

Review

Open Access

重要启事：如计划引用本文，请务必直接引用其英文原著而不是中文翻译版本，以遵守杂志相关版权协议和体现该英文原著的影响。

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.

标准化心血管磁共振（CMR）扫描协议2013年更新版

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

* 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 所有作者基本信息见文末

摘要

本文为心血管磁共振学会（SCMR）管理委员会标准化协议工作组 2008 年刊发版本的更新版本。自第一版以来，另外三个工作组（CMR 报告、CMR 数据后处理和先天性心脏病）已经出版了数份相关协议，应与本文结合起来共同参考。本文中基本原理及技术部分的篇幅有所扩展，因为更多 CMR 常用的技术已被标准化。而组织特性/mapping 领域仍有很大的发展空间，故这部分协议基本被列为选做协议。笔者希望本文能继续标准化及简化基于病人的临床 CMR 技术手段。每隔一段时间当 CMR 领域有新的进展时我们还会继续更新。

简介

本文为心血管磁共振学会（SCMR）管理委员会标准化协议工作组 2008 年刊发版本的更新版本[1]。自第一版以来，另外三个小组已经出版了数份相关协议，应与本文结合起来共同参考。SCMR 工作组于 2010 年刊发了第一版 CMR 标准化报告指南[2]。本次刊发的版本删除了所有与 CMR 报告相关的条目，因为前面提及的 CMR 标准化报告指南已经包含了这些条目。除此之外，所有有关 CMR 数据分析方法的条目亦从本文中删除，因为 SCMR 图像后处理工作组近期出版的文献中已经包含了这些条目[3]。本版本不包含与先天性心脏病相关的协议，因为 SCMR 先天

性心脏病专家共识工作组已经刊发了有关这一主题的指南和扫描协议 [4]。

基本原理及技术部分的篇幅有所扩展，因为更多 CMR 常用的技术已被标准化。而在组织特性/mapping 领域仍有很大的发展空间，故这部分协议总体上被列为选做协议。作者们希望本版本能够继续基于患者的临床需要，提供标准化、简单化的 CMR 协议。当 CMR 领域有新的进展时，我们还会每隔一段时间继续更新。

基本技术

关于场强的注意事项

- 1、CMR 可以在不同场强下进行扫描。现在大多数的检查使用的是 1.5T 的系统。
- 2、3T 场强下进行的 CMR 需要仔细施加匀场并调整射频脉冲以防止伪影出现。
- 3、3T 场强下信噪比(SNR)有所提高, 故在首过对比增强心肌灌注成像中具有优势, 此外也有利于空间标记序列与 4D 血流成像技术。
- 4、稳态自由进动序列在 1.5T 中常作为电影成像的首选, 但在 3T 中则存在以下问题: 条带状伪影及流动伪影增加, 以及由于受限于特定吸收比率 (specific absorption rate, SAR) 而导致的翻转角选择不能达到最佳数值。
- 5、1.5T 场强下测试过的器械在 3T 场强下不一定安全: 特定器械进入更高场强之前要先核对其与 MRI 安全性相关的信息。

心脏负荷试验药物

- 1、多巴酚丁胺: 标准最大剂量 40 ug/kg/min
- 2、阿托品: 通常分开使用 0.25 mg (最大剂量 2mg)
- 3、腺苷: 140 ug/kg/min, (若使用药物 2-3 分钟后心率净增值未达到 10 bpm 以上和/或血压下降净值未超过 10 mm Hg, 根据所在医疗机构或当地制定的规范可酌情增加药量最多可达 210 ug/kg/min)
- 4、瑞加德松 (regadenoson): 单次注射 0.4 mg

禁忌证

多巴酚丁胺

- 严重高血压($\geq 220/120$ mmHg)
- 不稳定型心绞痛
- 主动脉瓣显著狭窄 (主动脉瓣跨瓣峰值压差 >50 mmHg 或主动脉瓣瓣口面积 <1 cm²)
- 复杂型心律失常, 包括无法控制的房颤
- 肥厚型梗阻性心肌病
- 心肌炎, 心内膜炎, 心包炎
- 无法控制的充血性心力衰竭

阿托品

- 窄角型青光眼
- 重症肌无力
- 梗阻性尿路疾病
- 梗阻性胃肠道疾病

腺苷或瑞加德松

- 2 度或 3 度房室传导阻滞或窦房结功能障碍
- 收缩压低于 90 mm Hg
- 窦性心动过缓 (心率 <40 bpm)
- 处于活动期的支气管收缩性或支气管痉挛性疾病并需要常规使用雾化吸入
- 已知的腺苷或瑞加德松过敏史
(瑞加德松副作用不如腺苷明显, 但瑞加德松半衰期更长)

