

基于疾病及临床应用场景的心脏磁共振检查指南

中华医学会放射学分会心胸学组 中华医学会放射学分会磁共振学组 中国医药教育协会放射学教育专业委员会

通信作者:陆敏杰,国家心血管病中心北京协和医学院中国医学科学院阜外医院影像中心,北京 100037,Email: coolkan@163.com;刘士远,海军军医大学第二附属医院放射诊断科,上海 200433,Email: cjr.liushiyuan@vip.163.com;严福华,上海交通大学医学院附属瑞金医院放射诊断科,上海 200025,Email: yfh11655@rjh.com.cn

【摘要】 随着心血管疾病发病率持续上升及精准医疗需求日益增长,心脏磁共振(CMR)因其无创、多参数成像等优势,在心血管疾病的诊断、治疗与评估中发挥着关键作用。然而,诸多挑战限制了CMR的广泛临床应用。为此,本指南基于中国国情与最新循证证据,旨在规范CMR检查流程、明确适应证、推荐临床可行的成像方案,并推动多学科协作与新技术的整合。本指南通过提供系统化、规范化的操作指导,以期推动CMR技术在我国的标准普及与规范化应用,助力提升我国心血管病整体诊疗水平与精准医疗发展质量。

【关键词】 磁共振成像; 扫描方案; 心血管疾病; 临床场景; 指南

基金项目: 四大慢病重大专项(2023ZD0504502)

Guidelines for cardiac MR examination based on diseases and clinical scenario

Cardio-Thoracic Group of Chinese Society of Radiology of Chinese Medical Association, MRI Group of Chinese Society of Radiology of Chinese Medical Association, Professional Committee of Radiology Education of China Medicine Education Association

Corresponding author: Lu Minjie, Imaging Center, Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Diseases, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China, Email: coolkan@163.com; Liu Shiyuan, Department of Radiology, Second Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200433, China, Email: cjr.liushiyuan@vip.163.com; Yan Fuhua, Department of Radiology, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China, Email: yfh11655@rjh.com.cn

随着心血管疾病的发病率在全球范围内持续上升以及对精准医疗需求的日益增加,心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)作为一种无创、无辐射、多参数成像的检查技术,因其出色的图像质量和综合信息提供能力,在心血管疾病的诊断、治疗和预后评估中日益成为不可或缺的手段。然

而,尽管CMR在国际上已有广泛应用,CMR技术的普及和应用在我国仍面临诸多挑战。具体而言,技术的普及受到扫描序列的多样性、图像解读的复杂性以及技术人员受培训程度和临床经验差异等问题的制约,进而影响了CMR在不同地区和临床场景中的标准化应用。在此背景下,制订一套适应中

DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20250704-00396

收稿日期 2025-07-04 本文编辑 张琳琳

引用本文:中华医学会放射学分会心胸学组,中华医学会放射学分会磁共振学组,中国医药教育协会放射学教育专业委员会. 基于疾病及临床应用场景的心脏磁共振检查指南[J]. 中华放射学杂志, 2026, 60(5): 519-537. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20250704-00396.



国国情的CMR检查指南显得尤为重要。该指南将基于疾病及临床应用场景,提供标准化的CMR检查流程、解读准则及应用推荐:(1)规范CMR的扫描流程,确保图像质量,提高图像采集的标准化。(2)明确CMR的适应证,系统梳理CMR在各种心血管疾病(如冠心病、心肌病、先天性心脏病、肿瘤等)中的应用,为各临床场景提供规范检查策略。(3)联系临床实际推荐可操作的成像方案,以确保不同临床环境下的可行性。(4)促进跨学科合作与知识共享,CMR作为多学科交叉的技术,推动心脏病学、放射学及影像技术学等领域的紧密合作,推动心血管疾病的综合诊疗。(5)将新兴MR技术整合入临床常规流程,进一步推动其在各类心血管疾病中的应用。

本指南通过整合国内外最新的研究成果和临床经验,期望能够推动CMR技术在中国标准化发展,促进医学同行之间的知识和技术交流。此外,CMR技术的推广与应用,有助于提升医疗服务质量和优化患者管理策略,最终推动我国心血管疾病防治工作的整体进步。

一、指南制订的方法学

本指南采用欧洲心脏病协会(European Society of Cardiology, ESC)指南制订建议推荐的分级标准^[1],确保临床医师能够根据不同证据的质量和推荐的适用性做出科学合理的决策(表1)。指南工作组在PubMed、万方等数据库进行了系统的证据检索。文献筛选由两名研究人员独立完成,最终确定纳入文献并提取相关研究信息。所有文献的筛选及信息提取工作均由两人独立进行,如遇分歧,则通过讨论或征求第三方意见达成共识。专家组在综合分析研究证据的基础上,经充分讨论后形成一致的推荐意见。

二、CMR成像是心血管疾病临床应用中的基本原则

(一)CMR在心脏疾病评估中的作用

CMR近年来已经成为无创评估心脏收缩功能以及心肌纤维化的金标准^[2-3],可检测多种心功能参数并评估心脏的组织学特征,可在一次扫描中对疾病做全面、系统的评估。其无电离辐射的特点对需要多次复查的患者,特别是对X线敏感的儿童、孕妇具有重要价值。此外,多项研究证实CMR具有优秀的可重复性,是随访患者以及疗效评价的理想检查方式^[4]。在临床应用中,CMR的检查适应证范围广,涵盖从缺血性心脏病到非缺血性心肌病、

表1 欧洲心脏病协会指南制订推荐类别及证据水平定义

项目	内容
推荐类别	
I	已证实和(或)一致公认有益、有用和有效,推荐使用
II a	有关证据和(或)观点倾向于有用和(或)有效,此操作具有合理性
II b	有关证据和(或)观点可能有用和(或)有效,此操作可考虑应用
III	已证实和(或)一致公认无用和(或)无效,并对一些病例可能有害,不推荐使用
证据水平	
A	来自大规模随机对照试验(RCT)或系统评价的结果
B	来自小规模RCT或队列研究的结果
C	来自非对照性研究、病例报告或专家意见的证据

从瓣膜病到先天性心脏病、从电生理评估到血流动力学分析等多个领域。CMR扫描方案应根据患者的具体情况和疾病类型灵活调整,以获得最佳的诊断信息。因此,为每种心血管疾病设计特定的CMR扫描流程和参数,不仅可以优化诊断效率,还能针对患者的具体情况提供更精确的治疗指导。

(二)CMR扫描序列

1. 心脏定位像(localizer, L):包括快速多层定位像,横轴位、矢状位黑血/亮血序列和心脏长短轴定位像,这些定位序列通常采用快速序列扫描,包括半傅里叶采集单次激发快速自旋回波(half-Fourier acquisition single-shot turbo spin-echo, HASTE)序列或平衡稳态自由进动(balanced-steady state free precession, b-SSFP)序列。

2. 心脏电影(cine, C):推荐采用b-SSFP心脏电影,扫描层面应包括两腔心、四腔心、左心室流出道与心脏短轴位。短轴位电影扫描范围应至少覆盖完整左心室,层厚6~8 mm,间隔2~4 mm(间隔与层厚之和不超过10 mm),时间分辨率应控制在45 ms以内。在3.0 T以上场强下,当b-SSFP序列因磁敏感伪影显著降低图像质量时,可改用扰相梯度回波电影序列作为替代方案。

3. 血流序列(blood flow quantification, F):
(1) 2D血流成像(2D-Flow):通常采用相位对比速度编码序列对血流速度进行量化。推荐在感兴趣的切面进行2D-Flow成像,推荐层厚6~8 mm,平面内分辨率应控制在靶器官(如心腔、血管)横截面积的1/10以内,时间分辨率<50 ms,同时应选择合适



的速度编码值(Venc),一般设定比预计峰值流速高出10%~20%。(2)4D血流成像(4D-Flow):近年来出现的4D-Flow可在单次采集中获取心脏和大血管内的全周期血流速度信息,是对常规2D-Flow的扩展,能够全面评估心血管血流动力学特征。全心脏覆盖时体素建议 $2.5\sim 3.0\text{ mm}^3$,评估大血管时可提高至 $2.0\sim 2.5\text{ mm}^3$;时间分辨率推荐 $30\sim 50\text{ ms}$,Venc值设定参考2D-Flow。

4. 心肌组织特征成像(T): (1) $T_1\text{WI}$ 、 $T_2\text{WI}$:采用结合黑血预脉冲的快速自旋回波序列, $T_2\text{WI}$ 包括短时反转恢复序列(short tau inversion recovery, STIR) $T_2\text{WI}$ 、 $T_2^*\text{WI}$ 可采用黑血或亮血的多梯度回波序列。推荐成像参数:层厚 $6\sim 8\text{ mm}$,平面内分辨率 $1.6\sim 2.0\text{ mm}$,黑血预脉冲厚度 20 mm 。 $T_1\text{WI}$ 、 $T_2\text{WI}$ 可增加相同层面脂肪抑制序列,推荐采用反转恢复或频率饱和序列。

(2) T_1 mapping:推荐采用改良的Look-Locker反转恢复序列(modified Look-Locker inversion recovery, MOLLI)或缩短的MOLLI序列(shortened MOLLI, shMOLLI)扫描。推荐层面厚度 $6\sim 8\text{ mm}$,平面内分辨率 $1.6\sim 2.0\text{ mm}$ 。增强 T_1 mapping需在注射对比剂后 $10\sim 30\text{ min}$ 采集,推荐钆对比剂剂量 $0.1\sim 0.2\text{ mmol/kg}$ 。如需测量细胞外容积(extracellular volume, ECV)值,初始 T_1 mapping (native T_1 mapping, T_{1n})及增强 T_1 mapping (post-contrast T_1 mapping, T_{1c})的扫描层面、视野(field of view, FOV)及分辨率应完全一致。建议于CMR检查当日测量红细胞比容保证ECV计算的准确性。

(3) T_2 mapping:推荐采用 T_2 准备的b-SSFP序列或梯度回波序列,序列中应包含非刚性运动校正算法以控制原始图像配准产生的运动伪影。推荐层厚 $6\sim 8\text{ mm}$,平面内分辨率 $1.6\sim 2.0\text{ mm}$ 。为避免对比剂影响,应在注射对比剂前进行 T_2 mapping成像。

(4) T_2^* mapping:采用多回波梯度回波序列,回波数 $6\sim 9$ 个,回波间隔为 2 ms ,覆盖 $2\sim 18\text{ ms}$ 。对可疑严重铁元素沉积的患者,可将回波间隔缩短至 1 ms , T_2^* mapping也应在对比剂注射前完成,推荐层厚 $6\sim 8\text{ mm}$,像素大小约 $1.6\sim 2.0\text{ mm}$ 。不建议以 3.0 T T_2^* 值替代 1.5 T 参考值进行铁负荷严重程度判断。

(5)心肌灌注成像(myocardium perfusion, P):采用b-SSFP、梯度回波或梯度回波-平面回波成像混合读出的饱和恢复成像。扫描范围至少应包含

左心室短轴的基底段、中段、心尖段,如果R-R间期足够长,可增加四腔心层面。对比剂推荐采用高流率团注,速率 $3\sim 7\text{ ml/s}$,剂量 $0.05\sim 0.10\text{ mmol/kg}$ 。

负荷灌注成像(stress perfusion, Ps):对于可疑的心肌缺血/微循环障碍患者,建议结合血管扩张剂进行药物诱导的Ps^[5]。推荐的负荷药物包括腺苷[采用微量泵以 $140\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 进行滴注,持续 $2\sim 4\text{ min}$;当心率增加 ≥ 10 次/min,或收缩压下降 $> 10\text{ mmHg}$ ($1\text{ mmHg}=0.133\text{ kPa}$)时进行成像]、三磷酸腺苷(输注原则与腺苷相同)以及瑞加德松(单次静脉注射 0.4 mg)。

(6)钆对比剂延迟强化(late gadolinium enhancement, LGE, G):推荐2D分段采集的梯度回波或b-SSFP相位敏感反转恢复(phase-sensitive inversion-recovery, PSIR)序列。扫描层面位置及层厚应与电影序列保持一致,平面内分辨率 $1.4\sim 1.8\text{ mm}$,推荐在对比剂注射 $10\sim 15\text{ min}$ 进行LGE的采集,建议在长轴层面进行 $1\sim 2$ 层LGE“试扫描”并观察血池信号强度。如果注射对比剂剂量较少,应适当提前扫描时间点。

