

❖ 规范与标准

Expert consensus on cardiovascular MR in ischemic cardiomyopathy

Society of Cardiovascular Magnetic Resonance Diagnostics, China International Exchange and Promotive Association for Medical and Health Care, WU Rui¹, WU Lianming^{1*},

ZHOU Yan^{1*}, LI Kuncheng^{2*}, XU Jianrong^{1*}

(1. Department of Radiology, Renji Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200127, China; 2. Department of Radiology and Nuclear Medicine, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China)

[Abstract] Cardiovascular MR (CMR) is an important method of imaging diagnosis of ischemic cardiomyopathy (ICM). Standardizing scanning process, sequence selection and interpretation of images can further improve clinical application value of CMR in ICM. This consensus was formed by Chinese experts based on domestic clinical experiences and research progressed combined with foreign consensus, in order to propose references for CMR applied in clinical practice of ICM in China.

[Keywords] cardiomyopathies; consensus; magnetic resonance imaging

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2024.03.001

缺血性心肌病心血管 MR 临床应用专家共识

中国医疗保健国际交流促进会心血管磁共振诊断学分会, 武睿¹,

吴连明^{1*}, 周滢^{1*}, 李坤成^{2*}, 许建荣^{1*}

(1. 上海交通大学医学院附属仁济医院放射科, 上海 200127; 2. 首都医科大学宣武医院放射与核医学科, 北京 100053)

[摘要] 心血管 MR(CMR)是诊断缺血性心肌病(ICM)的重要影像学方法。规范扫描流程、序列选择及诊断过程可进一步提高 CMR 用于 ICM 的临床价值。多名中国专家基于国内经验及研究成果、参考国外共识提出本共识,旨在为 CMR 在我国 ICM 临床实践中的应用提供参考。

[关键词] 心肌病; 共识; 磁共振成像

[中图分类号] R542.2; R445.2 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2024)03-0321-06

缺血性心肌病(ischemic cardiomyopathy, ICM)为冠状动脉狭窄、栓塞或弥漫性小动脉狭窄等因素引发心肌供血不足所致心脏损害。2018年,我国医院的心脑血管疾病患者出院总人次占同期总数的12.8%^[1];其中ICM 855.88万人次,总住院费用1119.82亿元,意味着ICM已成为我国重要卫生经济负担。

利用心血管 MR(cardiovascular MR, CMR)可获取

心脏结构、功能及组织学信息,对于评估 ICM 发生、发展及预后具有重要价值^[2-3]。2017年欧洲心血管影像协会与心血管磁共振协会(Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, SCMR)共同制定了 CMR 参数定量技术专家共识^[4];2020年 SCMR 在此基础上结合最新研究进展发布了2020年 CMR 临床指征^[5]。目前我国针对 ICM 的 CMR 扫描策略及操作要点均缺乏统一

[基金项目] 国家自然科学基金(82171884)。

[执笔人] 武睿(1987—),女(达斡尔族),黑龙江绥化人,博士,主治医师。研究方向:心脏核磁共振成像。E-mail: wuyidaoruirui@163.com

[通信作者] 吴连明,上海交通大学医学院附属仁济医院放射科,200127。E-mail: wlmssmu@126.com

周滢,上海交通大学医学院附属仁济医院放射科,200127。E-mail: clare1475@hotmail.com

李坤成,首都医科大学宣武医院放射与核医学科,100053。E-mail: cjr.likuncheng@vip.163.com

许建荣,上海交通大学医学院附属仁济医院放射科,200127。E-mail: xujianr@hotmail.com

[收稿日期] 2023-11-30 [修回日期] 2024-01-13

标准,所用序列及影像学报告亦欠规范。国内多名 CMR 领域专家基于国内 CMR 临床应用经验和研究成果、参考 SCMR 专家共识提出本共识,旨在为 CMR 在我国的应用提供符合国情的参考。

1 检查前准备

1.1 适应证 临床诊断 ICM[急性冠脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)、冠状动脉慢性闭塞(chronic total occlusion, CTO)等]、经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)后评估及随访主要心血管不良事件(major adverse cardiovascular event, MACE)。

