·临床研究·

心脏磁共振多参数成像在冠心病定位定性分期诊断中的应用价值研究

刘双锋[1,2] 朱绍成[3*]

（1.新乡医学院，新乡 453003；2.河南大学第一附属医院，开封 475001；3.华中阜外心血管病医院放射科，郑州 451400）

【摘要】 目的 探讨心脏磁共振多参数成像在冠心病定位定性定量分期诊断中的应用价值。**方法** 回顾性分析2023年1月1日—2025年2月28日期间在华中阜外心血管病医院放射科诊治的60例疑似冠心病患者，对其均进行心脏磁共振（Cardiac Magnetic Resonance Imaging，CMR）检查和冠状动脉造影（Cardiac Angiography，CAG）检查，以CAG检查结果为金标准，对比CMR和CAG对心肌缺血/梗死的检出效能，并分析CMR对病变分期的诊断一致性。**结果** 60例疑似患者中，CAG结果显示阴性和阳性分别为3例和57例，以CAG诊断结果为金标准，CMR诊断特异度、灵敏度和准确度均较高；57例确诊患者中，CMR与CAG在不同程度狭窄的检出结果上一致性轻微（Kappa=0.12），CMR对狭窄的总体检出符合率较低，尤其在轻度/中度狭窄中漏诊较多；CMR诊断结果的左室射血分数（Left Ventricular Ejection Fraction，LVEF）、心输出量（cardiac output，CO）范围略低于健康成年人、舒张末期容积指数（end-diastolic volume index，EDVI）范围略高于健康成年人；57例确诊患者中，心电图和CMR在心肌梗死分期上具有中度至高度一致性（Kappa≈0.60）。**结论** 在疑似冠心病诊断中，CMR在功能评估和分期中具有不可替代性，但血管解剖评估仍需结合CAG；联合应用可优化冠心病诊疗路径。

【关键词】 磁共振；冠脉造影；冠心病；心肌缺血；心功能分析

【中图分类号】 TH77;R541.4 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.11876/mimt202502010

Application value of cardiac magnetic resonance multiparameter imaging in localized qualitative and quantitative diagnosis of coronary heart disease

Liu Shuangfeng[1,2], Zhu Shaocheng[3]*

(1. XinXiang Medical University, Xinxiang 453003, China; 2. The First Affiliated Hospital of Henan University, Kaifeng 475001, China; 3. Department of Radiology, Fuwai Central China Cardiovascular Hospital, Zhengzhou 451400, China)

【Abstract】 Objective To investigate the value of cardiac magnetic resonance (CMR) multiparametric imaging in the localization, qualitative assessment, and staging diagnosis of coronary artery disease (CAD). **Methods** A retrospective analysis was conducted on 60 patients with suspected CAD who underwent both CMR and coronary angiography (CAG) at the Radiology Department of Huazhong Fuwai Cardiovascular Hospital between January 1, 2023, and February 28, 2025. Using CAG as the gold standard, the diagnostic performance of CMR in detecting myocardial ischemia/infarction was evaluated, and the consistency of CMR in staging CAD lesions was analyzed. **Results** Among the 60 suspected patients, the CAG results showed 3 cases were negative and 57 cases were positive. Using CAG diagnostic results as the gold standard, the specificity, sensitivity, and accuracy of CMR diagnosis were all relatively high. Among the 57 confirmed patients, the agreement between CMR and CAG in detecting varying degrees of stenosis was slight (Kappa = 0.12), and the overall detection concordance rate of CMR for stenosis was relatively low, with particularly frequent missed diagnoses in mild/moderate stenosis. The left ventricular ejection fraction (LVEF) and cardiac output (CO) ranges in CMR diagnostic results were slightly lower than those of healthy adults, while the end-diastolic volume index (EDVI) range was slightly higher than that of healthy adults. Among the 57 confirmed patients, electrocardiogram (ECG) and CMR showed moderate to high agreement in myocardial infarction staging (Kappa ≈ 0.60). **Conclusion** In the diagnosis of suspected CAD, CMR provides indispensable functional and staging assessments, while CAG remains the gold standard for vascular anatomical evaluation. The combined application of CMR and CAG can enhance the diagnostic efficacy of CAD imaging.