特殊情况下的LGE成像:对于心律不齐或无法屏气的患者,可采用单次激发的延迟增强序列以减少伪影。对于难以鉴别的可疑心内膜下强化的患者,可行黑血延迟强化成像以区分心内膜下强化与血池。

(7)MR冠状动脉成像(MR coronary angiography, MRCA, A):推荐采用膈肌导航3D全心序列进行冠状动脉成像的采集,在 1.5 T 场强下推荐使用b-SSFP序列, 3.0 T 场强下推荐采用快速梯度回波序列。通常采用横轴位定位,扫描范围应覆盖所有感兴趣结构,平面内分辨率 $1.0\sim 1.5\text{ mm}$,等体素采集,触发延迟(trigger delay)及采集时间窗(shot duration)需要参考心脏电影序列显示的冠状动脉相对静止期进行设置^[6]。

(8)扫描方案的选择原则:对于有明确疾病导向或临床场景的患者,可选择基础扫描流程,在检查时间充足、患者耐受好或需对患者进行系统性评价时推荐全面扫描方案。

上述扫描序列的参数设置及序列应用场景归纳详见表2,3。

(三)CMR检查标准化与质量控制

为了确保CMR检查结果的准确和一致性,标准化的操作流程和严格的质量控制至关重要。标准化与质量控制涉及从检查前的准备、检查过程的

表 2 心脏磁共振常用扫描序列成像参数

扫描序列	缩写	层厚(mm)	平面内分辨率(mm)	时间分辨率(ms)	其他
定位像	L	8~10	<3	—	—
心脏电影	C	6~8	<1.8	<45	重建帧数 25~30
2D-Flow	F	6~8	感兴趣器官血流截面直径的 1/10, 1.3~2.0	<50	流速编码取预期峰值流速 120% 为宜
T ₁ WI、T ₂ WI、T ₁ mapping、T ₂ mapping	T	6~8	1.6~2.0	—	注意运动伪影、磁敏感伪影
心肌灌注	P	8~10	<3	尽可能小	如药物负荷需注意不同药物的使用方法
钆对比剂延迟强化	G	6~8	1.4~1.8	—	扫描中心、层厚及间隔应与心脏电影一致
MR 冠状动脉成像	A	1.0~1.5	1.0~1.5	—	尽量采用全心采集

注:2D-Flow 为二维血流成像;—为无数据

表 3 心脏磁共振常用扫描序列、评估目的及应用场景

扫描序列	评估内容	应用场景/疾病
心脏电影	心室功能(整体与局部)、心室壁运动、室壁厚度、室壁瘤等	基本序列,适用于心脏疾病各种场景
2D-Flow	单平面血流速度、方向、心脏与血管流量	大血管病变、瓣膜病、左心室流出道梗阻、分流性先天性心脏病等具有血流动力学异常的临床场景
4D-Flow	多平面三维血流速度、方向、涡流及分流评估	基本同 2D-Flow,但可获取更丰富的血流动力学参数
T ₁ WI、T ₂ WI	心肌水肿、心肌纤维化、心肌脂肪浸润、心肌内出血	急性冠状动脉综合征、心肌炎、心肌病、心脏肿瘤、心肌异常物质沉积
定量组织特征成像		
初始 T ₁ mapping	心肌纤维化、脂肪浸润、心肌病变性质	急性冠状动脉综合征、心肌炎(心肌水肿)、心肌病、心脏肿瘤
增强后 T ₁ mapping	心肌纤维化,计算 ECV	同初始 T ₁ mapping,主要用于计算 ECV
T ₂ mapping	心肌水肿、急性心肌损伤	基本同 T ₁ mapping,主要用于评估心肌水肿
T ₂ [*] mapping	心肌内出血、铁负荷	急性冠状动脉综合征、心肌出血(微循环栓塞)、铁过载
心肌灌注	心肌灌注、心肌缺血、微循环阻塞	心肌缺血、心肌梗死、微循环功能评估、心脏占位(包括血栓)
钆对比剂延迟强化	心肌梗死、微循环阻塞、心肌纤维化、异常物质沉积	基本序列,适用于心脏疾病各种场景
MRCA	冠状动脉解剖结构、血管狭窄、冠状动脉变异	冠心病、冠状动脉瘘、冠状动脉瘤、冠状动脉先天性异常

注:2D-Flow 为二维血流成像;4D-Flow 为四维血流成像;MRCA 为 MR 冠状动脉成像;ECV 为细胞外容积

规范到图像质量控制等多个环节,确保获得高质量的影像数据,进而提高诊断的准确性。以下为标准化与质量控制的各个方面。

1. 检查前准备:(1)禁忌证筛查:在进行 CMR 检查之前,必须对患者进行全面的禁忌证(包括相对禁忌证)筛查,医疗器械植入术后以产品说明书为参考。(2)知情同意与健康宣教:①询问患者有无外伤、手术史及金属植入物情况;②去除随身携带或体表的金属物品;③危重患者或精神状态不稳定的患者行 MR 检查者须有临床医师及家属陪同;④向患者介绍检查流程,指导患者配合口令进行屏气练习,听障患者或无法配合屏气者可让家属陪同检查。(3)静脉通路准备:通常选择肘正中静脉进行穿刺并置入静脉留置针。如果需要行负荷灌注检查,需要在双侧肘部进行穿刺,血压监测袖带须置于注射血管扩张剂一侧的上臂。

2. 检查中注意事项:(1)检查体位:患者应取

头先进仰卧位进行 MR 检查,以保证图像质量并减少运动伪影的干扰。(2)电极位置及门控信号调整:电极的放置方式应参考各设备供应商的说明,应当调整电极位置直至准确触发扫描,必要时可考虑指脉门控。(3)线圈选择与准确放置:应选择心脏成像专用线圈或表面积足够覆盖胸前区的体表线圈。线圈中心应置于胸骨柄,保证线圈可将心脏及周围结构的体表投影完全覆盖。(4)心律不齐或无法屏气患者:心律不齐对图像的影响不容忽视,应根据情况灵活应用序列的心律不齐拒绝功能、前瞻性门控、实时(real-time)成像、压缩感知等低采样快速成像、运动校正(motion correction, MOCO)和全自由呼吸技术(以阜外相关方案为代表)^[7]。针对不同情况患者扫描计划的选择参见图 1。(5)屏气期相的选择:应该根据患者的身体状况和耐受程度选择,呼气末或吸气末均可,但在确定屏气方式后,在整个检查中应全程固定。

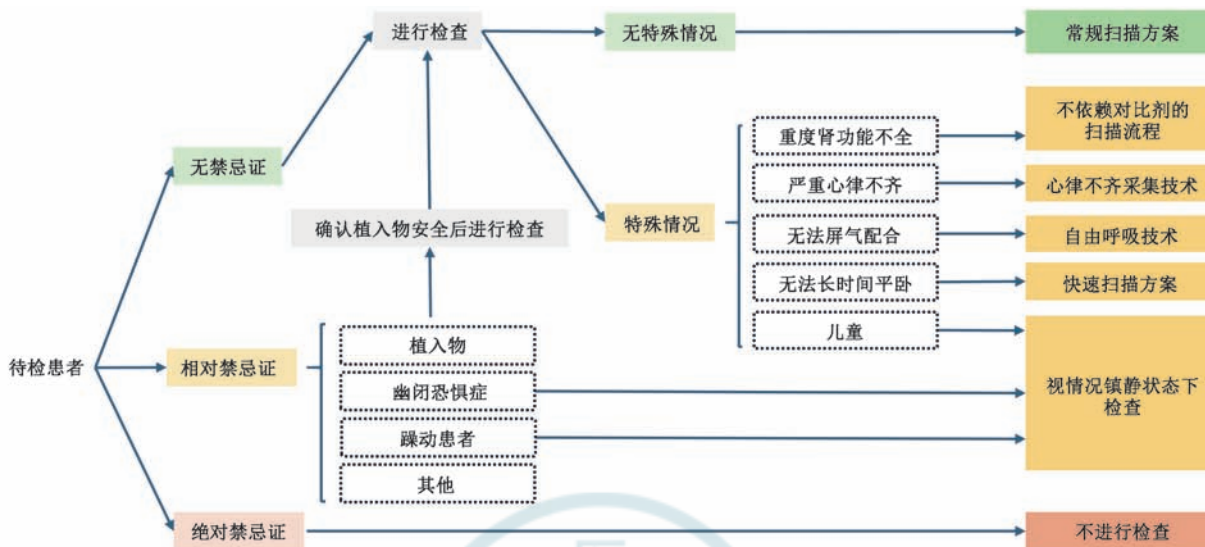


图 1 针对患者情况的心脏磁共振扫描计划选择流程图

三、基于疾病的 CMR 扫描策略推荐

(一) 缺血性心脏病

1. 急性冠状动脉综合征: (1) 成像目标: ①评估心脏房室大小; ②左、右心室功能(局部与整体); ③心肌水肿情况; ④是否合并微循环阻塞或心肌内出血; ⑤心肌梗死的范围与程度; ⑥心脏是否出现乳头肌断裂、室间隔或心室穿孔、室壁瘤、附壁血栓等并发症; ⑦主动脉瓣及二尖瓣情况; ⑧心包情况。

(2) 推荐扫描序列及流程(表 4)^[8-14]: 基础扫描方案: L-C-T₂-P-G; 全面扫描方案: L-C-T₁n-T₂-P(Ps)-G-T₁c-(A); 括号内为可选序列, T₂ 为 T₂WI、T₂ mapping 或 T₂* mapping。

(3) 补充说明: 微循环阻塞会显著影响患者预后, 可通过静息灌注成像和 LGE 评估。

2. 慢性缺血性心脏病: (1) 成像目标: ①测量心脏各房室大小; ②评估左、右心室功能(局部与整体); ③评估心肌梗死的范围与程度; ④是否存在附壁血栓; ⑤心包情况。

(2) 推荐扫描序列及流程(表 5)^[9,15-18]: 基础扫描方案: L-C-P-G; 全面扫描方案: L-C-T₁n-P(Ps)-G-T₁c-(A); 括号内为可选序列。

(二) 非缺血性心肌病

1. 肥厚型心肌病: (1) 成像目标: ①明确患者室壁厚度, 特别是心尖部室壁增厚及其分布特点; ②评估心室功能, 包括左、右心室收缩/舒张功能; ③检测血流动力学异常, 评估是否存在左、右心室流出道或左心室中段梗阻, 是否存在心尖部室壁瘤, 明确梗阻部位及血流动力学影响; ④量化心肌纤维化, 为疾病表型分类和风险评估提供依据; ⑤微循环功能评估; ⑥鉴别诊断: 与其他导致心肌肥厚的疾病(如心肌淀粉样变、血色病、结节病等)进行鉴别。

(2) 推荐扫描序列及流程(表 6)^[19-25]: 基础扫描方案: L-C-P-G; 全面扫描方案: L-C-T₁n(T₂*)-P(Ps)-F-G-T₁c; 括号内为可选序列, T₂*: T₂*WI 或 T₂* mapping。

表 4 急性冠脉综合征的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影评估心室功能, 明确节段或整体室壁运动异常, 观察是否存在室壁瘤、乳头肌断裂、室间隔穿孔等并发症 ^[8-9]	I	A
心肌灌注	通过灌注成像评估心肌灌注情况, 尤其是心肌缺血及微循环阻塞 ^[10-11]	II a	B
LGE	对所有患者行 LGE 评估心肌梗死区域及微循环阻塞 ^[12]	I	A
T ₁ WI、T ₁ mapping、T ₂ WI、T ₂ mapping	对所有患者行 T ₁ WI(包括 T ₁ mapping)和 T ₂ WI(包括 T ₂ mapping)评估心肌水肿 ^[13]	I	B
T ₂ *WI、T ₂ * mapping(1.5 T)、T ₁ mapping(3.0 T)	对于可疑心肌内出血的患者, 可通过 T ₂ *WI 成像进行评估, 定量评估方面: 在 1.5 T 设备中推荐行 T ₂ * mapping; 在 3.0 T 设备中可选择 T ₁ mapping 评估低信号区域 ^[14]	I	B
MRCA	对碘对比剂检查存在禁忌的患者, 必要时可行 MRCA 评估是否存在冠状动脉近中段狭窄	II b	C