1.2 禁忌证

1.2.1 含钆对比剂禁忌证 肾小球滤过率<30 ml/(min·1.73 m²);钆对比剂过敏。

1.2.2 其他禁忌证 体内铁磁性金属植入物(其他材质植入物遵循说明书);植入除颤器或心脏起搏器 6 周内;因幽闭恐怖症、携生命支持设备等而无法配合。

1.3 设备 1.5T 或 3.0T MR 扫描仪(建议梯度≥33 mT/m、切换率≥125 mT/m/ms),配备心脏专用多通道扫描线圈、心电门控软硬件及与设备兼容的高压注射器;采用并行采集技术时,所用脉冲序列至少应包括电影、快速多平面心肌灌注显像及钆对比剂延迟显像;拟进行药物负荷试验时,建议配置 MR 兼容监护仪。

1.4 应急药品与设备 常备口服 β 受体阻滞剂以用于心率过快的受检者。行负荷试验前需准备处置心血管意外及对比剂反应所需应急药物及设备,包括硝酸甘油、氨茶碱、肾上腺素、多巴胺、阿托品和抗心律失常药物,以及应急吸氧条件和除颤器等,并掌握上述药物的适应证和禁忌证,必要时在心内科医师指导下使用。

1.5 扫描前患者准备 训练患者呼气后屏气并尽量保持呼吸幅度一致。

2 推荐扫描方案

目前适用于不同厂家、型号设备的商用 CMR 序列结构基本相同,可采用相似序列参数。T1 mapping、T2 mapping 适用于 3.0T 及 1.5T 设备,T2* mapping 适用于 1.5T 设备。应于每个序列扫描结束后查看原始图像、观察心电及呼吸门控识别等,发现

图像质量不佳时及时调整参数。CMR 推荐序列见表 1。

2.1 基础扫描序列 包括电影序列、T2WI/STIR/SPAIR、动态增强/首过灌注序列及延迟强化序列,设定参数见表 2。

电影序列主要用于观察心脏形态、结构及收缩/舒张功能,尤其节段性收缩功能障碍及收缩活动消失,获得心脏功能参数,并可根据节段收缩活动减弱与否初步判断缺血节段。建议于注入对比剂前行电影序列扫描,以免心肌与血池对比度低而影响图像后处理及心功能测定结果。

T2WI、STIR 及 SPAIR 序列可用于观察心肌水肿范围及是否发生心肌内出血(intramyocardial hemorrhage, IMH),结合延迟扫描有助于判断可挽救心肌。可根据 STIR 及 SPAIR 序列心肌与骨骼肌信号比值≥2.0 诊断心肌弥漫性水肿。

根据电影序列及 T2WI 预估梗死节段进行急性定位并观察其心肌灌注时,如无法确认低灌注区域,可增加早期强化序列扫描,一般行静息态扫描;行负荷态扫描时,建议请心内科医师现场监控患者状态。延迟强化序列可用于观察微循环障碍区域,对面积较小的心内膜下梗死较敏感,是评估梗死心肌及梗死面积的重要序列,也是诊断局灶性心肌梗死(myocardial infarction, MI)的无创金标准。黑血延迟强化序列可进一步提高梗死心肌与血池对比度。

2.2 可选择扫描序列 包括负荷成像扫描、T1 mapping、T2 mapping 及 T2* mapping,设定参数见表 3。

表 1 CMR 推荐序列

序列	用于诊断 ICM	用于观察 ICM 病情变化、评估预后及随访
电影序列		
短轴腔位	必备	必备
长轴腔位(四腔、三腔、两腔)	推荐	推荐
右心室长轴腔位(三腔、两腔)	可选择	可选择
T2WI/STIR/SPAIR 序列		
首过灌注序列	必备	必备
延迟强化序列	可选择	可选择
短轴腔位		
短轴腔位	必备	必备、首选
长轴腔位(四腔、三腔、两腔)	推荐	推荐
右心室长轴腔位(三腔、两腔)	可选择	可选择
负荷成像扫描		
native T1 mapping	可选择	可选择
native T2 mapping	可选择	可选择
native T2* mapping	可选择	可选择
post-contrast T1 mapping(ECV)	可选择	可选择

注:STIR:短时反转恢复(short-tau inversion recovery);SPAIR:频率选择反转恢复衰减(spectral presaturation attenuated inversion recovery);ECV:细胞外间质容积分数(extracellular volume fraction)