患者准备

- 1、签署负荷试验的知情同意书
- 2、为了充分达到预期效果, 检查前 12-24 小时停止服用某些对负荷药物具有潜在的拮抗作用的药物: 对多巴酚丁胺产生拮抗作用的药物如 β 受体阻滞剂和硝酸盐类药物;

对腺苷/ 瑞加德松产生拮抗作用的咖啡因(咖啡、茶、诸如巧克力等含咖啡因的饮料或食物、含咖啡因的药物), 茶碱和潘生丁等;

注意: 越来越多的数据表明使用更高剂量的腺苷或瑞加德松可以克服咖啡因和尼古丁带来的拮抗效应。

- 1、建议检查前空腹 (非必须), 因为药物负荷的不良反应包括恶心和呕吐, 而患者仰卧于有限的磁孔空间内可能会成为问题。
- 2、两只手臂各开放一条静脉通道, 分别用于注射钆对比剂和腺苷。肘前静脉为注射对比剂首选位置。需要小心调整测量血压袖带以防影响注射钆对比剂或腺苷。若使用瑞加德松则只需一条静脉通道。

可能出现的不良反应

高剂量多巴酚丁胺可能会引起胸痛和心悸。罕见其它更严重的并发症，如：

- 心肌梗死
- 室颤
- 持续性室性心动过速

腺苷和瑞加德松可能会引起脸色潮红，胸痛，心悸，呼吸急促。更严重的不良反应包括：

- 短暂性心脏传导阻滞
- 短暂性低血压
- 短暂性窦性心动过速
- 支气管痉挛

负荷试验的仪器及安全

1、监测仪器（血压，监测心脏节律的心电图，可与患者交流的通话系统）

2、可快速将患者从磁体中移出的准备以及常规演练

3、在合适的位置张贴急救复苏的指引说明

4、除颤仪

5、急救药物

a.可立刻随手得到的药物包括 β 受体阻滞剂（如艾司洛尔或美托洛尔），硝酸甘油，氨茶碱

b.在急诊用手推车上的：全套急救药品（包括：肾上腺素， β 受体阻滞剂，阿托品，支气管扩张药，抗心律失常药）

6、对于多巴酚丁胺药物负荷试验——在图像采集和重建过程中在线评估室壁运动

钆对比剂的剂量/安全

见表 1

注意：

1、对比剂总量及注射流率取决于扫描时长：以下给出的数值为典型扫描时间的推荐值。

2、对于 1 摩尔对比剂而言注射流率有所不同。通常做法是，将注射流率除以 2。

3、高弛豫率对比剂（如钆贝葡胺）需要使用较小的剂量。

4、在整个协议中，术语“钆（对比剂）”指的是钆螯合物。

安全相关的注意事项：

1、避免在 4 期或 5 期慢性肾病的患者（估算肾小球滤过率 $<30 \text{ mL/min/1.73 m}^2$ ）中使用钆对比剂，尤其是正在进行透析的患者，急性肾衰和慢性肝病的病人也不宜使用，因为有产生肾源性纤维化(NSF)的危险。

2、在获得足够图像质量的前提下尽可能使用较低的剂量。

3、NSF 的风险部分在于使用了钆螯合物。应按照学术团体、地区或国家制定的指南来指导对肾功能不全患者对比剂的选用。

4、若透析患者必须使用钆对比剂而其他无可替代的对比剂时，应按照学术团体，地区或国家制定的指南进行透析。

表 1 对比剂和盐水注射剂量及流率

适应症	对比剂剂量 (mmol/kg 体重)	注射流率	盐水总量	注射流率
心肌灌注扫描	0.05-0.1	3-7 mL/s	30 mL	3-7 mL/s
延迟增强扫描	0.1-0.2		20 mL	
血管造影（颈动脉、肾动脉、主动脉）	0.1-0.2	2-3 mL/s	20 mL	2-3 mL/s
时间分辨率血管造影成像	0.05	3-5 mL/s	30 mL	3-5 mL/s
外周血管造影	0.2	先以 1.5 mL/s 注射 10 mL 对比剂，剩余对比剂以 0.4-0.8 mL/s 注射	20 mL	0.4-0.8 mL/s