【Key words】 Cardiac Magnetic Resonance imaging; coronary angiography; Coronary heart disease; Myocardial ischemia; Cardiac function analysis

基金项目：河南省医学科技攻关计划项目（LHGJ20210565），项目名称：缺血性心肌病综合影像诊断

第一作者：刘双锋，男，硕士研究生，主管技师，研究方向：心脏磁共振成像诊断和技术

通讯作者：朱邵成，男，博士，主任医师，研究方向：腹部、心血管影像

心脏磁共振成像（Cardiac Magnetic Resonance Imaging，CMR）以其安全无辐射、多模态成像等优点，已成为部分医院的常规检查之一，其动态增强技术，可量化心肌血流灌注变化，辅助早期诊断[1,2]；延迟强化技术（Late Gadolinium Enhancement，LGE）能清晰区分急性与慢性心肌梗死病灶，评估心肌纤维化程度，对预后判断和危险分层具有重要价值[3]。结合心脏磁共振的多参数成像能力，已实现冠心病“一站式”评估（结构、功能、血流灌注同步检测），推动多学科诊疗模式发展。磁共振可识别冠状动脉粥样硬化斑块成分、评估心肌存活率，并为血运重建手术方案提供依据[4]。结合AI算法，优化扫描技术流程和图像后处理流程，降低检查技术难度，缩短检查时间和分析时间并提升诊断一致性[5]。目前，冠心病诊断的影像金标准仍为冠状动脉造影（Cardiac Angiography，CAG），该诊断属于有创操作，对于血管壁上存在易损斑块则无法准确检查，而CMR的出现弥补了CAG在结构成像、功能成像上的不足，但目前尚未形成统一标准。基于此，本研究旨在探讨CMR在冠心病定位定性分期诊断中的应用价值，以期将CMR检查结果纳入冠心病影像诊断标准的评判因素之一，使冠心病影像诊断依据更多元化。

1 资料与方法

1.1 临床资料

采用河南省人民医院（华中阜外心血管病医院）病案信息系统和PACS系统，回顾性分析2023年1月1日—2025年2月28日期间在华中阜外心血管病医院放射科诊治的疑似冠心病患者。纳入标准：（1）临床疑似冠心病；（2）年龄 >18岁；（3）检查和临床数据完整；（4）心肌酶和心电图提示心梗，需要接受磁共振检查。排除标准：（1）有心脏起搏器、神经刺激器、人工耳蜗、幽闭恐惧症等MRI检查禁忌症者；（2）对比剂过敏和严重过敏体质者；（3）甲亢、心律失常等严重基础疾病者[6]；（4）检查依从性较低者。本研究共入组60例疑似冠心病患者，其中男性49例，女性11例，年龄27～80岁，平均（58.05 ± 2.61）岁，体重60.5～110.3kg，平均（75.26 ± 25.38）kg，其中48例合并有高血压，41例合并有糖尿病，56例合并有高脂血症。本研究是一项经过河南省人民医院伦理学委员会审核通过［批准文号：（2023）伦理第（147）号］的回顾性研究，符合《赫尔辛基宣言》规定。

1.2 扫描方案

对本研究入选的60例疑似冠心病患者均进行CAG检查和CMR检查。

（1）CAG检查：按照常规操作方法进行CAG检查。患者仰卧于导管床上，局部麻醉后，经桡动脉或股动脉穿刺置入动脉鞘管，将造影导管送至冠状动脉开口处，分别对左冠状动脉和右冠状动脉进行多角度造影，观察冠状动脉的形态、狭窄程度等情况，并由经验丰富的心血管介入医师进行诊断。