表 2 用于 ICM 的基础 CMR 序列及设定参数

序列	类别	扫描层厚(mm)	分辨率	采集范围
电影序列	平衡态稳态自由进动、扰相梯度回波或其他同类序列	6~8	时间分辨率不宜>45 ms, 层面内分辨率不应>2 mm	应以短轴覆盖舒张期二尖瓣环至心尖区域
T2WI/STIR/ SPAIR 序列	黑血 FSE T2WI 带脂肪抑制、T2 准备单次激发序列或其他同类序列	6~8	层面内分辨率宜设为 1.6~2.0 mm	根据检查目的决定采集腔位及层数, 应至少采集 1 层短轴图像
动态增强/ 首过灌注序列	饱和恢复序列(每次注射对比剂剂量及速率宜分别设为 0.05~0.10 mmol/kg 及 1.5~3.5 mmol/s)	8~10	层面内分辨率不宜>3 mm、时间分辨率宜设为 100~125 ms	应至少采集 3 层短轴图像, 包括心底、心室中部及心尖水平
延迟强化序列	IR、PSIR 序列或其他同类序列(2D 或 3D 采集, 单次检查对比剂总剂量宜 0.1~0.2 mmol/kg)	2D 采集宜设为 8~10	层面内分辨率宜设为 1.4~1.8 mm	应至少以短轴扫描全心

注:FSE:快速自旋回波(fast spin echo, FSE);IR:反转恢复(inversion recovery);PSIR:相位敏感反转恢复(phase sensitive inversion recovery)

表 3 用于 ICM 的可选择 CMR 序列及设定参数

序列	类别	扫描层厚(mm)	分辨率	采集范围
负荷成像扫描	饱和恢复序列(需行腺苷或多巴酚丁胺诱导的负荷试验)	8~10	层面内分辨率不宜>3 mm, 时间分辨率宜设为 100~125 ms	应至少采集 3 层短轴图像, 包括心底、心室中部及心尖水平
T1 mapping	MOLLI、ShMOLLI 或其他同类序列	6~8	层面内分辨率宜设为 1.6~2.0 mm	应至少采集 3 层短轴图像, 包括心底、心室中部及心尖水平
T2 mapping	GraSE、FSE、不同 T2 准备时间的单激发序列或其他同类序列	6~8	层面内分辨率宜设为 1.6~2.0 mm	根据检查目的决定采集腔位及层数, 应至少采集 1 层短轴图像
T2* mapping	梯度回波序列(1.5T 设备宜采用 6~9 个回波; 严重铁沉积患者或 3.0T 设备宜采用 6~9 个回波)	8~10	层面内分辨率宜设为 1.6~3.0 mm (1.5T设备最短 TE、最长 TE 及回波间隔分别宜设为 2.18 及 2 ms; 对严重铁沉积患者或 3.0T 设备分别宜设为 1.12 及 1 ms)	根据检查目的决定采集腔位及层数, 应至少采集 1 层短轴图像; 对严重铁沉积患者宜于肝脏中部以轴位采集单层图像以同时检测肝脏铁沉积情况

注:MOLLI:改良 Look Locker 反转恢复(modified look locker inversion recovery, MOLLI);ShMOLLI:缩短 MOLLI(shortened MOLLI);GraSE:梯度-自旋回波(gradiant and spin echo, GraSE)

心肌灌注显像以钆对比剂首剂通过心肌血管床引起的信号改变显示心肌供血状态,行腺苷或多巴酚丁胺负荷试验可提高其显示缺血心肌效能。行心肌负荷灌注 MR 检查时需有内科医师协同参与,配备必要抢救措施,期间密切监测生命指标,其他参与检查人员均需了解相关药物用法、禁忌证及不良反应处理原则。

T1 mapping 中,native T1 mapping 可反映心肌细胞及细胞外间质信号,post-contrast T1 mapping 与对比剂排空速度有关。ICM 致心肌细胞缺血、水肿、坏死表现为 native T1 mapping 值显著升高而 post-contrast T1 mapping 值显著降低。基于 T1 mapping 的 ECV 为细胞外间质容积占全部心肌容积百分比,可作为心肌纤维化最敏感的无创生物标志物,用于定量分析梗死心肌、可挽救心肌及远端心肌^[6]。