左室结构及功能

- 1、定位图---- 横断面，冠状面，矢状面
- 2、横断面（8-10 mm）：自由稳态进动序列(SSFP)或快速自旋回波序列扫描完整胸部
- 3、定位短轴切面成像---- 由于要在长轴方向上观察血流及运动，因而选用单次激发采集获得电影图像较
 - a.垂直长轴切面：横断面定位图上选择垂直通过心尖部和二尖瓣中点连线的切面
 - b.水平长轴切面：垂直长轴切面上选择通过心尖部与二尖瓣中点连线的切面
- 4、SSFP 序列是首选电影成像序列，因为该序列能提供较高信噪比（SNR）及优良的心肌血池对比
 - a.3T MR 上，SSFP 序列获得的电影图像质量可能会受伪影影响，可选用扰相梯度回波序列替代
 - b.减少或消除条带状伪影的方法包括匀场，减少 TR 值以及调整射频脉冲频率（频率定位扫描序列会有所帮助）
- 5、短轴切面 SSFP 电影成像序列，扫描范围自二尖瓣水平至心尖部。
最基底部的短轴切面定位方法：选取长轴切面电影图像在舒张末期进行定位扫描，应包含房室交界区最边缘的心室壁。

- a.层厚 6-8 mm，层间距 2-4 mm，两者之和为 10 mm.
 - b.时相间时间分辨率 ≤ 45 ms
 - c.条件允许时采用并行采集技术
6. SSFP 长轴切面电影成像序列
- a. 四腔心长轴切面：选取垂直长轴切面，经由心尖及二尖瓣与三尖瓣中点连线的切面。这个切面可由基底短轴切面电影图像右心室游离壁肋膈角（边缘）确认
 - b. 垂直长轴切面：定位方法请参考前述定位图扫描
 - c. 左心室流出道(LVOT)长轴切面：经过心尖部，在基底短轴切面电影图像上连线二尖瓣中点及主动脉瓣中点。
 - d.可选切面：一系列超过三个的旋转长轴切面

右心室结构及功能

- 1、右心室(RV)短轴切面可由评价左心室结构及功能的方法获得。若短轴切面用于定量分析，需要注意的是舒张末期要包全基底右心室室壁，而收缩末期通常至少要较舒张末期减少一层基底部心肌轮廓，这样可以确保收缩末期不包含右心房。
- 2、右心室横断面电影成像可用于右心室容量测定。
- 3、长轴切面图像应当包括一幅显示三尖瓣流入道及

右心室流出道的右心室垂直长轴切面图像（通过肺动脉瓣的矢状位或斜矢状位切面）

首过灌注成像

- 1、定位图同左心室结构与功能
- 2、饱和-恢复成像并梯度回波-平面回波(GRE-EPI)混合序列，GRE 或 SSFP 读出
- 3、短轴切面成像（每次心跳至少包含三个切面）
 - a.评价心肌缺血时，必须每次心跳都要采集数据
 - b.层厚 8 mm
 - c.条件允许时使用并行采集技术
 - d.平面内分辨率~ <3 mm
 - e.读出时间分辨率~ 100 - 125 ms，条件允许时可更短
 - f. 注射对比剂后(0.05 - 0.1 mmol/kg, 3- 7 mL/s)至少予 30 mL 的盐水冲管(3- 7 mL/s)
 - g.在对比剂注射早期，对比剂到达左心室心腔之前开始屏气
 - h.图像采集持续时间约 40- 50 次心跳，这段时间内对比剂可经过左心室心肌

钆对比剂延迟增强扫描

- 1、脉冲序列
 - a. 2D 反转恢复分段 GRE 或 SSFP 序列，相位敏感反转恢复序列(PSIR)，以及 3D 序列（患者屏气较好且信噪比满意时可选择使用）。
 - b.当患者心律不齐或屏气困难时可选用单次激发成像（SSFP 读出）序列。
- 2、注射钆对比剂后至少需要等待 10 分钟进行该序列扫描(钆对比剂剂量见表 1)
注意—如果使用低剂量对比剂，由于血池信号降至低于延迟强化心肌较快，则延迟扫描时间可短于 10 分钟。舒张期扫描获得图像。
- 3、成像切面与电影成像一样（短轴与长轴切面成像）。
- 4、层厚要求与电影成像一样。
- 5、平面内分辨率，~1.4-1.8 mm。
- 6、每 R-R 间期的图像采集时间低于 200 ms，心动过