（2）CMR检查：采用西门子3.0T磁共振进行检查，为了保证图像质量的同时，满足不同部位和病变的精准诊断需求，采取5种如下扫描序列：① T 2_stir_db: FOV Read=360mm，视野（Field of View，FOV）Phase=84.4%，Slice Thickness=8.0mm，重复时间（Repetition Time，TR）=800.0ms，回波时间（Echo Time，TE）= 53.0ms，Average=2，翻转时间（Invertion Time，TI）=170m，Flip Angle=160deg，Fat– Water=Standard，Base Resolution=256，Phase Resolution=57%，Distance Factor=50%，Acquisition Window= 916ms，Trigger Pulse=2，Trigger Delay=0ms。②T1_stir_db: FOV Read=360mm，FOV Phase=84.4%，Slice Thickness=8.0mm，TR=750.0ms，TE=24.0ms，Average=1，Flip Angle=180deg，Fat–Water=Standard，Base Resolution=256，Phase Resolution=60%，Distance Factor=50%，Acquisition Window=795ms，Trigger Pulse=1，Trigger Delay=0ms。③Cine_tf2d13_retro_iPAT: FOV Read=340mm，FOV Phase=100%，Slice Thickness=6.0mm，TR=44.20ms，TE=1.45ms，Average=1，Flip Angle=61deg，Fat–Water=Standard，Base Resolution=192，Phase Resolution=80%，Distance Factor=50%，Calculated Phases=22，Bandwidth=965Hz/Px，射频（Radio Frequency，RF）Pulse Type=Fast，Segments=13。④DE_high–res: FOV Read=340mm，FOV Phase=90.6%，Slice Thickness=8.0mm，TR=727.0ms，TE=3.39ms，Average=1，TI=355ms，Flip Angle=25deg，Fat–Water=Standard，Base Resolution=256，Phase Resolution=75%，Acquisition Window=

727ms，Trigger Pulse=2，Trigger Delay=0ms。⑤ Flow: FOV Read=350mm，FOV Phase= 75.0%，Slice Thickness =6.0mm，TR=44.56ms，TE=3.13ms，Average=2，Flip Angle =20deg，Base Resolution=192，Phase Resolution=90%，Distance Factor=20%，Segments=4。

对比剂：钆喷酸葡胺注射液（生产企业：拜耳医药保健有限公司广州分公司，规格：469.01mg/mL×20mL），用法用量：首过灌注时用法为 0.1mL/kg，延迟强化时用法用量为 0.2mL/kg。

心脏磁共振影像研究的基础是心脏解剖。本研究基于美国心脏协会推荐的心脏标准解剖平面与命名[7]。

1.3 观察指标

1.3.1 定量诊断

以健康成年人心功能指标[8]为金标准，比较受试者心脏病心功能指标情况，具体包含左室射血分数（Left Ventricular Ejection Fraction，LVEF）、心输出量（Cardiac Output，CO）、舒张末期容积指数（End–Diastolic Volume Index，EDVI）。心功能测量软件为加拿大 Circle Cardiovascular Imaging 公司的 CVI42（Circle Cardiovascular Imaging 42，CVI42）软件。

1.3.2 定性诊断

以 CAG 为金标准，判断 CMR 检查在受试者心脏病定性诊断中的准确性。

1.3.3 定位诊断

根据 CMR 检查中 17 个心肌阶段的 T2 脂肪抑制图像、首过灌注、延迟强化情况的心肌节段信号情况，推测并统计受试者相应供血区域的血管有无梗塞情况[9]。

1.3.4 分期诊断

根据心电图心肌梗死分期[10]（超急性期、急性期、亚急性期和恢复期）、心肌梗死临床症状演变进程和脑梗死影像学分期，提出心脏病心肌梗死磁共振分期诊断标准（见表 1），统计 CMR 诊断各期心肌梗死患者数量及百分比情况。

表 1 心脏病心肌梗死磁共振分期标准

分期	T2 脂肪抑制	首过灌注	LGE
急性期	心肌水肿高信号	减低	晚期延迟强化
亚急性期	心肌水肿高信号	减低	晚期延迟强化
恢复期		减低或正常	晚期延迟强化

注：超急性期患者一般来不及做磁共振检查。

1.4 数据采集及统计分析

CMR 诊断结果来自经 2 位医师审核的最终磁共振诊断报告，CAG 诊断结果来自病案信息系统和 PACS 系统记录。统计学分析采用 SPSS 25.0 软件，计量资料（$\bar{x} \pm s$）采取 t 检验，计数资料［例（%）］采取 χ^2 检验，一致性分析采用 *Kappa* 检验，*Kappa* ≥ 0.8 为一致性几乎完全，*Kappa* 0.6 ~ 0.8 为一致性高度，*Kappa* 0.4 ~ 0.6 为一致性中度，*Kappa* 0.2 ~ 0.4 为一致性一般，*Kappa* 0.01 ~ 0.2 为一致性轻微，*Kappa* ≤ 0.01 为一致性极差，P<0.05 提示存在统计学差异。