T2 mapping 可直接测量心肌 T2 值,有助于定量评估心肌水肿范围及程度、区分可挽救心肌。心肌水肿时 T2 mapping 值显著升高。T2* mapping 可诊断心肌组织铁过量及 IMH、反映心肌缺血再灌注时氧含量的动态变化。

2.3 图像后处理 大部分 MR 设备配有后处理软件,支持简单的 CMR 图像后处理。测定心功能时,应至少勾画舒张末期及收缩末期的左心室心肌内膜及外膜轮廓;以延迟强化序列评估急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)时,应根据需求,在勾画左心室心肌内膜及外膜轮廓的基础上自动/半自动计算梗死心肌质量或梗死心肌所占左心室心肌百分比。

3 诊断

出具的诊断报告应包括患者基本信息(身高、体重、含/不含体表面积),左心室功能参数[左心室舒张末期容积、左心室收缩末期容积、左心室射血分数(含/不含相应体表面积适应后数值)、室间隔厚度及侧壁厚度,含/不含左心房及右心房面积、内径及右心室功能参数,若梗死节段包括右心室壁则建议测量右心室功能参数],心肌组织学定性[包括是否存在心肌水肿(标明水肿心肌节段)、MI(标明梗死节段、梗死心肌质量或其占左心室质量百分比)及 MI 并发症(心肌微循环障碍、IMH、室壁瘤、心腔内血栓及心包炎等)]等内容。

3.1 AMI 通过电影序列可直接观察有无缺血冠状动脉相应心肌节段收缩减弱、消失或矛盾运动反映心肌收缩功能^[7],亦可经软件处理后计算心功能参数对心肌收缩功能进行定量分析。基于电影序列的左心室心肌应变技术可早期检测 MI 后左心室不良重构^[8-9]。根据 T2WI 可对心肌水肿进行定性及半定量分析,T2 mapping 可定量测量水肿心肌的 T2 值。AMI 时心肌水肿范围一般大于梗死范围,表现为 T2WI 高信号;演变为陈旧性 MI 时心肌水肿基本完全消退,少数可因病灶区域慢性炎症而长期存在 T2WI 高信号表现。钆对比剂延迟强化 (late gadolinium enhancement, LGE) 是评估 MI 的无创金标准,梗死心肌、受累乳头肌可表现为明显局灶性高信号。经软件处理后,可于 LGE 序列勾画 MI 区域,计算梗死心肌占全部心肌面积百分比以评价 MI 程度;但应注意,LGE 高信号区域面积可因冠状动脉再通后水肿消退及心肌纤维化瘢痕、慢性期脂质沉积等发生改变,导致据此计算的梗死心肌面积百分比无法完全反映梗死进展或减轻。T1 mapping 序列及 ECV 可定量评估梗死心肌,即增强前

T1 值及 ECV 明显升高、增强后 T1 值明显降低^[10]。见图 1。

3.2 AMI 并发症 PCI 可恢复 AMI 冠状动脉血供,但部分梗死心肌仍存在低灌注表现,即微循环障碍 (microvascular obstruction, MVO) 或“无复流”现象。MVO 病理机制未明,可能与心肌微血管形成、毛细血管结构破坏等因素有关^[11]。AMI 患者 PCI 后即刻 CMR 可见 MVO,表现为首过灌注序列低信号、LGE 序列见高信号梗死心肌中存在线样/线条样低信号,随梗死时间延长而逐渐减轻,且多于 PCI 后 1 个月基本消失^[12];其程度有助于预测 MACE^[13]。IMH 主要由心肌急性缺血后毛细血管壁损伤及血流再灌注等因素所致,在 AMI 早期其范围逐渐增大,并于 3 天达峰值,随后逐渐缩小直至消失^[14];急性期 T2WI 表现为高信号水肿心肌中弧形/线样低信号,T2 mapping 及 T2* mapping 表现为 T2 及 T2* 值明显降低,以 T2* 值更为敏感^[15];慢性期部分可见 T2WI、T2 mapping 及 T2* mapping 低信号,考虑与含铁血黄素沉积有关。AMI 合并心腔内血栓常见于心尖部,表现为电影序列