速时应进一步减少每个 R-R 间期的图像采集时间以避免图像模糊。

7、反转时间设定为正常心肌无信号时的 TI 时间。也可以选用 PSIR 序列，该序列需要较少的频率调整。

8、通常每隔一次心跳实施一次读出梯度脉冲，但当患者心动过缓时要改为每次心跳实施一次读出梯度脉冲，而心动过速或心律不齐者则每三次心跳实施一次读出梯度脉。

腺苷/瑞加德松负荷心肌灌注 CMR

- 1、左心室结构及功能（可以在负荷及静息心肌灌注之间进行，尽管注射钆对比剂后立刻进行此步骤会减少血-心内膜界面的对比）
- 2、腺苷负荷心肌灌注成像（140 ug/kg/min，至少注射 3 min，剂量最多可达 210 ug/kg/min）
可根据实际情况决定：第一次注射腺苷可在病人进入磁体前进行
 - a. 首过心肌灌注
 - b. 在腺苷注射的最后一分钟里注射钆对比剂
 - c. 成像时间持续至少 40-50 次心跳，确保钆对比剂通过左心室心肌后，停止注射腺苷
 - d. 在基线状态，腺苷注射期间及注射后至少 2 分钟连续监测 ECG 和 BP。
- 3、另一备选方案：瑞加德松负荷心肌灌注成像（0.4 mg 团注）
 - a.首过心肌灌注
 - b. 瑞加德松注射 2 分钟后注射钆对比剂
 - c. 成像时间持续至少 40-50 次心跳，确保钆对比剂通过左心室心肌
 - d. 在基线状态及注射瑞加德松后至少 6 分钟内每隔 1 分钟一次连续监测 ECG 和 BP。
- 4、静息心肌灌注
 - a.负荷心肌灌注后至少需要等待 10 分钟清除负荷灌注注射的钆对比剂。此期间可浏览负荷心肌灌注图像，完成电影成像扫描（如长轴切面图像）及进行瓣膜评价。
 - b. 使用同样剂量钆对比剂但不注射腺苷或瑞加德松

重复一次灌注成像（注意：使用瑞加德松者注射 10 分钟后血流可能尚未回到基线状态）

c. 若负荷试验图像正常且没有伪影，可不进行静息灌注成像。要另外给予钆对比剂进行延迟增强扫描（共 0.1 -0.2 mmol/kg）

5. 钆对比剂延迟增强扫描

a. 静息心肌灌注后至少需要等待 5 分钟

6. 可根据实际情况决定是否选用----完全定量分析

a. 考虑使用两次团注对比剂的方法以消除对比剂浓度与信号强度的非线性关系。这种方法需要预先以标准方法团注稀释的对比剂。

b. 考虑使用双重对比序列

与两次团注对比剂的方法类似，可修正对比剂浓度与信号强度的非线性关系且不需要额外注射稀释对比剂，但需要特定的扫描软件支持，而并非所有扫描设备都提供了这些软件。

c. 考虑在注射对比剂前增加质子密度加权成像，用作完全定化分析时的基线校准。同样需要特定的扫描软件支持，而并非所有扫描设备都提供了这些软件。

多巴酚丁胺负荷 CMR

1、左心室结构及功能

2、多巴酚丁胺刺激

a. 以 10 μ g/kg/min 注射剂量开始，每 3 分钟增加 10 μ g/kg/min 注射剂量，直至达到目标心率[85% $\times$ (220-年龄)]。

b. 若心率反应未达既定目标，以小剂量逐步增加阿托品用量（参见 1.2，心脏负荷试验药物相关介绍）。

c. 每次增加药量时重复采集 3 个短轴及 3 个长轴电影图像。

d. 连续监测 ECG，每个阶段测一次 BP。

e. 图像采集过程中在线循环观察电影图像。

f. 心率加快时根据需要调整 SSFP 电影序列参数以优化时间分辨率。

g. 出现新的室壁运动异常，严重副反应或到达心率峰值时停止测试。

血流评价

1、通常作为其它心血管成像协议的一部分进行。可利用已有的定位图，最佳定位方法为感兴趣区血管能够在两个正交方向上显示或在重组的 MRA 图像上显示（如 bSSFP, CE-MRA, 或 T2 黑血定位图会有所帮助）。

2、扫描序列：典型序列为一个方向（“跨平面”）运动编码的电影梯度回波序列

3、为了得到最佳的成像结果，成像平面应当

a) 位于感兴趣血管中心

b) 在两个方向上正交于预期的主血流方向

c) 在相当于磁体中心处

4. 成像参数：层厚 5-8 mm; 平面内分辨率至少为血管直径的 1/10。

流速编码 (Venc) 必须与预期流速相适应 - 每次扫描后，必须检查相位图像以判断是否存在混淆伪影。若存在混淆伪影，则需要调整相应的 Venc 设置。条件允许时，流速定位图可帮助优化 Venc 的设置。