2 结果

2.1 定量诊断结果

60 例疑似患者中，CMR 诊断结果的 LVEF 范围略低于健康成年人、CO 范围略低于健康成年人静息状态、EDVI 范围略高于健康成年人。见表 2。

表 2 CMR 定量心功能诊断结果

心功能指标	健康成年人参考范围	CMR 检查结果
LVEF（%）	50%~70%	13.8%~79%
CO（L/min）	5~6	2.6~8.4
EDVI（mL/m^2）	75~160	29~226.59

注：LVEF 为左室射血分数，CO 为心输出量，EDVI 为舒张末期容积指数。

2.2 定性诊断结果

60 例疑似患者中，CAG 结果显示阴性和阳性分别为 3 例和 57 例，以 CAG 诊断结果为金标准，CMR 诊断特异度、灵敏度和准确度均较高。见表 3。

表 3 CMR 定性诊断结果

CAG 诊断	CMR 诊断			特异性（%）	灵敏度（%）	准确性（%）
	阳性	阴性	合计			
阳性	56	1	57	98.25%（56/57）	66.67%（2/3）	95%（57/60）
阴性	1	2	3			
合计	57	3	60			

2.3 定位诊断结果

57例确诊患者中，CAG共检出190支血管有轻度–完全闭塞。以CAG诊断结果为金标准，CMR共检出79支血管有轻度–完全闭塞。CMR与CAG在不同程度狭窄的检出结果上一致性轻微（*Kappa*=0.12），CMR对狭窄的总体检出符合率较低（41.6%），尤其在轻度/中度狭窄中漏诊较多。见表4。

表4 CMR对不同程度狭窄的检出结果

狭窄程度	CAG诊断血管数	CMR检出血管数	CMR漏诊血管数
轻度	72	30	42
中度	68	28	40
重度	32	15	17
完全闭塞	18	6	12
总计	190	79	111

2.4 分期诊断结果

57例确诊患者中，心电图和CMR在急性期、亚急性期、恢复期的检出数量相近，少量存在不一致，两种检查在心肌梗死分期上具有中度至高度一致性（*Kappa*≈0.60）。见表5。

表5 各期心肌梗死患者检出结果

分期	心电图检出数量	CMR检出数量
超急性期	10	0
急性期	25	24
亚急性期	15	16
恢复期	7	7
合计	57	47

注：超急性期患者一般来不及做磁共振检查，本研究未收集到相关数据。

3 讨论

目前临床上对冠心病评估方式有心电图、超声心动图、CT诊断及CAG诊断等[11]，尤其是以CAG为金标准，这些诊断方式能对患者冠状动脉狭窄程度及心室功能进行评估，还能明确患者的心肌灌注情况，指导临床治疗。而CMR诊断凭借其无创、安全、高分辨率、多功能、多参数及高精度的特点，在心肌病、冠心病、心力衰竭及复杂先天性心脏病的诊断中具有不可替代的作用，尤其适合需要精准解剖与功能评估的病例[12]。

本研究结果中，60例疑似患者中，CMR诊断结果的LVEF、CO范围略低于健康成年人、EDVI范围略高于健康成年人。LVEF是临床上反映左心室收缩功能最常用、最重要的指标，CMR基于真实的心脏三维收缩运动，测量出的LVEF接近真实值。CO是评估心脏功能的重要指标，尤其在心力衰竭的诊断和治疗中具有重要意义[12]；低心输出量通常低于3.5 L/min，而高输出量性可能高于正常，但仍无法满足代谢需求。EDVI与患者的预后显著相关，CMR的EDVI诊断，有助于患者的危险分层，对指导临床治疗具有重要价值。

本研究结果中，CMR诊断特异度、灵敏度和准确度均较高。分析原因，CMR通过高分辨率成像技术可清晰显示心脏解剖结构，识别心肌变薄、室壁运动异常等冠心病特征性改变[13]。LGE技术能区分急性与慢性心肌梗死，精确显示梗死心肌的透壁程度和纤维化范围，结合心肌灌注显像，可量化梗死区与存活心肌的比例，指导血运重建手术的可行性[14]。