注: LGE 为钆对比剂延迟强化; MRCA 为 MR 冠状动脉成像

表 5 慢性缺血性心脏病的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影评估心室功能,明确节段或整体室壁运动异常,观察室壁瘤、心腔内附壁血栓等并发症 ^[9]	I	A
心肌灌注	对患者行心肌静息灌注成像评估是否存在附壁血栓 ^[15]	I	A
负荷灌注	必要时对患者进行药物负荷灌注成像评估是否存在可诱导的心肌灌注异常 ^[16]	II b	A
LGE	对所有患者行 LGE 成像评估心肌梗死的范围及程度,明确心肌病变性质,帮助确定是否存在可逆性损伤和心肌瘢痕 ^[17]	I	A
T ₁ WI、T ₁ mapping	对无法进行 LGE 成像的患者行 T ₁ WI/T ₁ mapping 成像评估心肌脂肪浸润或纤维化 ^[18]	II a	B
T ₂ WI、T ₂ mapping	必要时可行 T ₂ WI/T ₂ mapping 成像评估残余心肌水肿或亚急性、慢性心肌损伤	II b	B
MRCA	对碘对比剂检查存在禁忌的患者,必要时可行 MRCA 评估是否存在冠状动脉近中段狭窄	II b	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化;MRCA为MR冠状动脉成像

表 6 肥厚型心肌病的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影以提供心肌-血池的高对比影像,用于评估最大室壁厚度、心肌质量、心室功能、流出道解剖结构,以及室壁运动异常 ^[19]	I	A
血流成像	行血流成像定量评估左、右心室流出道或左心室中段的血流动力学异常,明确是否存在梗阻及其程度 ^[20]	II a	B
负荷灌注	行灌注成像评估心肌灌注情况,必要时可结合负荷药物识别心肌微循环功能障碍 ^[21]	II a	B
LGE	对所有患者行 LGE 成像明确心肌纤维化的分布与程度,评估患者预后并与其他心肌病变鉴别 ^[22-23]	I	A
T ₁ WI、T ₁ mapping、T ₂ WI、T ₂ mapping	对患者行 T ₁ WI 或 T ₁ mapping 评估心肌纤维化及异常物质沉积,必要时可计算 ECV;行 T ₂ WI 或 T ₂ mapping 评估心肌水肿,排除水肿或炎症引起的肥厚(如结节病) ^[24-25]	I	B
T ₂ *WI、T ₂ * mapping	必要时可行 T ₂ * 成像评估铁负荷,排除血色病或其他铁沉积性疾病引起的肥厚	II b	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化;ECV为细胞外容积

(3)补充说明:流出道梗阻是肥厚型心肌病的重要特征性改变,动态评估梗阻区域的血流动力学对于诊断与治疗规划至关重要。建议结合左心室流出道层面心脏电影(C)和血流成像(F)综合评估。当压差≥30 mmHg时视为有血流动力学意义。

2.扩张型心肌病:(1)成像目标:①明确心脏各房室大小,量化左、右心室及心房的扩张程度。②评估左、右心室收缩功能,重点测量左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、右心室射血分数(right ventricular ejection fraction, RVEF)及心肌运动模式;③检测心肌纤维化情况,量化心肌纤维化的范围与分布,评估心肌病理变化;④明确心肌组织学特征,通过组织特征成像排查可能导致心脏扩大的其他病因(如脂肪浸润、铁沉积等);⑤评估瓣膜功能;⑥排除附壁血栓,以明确是否需要抗凝治疗。

(2)推荐扫描序列及流程(表7)^[26-30]:基础扫描方案:L-C-P-G;全面扫描方案:L-C-T₁n/(T₂*)-P(Ps)-F-G-T₁c;括号内为可选序列,T₂*:T₂*WI或T₂* mapping。

3.限制型心肌病:(1)成像目标:①明确心脏房

室大小,评估心房、心室的扩张情况;②评估心室收缩、舒张功能;③明确心包形态、厚度;④明确心肌组织学特征进行病因诊断(如淀粉样变、心肌纤维化等)。

(2)推荐扫描序列及流程(表8)^[32-35]:基础扫描方案:L-C-P-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-P-G-T₁c。

(3)补充说明:①心包评估:限制型心肌病需要与缩窄性心包炎相鉴别,心包的评估尤为重要。推荐通过T₁WI或T₂WI成像来明确心包的形态、厚度及组织特征。②与心脏淀粉样变的鉴别:心肌淀粉样变是限制型心肌病的常见原因之一。通过T₁ mapping 成像计算心肌 ECV,可以帮助鉴别是否为淀粉样变引起的心肌病变。此外,灌注成像和延迟强化成像对于判断淀粉样变的病变分布和心肌纤维化情况具有重要意义。③“室间隔抖动”征:心脏电影“室间隔抖动”征常见于限制型心肌病的舒张期。该征象表现为室间隔在舒张期的快速震动,通常与心室舒张压升高和充血性心力衰竭相关,但需与缩窄性心包炎相鉴别。

4.致心律失常性心肌病:(1)成像目标:①评估左、右心室及右心室流出道的形态结构,特别是右

表 7 扩张型心肌病的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影评估心腔大小,计算心室功能(LVEF、RVEF),观察瓣膜结构及功能,排除心室内附壁血栓 ^[26]	I	A
血流成像	推荐行血流成像评估房室瓣反流情况及其对心功能的影响	II a	B
心肌灌注	推荐行灌注成像明确是否存在微循环障碍,通过心腔内灌注信号排除附壁血栓	II a	B
LGE	通过 LGE 成像评估心肌纤维化范围及分布;评估患者预后、分析特征性强化模式以判断扩张型心肌病因 ^[27]	I	A
T ₁ WI、T ₁ mapping	行 T ₁ WI 及 T ₁ mapping 检测脂肪、铁沉积等异常物质;必要时结合增强 T ₁ mapping 计算心肌 ECV ^[28-29]	II a	B
T ₂ WI、T ₂ mapping	行 T ₂ WI 及 T ₂ mapping 评估心肌水肿,必要时排除急性心肌炎或其他炎性心肌病 ^[30]	II a	B
T ₂ *WI、T ₂ * mapping	必要时可行 T ₂ * 成像排除铁过载性心肌病 ^[31]	II b	B

注:LGE为钆对比剂延迟强化;LVEF为左心室射血分数;RVEF为右心室射血分数;ECV为细胞外容积

表 8 限制型心肌病的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	行心脏电影定量评估心腔大小及心室收缩、舒张功能;观察心肌运动异常,特别是“室间隔抖动”征 ^[32]	I	A
心肌灌注	可行心肌灌注成像识别微循环障碍,鉴别某些类型的限制型心肌病(如淀粉样变可能表现为广泛的心内膜下灌注减低) ^[33]	I	B
LGE	通过 LGE 成像评估心肌纤维化情况,有助于进一步明确心肌病变的性质,进行鉴别诊断(如淀粉样变、肥厚型心肌病等) ^[34]	I	B
T ₁ mapping	通过 T ₁ mapping 评估心肌的 T ₁ 值,结合 ECV 值进行组织特征分析 ^[35]	I	A
T ₂ WI、T ₂ mapping	必要时可通过 T ₂ WI 或 T ₂ mapping 评估是否存在心肌水肿,用于排除急性心肌炎或炎症性心肌病	II b	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化;ECV为细胞外容积

流出道的扩张及瘤样改变;②左、右心室收缩功能;③心脏瓣膜功能;④评估心肌纤维脂肪浸润情况,为疾病诊断和分型提供依据。

(2)推荐扫描序列及流程(表9)^[36-37]:基础扫描方案:L-C-T-P-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-P-G-T₁c。

(3)补充说明:①右心室形态与功能评估:致心律失常性心肌病常累及右心室,尤其是右心室流出道。建议增加右心室相关层面的成像(如右心室流出道及横轴位),通过心脏电影和LGE成像联合评估右心室壁异常(如瘤样改变、室壁运动不协调)。②纤维脂肪浸润的检测:脂肪浸润是致心律失常性心肌病的特征性改变,组织特征成像(T₁WI/T₁ mapping)是检测脂肪浸润的重要工具。③与其他疾病的鉴别:致心律失常性心肌病需与其他引起室壁纤维化、脂肪浸润或收缩功能障碍的疾病(如缺血性心脏病、心肌炎、淀粉样变等)进行鉴别。结合组织特征成像、延迟强化及血流动力学分析能够提高诊断准确度。

(三)急性心肌炎

1.成像目标:①明确心脏房室大小;②评估左、右心室功能(局部与整体);③评估心肌强化特征,

识别心肌坏死或纤维化病灶,与缺血性心脏病进行鉴别;④明确心肌水肿情况,评估疾病的急性阶段特征;⑤明确心包形态、信号的改变,是否有心包积液。

2.推荐扫描序列及流程(表10)^[38]:基础扫描方案:L-C-T₂-P-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-T₂-P-G-T₁c;T₂:T₂WI或T₂ mapping。

3.补充说明:(1)心肌水肿评估:心肌水肿是急性心肌炎的重要诊断标志,通过T₂ mapping和T₂WI能够精确评估水肿范围和程度。建议联合T₁ mapping及ECV计算,提供炎症活动性的综合评估。(2)LGE的特异性:心肌炎的LGE成像特征通常表现为心外膜下或中层斑片状强化,而缺血性心脏病则表现为心内膜下或透壁性强化。此差异是心肌炎与缺血性心脏病鉴别的核心依据。对于疑似心肌炎的患者,应结合强化分布特点和其他成像参数(如水肿和组织特征变化)进行综合判断。(3)心包评估:心包积液和炎症是急性心肌炎的常见伴随表现。建议通过黑血T₁WI或T₂WI明确心包厚度及积液特征,结合心脏电影观察心包对心脏功能的影响。(4)路易斯湖标准的更新:最新研究指出,T₁

表 9 致心律失常性心肌病的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影成像观察左、右心室及右心室流出道的形态、局部及整体收缩功能	I	B
心肌灌注	必要时可通过灌注成像评估心肌灌注情况,检测局部微循环异常	II b	C
LGE	通过 LGE 成像评估纤维化分布,检测左、右心室及右心室流出道的病变,明确诊断并评估风险 ^[36]	I	A
T ₁ WI、T ₁ mapping	行 T ₁ WI 及 T ₁ mapping 定性与定量评估心肌纤维脂肪浸润 ^[37]	I	B
T ₂ WI、T ₂ mapping	必要时可行 T ₂ WI 或 T ₂ mapping 排除心肌水肿或其他炎症性心肌病(如心肌炎)	II a	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化

表 10 急性心肌炎的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影量化心室功能(LVEF、RVEF),评估心腔大小及有无心包积液 ^[38]	I	A
心肌灌注	必要时通过灌注成像评估心肌灌注情况,检测是否存在灌注异常(如炎症引起的微循环障碍)	II b	B
LGE	对所有患者行 LGE 成像评估心肌坏死与纤维化特征,鉴别心肌炎与缺血性心脏病 ^[38]	I	A
T ₁ /T ₂ mapping、T ₂ WI	对所有患者行 T ₁ /T ₂ mapping 及 T ₂ WI 评估心肌充血、水肿及坏死情况 ^[38] 。同时应观察心包增厚及炎症改变,明确是否存在心包积液或心包炎表现	I	A

注:LGE为钆对比剂延迟强化;LVEF为左心室射血分数;RVEF为右心室射血分数

mapping 及 T₂ mapping 在诊断急性心肌炎中的灵敏度和特异度高于传统路易斯湖标准(2009)^[39]。建议将 T₁/T₂ mapping 及 ECV 计算作为炎症评估的核心手段。目前不再建议行 2009 年路易斯湖标准推荐的早期强化成像(注射对比剂后 1~3 min)评估心肌充血,该序列已被证实价值有限^[40]。

(四)心脏瓣膜病

1. 主动脉瓣狭窄/关闭不全:(1)成像目标:

①明确主动脉瓣形态、功能,评估瓣膜结构异常(如钙化、主动脉瓣二瓣化畸形)、瓣口面积,测量血流动力学参数(如流速、压差及反流分数);②明确左心室继发的形态及功能改变,包括左心室肥厚、扩张、室壁运动异常及整体/局部收缩功能;③评估心肌纤维化情况,为病程评估和风险分层提供依据。