5. 约 20-30 幅时相即可满足临床常规使用。对于屏气能力有限的患者，可采用多次心跳分段 K 空间充填的方式进行数据采集。

必要时，可采用导航、非屏气技术来提高时间及空间分辨率。

6. TE 设置为最小，尤其存在狭窄病变时

高级组织特性成像

组织特性成像是一个正在快速发展的领域，不同设备上可用的脉冲序列各不相同。因为目前该领域并无标准化操作指南，下述所列扫描序列只是一个通用指引说明。使用相同的平台及扫描序列的个体或团体机构可以制定出相应的正常值。

1、T2 加权成像（选用）

a. 黑血 T2-W STIR（短翻转恢复成像）

i. 可能存在的不足之处—慢血流区域表现为明亮信号，运动引起信号衰减

b. 白血 T2 加权序列

i. T2 磁化准备的单次激发 SSFP 序列

- ii.快速自旋回波-稳态自由进动混合序列是另一可选扫描序列
- iii.可能存在的不足之处—明亮信号可能会使心内膜边缘模糊不清
- c. T2 mapping 成像（选用）
 - a. Look Locker 成像（MOLLI 或 SHMOLLI 或 类似序列）
 - i.在对比剂团注之前和对比剂团注之后 2-4 个时间点进行扫描
 - ii. 也可以推注对比剂而不进行团注

T2*成像

- 1、可用来评价诸如地中海贫血等疾病的心脏铁沉积。通常也需要获得左心室功能成像。若需要注射对比剂进行增强扫描评价心肌病，则需要在对比剂使用前扫描 T2*序列。
- 2、扫描序列为单次屏气的梯度回波序列，需要多回波扫描，一般为自 2 ms 开始并延长至 18 ms，相邻回波间隔 2 ms，共 6-9 个回波时间点进行扫描。触发延迟时间为 R 波后 0 ms。
可根据实际情况选用—严重铁沉积患者的扫描序列应采用更短的回波间隔有助于更准确的确定 T2*值：自 1 ms 开始延长至 12 ms，相邻回波间隔时间为 1 ms，共 6-9 个回波时间点进行扫描。
- 3、获取一幅心室中部短轴切面图像
- 4、层厚 8- 10 mm；平面内分辨率~1.6-3.0 mm
- 5、（选用）与上述成像序列相似，但不使用心电门控，通过肝脏中部横断面评价肝脏铁沉积。不使用心电门控可以采用更短的回波间隔，因此可以获得更多的回波。

疾病特异性扫描序列—

缺血性心脏病

急性心肌梗死或急性冠脉综合征

- 1、评价左心室结构及功能
- 2、选用—高级组织特性成像
- 3、选用—首过灌注扫描（仅静息时）。

病变血管重建后可考虑行负荷试验。

4、为了显示微血管阻塞，可考虑重复行首过灌注扫描或早期钆对比增强扫描，即在对比剂注射后 1-3 分钟内扫描。

5、钆对比剂延迟增强扫描

慢性缺血性心脏病及心肌活性评价

- 1、左心室结构及功能评价
- 2、选用—高级组织特性成像
- 3、选用—低剂量多巴酚丁胺以 10 μ g/kg/min 注射 5- 10 min 后通过室壁厚度改变程度来评价心脏收缩储备能力
- 4、选用—腺苷负荷-静息灌注成像或高剂量多巴酚丁胺功能成像（详见负荷试验协议）以显示诱导出的灌注缺损或室壁运动异常
- 5、钆对比剂延迟增强扫描成像

血管造影

外周血管 MRA

- 1、条件允许时使用外周血管线圈或线圈的组合。条件允许时，使用血管压迫袖套（置于大腿部，充气至次舒张压）会有所帮助。
- 2、时间飞跃法 MRA 或 SSFP 获得横断面，低分辨率的血管定位图
- 3、钆对比增强扫描启动时间
 - a.选择 1—腹主动脉远端水平横断面行团注试验。注射 2 mL 钆对比剂以后以 20 mL 生理盐水冲管。使用单次激发团注追踪序列确定对比剂达峰时间。
 - b.选择 2—使用团注触发技术启动扫描
- 4、扫描范围自腹主动脉中部至足水平，行冠状位扫描，步进移床，钆对比增强 MRA
 - a.两次容积采集—一次为对比剂增强前采集（用于减影），一次在对比剂增强时采集
 - b. 分两个时相注射钆对比剂以减少静脉污染，随后以生理盐水冲管。见表 1
 - c. 层厚 1-1.5 mm；平面内空间分辨率 0.8-1.5 mm.
 - d. 层数通常为 60- 100，根据需要调整以包全感兴趣