本研究结果中，CMR在冠心病定位诊断符合率仅为41.6%，尤其在轻度/中度狭窄中漏诊较多。分析原因，与CAG相比，CMR对重度/完全闭塞的特异性可能较高，但对轻中度狭窄敏感性不足[15-16]，主要可以归纳为以下几个方面：（1）空间分辨率限制。CMR的空间分辨率（通常为1.0~2.0 mm）明显低于CAG（分辨率 <0.3 mm）。由于冠状动脉管径较小，CMR在检测轻中度狭窄时可能因分辨率不足而遗漏微小病变。（2）CMR成像层厚的限制。常规CMR的层厚通常为5~8 mm，而冠状动脉的直径仅3~4 mm，这意味着部分血管可能在扫描过程中因层厚过大而被“平均化”，从而低估狭窄程度。（3）CMR对狭窄诊断的技术局限性。CMR诊断冠状动脉狭窄主要依赖心肌灌注缺损、延迟强化（LGE）和应激灌注成像，而非直接观察血管狭窄程度，轻中度狭窄（<70%）患者在静息状态下可能仍保持足够的心肌灌注，导致首过灌注或延迟强化检查呈假阴性。因此，对于临床高度疑似冠心病但CMR阴性的患者，尤其是轻中度狭窄可能性较大时，建议结合CAG为金标准补充检查，以提高诊断准确性。

CMR通过多模态成像实现冠心病从急性损伤、慢性纤维化到终末期重构的全病程分期，其核心优势在于精准区分可逆与不可逆性心肌损伤，并为预后分层提供定量依据[17]。本研究结果中，心电图和CMR在急性期、亚急性期、恢复期的检出数量相近，少量存在不一致，两种检查在心肌梗死分期中呈现中度至高度一致性（*Kappa*≈0.60），二者互补

（下转第79页）

症发生，是TKA术后早期CPM康复训练的优选角度范围。临床实践中应根据患者个体情况制定个性化CPM角度设置方案，并随疗效及时调整，以获得最佳康复效果。

[参 考 文 献]

[1] 陈婉芳.早期康复护理联合健康教育对膝关节置换术后患者膝关节功能、生活质量及并发症的影响[J].中国医药指南,2025,23(4):163-165.

[2] 陈阿丽,苏家琼,曾广会,等.ERAS理念下超早期精细化锻炼方案对高龄全膝关节置换术后患者康复的影响[J].中国老年学杂志,2024,44(11):2625-2628.

[3] Jia Z, Zhang Y, Zhang W, et al. Efficacy and safety of continuous passive motion and physical therapy in recovery from knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2024, 19(1):68.

[4] 张琦,梁媛,张冉,等.运动学对线技术对全膝关节置换术后关节活动度的效果[J].中国康复理论与实践,2022,28(7):764-769.

[5] Ryu JJ, Jeong BC, Yoo KT. The effects of active exercise program using sling on the pain and balance following total knee replacement[J]. J Converg Inf Technol,2022, 12(2):174-183.

[6] 陈盈盈.屈曲体位不同维持时间对全膝关节置换术后早期膝关节恢复情况的影响[J].中国医学创新,2023,20(13):119-123.

[7] 中华医学会骨科学分会.骨关节炎诊断与治疗指南(2018年版)[J].中华骨科杂志, 2018,38(12):705-715.

[8] 中国老年保健协会.髋膝关节置换围手术期加速康复专家共识[J].实用骨科杂志,2021,27(11):961-965.

[9] Ripoll S-Melchor J, Aldecoa CS, Fern Índez-Garc AR, et al. Early mobilization after total hip or knee arthroplasty: a substudy of the POWER.2 study[J]. Braz J Anesthesiol, 2023, 73(1):54-71.

[10] Eymir M, Erduran M, ünver B. Active heel-slide exercise therapy facilitates the functional and proprioceptive enhancement following total knee arthroplasty compared to continuous passive motion[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2021, 29(10):3352-3360.

[11] Mistry JB, Elmallah RDK, Bhave A, et al. Rehabilitative guidelines after total knee arthroplasty: A review[J]. J Knee Surg, 2016, 29(3):201-217.

[12] 刘培来,李学州,卢群山,等.膝关节置换术后常用康复器具的应用与疗效分析[J].山东大学学报(医学版),2024,62(10):1-7.