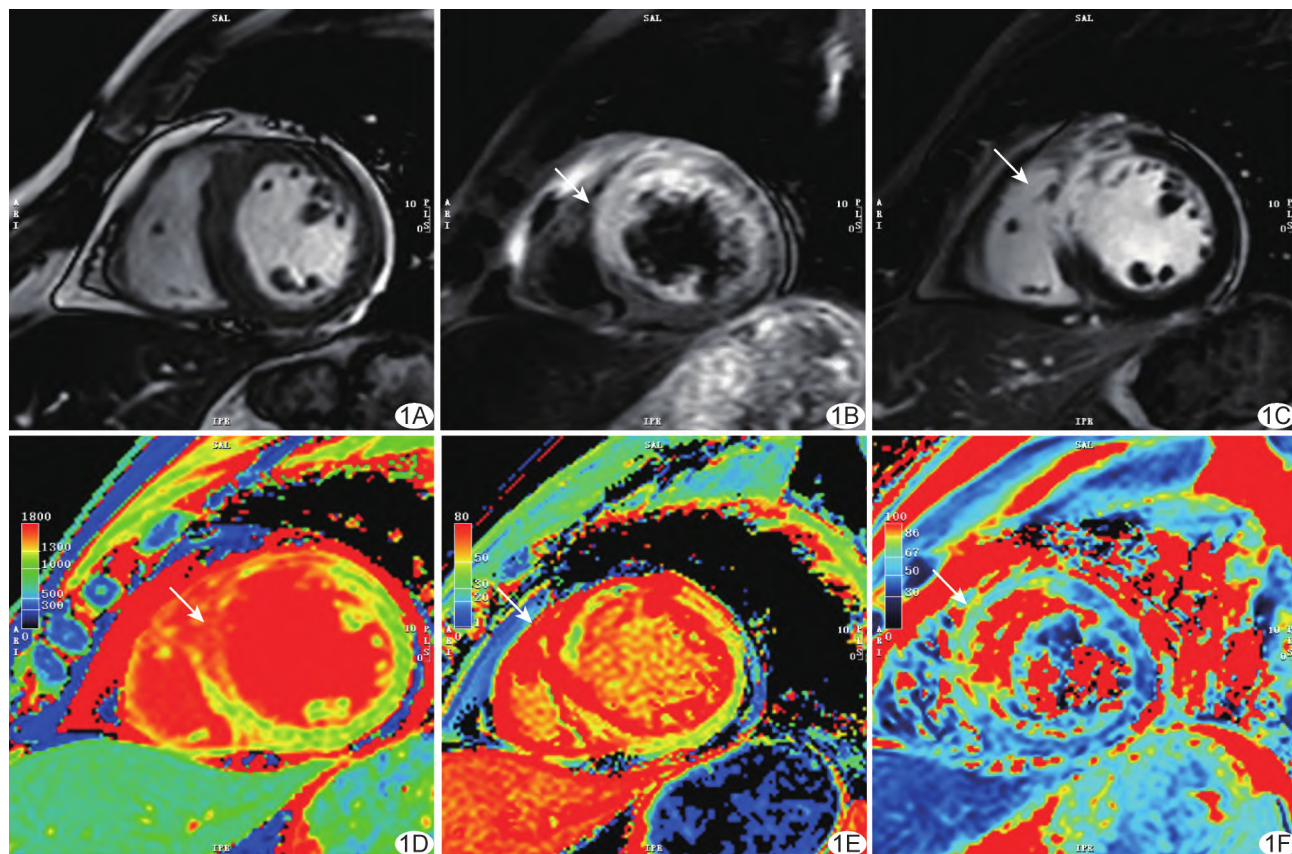


图 1 AMI 患者,男,63 岁,PCI 后 7 天 A. 轴位 CMR 电影序列图示心肌略增厚,少量心包积液; B. 轴位 STIR 序列图示室间隔高信号心肌水肿区域(箭); C. 轴位 LGE 序列图示前间隔透壁性延迟强化心肌梗死区域(箭); D、E. native T1 mapping(D)及 ECV(E)图示前间隔高亮心肌梗死区域(箭); F. native T2 mapping 图示室间隔高信号心肌水肿区域(箭)

中活动度较差的心腔内低信号、LGE 序列多无明显强化^[16]；合并心包炎 CMR 可见心包增厚、伴或不伴心包积液，LGE 高信号改变^[17]；合并室壁瘤表现为电影序列中梗死区域室壁局部膨出或矛盾运动。