区血管

- e. 腹/盆部及大腿采集的容积数据空间分辨率可以稍低（大血管），而腿部血管则应以亚毫米空间分辨率为佳。前者采集时间约需 15-20 秒，而腿部图像采集时间因为空间分辨率提高约需 60-90 秒。腿部血管成像中优先选用卵圆中心 k 空间充填。条件允许时，可采用时间分辨率采集进行腿部血管成像。
- f. 推荐使用并行采集技术（需要多通道表面线圈）

备选方案： 双次注射方案

- 1、单次剂量的钆对比剂用于小腿及足部血管时间分辨率 MRA
- 2、单次剂量的钆对比剂用于腹部及大腿血管成像

备选方案：非增强 MRA 技术

通常使用以下两种技术（也有其它技术）

- 1、“新鲜血液成像”：使用两次心电图门控触发 3D 快速自旋回波序列采集图像，第一次心电图门控触发获得收缩期图像，第二次心电图门控触发获得舒张期图像。从舒张期图像数据中减去收缩期图像数据得到只有动脉的剪影图像数据集。这种技术适合于大容积采集及大范围 z 轴数据采集。
 - a. 层厚~2 mm；平面内空间分辨率 0.6-0.8 mm。
 - b. 扫描层数—通常 40 层，根据需要调整以包全感兴趣区血管。
 - c. 推荐使用并行采集技术（需要多通道表面线圈）
- 2、3D SSFP 序列：需要加上反转预脉冲（IR）以抑制背景组织信号；当动脉血自 IR 准备容积外面流至感兴趣区时，需要采用合适的 TI 值以使动脉呈现高信号。这种技术更适合较小的容积采集。
 - a. 采集容积：~340 × 300 × 70；采集的空间分辨率~1.3 × 1.3 × 1.4。
 - b. 推荐使用并行采集技术（需要多通道表面线圈）

胸主动脉 MRA

- 1、三个方向的定位图
- 2、半傅里叶单次激发快速自旋回波或 SSFP 序列

（一次屏气扫描整个胸部），横断面扫描。

- 3、横断面 T1 加权快速自旋回波序列扫描主动脉全程（显示壁内血肿，主动脉夹层）
- 4、平行于主动脉中线斜矢状位 SSFP 电影成像-使用 3 点定位法
- 5、主动脉瓣评价同瓣膜扫描协议
- 6、钆对比增强扫描启动时间
 - a. 选择 1—腹主动脉远端水平横断面行团注试验。注射 2mL 钆对比剂后以 20mL 生理盐水冲管。使用单次激发团注追踪序列确定强化达峰时间。
 - b. 选择 2—使用团注触发技术启动扫描
 - c. 选择 3—快速多时相 3D 采集，不需要确定增强扫描时机
- 7.3D 钆对比剂增强 MRA（0.1-0.2 mmol/kg）（条件允许时可选用心电门控采集）
 - a. 空间分辨率至少 1-1.5 mm
 - b. 条件允许时使用并行采集技术
 - c. 注射对比剂后至少两次采集
- 8、选用—怀疑主动脉炎者，增强后采集横断面 T2 加权梯度回波或 T1 加权梯度回波序列
- 9、选用—见上面的 3.2.1 部分（外周血管 MRA）中介绍的非对比增强 MRA 技术

冠状动脉畸形评估

- 1、左心室结构与功能评价以观察室壁运动异常
 - a. 增加水平长轴切面，高时间分辨率序列扫描（每个时相≤ 20 ms）以准确确定 RCA 的静止期
- 2、三维导航门控自由呼吸 MRA 序列
 - a. 扫描范围自主肺动脉近端至右房中部水平（必要时范围覆盖整个心脏），横断面扫描。层厚 1-1.5 mm；平面内空间分辨率 1.0 mm 或以下。
 - b. 扫描层数—通常为 50- 80 层，必要时包含感兴趣区血管。
 - c. 根据观察到的冠状动脉相对静止期调整触发延迟时间及采集窗口。
 - d. 优先使用并行采集技术。
 - e. 导航置于右膈面最高点。