(2)推荐扫描序列及流程(表 11)^[41-45]:基础扫描方案:L-C-P-F-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-P-F-G-T₁c。

(3)补充说明:①主动脉瓣功能评估:主动脉瓣狭窄和关闭不全是主动脉瓣疾病的两种主要形式。狭窄:应重点测量跨瓣压差(峰值及平均值)和有效瓣口面积。4D-Flow 成像能够全面评估复杂血流模式(如涡流或逆流)。关闭不全:建议重点量化反流分数,结合 2D-Flow 和 4D-Flow 优化评估主动脉瓣反流对左心室负荷的影响。②4D-Flow 的应用:4D-Flow 提供了流场的动态三维可视化,适用于复杂血流的高级评估,特别是在评估涡流、剪切应力、能量损失等参数时具有优势,可用于术前和术后评估。

2. 二、三尖瓣狭窄/关闭不全:(1)成像目标:

①明确二、三尖瓣形态、功能,观察瓣膜结构异常(如增厚、钙化、瓣叶发育、脱垂或裂孔)及瓣膜开放、闭合情况;②明确各房室继发的形态及功能改变;③评估右心室流出道及肺循环压力变化(针对三尖瓣关闭不全),明确右心功能受损情况及是否合并肺动脉高压;④评估心肌纤维化情况,检测因慢性负荷增加导致的心肌纤维化情况,为病程评估和风险分层提供依据。

(2)推荐扫描序列及流程(表 12)^[46-48]:基础扫描方案:L-C-P-F-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-P-F-G-T₁c。

(3)补充说明:①二尖瓣病变的评估:二尖瓣狭窄需重点测量跨瓣压差(峰值和平均值)及有效瓣口面积。建议通过薄层心脏电影或血流成像提高对瓣叶活动度及开放面积的观察精度。二尖瓣关闭不全应量化反流分数。②三尖瓣病变的特殊评估:三尖瓣关闭不全:量化反流分数及右心室流出道血流动力学变化,结合肺动脉压评估右心功能受损情况。建议通过 4D-Flow 评估右心室功能及肺动脉压力。三尖瓣狭窄:测量跨瓣压差及右心房压力升高的程度,评估右心房、右心室的继发性扩张。③纤维化及心肌重构:二尖瓣及三尖瓣病变引起的慢性负荷增加可导致左、右心室的纤维化,建议结合 LGE 和 T₁ mapping 对纤维化的范围和程度进行全面评估。

3. 肺动脉瓣病变:(1)成像目标:①明确肺动脉瓣形态、功能,评估瓣膜结构异常(如狭窄、增厚或关闭不全),观察瓣膜数量、开放闭合情况及高速血流或反流的分布;②明确右心继发的形态及功能改

表 11 主动脉瓣狭窄/关闭不全的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影评估心腔大小及左心室流出道功能,明确瓣膜形态、功能及其对左室的影响 ^[41]	I	A
血流成像	对所有患者行血流评估序列明确主动脉瓣血流动力学情况,测量峰值流速、跨瓣压差及反流分数 ^[42]	I	C
心肌灌注	必要时可通过灌注成像评估心肌灌注情况,明确是否存在灌注异常,识别因慢性负荷增加导致的心肌供血不足区域	II b	C
LGE	通过 LGE 成像明确心肌纤维化分布及范围,帮助判断疾病的进展和左心功能损害的程度 ^[43]	I	A
T ₁ mapping	可行 T ₁ mapping 并计算 ECV 评估心肌纤维化情况 ^[44-45]	I	A

注:LGE为钆对比剂延迟强化;ECV为细胞外容积

表 12 二、三尖瓣狭窄/关闭不全的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影评估心腔大小,明确房室瓣的开放、闭合情况以及反流的程度 ^[46]	I	B
血流成像	通过血流成像量化房室瓣血流动力学,测量跨瓣流速、压差及反流分数	I	B
心肌灌注	必要时可通过灌注成像评估左、右心室心肌灌注情况,明确慢性瓣膜病变是否导致心肌灌注不均	II b	C
LGE	对患者行 LGE 成像评估心肌纤维化范围及分布,明确瓣膜病变对左、右心室的长期影响 ^[47]	I	B
T ₁ mapping	对患者进行 T ₁ mapping 成像及 ECV 计算量化心肌纤维化程度,并检测慢性压力负荷所致的组织学改变 ^[48]	II a	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化;ECV为细胞外容积

变,量化右心室、右心房的形态和功能变化,特别是右心室的扩张及功能损害;③评估心肌纤维化情况,评估慢性负荷增加对右心室的影响。

(2)推荐扫描序列及流程(表 13):基础扫描方案:L-C-P-F-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-P-F-G-T₁c。

(3)补充说明:①肺动脉瓣病变的评估:肺动脉瓣狭窄:测量跨瓣压差(峰值及平均值)是评估狭窄程度的关键,建议结合 2D-Flow 或 4D-Flow 进行动态血流动力学分析。通过瓣膜切面成像评估瓣膜形态(如二叶或畸形瓣膜),结合短轴及流出道成像观察瓣口面积和高速血流区域。肺动脉瓣关闭不全:量化反流分数,结合右心室扩张程度评估反流对右心系统的长期影响。②右心室重构评估:肺动脉瓣病变引起的慢性压力或容量负荷增加可导致右心室重构,表现为右心室扩张、室壁增厚及功能下降。建议通过心脏电影(多层横轴位电影)和

LGE 量化右心室重构程度。

(五)先天性心脏病

1. 房间隔/室间隔缺损:(1)成像目标:①明确缺损的位置、分型,评估分流大小、缺损的具体解剖位置及其形态(如继发孔缺损、原发孔缺损、卵圆孔未闭等);②明确心脏各房室形态、功能的继发改变,尤其是右心室的扩张和功能受损;③确定分流方向(左向右分流或右向左分流),并量化分流量和分流比例;④评估心肌纤维化情况;⑤评估术后患者残余分流,以及左、右心室容积及其功能的改变。

(2)推荐扫描序列及流程(表 14)^[49-51]:基础扫描方案:L-C-P-F-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-P-F-G-T₁c。

(3)补充说明:①分流量和分流方向的量化:分流量:通过 2D-Flow 或 4D-Flow 计算左、右心输出量之比(肺循环、体循环血流量比, Q_p/Q_s)。分流方向:观察分流是否为左向右分流(常见于未修复缺

表 13 肺动脉瓣病变的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影动态观察右心室、右心房和肺动脉瓣的形态与功能,评估右心室流出道及主肺动脉的解剖改变和功能影响	I	B
血流成像	对患者行血流成像评估肺动脉瓣血流动力学情况,测量跨瓣流速、压差及反流分数	I	B
心肌灌注	必要时可通过灌注成像评估心肌灌注情况,明确是否存在灌注异常	II b	C
LGE	可通过 LGE 成像明确右心室纤维化情况,特别是慢性肺动脉瓣病变导致的右心室重构	I	B
T ₁ mapping	必要时可通过 T ₁ mapping 及 ECV 计算评估右心室纤维化的范围和程度,进一步量化慢性压力负荷增加导致的组织学改变	II b	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化;ECV为细胞外容积

损)或右向左分流(提示晚期病变或艾森曼格综合征)。②右心功能的评估:长期左向右分流会导致右心室的扩张和重塑,建议通过心脏电影量化右心室容积及功能,并结合 LGE 和 T_1 mapping 评估纤维化程度。③4D-Flow 的优势:4D-Flow 提供三维血流动态数据,可评估复杂血流模式及分流对肺循环的长期影响,对复杂间隔缺损和修复术后的功能评估具有重要价值。

2. 法洛四联症:(1)成像目标:①评估分流位置及大小;②量化左、右心室功能及扩张程度,观察心腔形态和整体重构;③评估心肌纤维化情况,为风险分层和预后评估提供依据;④明确主动脉、肺动脉的形态改变,观察主动脉骑跨、肺动脉狭窄或异常走行,量化血管内径和功能变化;⑤术后患者评估:明确肺动脉瓣反流情况及右心室流出道形态改变,量化反流分数和血流动力学异常。

(2)推荐扫描序列及流程(表 15)^[52-56]:基础扫描方案:L-C-P-F-G;全面扫描方案:L-C- T_1 n-P-F-G- T_1 c。

(3)补充说明:①分流评估:法洛四联症中室间隔缺损的血流方向取决于阻力最小的路径,而非缺损大小。建议通过平行四腔位电影和 2D-Flow 定量分流情况,并结合 4D-Flow 动态观察分流对肺循

环和全身循环的影响。②肺动脉及主动脉的评估:肺动脉狭窄:量化主肺动脉及分支的内径,结合 4D-Flow 分析狭窄处的流速及压力梯度。主动脉骑跨:通过横轴、四腔位或冠状位成像观察主动脉与室间隔的相对位置,并结合血流成像量化主动脉与右心的血流比例。③术后患者的重点评估:肺动脉瓣反流:为术后常见并发症,建议通过 2D-Flow 或 4D-Flow 量化反流分数及右心室负荷变化。右室流出道功能:动态观察流出道重建后的形态和功能,评估术后瘢痕组织的分布和影响。

3. 大动脉转位:(1)成像目标:①明确大动脉转位的分型,观察大血管及心室的解剖连接,评估是否存在左右心分流及其特征;②明确心脏各房室形态、容积及功能;③评估心肌纤维化情况:检测长期负荷增加或术后心肌纤维化的分布和范围,明确是否出现手术相关冠状动脉损伤并为预后评估提供依据;④明确主动脉、肺动脉的继发改变,包括形态、内径及血流动力学变化;⑤评估术后患者大血管的狭窄或扩张情况,评估是否合并血流动力学异常。

(2)推荐扫描序列及流程(表 16)^[57]:基础扫描方案:L-C-P-F-G;全面扫描方案:L-C- T_1 n-P-F-G- T_1 c。

(3)补充说明:①推荐按心脏节段法扫描以明

表 14 房间隔/室间隔缺损的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影动态观察心腔大小,量化左、右心功能,评估各房室形态,并明确分流位置和分流对心脏功能的影响 ^[49]	I	B
血流成像	对所有患者建议行血流成像量化分流方向和分流量,计算 Qp/Qs,明确分流对心脏血流动力学的影响 ^[50]	I	B
心肌灌注	行灌注成像评估心肌灌注情况,观察分流对局部灌注的影响或直接观察房室间隔缺损所致的分流	I	C
LGE	行 LGE 成像评估因长期负荷增加导致的心肌纤维化,尤其是右心室纤维化或间隔病变 ^[51]	I	A
T_1 mapping	通过 T_1 mapping 及 ECV 计算评估心肌纤维化程度,并进一步量化长期负荷对心肌组织学改变的影响	I	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化;ECV为细胞外容积;Qp/Qs为肺循环、体循环血流量比

表 15 法洛四联症的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影评估右心室、左心室功能,评估心腔扩张和重构情况,动态观察房间隔或室间隔分流情况 ^[52-53]	I	A
血流成像	通过血流序列量化室间隔分流量、方向及肺动脉(包括右心室流出道)狭窄情况,明确术后患者肺动脉关闭不全情况 ^[54-55]	I	C
心肌灌注	行灌注成像评估心肌灌注情况及分流情况	I	C
LGE	对所有患者行 LGE 成像明确右心室纤维化分布及范围,量化纤维化程度,评估术后心肌重塑情况 ^[56]	I	A
LGE	术后患者可行 LGE 成像明确右心室流出道纤维化,该异常可能与术后瘢痕相关 ^[56]	I	A
T_1 mapping	通过 T_1 mapping 及 ECV 计算量化心肌纤维化程度,评估长期负荷增加对右心室组织学的影响 ^[51]	I	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化;ECV为细胞外容积

