cisto pericárdico, realizar o protocolo de massas
3. Opcional – se houver regiões de pericárdio espesso usar sequências de cine gradiente eco ponderadas em T1 com alvo no miocárdio para demonstrar a presença ou ausência de aderência do epicárdio/pericárdio (2-3 cortes em eixo longo e 1-2 cortes em eixo curto)
4. Imagens em tempo real durante a respiração dinâmica são importantes para avaliação da interdependência

ventricular

- a. Dá-se preferência ao corte em eixo curto médio ventricular.
 - b. Manter a resolução temporal da cine preferencialmente abaixo de 60 mseg.
 - c. Os pacientes são orientados a inspirar e expirar profundamente no tempo total da aquisição que deverá ser pelo menos de dois ciclos respiratórios completos.
 - d. Movimento anormal do septo (retificação ou abaulamento do septo no início da diástole) durante a inspiração fala a favor de etiologia constrictiva.
5. Módulo de realce tardio
 - a. Aquisição com e sem saturação de gordura ajuda a diferenciar entre inflamação pericárdica de epicárdica ou de gordura pericárdica.

Massas cardíacas e para-cardíacas, incluindo trombo

1. Módulo de anatomia e função do VE
2. *Fast spin echo* ponderado em T1– cortes na massa envolvendo estruturas adjacentes (o número de cortes depende do tamanho da massa)
3. *Fast spin echo* ponderado em T2 com saturação de gordura (opcional – sem saturação de gordura) – na massa e envolvendo estruturas adjacentes como acima. Para os detalhes da sequência ver em cardiomiopatias não isquêmicas.
4. Módulo de perfusão de primeira passagem com corte visualizando a massa
5. Repetir *turbo spin echo* ponderado em T1 com saturação de gordura
6. (Opcional) Repetir imagens de cine SSFP pós contraste
7. Módulo de realce tardio
 - a. Imagens com TI específico para anular o trombo (aproximadamente 500-550 ms em 1.5T, 850-900 ms em 3T) ajudará a diferenciar trombo de tumor, bem como delinear se ao redor do trombo existe envolvimento tumoral.
 - b. Imagens seriadas podem ajudar a distinguir tumores hipopfundidos com centro necrótico de trombo.

Conflitos de Interesses

Christopher Kramer MD – Pesquisa patrocinada por Siemens Healthcare, Novartis. Consultor para Synarc, St. Jude Medical. □

Jorg Barkhausen MD - nenhum. □

Scott Flamm MD – Pesquisa institucional patrocinada por Siemens Healthcare e Philips Healthcare. Conselho consultivo para Bayer Healthcare, TeraRecon and Circle Cardiovascular.

Raymond Kim MD – Inventor de uma patente nos EUA e de propriedade da Northwestern University denominada realce tardio pela ressonância para diagnóstico de infarto e viabilidade miocárdica, Co-fundador, HeartIT, LLC, Apoio educacional, Siemens Medical Solutions, Consultor: Bayer, Velomedix, St. Jude Medical.

Eike Nagel MD – Pesquisa patrocinada por Philips Healthcare e Bayer Healthcare.

Contribuições dos Autores

CMK: escreveu protocolos, editou protocolos, editou manuscritos, autor correspondente. JB: escreveu protocolos, editou protocolos, editou manuscritos. SDF: escreveu protocolos, editou protocolos, editou manuscritos. RJK escreveu protocolos, editou protocolos, editou manuscritos. EN escreveu protocolos, editou protocolos, editou manuscritos. Todos os autores leram e aprovaram o texto final.

Detalhes dos Autores

¹Departamento de Radiologia e Medicina, University of Virginia Health System, Lee Street, Box 800170, Charlottesville, VA 22908, USA. ²Departamento de Radiologia, University Hospital Schleswig-Holstein, Lübeck, Germany. ³Instituto de Imagem e Instituto Cardiovascular, Cleveland OH, USA. ⁴Duke Centro de Ressonância Magnética Cardiovascular, Duke University Medical Center, Durham, NC, USA. ⁵Divisão de ciências em Imagens, King's College, London, United Kingdom.

Recebido: 19 September 2013 Aceito: 19 September 2013

Publicado: 8 October 2013

LISTA DE ABREVIATURAS E TERMOS:

Nota: Os nomes de algumas sequências se mantiveram na forma original, sem tradução para o português, para manter o significado original.*

Terminologia (na ordem de aparecimento no texto)	Inglês	Português
Shimming	Shimming	Homogeneização
SNR	Signal to noise ratio	Relação sinal– ruído
SSFP	Steady state free precession	Precessão livre no estado de equilíbrio
SAR	Specific absorption rate	Taxa de absorção específica
FSE	Fast Spin Echo	Fast Spin Eco
Single-shot	Single-shot	Single-shot
Spoiled gradient-echo	Spoiled gradient-echo	Spoiled gradiente echo
TR	Time to repetition	Tempo de repetição
Hybrid gradient echo-Echo planar (GRE-EPI)	Hybrid gradient echo-Echo planar (Gradient Recalled Echo-Echo Planar Imaging)	Gradiente híbrido eco-eco planar (GRE-EPI)
GRE	Gradient Recalled Echo	Gradiente Eco Recalled
Phase-Sensitive (PSIR)	Phase-Sensitive (Phase Sensitive Inversion Recovery)	Reconstruções sensíveis a fase
bSSFP	balanced Steady State Free Precession	balanced Steady State Free Precession
CE-MRA	Contrast Enhanced – MRA	Angiorressonância contrastada