f. 选用 – 可使用钆对比剂增强扫描以使血管清晰显示

3. 选用—

a. 当图像质量差、导航门控不可用或效果不佳时使用屏气技术

b. T2 准备序列可能有所帮助

肺动脉评价—射频消融前及消融后

1、左心室结构及功能评价

2、冠状位屏气三维对比增强 MRA，包含肺血管及左心房（若屏气较好时可包含前部更大范围）

a. 选做—以肺静脉为中心的斜冠状面扫描可以减少扫描块厚度并因此能够减少屏气时间，但也会导致左心房覆盖不足。

b. 选做—心电门控。患者心率不齐时，在收缩期同步采集数据（即，无触发延迟）。

c. 2-3 次容积采集：一次在对比剂增强前（用于减影），一次在对比剂首次通过时，另一次（选做）在对比剂注射后。

d. 钆对比剂 (0.1-0.2 mmol/kg) 注射流率 2-3 mL/s

e. 扫描层厚 1-2 mm；平面内空间分辨率 1-1.5 mm.

f. 扫描层数—通常 60-80 层，必要时覆盖感兴趣区

g. 条件允许时使用平行采集技术

3. 选做—对每条肺静脉进行跨平面相位对比血流分析

冠状静脉血管造影

1、三维导航门控自由呼吸反转恢复 MRA 序列

a. 扫描范围自主肺动脉近端至右房中部水平（必要时范围覆盖整个心脏），横断面扫描。扫描层厚 1-1.5 mm；平面内空间分辨率 1.0 mm 或以下。

b. 扫描层数—通常为 110-130 层，必要时包含感兴趣区血管。

c. 根据收缩末期（此时冠状静脉直径最大）或舒张中期血管静止期调整触发延迟时间及采集窗口，通常采集时长为每次心跳 60-90 ms。

d. 优先使用并行采集技术。

e. 使用脂肪抑制技术。

f. 呼吸导航置于右膈面。

g. 不使用 T2 磁化准备预脉冲，但使用反转恢复预脉冲（扫描前使用 TI-定位图或 Look-Locker 序列来确定反转时间）

h. 注射对比剂后进行扫描

其它

包括心肌炎在内的非缺血性左心室心肌病

1、左心室结构及功能成像

2、选做—高级组织特性成像

3、选做—仅适用于心肌炎

早期钆对比增强比率—在钆对比剂增强前后的 T1 加权图像上测量心肌信号强度改变与骨骼肌信号强度改变的比率

4、钆对比剂延迟增强成像

5、选做—如果不排除可能存在混合性心肌病变，则使用腺苷负荷—静息灌注成像或高剂量多巴酚丁胺负荷功能成像（见负荷试验协议中的方法及禁忌证条目）以评价有无心肌缺血。

肥厚型心肌病

1、左心室结构及功能成像

2、左心室流出道血流成像，包括三腔心 SSFP 电影成像来显示有无左心室流出道湍流，二尖瓣或腱索收缩期前向运动；如果存在湍流及收缩期前向运动，则行相位流速测量以测量压力梯度差。

3、选做—考虑使用高级组织特性成像

4、选做—考虑使用血管扩张负荷试验灌注成像

5、钆对比剂延迟增强扫描成像

致心律失常性右心室心肌病

1、左心室结构及功能成像—5-6 mm 层厚

2、横断面或斜横断面 SSFP 电影成像（层厚 5-6 mm），覆盖包含 RVOT 在内的右心室。推荐使用与三尖瓣血流流入一致的右心室垂直长轴切面成像。

3、选做序列

a. 选择横断面或斜横断面黑血图像（双反转恢复 T1

加权快速自旋回波序列)

b. 使用脂肪抑制技术的双反转恢复 T1 加权快速自旋回波序列

c. 钆对比剂延迟增强扫描成像, 扫描方向同前。使用右心室无信号的 TI 值。

瓣膜病变

人工瓣膜置换术后的患者可安全地行 1.5 T 和 3.0 T CMR 检查。由心脏搏动引起的冲击力比磁场本身带来的冲击力高出很多倍。

1.左心室结构及功能成像。

a. 使用水平长轴切面图像观察瓣膜解剖结构以及二尖瓣和三尖瓣湍流。

b. 使用 LVOT 切面图像观察二尖瓣及主动脉瓣。

c. 使用垂直长轴切面图像观察二尖瓣。

d. 冠状位图像观察主动脉瓣。

e. 其它切面成像 (需要时可采集右心室长轴切面, 右心室流出道切面图像)