确房室、心室、大血管之间的连接关系^[58]。②大动脉转位的分型:完全型大动脉转位:主动脉连接于右心室,肺动脉连接于左心室;需重点观察室间隔缺损及分流特征。矫正型大动脉转位:解剖右心室与左心房相连,解剖左心室与右心房相连;需评估功能性左、右心室的适应性改变。③分流评估:分流量(Qp/Qs):通过2D-Flow或4D-Flow量化左、右心分流的比例,评估分流对肺循环和体循环的影响。分流方向:左向右分流提示肺循环压力增加,右向左分流提示潜在肺动脉高压或晚期病变。④主动脉和肺动脉评估:主动脉和肺动脉异常:观察扩张、狭窄或异常连接,结合血流成像量化流速和压力梯度。术后吻合部位评估:重点观察吻合部狭窄或血流异常,必要时可行4D-Flow成像动态分析。

4. 肺动脉闭锁:(1)成像目标:①明确肺动脉残存管腔的形态:观察右心室流出道至肺动脉连接处的解剖结构及可能的残存血流通道;②评估室间隔缺损的情况;③明确心脏各房室形态、容积及功能,重点观察右心室的发育情况、容积及收缩功能;④明确各瓣膜特别是三尖瓣的发育情况;⑤评估心

肌纤维化情况。

(2) 推荐扫描序列及流程(表17)^[59-60]: L-C-P-F-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-P-F-G-T₁c。

(3)补充说明:①分流评估:分流量(Qp/Qs):通过2D-Flow或4D-Flow量化左、右心分流的比例,明确分流对肺循环和体循环的影响。分流方向:左向右分流常见于未修复缺损,右向左分流提示晚期病变或艾森曼格综合征。②三尖瓣的评估:肺动脉闭锁患者常伴三尖瓣发育不良或反流,建议通过平行四腔位和右心室流出道电影动态观察三尖瓣的结构和功能。③对术后患者的评估:吻合通道:需明确重建通道的血流动力学特征,观察是否存在狭窄或逆流。右心室功能:量化术后右心室的容积及纤维化分布,结合LGE和T₁ mapping评估术后长期预后。

5. Ebstein畸形:(1)成像目标:①明确右心房的形态:观察右心房增大及功能性右心室变化的程度,量化右心室的有效容积和收缩功能;②明确三尖瓣各瓣叶的位置与功能:评估三尖瓣瓣叶移位、瓣口面积及其对右心室功能的影响,观察是否存在反流;③评估左心室的形态及功能;④评估心肌纤

表16 大动脉转位的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影动态观察功能性左、右心室的收缩功能,评估大血管、房室形态和连接,观察分流情况,量化室壁运动和心室射血分数	I	B
血流成像	对所有患者行血流成像明确分流方向与分流量,明确分流对心脏血流动力学的影响	I	B
血流成像	建议对术后患者行血流成像评估吻合部位的血流模式	I	C
心肌灌注	必要时通过灌注成像评估心肌灌注情况,观察分流对局部灌注的影响	II b	C
LGE	对所有患者行LGE成像明确心肌纤维化分布及范围,量化纤维化对心功能的长期影响 ^[57]	I	B
LGE	对术后患者行LGE成像观察术后瘢痕组织分布,明确是否出现手术相关心肌缺血、梗死,同时明确右心室纤维化的情况	I	B
T ₁ mapping	必要时可通过T ₁ mapping及ECV计算量化心肌纤维化程度,评估长期压力或容量负荷增加导致的组织学改变	II a	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化;ECV为细胞外容积

表17 肺动脉闭锁的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影评估左、右心室的功能和发育情况,观察右心室流出道和肺动脉瓣形态,明确左右心分流及三尖瓣功能 ^[59]	I	B
心脏电影	对术后患者行多层无间隔横轴位电影评估术后吻合部或重建通道的形态与功能	I	C
血流成像	对所有患者行血流成像评估分流方向和分流量,计算Qp/Qs,明确分流对血流动力学的影响;评估右心室流出道或吻合通道的血流情况 ^[60]	I	C
心肌灌注	必要时可行灌注成像评估心肌灌注情况,观察分流对局部灌注的影响	II a	C
LGE	对所有患者行LGE成像检测心肌纤维化的分布和范围,明确慢性压力或容量负荷增加对右心室的影响	I	B
LGE	术后患者可通过LGE成像评估右心室流出道的瘢痕组织分布	I	C
T ₁ mapping	通过T ₁ mapping及ECV计算量化心肌纤维化程度,评估右心室及其他区域的长期负荷增加对组织的影响	II a	C

注:LGE为钆对比剂延迟强化;Qp/Qs为肺循环、体循环血流量比;ECV为细胞外容积

维化情况。

(2)推荐扫描序列及流程(表 18)^[61]:基础扫描方案:L-C-P-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-P-F-G-T₁c。

(3)补充说明:①右心室有效容积与功能的量化:Ebstein 畸形患者的功能性右心室有效容积明显减少,且整体功能障碍常伴随右心房扩张。建议首选横轴位电影全面量化右心室容积和功能变化。当存在重度三尖瓣反流时,右心室射血分数可能会高估真实的右心室收缩功能。②三尖瓣的评估:三尖瓣前叶:通常附着在房室交界处的解剖学三尖瓣瓣环上,不同程度地栓系于右心室心内膜。间隔叶及后叶:通常受累更严重,朝心尖和右心室流出道方向移入右心室,导致右心室“心房化”。建议通过右心室流出道及横轴位电影动态观察各个瓣叶的运动情况及瓣膜功能。

(六)心包疾病

1. 缩窄性心包炎:(1)成像目标:①明确心包形态、厚度;②明确各个心脏房室形态,评估房室容积和形态变化,观察是否伴发心腔扩张或形变;③评估心室收缩、舒张功能,重点评估心室舒张功能障碍及其与缩窄性心包炎的关联,如“室间隔抖动”征或舒张期流速异常;④明确心包、心肌组织学特征。

(2)推荐扫描序列及流程(表 19)^[62-63]:基础扫描方案:L-C-P-G;全面扫描方案:L-C-T-P-G-T₁c。

(3)补充说明:①心包增厚与纤维化的量化:正常心包厚度一般不超过 2 mm。心包增厚(≥4 mm)

伴随异常强化强烈提示缩窄性心包炎。②动态评估“室间隔抖动”征:“室间隔抖动”征是缩窄性心包炎的特征表现,建议通过短轴位动态观察室间隔的异常运动模式。心室舒张受限时,左、右心室在呼吸周期中的容积变化具有重要意义,心脏电影可动态捕捉这一特征。③心肌与心包病变的鉴别:心包增厚伴强化通常提示心包病变。而心肌的异常强化(如心内膜下或透壁强化)则提示潜在心肌病变。可进一步测定 T₁ mapping 及 ECV,评估相应结构组织特征,以辅助心肌与心包病变的鉴别诊断。④炎症与纤维化的评估:T₂WI 或 T₂ mapping 对心包炎症性病变更为敏感,出现异常时往往提示炎症处于活动期。而 LGE 或 T₁ mapping 通常用于评估纤维化,更常见于慢性阶段。⑤与限制型心肌病的鉴别:缩窄性心包炎与限制型心肌病在影像学表现上部分重叠,动态功能评估、T₁/T₂ mapping 及 LGE 成像有助于鉴别。

2. 心包积液:(1)成像目标:①评估心包积液的位置、量和性质(如炎性、血性或肿瘤相关);②明确心脏房室形态、功能,评估心室舒张功能受限情况,特别是在大量心包积液引起心脏压塞时;③评估心肌组织学特征,区分心肌受累与心包疾病的病理特征,明确是否存在合并性病变。

(2)推荐扫描序列及流程(表 20)^[64]:基础扫描方案:L-C-T-P-G;全面扫描方案:L-C-T-P-G-T₁c。

(3)补充说明:心包积液的量化与分布评估:

表 18 Ebstein 畸形的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影动态观察右心房和右心室的形态及功能,量化有效右心室容积和整体收缩功能,明确三尖瓣瓣叶的具体位置和运动模式。同时观察可能合并的其他先天性心脏畸形(如房间隔缺损、室间隔缺损、肺动脉狭窄等)	I	C
血流成像	行血流成像评估三尖瓣反流分数及右心室流出道的血流动力学特征	II a	B
心肌灌注	必要时可行灌注成像观察心肌是否存在灌注异常	II b	C
LGE	对所有患者行 LGE 成像明确心肌纤维化分布及范围,评估右心室长期容量负荷增加对心肌的损害	I	B
T ₁ mapping	必要时可通过 T ₁ mapping 及 ECV 计算量化心肌纤维化程度,进一步评估右心室及其他区域的长期负荷增加对组织的影响 ^[61]	II b	C

注:LGE 为钆对比剂延迟强化;ECV 为细胞外容积

表 19 缩窄性心包炎的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影动态观察心室的收缩和舒张功能,检测“室间隔抖动”征和房室容积变化,评估心包对心脏运动的限制作用 ^[62]	I	B
心肌灌注	必要时可通过灌注成像评估心肌灌注情况	II b	C
LGE	对所有患者行 LGE 成像评估心包增厚区域的纤维化或炎症性改变,同时观察心肌是否受累	I	B
T ₁ WI、T ₂ WI、T ₁ mapping	通过 T ₁ WI 和 T ₂ WI 观察心包增厚、纤维化及钙化,评估心肌的组织学改变以辅助鉴别诊断。通过 T ₁ mapping 及 ECV,评估心包情况及心肌纤维化情况 ^[63]	I	C

注:LGE 为钆对比剂延迟强化;ECV 为细胞外容积



①主要通过积液宽度进行半定量评估:少量心包积液(宽度<10 mm)通常局限于心脏后侧或右侧。中量心包积液(宽度 10~20 mm)在短轴位常呈环状分布。大量心包积液(宽度>20 mm)常伴右心压迫,可能导致心脏压塞表现。②积液性质的鉴别:炎症性积液 T₂ 信号升高,可能伴心包强化。血性积液 T₁ 和 T₂ 信号均可能增高,需结合 T₂* 序列进一步评估。肿瘤相关积液:常伴心包或周围组织的异常增厚或强化,需结合其他影像手段确认。③动态功能评估的关键:观察右心室或右心房塌陷(特别是在舒张早期)是心脏压塞的重要影像学标志。心脏电影可动态捕捉心脏在心包积液作用下的运动模式改变,特别是右心受压情况。④心包增厚的评估:心包增厚(>4 mm)提示存在或合并心包异常改变。建议结合黑血序列和 LGE 成像观察心包形态和信号特征。⑤心脏压塞的早期识别:中至大量心包积液(>10 mm)伴右心塌陷提示压塞风险,应重点评估房室舒张功能和肺静脉流速异常。

(七)心脏肿瘤

1. 成像目标:①评估肿瘤的位置、大小、累及范围,明确肿瘤与心脏房室、大血管及邻近组织的解剖关系;②明确肿瘤组织特征以及灌注情况,辅助良恶性鉴别;③评估心脏房室受压和受浸润情况,

观察肿瘤是否压迫或浸润心脏房室及瓣膜结构,量化功能受损程度;④心脏房室的形态、功能;⑤评估心包受累情况以及心包积液。

2. 推荐扫描序列及流程(表 21)^[65-67]:基础扫描方案:L-C-T-P-G;全面扫描方案:L-C-T₁n-T₂-P-G-T₁c;T₂:T₂WI 或 T₂ mapping。

3. 补充说明:①动态灌注与延迟强化的意义:肿瘤的早期强化模式有助于评估其血供特性。延迟强化的分布和程度可以进一步区分肿瘤的纤维化、坏死或其他成分。②与其他病变的鉴别:心脏肿瘤需与血栓及炎性假瘤等其他占位性病变进行鉴别。T₁/T₂ mapping 结合灌注及 LGE 成像是关键手段。③术前评估与随访:术前成像需全面覆盖肿瘤及其累及区域,提供清晰的解剖和功能信息。随访成像需关注肿瘤复发及治疗相关改变(如纤维化或坏死区域)。

四、常见临床场景

1. 评估左、右心室功能和容积:(1)左心室功能和容积评估:建议常规使用短轴位心脏电影序列(b-SSFP)对左心室功能和容积进行评估。短轴位成像具有良好的心肌边界分辨率,可提供高精度的容积和 LVEF 测量。(2)右心室功能和容积评估:在大多数情况下,可通过短轴位心脏电影评估右心室