[13] Pua YH, Seah FJ, Poon CL, et al. Association between rehabilitation attendance and physical function following discharge after total knee arthroplasty: prospective cohort study[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2017, 25(4):462-469.

[14] 赵永欣.早期康复联合CPM机锻炼在全膝关节置换术患者中的应用效果[J].医疗装备,2020,33(12):182-183.

[15] Alrawashdeh W, Eschweiler J, Migliorini F, et al. Effectiveness of total knee arthroplasty rehabilitation programmes: A systematic review and meta-analysis[J]. J Rehabil Med, 2021, 53(6):2784.

[16] 徐艳.连续性被动运动训练对人工全膝关节置换术患者康复的影响[J].透析与人工器官,2021,32(4):31-32+34.

（上接第 50 页）

应用可优化临床决策。

综上所述，在疑似冠心病诊断中，CMR在功能评估和分期中具有不可替代性，但血管解剖评估仍需结合CAG；联合应用可优化冠心病诊疗路径。

[参 考 文 献]

[1] 朱乐怡,王艺宁,赵世华,等.2021心血管磁共振研究进展[J].放射学实践,2023,38(5):656-661.

[2] 张华莹,朱乐怡,赵世华,等.2022年心脏磁共振研究进展[J].磁共振成像,2023,14(6):133-144.

[3] 赵新湘,陆敏杰,蒲军,等.缺血性卒中患者心脏磁共振检查专家共识[J].中国卒中杂志,2024,19(10):1188-1195.

[4] 潘子怡,温金扬,冉玲平,等.RSNA2024心脏CT及MRI[J].放射学实践,2025,40(1):42-46.

[5] 张斌,高思喆,郭文力,等.Auto-kV技术联合AI深度学习算法(Clear Infinity)在冠脉”精准”双低成像中的应用[J].中国临床医学影像杂志,2024,35(4):283-287.

[6] 王哲涛,任静,周鹏,等.心脏磁共振影像组学在非缺血性心肌病中的应用研究进展[J].广西医学,2024,46(2):204-209.

[7] 杨正汉,冯逢,王霄英.磁共振成像技术指南——检查规范、临床策略及新技术(修订版)[J].中国医学影像学杂志,2010,18(4):312.

[8] Galli E, John Matthwes B, Rousseau C, et al. Echocardiographic reference ranges for myocardial work in healthy subjects: a preliminary study[J]. Echocardiography,2019,36(10):1814-1824.

[9] 连心桥,张华莹,赵世华,等.从医学影像到临床诊疗:2023年心血管磁共振进展[J].磁共振成像,2024,15(7):184-190,215.

[10] 中华医学会心血管病学分会影像学组,中国医师协会放射医师分会心血管专业委员会.无创性心血管影像学技术临床适用标准中国专家共识[J].中华心血管病杂志,2020,48(11):906-921.

[11] 王力,苏雪娟,陈体,等.超声心动图、心电图及CTA在诊断冠心病中的应用[J].中国CT和MRI杂志,2020,18(3): 76-78.

[12] 杨李杨,闫奎坡,刘刚,等.心脏磁共振在心肌病诊断中的作用[J].中国循证心血管医学杂志,2024,16(3):373-377.

[13] 郭建琪,台楠,贺玉泉.心脏磁共振在冠状动脉非阻塞性心肌梗死中的应用进展[J].中国实验诊断学,2024,28(2):227-231.

[14] Paez A, Gu C, Cao Z. Robust RF shimming and small-tip-angle multispoke pulse design with finite-difference regularization[J]. Magn Reson Med, 2021, 86(3):1472-1481.

[15] 丁丝雨,包炳蔚,季春斐,等.心脏磁共振对冠状动脉非阻塞性心肌梗死的诊断价值[J].中西医结合心脑血管病杂志,2023,21(15):2795-2799.

[16] 冯兆丰,李淑豪,任海波,等.心血管磁共振成像评估肿瘤治疗相关心血管损伤的应用进展[J].中国医学影像学杂志, 2024, 32(7):736-740.

[17] 杨旗,冯长静.心脏MRI新技术及其应用进展[J].国际医学放射学杂志,2023,46(6):629-633.