2.具体问题

a. 在待观察的瓣膜平面使用 SSFP 电影评价瓣膜形态。仔细选用最佳成像水平及角度

b. 注意—测量狭窄瓣口面积时, 推荐使用垂直射流的连续或轻度重叠的高分辨率电影图像, 扫描方向自瓣口向射流方向依此采集。

当瓣口横截面或射流横截面可清晰显示时, 面积测量数值最有效。但当射流分散或倾斜时, 面积测量法并不准确。

c. 梯度回波或梯度回波/平面回波混合成像可非常敏感的观察瓣膜反流束 (仅定性评估而言)。

d. 二尖瓣或三尖瓣反流, 推荐使用层厚为 5mm 的连续电影图像, 成像平面与流入方向一致, 并横截瓣膜接合线, 从较高的接合处移向较低的接合处。可以用左心室流出道平面观察二尖瓣, 用横断面观察三尖瓣。这套电影图像可通过二尖瓣瓣膜的运动评价瓣膜 tethering, 脱垂或反流。

e. 根据实际流速设定流速编码 (使用无相位混淆伪影的最低流速编码)。

f. 最低 TE 值用于评价高速射流。

心包疾病

1、左心室结构及功能成像

2、T1 或 T2 加权快速自旋回波成像

a. 2-3 个代表性长轴切面图像及 3-4 个代表性短轴切面图像用于测量心包厚度 (正常 ≤ 3 mm)

b. 怀疑心包囊肿者则参考肿瘤成像协议

3. 选做—如果发现心包增厚, 使用 T1 加权梯度回波心肌标记电影序列来观察心包和心外膜间是否存在粘连 (2-3 幅长轴切面图像 1-2 幅短轴切面图像)

4. 动态呼吸期间实时成像评价心室间交互作用

a. 首选心室中部短轴切面

b. 电影成像时间分辨率以 60 ms 以下为佳

c. 指导患者深呼吸, 总成像时间至少覆盖两个完整的呼吸周期

d. 吸气起始时异常室隔运动 (舒张早期室隔平直或反向) 表示限制性血流动力学改变。

5. 钆对比剂延期增强扫描成像

a. 伴和不伴脂肪抑制的延迟增强扫描成像有助于把心包炎与同心包或心外膜脂肪区别开来

心脏和心旁肿瘤 (包括血栓) 成像

1. 左心室结构和功能成像

2. T1 加权快速自旋回波序列—成像平面要通过肿瘤和邻近结构 (扫描层数取决于肿瘤大小)

3. 脂肪抑制 T2 加权快速自旋回波序列 (可选—无脂肪抑制), 通过肿瘤及邻近结构。序列参数细节请参见非缺血性心肌病。

4. 首过灌注扫描, 成像平面通过肿瘤

5. 重复 T1 加权快速自旋回波序列, 伴脂肪抑制。

6. (可选) 重复增强后选择性 SSFP 电影成像

7. 钆对比剂延迟增强扫描成像

a. 设定 TI 值使血栓无信号 (1.5 T CMR 约为 500-550 ms, 3 T CMR 约为 850-900 ms), 有助于鉴别血栓和肿瘤, 以及包括肿瘤的血栓

b. 连续成像有助于鉴别低灌注肿瘤坏死中心及
血栓

Competing interests

Christopher Kramer MD - Research support from Siemens Healthcare, Novartis. Consultant for Synarc, St. Jude Medical.

Jorg Barkhausen MD - none.

Scott Flamm MD - Institutional research support from Siemens Healthcare and Philips Healthcare. Advisory Board for Bayer Healthcare, TeraRecon and Circle Cardiovascular.

Raymond Kim MD - Inventor on a US patent owned by Northwestern University concerning delayed contrast-enhanced MRI to diagnose myocardial viability and infarction, Co-founder, HeartIT, LLC, Educational grant, Siemens Medical Solutions, Consultant: Bayer, Velomedix, St. Jude Medical.

Eike Nagel MD - Research support from Philips Healthcare and Bayer Healthcare.

Authors' contributions

CMK: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript, corresponding author. JB: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript. SDF: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript. RJK: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript. EN: wrote protocols, edited protocols, edited manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

Author details

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

²Department for Radiology, University Hospital Schleswig-Holstein, Lübeck, Germany. ³Imaging Institute, and Heart and Vascular Institute, Cleveland Clinic, 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.