4 随访

2019 年，多名国际 CMR 及心脏病理生理学领域专家通过总结针对心肌缺血/再灌注损伤 CMR 表现的最新研究成果，对 CMR 参数判断 MI 预后的价值加以肯定，并共同制定“MI 基础实验及临床试验中 CMR 终点选择”专家共识，进一步推动了 CMR 在 ICM 随访和预后中的应用^[18]。

CMR 参数可作为有效影像学指标预测 AMI 后发生 MACE。其中，LGE 与 MACE 发生直接相关、可作为主要研究终点^[19-20]；左心室射血分数、MVO、左心室舒张/收缩末期容积^[21-22]、IMH、水肿程度等可作为二级研究终点；基于电影序列的心肌应变技术、T1 mapping/ECV、T2 mapping 及 T2* mapping 等组织学定量参数可作为探索性终点，观察其与发生 MACE 的关系。

左心室心肌舒张早期峰值应变率^[23]、T1 mapping/ECV^[24]，以及 LGE 联合 T1/T2 mapping^[25-26]均可预测 MACE，基于电影序列影像组学可预测左心室不良重构^[27]，而左心室整体功能参数与 AMI 后左心室不良重构及 MACE 相关^[28]。以上参数均有望为制定 AMI 治疗决策及风险分层提供增量信息。

5 总结

得益于不断发展的成像序列，CMR 在诊断 ICM、随访及评估预后等方面具有广阔应用前景。在机器学习技术和人工智能的推动下，基础的电影序列、T2W、LGE 序列等也可提供更为全面的信息；根据 CMR 相关参数不仅能无创评估 MI 区域，且可评估远端非梗死心肌变化。多序列、多参数的特点使 CMR 对于长期随访 MI、评估 MACE 及心肌保护临床疗效等具有突出优势，值得临床推广应用。

利益冲突：全体作者声明无利益冲突。

[专家组成员(按姓氏拼音排序)：程流泉(中国人民解放军总医院第六医学中心)、郜发宝(四川大学华西医院)、龚良庚(南昌大学第二附属医院)、胡红杰(浙江大学附属邵逸夫医院)、李坤成(首都医科大学宣武医院)、李小虎(安徽医科大学第一附属医院)、吴连明(上海交通大学医学院附属仁济医院)、夏黎明(华中科技大学同济医学院附属同济医院)、许建荣(上海交通大学医学院附属仁济医院)、杨旗(首都医科大学附属

朝阳医院)、曾蒙苏(复旦大学附属中山医院)、周滢(上海交通大学医学院附属仁济医院)]

[参考文献]

- [1] 国家心血管病中心. 中国心血管健康与疾病报告 2021[M]. 北京：科学出版社，2020：1-228.
- [2] SMULDERS M W, KIETSELAER B L J H, WILDBERGER J E, et al. Initial imaging-guided strategy versus routine care in patients with non-ST-segment elevation myocardial infarction[J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 74(20):2466-2477.
- [3] 周笛, 庄白燕, 赵世华, 等. 心血管 MR 诊断心肌炎研究进展：基于 2018《非缺血性心肌炎诊断 CMR 标准修改》专家推荐意见[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(10):1574-1577.
- [4] MESSROGLI D R, MOON J C, FERREIRA V M, et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T1, T2, T2* and extracellular volume: A consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI)[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2017, 19(1):75.
- [5] LEINER T, BOGAERT J, FRIEDRICH M G, et al. SCMR position paper (2020) on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance [J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2020, 22(1):76.
- [6] ROBINSON A A, CHOW K, SALERNO M. Myocardial T1 and ECV measurement: Underlying concepts and technical considerations[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2019, 12(11 Pt 2):2332-2344.
- [7] RAJIAH P, DESAI M Y, KWON D, et al. MR imaging of myocardial infarction [J]. Radiographics, 2013, 33(5):1383-1412.
- [8] CALVIERI C, GALEA N, CILIA F, et al. Protective value of aspirin loading dose on left ventricular remodeling after ST-elevation myocardial infarction[J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9:786509.
- [9] 李璐, 陈秀玉, 程怀兵, 等. 心血管 MRI 在评价左心室心尖发育不良中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2016, 32(12):1866-1870.
- [10] BOGAERT J, CURIONE D, MORAIS P, et al. Imaging ischemic and reperfusion injury in acute myocardial infarction: Putting the pieces together with CMR[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2017, 10(12):1520-1523.
- [11] GUPTA S, GUPTA M M. No reflow phenomenon in percutaneous coronary interventions in ST-segment elevation myocardial infarction[J]. Indian Heart J, 2016, 68(4):539-551.
- [12] NIJVELDT R, BEEK A M, HIRSCH A, et al. 'No-reflow' after acute myocardial infarction: Direct visualisation of microvascular obstruction by gadolinium-enhanced CMR[J]. Neth Heart J, 2008, 16(5):179-181.
- [13] GALEA N, DACQUINO G M, AMMENDOLA R M, et al.