表 20 心包积液的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影动态观察心室的收缩和舒张功能,明确心包积液的位置、范围和量化积液对心脏运动的影响	I	C
心肌灌注	必要时可行灌注成像评估心肌灌注情况,观察心包积液是否伴随心肌灌注异常	II b	C
T ₁ WI、T ₂ WI、T ₁ mapping、T ₂ * mapping	行黑血 T ₁ WI、T ₂ WI 评估积液性质,如炎症性积液通常伴随高 T ₂ 信号,而血性积液可能伴随 T ₁ 和 T ₂ 信号增高。可行 T ₁ mapping、T ₂ * mapping 评估积液的性质及心肌组织特征并计算 ECV,以明确心肌病变可能性 ^[64]	I	C
LGE	行 LGE 成像观察心包是否伴有炎症性强化,明确心肌是否存在纤维化或其他受累表现	II a	C

注:LGE 为钆对比剂延迟强化;ECV 为细胞外容积

表 21 心脏肿瘤的扫描序列推荐意见及证据级别

扫描序列	推荐意见	推荐类别	证据水平
心脏电影	对所有患者行心脏电影动态观察肿瘤位置、大小及其与周围结构的关系,评估房室功能和心腔形态受压或受浸润情况	I	C
心肌灌注	通过静息灌注成像评估肿瘤及周围心肌的灌注情况,观察肿瘤的血供特点(高血供、低血供或无血供) ^[65]	I	C
T ₁ WI、T ₁ mapping、T ₂ WI	行黑血 T ₁ WI、T ₂ WI 以及 T ₁ mapping 明确肿瘤组织成分及特性(如水肿、坏死、脂肪、出血或钙化),辅助良恶性鉴别 ^[66]	I	A
T ₂ mapping	行 T ₂ mapping 评估肿瘤内水肿或炎症性改变	II a	B
T ₂ * mapping	必要时行 T ₂ * mapping 观察肿瘤内出血或钙化的可能性	II b	C
LGE	对所有患者行钆对比剂强化成像观察肿瘤的血供特性及强化特征,明确良恶性特征(如早期强化、均匀性、边缘特性及强化模式) ^[67]	I	A

注:LGE 为钆对比剂延迟强化

功能和容积以节约扫描时间,简化后处理流程。

(3)横轴位成像推荐:横轴位成像对三尖瓣解剖及右心室基底段形态显示清晰,故在右心室显著扩张(如致心律失常性右心室心肌病、先天性心脏病、肺动脉高压等)时,以横轴位心脏电影评估右心室可获得更高的一致性与准确度^[4,68]。

2.心肌活力评估:CMR可通过多种技术综合评价心肌活性,为判断心肌活性及制订血运重建策略提供重要依据。常规评估包括:(1)心脏电影成像和LGE的联合应用;(2)多巴酚丁胺负荷试验评估心肌的收缩功能储备,判断存活心肌。

3.心肌纤维化和瘢痕的检测和量化:LGE是评估替代性心肌纤维化和瘢痕的金标准,应视临床情境选择最优方法。SD法通过参考正常心肌信号标准差标记高信号纤维化区域,适用于大范围纤维化的评估;半高全宽(FWHM)法基于强化峰值信号设定纤维化阈值,更适合心肌梗死后瘢痕的精准量化。对于弥漫性或间质纤维化,推荐T₁ mapping及ECV,适用于非缺血性心肌病等病变。但需注意,T₁值受序列、设备和场强影响,诊断需结合基于本地参考值的异常标准^[69]。LGE和ECV的综合应用在检测纤维化形态、分布及弥漫性程度方面具有重要意义,为诊断、风险分层和治疗决策提供可靠依据。通过优化检查流程和参数选择,可提高量化精

度并满足多层次临床需求。

4.心肌炎症和水肿的评估:CMR是评估心肌炎症和水肿的理想手段。T₂ mapping和T₂WI是评估心肌水肿的核心技术,其中T₂WI推荐使用黑血STIR序列,能够清晰显示心肌信号增强区域^[3]。T₁ mapping技术凭借高灵敏度和可重复性,逐渐取代早期钆对比剂强化,成为心肌炎症和水肿评估的首选方法。早期钆对比剂强化作为反映毛细血管渗透性的传统手段,仍可用于不具备T₁或T₂ mapping条件的单位进行心肌充血评估。

综合评估心肌炎症和水肿的推荐扫描流程可参考急性心肌炎部分,结合T₁ mapping、T₂ mapping和LGE技术,提供精确的影像学支持,为诊断、分型和治疗决策提供重要依据。

以上总结了常见的临床疾病和临床场景的序列选择及推荐情况,详细的扫描序列及扫描方案应用建议归纳于表22,23。

五、特殊情况及注意事项

(一)特殊人群的CMR检查建议

1.孕妇:(1)适应证评估:应避免在妊娠早期(前3个月)行CMR检查,除非明确的临床指征且其他影像学检查(如超声心动图)不能满足诊断需求。(2)对比剂使用:钆基对比剂对胎儿可能存在潜在风险。除非明确必要,尽量避免使用;如需使用,建

表 22 基于疾病及临床应用场景的心脏磁共振扫描序列应用建议

疾病或临床场景	定位像	心脏电影	2D-Flow	心肌灌注 (静息)	心肌灌注 (负荷)	LGE	T ₁ WI、T ₁ mapping	T ₂ WI、T ₂ mapping	T ₂ *WI、T ₂ * mapping	4D-Flow	MRCA
急性心肌梗死	√	√	△	√	×	√	√	√	△	×	△
陈旧性心肌梗死	√	√	△	√	△	√	√	△	×	×	△
肥厚型心肌病	√	√	△	√	△	√	√	△	×	△#	×
扩张型心肌病	√	√	△	△	×	√	√	△	×	△	×
限制型心肌病	√	√	△	√	×	√	√	△	×	△	×
致心律失常性心肌病	√	√	△	△	×	√	√	△	×	△	×
急性心肌炎	√	√	×	√	×	√	√	√	×	×	×
心脏瓣膜病	√	√	√	△	×	√	△	×	×	△#	×
先天性心脏病	√	√	√%	√	×	√	△	△	×	△#	×
缩窄性心包炎	√	√	△	△	×	√	√	√	×	×	×
心脏肿瘤	√	√	×	√	×	√	√	√	√	×	×
左右心室容积评估	×	√	×	×	×	×	×	×	×	×	×
缺血心肌评估	×	√	×	√	△	√	△	×	×	×	△
存活心肌评估	×	√&	×	√	△	√	△	×	×	×	△
心肌纤维化评估	×	×	×	√	×	√	△	×	×	×	×
心肌水肿与炎症	×	×	×	√	×	√	√	√	×	×	×

注:√为推荐序列;×为不推荐;&为包括多巴酚丁胺负荷电影;△为可选序列;%为对于存在分流的患者,计算Qp/Qs评估分流的情况;^为用于评估心肌组织特征以明确病因;#为必要时可通过4D-Flow可视化血流模式并获取高级血流参数;LGE为钆对比剂延迟强化;MRCA为MR冠状动脉成像

表 23 基于疾病及临床应用场景的心脏磁共振扫描方案推荐

疾病或临床场景	基础扫描方案	全面扫描方案
急性心肌梗死	L-C-T ₂ -P-G	L-C-T ₁ n-T ₂ T ₂ [*] -P(Ps)-G-T ₁ c-(A)
陈旧性心肌梗死	L-C-P-G	L-C-T ₁ n-P(Ps)-G-T ₁ c-(A)
肥厚型心肌病	L-C-P-G	L-C-T ₁ n/(T ₂ [*])-P(Ps)-F-G-T ₁ c
扩张型心肌病	L-C-P-G	L-C-T ₁ n/(T ₂ [*])-P(Ps)-F-G-T ₁ c
限制型心肌病	L-C-P-G	L-C-T ₁ n-P-G-T ₁ c
致心律失常性心肌病	L-C-T-P-G	L-C-T ₁ n-P-G-T ₁ c
急性心肌炎	L-C-T ₂ -P-G	L-C-T ₁ n-T ₂ -P-G-T ₁ c
心脏瓣膜病	L-C-P-F-G	L-C-T ₁ n-P-F-G-T ₁ c
先天性心脏病	L-C-P-F-G	L-C-T ₁ n-P-F-G-T ₁ c
缩窄性心包炎	L-C-T-P-G	L-C-T ₁ n-P-G-T ₁ c
心脏肿瘤	L-C-T-P-G	L-C-T ₁ n-T ₂ -P-G-T ₁ c
左右心室功能评估	L-C	L-C
缺血及存活心肌评估	L-C-P(Ps)-G	L-C-T ₁ n-P(Ps)-G-T ₁ c-(A)
心肌纤维化评估	L-T ₁ n-P-G-T ₁ c	L-C-T ₁ n-P-G-T ₁ c
心肌水肿与炎症	L-T ₁ n-T ₂ -P-G-T ₁ c	L-C-T ₁ n-T ₂ -P-G-T ₁ c

注: L 为定位像; C 为心脏电影; T₂ 为 T₂WI 或 T₂ mapping; P 为心肌静息灌注; G 为钆对比剂延迟强化; T 为 T₁WI、T₂WI、T₁ mapping、T₂ mapping; F 为血流成像; Ps 为心肌负荷灌注; T₁n 为初始 T₁ mapping; T₁c 为增强 T₁ mapping; T₂^{*} 为 T₂^{*}WI 或 T₂^{*} mapping; A 为 MR 冠状动脉成像; 括号内为可选序列

议选择低剂量、大环类的对比剂。(3)安全性监测: 对孕妇进行 CMR 检查时, 应尽量缩短扫描时间, 避免长时间平卧导致下腔静脉压迫综合征, 同时应加强胎儿监测。

2. 儿童: (1)合作性考虑: 儿童的检查需根据年龄及配合能力决定是否进行镇静或麻醉, 确保成像期间的稳定性。推荐对 6 岁以下患儿进行镇静, 超过 6 岁者视其配合情况选择。(2)序列选择: 尽量选择快速、射频脉冲能量低的扫描序列, 如 b-SSFP 序列和全自由呼吸方案(如阜外方案)以提高患儿配合度^[70]。(3)对比剂使用: 儿童用药剂量应参考对比剂说明书按体重严格计算, 切忌超过最大安全用量, 也应在注射前确认患儿肾功能情况。对于需要长期随访的患儿, 尽量减少钆基对比剂或采用大环类对比剂。

(二)对比剂使用的特殊要求

1. 对比剂分类与使用场景: (1)常规检查: 目前国内线性和大环类对比剂均可使用, 有条件或特殊人群推荐使用大环类钆基对比剂(如钆喷酸葡胺、钆布醇), 兼具增强效果及安全性。(2)特殊情况: 婴幼儿、孕妇及对于需要反复增强扫描或存在肾功能损害的患者, 优先选择稳定性更高的大环类对比剂。

2. 肾功能评估: 所有患者在使用钆基对比剂前应评估肾功能(估计肾小球滤过率, eGFR), 对于

eGFR<30 ml·min⁻¹·1.73 m⁻²的患者, 应谨慎使用, 必要时考虑替代技术或避免行依赖对比剂的增强扫描, 不依赖对比剂的纤维化评估扫描流程: L-C-T₁n。

3. 药物负荷与对比剂联合使用的注意事项:

(1)药物选择与剂量: 负荷试验(如多巴酚丁胺)需根据患者耐受能力和临床目标制订药物剂量。对比剂的使用需与药物负荷相配合, 避免剂量过高对图像质量或患者安全产生影响。(2)监护措施: 在负荷试验中注重患者血压、心率及症状的实时监控, 必要时及时终止检查。对合并严重心力衰竭或低血压的患者, 避免同时使用高剂量对比剂和负荷药物。

六、CMR 成像的局限性

尽管 CMR 在心血管疾病的诊断与评估中具有无可比拟的优势, 但其应用仍存在一定局限性。首先, 对于植入非 MR 兼容设备的患者(如部分人工耳蜗、早期型号的心脏起搏器或除颤器), CMR 检查可能导致安全风险或图像伪影, 限制其临床使用。其次, 由于 MR 对运动敏感, 成像质量对患者的心律稳定性和屏气能力有较高要求, 对于严重心律失常或无法屏气配合的患者, 无抗心律失常或全自由呼吸 CMR 技术的单位应用受限。