T2	Relaxation time T2	Tempo de relaxação T2
V_{enc}	Velocity encoding	Valor de codificação da velocidade
Aliasing	Aliasing	Aliasing
TE	Time to Echo	Tempo de Eco
T2-W	T2- weighted	Ponderado em T2
T2-W STIR (Short Tau Inversion Recovery)	T2-W STIR (Short Tau Inversion Recovery)	T2-W STIR (Short Tau Inversion Recovery)
T2 prepared single-shot SSFP.	T2 prepared single-shot SSFP.	T2 prepared single-shot SSFP.
Hybrid turbo spin echo-steady state free precession	Hybrid turbo spin echo-steady state free precession	Turbo spin eco híbrido em steady state free precession
T2 mapping	T2 mapping	Mapa T2
T2 prepared single-shot SSFP	T2 prepared single-shot SSFP	T2 prepared single-shot SSFP
T2 prep time	T2 preparation time	Tempo de preparação em T2
T1 mapping	T1 mapping	Mapa T1
Look Locker imaging (MOLLI or SHMOLLI)	Look Locker imaging (MOLLI or SHMOLLI)	Look Locker imaging (MOLLI ou SHMOLLI)
T2*	T2*	T2 estrela (T2*)
Time-of-flight MRA	Time-of-flight MRA	AngioRM time-of-flight
Single-shot bolus tracking	Single-shot bolus tracking	Single-shot bolus tracking
Bolus trigger	Bolus trigger	Bolus trigger
Stepping-table, gadolinium-enhanced MRA	Stepping-table, gadolinium-enhanced MRA	Angiorressonância contrastada com gadolínio com múltiplos blocos 3D
Elliptical centric k-space	Elliptical centric k-space	Espaço K centro elíptico
Time-resolved	Time-resolved	Time-resolved
Time-resolved MRA	Time-resolved MRA	Angio-RM Time-resolved
3D fast-spin-echo	3D fast-spin-echo	3D fast-spin-eco
3D SSFP	3D SSFP	3D SSFP
IR	Inversion Recovery	Inversão Recuperação
Fast spin echo T1-W	Fast spin echo T1-W	Fast spin eco ponderado em T1
3-point piloting	3-point piloting	Orientação em 3 pontos
T2-W gradient echo	T2-W gradient echo	Gradiente eco ponderado em T2
T1-W gradient echo	T1-W gradient echo	Gradiente eco ponderado em T1
Look-Locker	Look-Locker	Look-Locker
Double inversion recovery T1-weighted fast spin echo	Double inversion recovery T1-weighted fast spin echo	Fast Spin Eco com dupla inversão recuperação ponderada em T1
Gradient echo	Gradient echo	Gradiente eco
Hybrid gradient echo/echo planar imaging	Hybrid gradient echo/echo planar imaging	Gradiente híbrido eco/eco planar
T1-W gradient echo myocardial tagged	T1-W gradient echo myocardial tagged	T1-W gradient echo myocardial tagged
Real-time	Real-time	Tempo real
T1-W fast spin echo	T1-W fast spin echo	Fast spin eco ponderado em T1

T2-W fast spin echo	T2-W fast spin echo	Fast spin eco ponderado em T2
T1-W turbo spin echo	T1-W turbo spin echo	Turbo spin eco ponderado em T1

Cleveland, OH, USA. ⁴Duke Cardiovascular Magnetic Resonance Center, Duke University Medical Center, Durham, NC, USA. ⁵Division of Imaging Sciences, King's College, London, United Kingdom.

Received: 19 September 2013 Accepted: 19 September 2013
Published: 8 October 2013

References

1. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols, society for cardiovascular magnetic resonance: board of trustees task force on standardized protocols. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2008; 10:35.
2. Hundley WG, Bluemke D, Bogaert JG, Friedrich MG, Higgins CB, Lawson MA, et al. Society for cardiovascular magnetic resonance guidelines for reporting cardiovascular magnetic resonance examinations. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2009; 11:5.
3. Schulz-Menger J, von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Bluemke DA, Bremerich J, Flamm SD, Fogel MA, et al. Standardized post processing in cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15:35.
4. Fratz S, Chung T, Greil GF, Samyn MM, Taylor AM, Buechel ERV, et al. Guidelines and protocols for cardiovascular magnetic resonance in children and adults with congenital heart disease: SCMR expert consensus group on congenital heart disease. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013; 15:51.

doi:10.1186/1532-429X-15-91

Cite this article as: Kramer et al.: Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2013 15:91.

Submit your next manuscript to BioMed Central and take full advantage of:

- Convenient online submission
- Thorough peer review
- No space constraints or color figure charges
- Immediate publication on acceptance
- Inclusion in PubMed, CAS, Scopus and Google Scholar
- Research which is freely available for redistribution

Submit your manuscript at
www.biomedcentral.com/submit