- Microvascular obstruction extent predicts major adverse cardiovascular events in patients with acute myocardial infarction and preserved ejection fraction[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(5): 2369-2377.
- [14] BETGEM R P, de WAARD G A, NIJVELDT R, et al. Intramyocardial haemorrhage after acute myocardial infarction[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2015, 12(3):156-167.
- [15] KALI A, TANG R L, KUMAR A, et al. Detection of acute reperfusion myocardial hemorrhage with cardiac MR imaging: T2 versus T2* [J]. *Radiology*, 2013, 269(2):387-395.
- [16] MOTWANI M, KIDAMBI A, HERZOG B A, et al. MR imaging of cardiac tumors and masses: A review of methods and clinical applications[J]. *Radiology*, 2013, 268(1):26-43.
- [17] VERMA B R, MONTANE B, CHETRIT M, et al. Pericarditis and post-cardiac injury syndrome as a sequelae of acute myocardial infarction[J]. *Curr Cardiol Rep*, 2020, 22(10):127.
- [18] IBANEZ B, ALETRAS A H, ARAI A E, et al. Cardiac MRI endpoints in myocardial infarction experimental and clinical trials: JACC scientific expert panel [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(2):238-256.
- [19] ALBA A C, GAZTANAGA J, FOROUTAN F, et al. Prognostic value of late gadolinium enhancement for the prediction of cardiovascular outcomes in dilated cardiomyopathy: An international, multi-institutional study of the MINICOR group[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(4):e010105.
- [20] ZHOU X Y, TANG C X, GUO Y K, et al. Late gadolinium enhanced cardiac MR derived radiomics approach for predicting all-cause mortality in cardiac amyloidosis: A multicenter study[J]. *Eur Radiol*, 2023, 34(1):402-410.
- [21] BULLUCK H, CARBERRY J, CARRICK D, et al. Redefining adverse and reverse left ventricular remodeling by cardiovascular magnetic resonance following ST-segment-elevation myocardial infarction and their implications on long-term prognosis[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2020, 13(7):e009937.
- [22] MASCI P G, PAVON A G, PONTONE G, et al. Early or deferred cardiovascular magnetic resonance after ST-segment-elevation myocardial infarction for effective risk stratification[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(6):632-639.
- [23] WEI L, DONG J X, JIN L X, et al. Peak early diastolic strain rate improves prediction of adverse cardiovascular outcomes in patients with ST-elevation myocardial infarction [J]. *Radiol Med*, 2023, 128(11):1372-1385.
- [24] SHI R Y, CHEN B H, WU C W, et al. Left ventricular thrombus after acute ST-segment elevation myocardial infarction: Multi-parametric cardiac magnetic resonance imaging with long-term outcomes[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2022, 38(11):2373-2384.
- [25] BERGAMASCHI L, FOÀ A, PAOLISSO P, et al. Prognostic role of early cardiac magnetic resonance in myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2024, 17(2):149-161.
- [26] SHANMUGANATHAN M, MASI A, BURRAGE M K, et al. Acute response in the noninfarcted myocardium predicts long-term major adverse cardiac events after STEMI [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2023, 16(1):46-59.
- [27] A X, LIU M, CHEN T, et al. Non-contrast cine cardiac magnetic resonance derived-radiomics for the prediction of left ventricular adverse remodeling in patients with ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Korean J Radiol*, 2023, 24(9):827-837.
- [28] PEZEL T, BESSEYRE des HORTS T, SCHAAF M, et al. Predictive value of early cardiac magnetic resonance imaging functional and geometric indexes for adverse left ventricular remodelling in patients with anterior ST-segment elevation myocardial infarction: A report from the CIRCUS study[J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2020, 113(11):710-720.