此外, 常规 CMR 检查时间通常较长(约 30~40 min), 限制了其在急诊场景中的应用价值; 而在

检查过程中需患者长时间保持平卧,可能导致部分患者(如严重心力衰竭、背部褥疮患者)不适或无法耐受。尽管近年来技术进步(如阜外方案、快速成像序列等)在一定程度上克服了上述限制^[70-71],但 CMR 仍难以完全满足所有患者的需求。在未来,进一步优化成像技术、设备兼容性以及人工智能辅助,将是扩大其应用范围的重要方向。

七、总结

本指南在结合国内外指南并结合我国临床实际,旨在为我国各级医疗单位提供符合中国临床的指导性强、操作性好的标准化扫描流程,推动我国 CMR 扫描规范化和标准化,最终提升国内 CMR 影像诊断质量和心脏病综合诊治水平。本指南力求科学严谨、实践性强,但在实际应用中需注意以下几点。

1. 技术的持续更新:部分成像技术(如 4D-Flow 和部分 mapping 序列)仍处于快速发展阶段,随着更多科研证据的发表和技术迭代,推荐的扫描序列及方案可能需随时调整和更新。

2. 适配不同平台和条件:由于各地区经济发展水平不一,各医院的扫描平台及序列配置可能存在差异。如果条件限制无法实施“全面扫描方案”,完成“基本扫描流程”即可满足临床基本诊断需求。但对于具备条件的单位,仍建议按照“全面扫描方案”操作,以提高诊断的全面性和精确性。

3. 智能化趋势的推动:近年来得益于人工智能技术的迅猛发展,CMR 的扫描及后处理正逐步迈向智能化、自动化。深度学习驱动的扫描序列可有效提高扫描速度,减少图像伪影,人工智能也在自动化扫描与后处理中也得到了初步临床应用^[72-73]。临床工作者需积极顺应这一发展趋势,同时也应熟练掌握基本的 CMR 扫描和后处理技能,以应对特殊情况(如复杂先天性心脏病和大血管畸形)的成像与诊断挑战。

执笔者:陆敏杰(国家心血管病中心 北京协和医学院 中国医学科学院阜外医院影像中心)、崔辰(国家心血管病中心 北京协和医学院 中国医学科学院阜外医院影像中心)、郑敏文(空军军医大学西京医院放射科)、郭应坤(四川大学华西第二医院放射科)、萧毅(海军军医大学第二附属医院放射诊断科)、贺毅(首都医科大学附属北京友谊医院放射科)、杨旗(首都医科大学附属北京朝阳医院放射介入影像中心)、王怡宁(中国医学科学院北京协和医院放射科)、李小虎(安徽医科大学第一附属医院医学影像科)

指南专家组成员(按姓氏拼音排序):陈伟(昆明医科大学第一附属医院医学影像科)、陈梓桐(兰州大学第一医院放射科)、崔辰(国家心血管病中心 北京协和医学院 中国医学科学院阜外医院影像

中心)、高立(中国医学科学院阜外医院深圳医院放射科)、葛英辉(阜外华中心血管病医院放射科)、龚良庚(南昌大学第二附属医院医学影像中心)、郭应坤(四川大学华西第二医院放射科)、贺毅(首都医科大学附属北京友谊医院放射科)、胡红杰(浙江大学医学院附属邵逸夫医院放射科)、李东(天津医科大学总医院医学影像科)、李小虎(安徽医科大学第一附属医院医学影像科)、李智勇(大连医科大学附属第一医院放射科)、刘辉(广东省人民医院放射科)、刘晶哲(清华大学第一附属医院放射科)、刘敏(中日友好医院放射诊断科)、刘鹏飞(哈尔滨医科大学附属第一医院磁共振科)、刘士远(海军军医大学第二附属医院放射诊断科)、陆敏杰(国家心血管病中心 北京协和医学院 中国医学科学院阜外医院影像中心)、潘存雪(中山大学附属第五医院放射科)、邱建星(北京大学第一医院医学影像科)、宋雷(国家心血管病中心 北京协和医学院 中国医学科学院阜外医院心肌病病区)、孙斌(福建医科大学附属协和医院放射科)、王刚(兰州大学第一医院放射科)、王荣品(贵州省人民医院医学影像科)、王新宇(北京大学第三医院心内科)、王艳晶(吉林大学中日联谊医院放射科)、王怡宁(中国医学科学院北京协和医院放射科)、吴连明(上海交通大学医学院附属仁济医院放射科)、夏黎明(华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科)、萧毅(海军军医大学第二附属医院放射诊断科)、谢旭东(浙江大学医学院附属第一医院心血管内科)、徐磊(首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科)、许建荣(上海交通大学医学院附属仁济医院放射科)、严福华(上海交通大学医学院附属瑞金医院放射诊断科)、杨旗(首都医科大学附属北京朝阳医院放射介入影像中心)、叶焜(浙江大学医学院附属邵逸夫医院心内科)、杨映霞(中山大学附属第一医院广西医院)、于丽天(国家心血管病中心 北京协和医学院 中国医学科学院阜外医院急重症医学中心)、袁旭春(中国医学科学院阜外医院深圳医院放射科)、赵蕾(首都医科大学附属北京安贞医院医学影像科)、赵世华(国家心血管病中心 北京协和医学院 中国医学科学院阜外医院影像中心)、赵新湘(昆明医科大学第二附属医院放射科)、郑敏文(空军军医大学西京医院放射科)、朱俊(国家心血管病中心 北京协和医学院 中国医学科学院阜外医院心内科)、朱绍成(阜外华中心血管病医院放射科)

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] ESC Clinical Guidelines for Cardiovascular Care[EB/OL]. [2026-02-10]. <https://www.escardio.org/Guidelines/Clinical-Practice-Guidelines>.
- [2] Mertens LL, Friedberg MK. Imaging the right ventricle--current state of the art[J]. Nat Rev Cardiol, 2010, 7(10):551-563. DOI: 10.1038/nrcardio.2010.118.
- [3] Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J, et al. Standardized image interpretation and post-processing in cardiovascular magnetic resonance-2020 update: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR): Board of Trustees Task Force on Standardized Post-Processing[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2020, 22(1): 19. DOI: 10.1186/s12968-020-00610-6.
- [4] Clarke CJ, Gurka MJ, Norton PT, et al. Assessment of the accuracy and reproducibility of RV volume measurements by CMR in congenital heart disease[J]. JACC Cardiovasc



- Imaging, 2012, 5(1):28-37. DOI: 10.1016/j.jcmg.2011.05.007.
- [5] Patel AR, Salerno M, Kwong RY, et al. Stress cardiac magnetic resonance myocardial perfusion imaging: JACC review topic of the week[J]. J Am Coll Cardiol, 2021, 78(16):1655-1668. DOI: 10.1016/j.jacc.2021.08.022.
- [6] 欧阳荣珍, 王谦, 孙爱敏, 等. 心脏 MR 双时相三维全心成像在儿童冠状动脉评估中的研究[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(10): 1076-1082. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20211020-00934.
- [7] Yang K, Cui C, Teng F, et al. Full free-breathing cardiovascular magnetic resonance imaging: enhancing efficiency and image quality in clinical practice[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2025, 27(2): 101955. DOI: 10.1016/j.jocmr.2025.101955.
- [8] 裴思雨, 苗浩, 刘鑫, 等. MR 心肌应变对急性 ST 段抬高型心肌梗死患者急诊 PCI 术后近期发生主要心血管不良事件的预测价值[J]. 中华放射学杂志, 2023, 57(8):897-903. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20220920-00763.
- [9] El Aidi H, Adams A, Moons KG, et al. Cardiac magnetic resonance imaging findings and the risk of cardiovascular events in patients with recent myocardial infarction or suspected or known coronary artery disease: a systematic review of prognostic studies[J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63(11): 1031-1045. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.11.048.
- [10] Trieb T, Mayr A, Klug G, et al. Patterns of myocardial perfusion in the acute and chronic stage after myocardial infarction: a cardiac magnetic resonance study[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(4): 767-772. DOI: 10.1016/j.ejrad.2011.01.069.
- [11] Hamirani YS, Wong A, Kramer CM, et al. Effect of microvascular obstruction and intramyocardial hemorrhage by CMR on LV remodeling and outcomes after myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2014, 7(9): 940-952. DOI: 10.1016/j.jcmg.2014.06.012.
- [12] Motawea KR, Gaber H, Singh RB, et al. Effect of early metoprolol before PCI in ST-segment elevation myocardial infarction on infarct size and left ventricular ejection fraction. A systematic review and meta-analysis of clinical trials[J]. Clin Cardiol, 2022, 45(10):1011-1028. DOI: 10.1002/clc.23894.
- [13] Eitel I, Desch S, de Waha S, et al. Long-term prognostic value of myocardial salvage assessed by cardiovascular magnetic resonance in acute reperfused myocardial infarction[J]. Heart, 2011, 97(24): 2038-2045. DOI: 10.1136/heartjnl-2011-300098.
- [14] Hamirani YS, Wong A, Kramer CM, et al. Effect of microvascular obstruction and intramyocardial hemorrhage by CMR on LV remodeling and outcomes after myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2014, 7(9): 940-952. DOI: 10.1016/j.jcmg.2014.06.012.
- [15] Bulluck H, Chan M, Paradies V, et al. Incidence and predictors of left ventricular thrombus by cardiovascular magnetic resonance in acute ST-segment elevation myocardial infarction treated by primary percutaneous coronary intervention: a meta-analysis[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2018, 20(1): 72. DOI: 10.1186/s12968-018-0494-3.
- [16] Knuuti J, Ballo H, Juarez-Orozco LE, et al. The performance of non-invasive tests to rule-in and rule-out significant coronary artery stenosis in patients with stable angina: a meta-analysis focused on post-test disease probability[J]. Eur Heart J, 2018, 39(35): 3322-3330. DOI: 10.1093/eurheartj/ehy267.
- [17] Kim RJ, Albert TS, Wible JH, et al. Performance of delayed-enhancement magnetic resonance imaging with gadoversetamide contrast for the detection and assessment of myocardial infarction: an international, multicenter, double-blinded, randomized trial[J]. Circulation, 2008, 117(5): 629-637. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.723262.
- [18] Wang G, Lee SE, Yang Q, et al. Multicenter study on the diagnostic performance of native-T₁ cardiac magnetic resonance of chronic myocardial infarctions at 3T[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2020, 13(6):e009894. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.119.009894.
- [19] Captur G, Manisty CH, Raman B, et al. Maximal wall thickness measurement in hypertrophic cardiomyopathy: biomarker variability and its impact on clinical care[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2021, 14(11):2123-2134. DOI: 10.1016/j.jcmg.2021.03.032.
- [20] Allen BD, Choudhury L, Barker AJ, et al. Three-dimensional haemodynamics in patients with obstructive and non-obstructive hypertrophic cardiomyopathy assessed by cardiac magnetic resonance [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2015, 16(1): 29-36. DOI: 10.1093/ehjci/jeu146.
- [21] Villa AD, Sammut E, Zarinabad N, et al. Microvascular ischemia in hypertrophic cardiomyopathy: new insights from high-resolution combined quantification of perfusion and late gadolinium enhancement[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2016, 18: 4. DOI: 10.1186/s12968-016-0223-8.
- [22] Kamp NJ, Chery G, Kosinski AS, et al. Risk stratification using late gadolinium enhancement on cardiac magnetic resonance imaging in patients with hypertrophic cardiomyopathy: a systematic review and meta-analysis [J]. Prog Cardiovasc Dis, 2021, 66:10-16. DOI: 10.1016/j.pcad.2020.11.001.
- [23] 李璐, 程赛楠, 崔辰, 等. 肥厚型心肌病缺血样强化的 MRI 特征及临床价值 [J]. 中华放射学杂志, 2018, 52(12): 903-907. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2018.12.004.
- [24] Deborde E, Dubourg B, Bejar S, et al. Differentiation between Fabry disease and hypertrophic cardiomyopathy with cardiac T₁ mapping[J]. Diagn Interv Imaging, 2020, 101(2):59-67. DOI: 10.1016/j.diii.2019.08.006.
- [25] 冉玲平, 黄璐, 赵培君, 等. 心脏 MR 非对比增强纵向弛豫时间定量成像在左心室肥厚中的鉴别诊断价值 [J]. 中华放射学杂志, 2018, 52(5): 374-378. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2018.05.010.
- [26] Kitano T, Nabeshima Y, Otsuji Y, et al. Accuracy of left ventricular volumes and ejection fraction measurements by contemporary three-dimensional echocardiography with semi-and fully automated software: systematic review and meta-analysis of 1, 881 subjects[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2019, 32(9):1105-1115.e5. DOI: 10.1016/j.echo.2019.04.417.
- [27] Argentiero A, Carella MC, Mandunzio D, et al. Cardiac magnetic resonance as risk stratification tool in non-ischemic dilated cardiomyopathy referred for implantable cardioverter defibrillator therapy-state of art



- and perspectives[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(24):7752. DOI: 10.3390/jcm12247752.
- [28] Di Marco A, Brown PF, Bradley J, et al. Extracellular volume fraction improves risk-stratification for ventricular arrhythmias and sudden death in non-ischaemic cardiomyopathy[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2023, 24(4):512-521. DOI: 10.1093/ehjci/jeac142.
- [29] Zhou D, Zhang H, Yang W, et al. Risk stratification of sudden cardiac death in nonischemic dilated cardiomyopathy: arrhythmogenic substrate assessment in cardiac MRI[J]. *Radiology*, 2025, 316(3):e243427. DOI: 10.1148/radiol.243427.
- [30] Nishii T, Kono AK, Shigeru M, et al. Cardiovascular magnetic resonance T_2 mapping can detect myocardial edema in idiopathic dilated cardiomyopathy[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2014, 30 Suppl 1 : 65-72. DOI: 10.1007/s10554-014-0414-z.
- [31] Anderson LJ, Holden S, Davis B, et al. Cardiovascular T_2 -star (T_2^*) magnetic resonance for the early diagnosis of myocardial iron overload[J]. *Eur Heart J*, 2001, 22(23): 2171-2179. DOI: 10.1053/ehj.2001.2822.
- [32] Cheng H, Zhao S, Jiang S, et al. The relative atrial volume ratio and late gadolinium enhancement provide additive information to differentiate constrictive pericarditis from restrictive cardiomyopathy[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2011, 13:15. DOI: 10.1186/1532-429X-13-15.
- [33] Chacko L, Kotecha T, Ioannou A, et al. Myocardial perfusion in cardiac amyloidosis[J]. *Eur J Heart Fail*, 2024, 26(3):598-609. DOI: 10.1002/ehf.3137.
- [34] Syed IS, Glockner JF, Feng D, et al. Role of cardiac magnetic resonance imaging in the detection of cardiac amyloidosis[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2010, 3(2): 155-164. DOI: 10.1016/j.jcmg.2009.09.023.
- [35] Kato S, Azuma M, Horita N, et al. Monitoring the efficacy of tafamidis in ATTR cardiac amyloidosis by MRI-ECV: a systematic review and meta-analysis[J]. *Tomography*, 2024, 10(8):1303-1311. DOI: 10.3390/tomography10080097.
- [36] Liu Y, Yu J, Liu J, et al. Prognostic value of late gadolinium enhancement in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy: a meta-analysis[J]. *Clin Radiol*, 2021, 76(8):628.e9-628.e15. DOI: 10.1016/j.crad.2021.04.002.
- [37] Zghaib T, Te Riele A, James CA, et al. Left ventricular fibro-fatty replacement in arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy: prevalence, patterns, and association with arrhythmias[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2021, 23(1): 58. DOI: 10.1186/s12968-020-00702-3.
- [38] Blissett S, Chocron Y, Kovacina B, et al. Diagnostic and prognostic value of cardiac magnetic resonance in acute myocarditis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019, 35(12): 2221-2229. DOI: 10.1007/s10554-019-01674-x.
- [39] Luetkens JA, Faron A, Isaak A, et al. Comparison of original and 2018 Lake Louise Criteria for diagnosis of acute myocarditis: results of a validation cohort[J]. *Radiol Cardiothorac Imaging*, 2019, 1(3): e190010. DOI: 10.1148/ryct.2019190010.
- [40] Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G, et al. Cardiovascular magnetic resonance in nonischemic myocardial inflammation: expert recommendations[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(24):3158-3176. DOI: 10.1016/j.jacc.2018.09.072.
- [41] Perry AS, Li S. Optimal threshold of left ventricular ejection fraction for aortic valve replacement in asymptomatic severe aortic stenosis: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(7): e020252. DOI: 10.1161/JAHA.120.020252.
- [42] Kilner PJ, Manzara CC, Mohiaddin RH, et al. Magnetic resonance jet velocity mapping in mitral and aortic valve stenosis[J]. *Circulation*, 1993, 87(4): 1239-1248. DOI: 10.1161/01.cir.87.4.1239.
- [43] Musa TA, Treibel TA, Vassiliou VS, et al. Myocardial scar and mortality in severe aortic stenosis[J]. *Circulation*, 2018, 138(18): 1935-1947. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.117.032839.
- [44] Everett RJ, Treibel TA, Fukui M, et al. Extracellular myocardial volume in patients with aortic stenosis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(3): 304-316. DOI: 10.1016/j.jacc.2019.11.032.
- [45] 郑育聪, 陆敏杰, 尹刚, 等. 心血管 MR T_1 mapping/iECV 定量分析在主动脉瓣关闭不全评价中的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(3): 269-275. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20200312-00378.
- [46] Djavidani B, Debl K, Lenhart M, et al. Planimetry of mitral valve stenosis by magnetic resonance imaging[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2005, 45(12): 2048-2053. DOI: 10.1016/j.jacc.2005.03.036.
- [47] Putra T, Sukmawan R, Desandri DR, et al. Left ventricular dimension after mitral valve surgery in rheumatic mitral stenosis: the impact of myocardial fibrosis[J]. *J Tehran Heart Cent*, 2020, 15(3): 119-127. DOI: 10.18502/jthc.v15i3.4222.
- [48] Kitkungvan D, Yang EY, El Tallawi KC, et al. Prognostic implications of diffuse interstitial fibrosis in asymptomatic primary mitral regurgitation[J]. *Circulation*, 2019, 140(25): 2122-2124. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.043250.
- [49] Teo KSL, Disney PJ, Dundon BK, et al. Assessment of atrial septal defects in adults comparing cardiovascular magnetic resonance with transoesophageal echocardiography[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2010, 12(1): 44. DOI: 10.1186/1532-429X-12-44.
- [50] Debl K, Djavidani B, Buchner S, et al. Quantification of left-to-right shunting in adult congenital heart disease: phase-contrast cine MRI compared with invasive oximetry [J]. *Br J Radiol*, 2009, 82(977):386-391. DOI: 10.1259/bjr/18500608.
- [51] Gong C, Guo J, Wan K, et al. Detection and evaluation of myocardial fibrosis in Eisenmenger syndrome using cardiovascular magnetic resonance late gadolinium enhancement and T_1 mapping[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2022, 24(1):60. DOI: 10.1186/s12968-022-00880-2.
- [52] Mohamed I, Stamm R, Keenan R, et al. Assessment of disease progression in patients with repaired tetralogy of fallot using cardiac magnetic resonance imaging: a systematic review[J]. *Heart Lung Circ*, 2020, 29(11): 1613-1620. DOI: 10.1016/j.hlc.2020.04.017.
- [53] 马岩岩, 欧阳荣珍, 胡立伟, 等. 心脏 MRI 评估法洛四联症和肺动脉瓣狭窄术后患儿左心房功能的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2023, 57(4): 404-409. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20230113-00035.
- [54] Isorni MA, Martins D, Ben Moussa N, et al. 4D flow MRI versus conventional 2D for measuring pulmonary flow



- after Tetralogy of Fallot repair[J]. *Int J Cardiol*, 2020, 300: 132-136. DOI: 10.1016/j.ijcard.2019.10.030.
- [55] 徐晶, 喻诗琴, 尹刚, 等. 法洛四联症矫正术后肺动脉血流动力学的四维血流 MRI 定量研究[J]. *中华放射学杂志*, 2025, 59(3): 277-285. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20240307-00109.
- [56] Secchi F, Lastella G, Monti CB, et al. Late gadolinium enhancement in patients with Tetralogy of Fallot: a systematic review[J]. *Eur J Radiol*, 2021, 136: 109521. DOI: 10.1016/j.ejrad.2021.109521.
- [57] Rydman R, Gatzoulis MA, Ho SY, et al. Systemic right ventricular fibrosis detected by cardiovascular magnetic resonance is associated with clinical outcome, mainly new-onset atrial arrhythmia, in patients after atrial redirection surgery for transposition of the great arteries[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2015, 8(5): e002628. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.114.002628.
- [58] 刘玉清. 先天性心脏病诊断的节段分析法[J]. *中华放射学杂志*, 1998, 32(8):529-532. DOI: 10.3760/j.issn:1005-1201.1998.08.007.
- [59] Muscogiuri G, Secinaro A, Ciliberti P, et al. Utility of cardiac magnetic resonance imaging in the management of adult congenital heart disease[J]. *J Thorac Imaging*, 2017, 32(4): 233-244. DOI: 10.1097/RTI.0000000000000280.
- [60] Grosse-Wortmann L, Yoo SJ, van Arsdell G, et al. Preoperative total pulmonary blood flow predicts right ventricular pressure in patients early after complete repair of tetralogy of Fallot and pulmonary atresia with major aortopulmonary collateral arteries[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 146(5):1185-1190. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2013.01.032.
- [61] Aly S, Seed M, Yoo SJ, et al. Myocardial fibrosis in pediatric patients with Ebstein's anomaly[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2021, 14(3): e011136. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.120.011136.
- [62] Aldweib N, Farah V, Biederman R. Clinical utility of cardiac magnetic resonance imaging in pericardial diseases[J]. *Curr Cardiol Rev*, 2018, 14(3): 200-212. DOI: 10.2174/1573403X14666180619104515.
- [63] Aquaro GD, Barison A, Cagnolo A, et al. Role of tissue characterization by cardiac magnetic resonance in the diagnosis of constrictive pericarditis[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2015, 31(5): 1021-1031. DOI: 10.1007/s10554-015-0648-4.
- [64] Rosmini S, Seraphim A, Knott K, et al. Non-invasive characterization of pleural and pericardial effusions using T_1 mapping by magnetic resonance imaging[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2022, 23(8): 1117-1126. DOI: 10.1093/ehjci/jeab128.
- [65] Paolisso P, Bergamaschi L, Angeli F, et al. Cardiac magnetic resonance to predict cardiac mass malignancy: the CMR mass score[J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2024, 17(3):e016115. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.123.016115.
- [66] Yue P, Xu Z, Wan K, et al. Multiparametric mapping by cardiovascular magnetic resonance imaging in cardiac tumors[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2023, 25(1):37. DOI: 10.1186/s12968-023-00938-9.
- [67] Chan AT, Maya TR, Park C, et al. Incremental utility of first-pass perfusion CMR for prognostic risk stratification of cancer-associated cardiac masses[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2024, 17(2):128-145. DOI: 10.1016/j.jcmg.2023.05.007.
- [68] Alfakih K, Plein S, Bloomer T, et al. Comparison of right ventricular volume measurements between axial and short axis orientation using steady-state free precession magnetic resonance imaging[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2003, 18(1):25-32. DOI: 10.1002/jmri.10329.
- [69] Messroghli DR, Moon JC, Ferreira VM, et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T_1 , T_2 , T_2^* 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. DOI: 10.1186/s12968-017-0389-8.
- [70] 杨凯, 尹刚, 安靖, 等. 全自由呼吸心脏 MR 检查: 初步临床应用[J]. *中国医学影像技术*, 2024, 40(8):1183-1188. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2024.08.015.
- [71] 滕飞, 周文莉, 尹刚, 等. 全自由呼吸心脏 MR 检查的临床可行性及有效性评估[J]. *中华放射学杂志*, 2025, 59(10): 1142-1148. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20250212-00077.
- [72] Baggiano A, Mushtaq S, Fusini L, et al. Artificial intelligence in cardiovascular imaging: current applications and new horizons[J]. *J Cardiovasc Echogr*, 2025, 35(2):97-107. DOI: 10.4103/jcecho.jcecho_62_25.
- [73] 王家鑫, 赵世华. 人工智能在心血管病影像学领域中的应用[J]. *中华心血管病杂志*, 2021, 49(11):1063-1068. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148-20210730-00639.

