

# 心脏核磁共振参数预测 ST 段抬高型心肌梗死患者急诊血运重建后心功能改善的价值

刘丹 顾佳宁 韩凯月 邸若岷 杨晨曦 杨奕清 徐迎佳

**【摘要】** 目的:探讨心脏核磁共振(CMR)特征追踪(FTI)、首过灌注成像(PFI)、延迟钆强化技术(LGE)获得的参数对于预测 ST 段抬高型心肌梗死(STEMI)患者急诊血运重建后心功能改善的价值。 方法:连续入选 2018 年 1 月至 2020 年 1 月行急诊经皮冠状动脉介入术(PCI)的初次诊断 STEMI 患者 58 例,术后即刻超声心动图检查提示左室射血分数(LVEF) $\leq 40\%$ ,在成功实施血运重建后 3~5 d 行 CMR 检查。先后应用 SSFP 电影序列、T2W STIR-FSE 序列、LGE 进行扫描并分别获取 FTI、PFI 及 LGE 图像,利用后处理分析软件分别计算左室整体收缩期峰值圆周应变(GCS)和纵向应变(GLS)、心肌挽救指数(MSI),并在 12 个月后复查超声心动图。 结果:12 个月随访发现 27 例(47%)心功能改善(LVEF 增加 $\geq 5\%$ )。GCS 判断患者心功能改善的临界值为 $-19.1\%$ ,敏感性为 76%、特异性为 85%[曲线下面积(AUC)=0.86,95%CI: 0.71~0.92, $P<0.001$ ],优于 GLS( $\Delta AUC=0.14$ , $P=0.01$ )。MSI 的临界值为 61.5%,其敏感性为 85%、特异性为 91%,均优于 GCS( $\Delta AUC=0.07$ , $P<0.05$ )。多元回归分析显示,GCS 和 MSI 是预测心功能改善的独立影响因素(HR=1.5,95%CI: 1.0~1.9 和 HR=1.4,95%CI: 1.1~1.7, $P$  均 $<0.05$ )。 结论:FTI 技术估测的 GCS 在无需额外注射钆造影剂的情况下能预测 STEMI 患者 PCI 术后心功能改善,但 MSI 的诊断效能更高。

**【关键词】** 急性心肌梗死;经皮冠状动脉介入术;心脏核磁共振;心功能恢复

doi:10.3969/j.issn.1673-6583.2021.03.014

**Value of CMR in predicting cardiac function recovery after emergency revascularization in patients with ST segment elevation myocardial infarction** LIU Dan, GU Jianing, HAN Kaiyue, DI Ruomin, YANG Chenxi, YANG Yiqing, XU Yingjia Department of Cardiology, Shanghai Fifth People's Hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China

**【Abstract】 Objective:** To investigate the predictive value of different parameters concerned with improving emergency revascularization acquired by cardiac magnetic resonance (CMR), including feature tracking (FTI) first pass perfusion imaging (PFI) and delayed gadolinium enhancement (LGE) in patients with ST segment elevation myocardial infarction (STEMI). **Methods:** A total of 58 patients with STEMI underwent primary percutaneous coronary intervention (PCI) from January 2018 to January 2020, with left ventricular ejection fraction (LVEF) less than 40% tested by transthoracic echocardiography (TTE) immediately after PCI, were consecutively enrolled in this study. CMR was performed 3-5 days after successful revascularization. We used SSFP cine sequence, T2W STIR-FSE sequence and LGE sequence to acquire FTI, PFI and LGE images, respectively. The global systolic peak circumferential strain (GCS), longitudinal strain (GLS) and myocardial salvage index (MSI) were calculated by post-processing analysis software. After 12-month follow-up, TTE was reexamined.

基金项目:上海市卫生健康委员会(201740064)

作者单位:200040 复旦大学附属上海市第五人民医院心内科

通信作者:徐迎佳,E-mail:xuyingjia@5thhospital.com

**Results:** After 12-month follow-up, 27 patients (47%) showed improvement in cardiac function (LVEF increase  $\geq 5\%$ ). The cut-off value of GCS was  $-19.1\%$  for evaluating the improvement of cardiac function (AUC = 0.86, 95%CI 0.71-0.92,  $P < 0.001$ ). The sensitivity and specificity of GCS were 76% and 85%, which were better than GLS ( $\Delta\text{AUC} = 0.14$ ,  $P = 0.01$ ). The cut-off value of MSI was 61.5%. The sensitivity and specificity of MSI were 85% and 91% respectively, which were better than GCS ( $\Delta\text{AUC} = 0.07$ ,  $P < 0.05$ ). Multiple regression analysis showed that GCS and MSI were independent predictors of cardiac function recovery (HR = 1.5, 95%CI 1.0-1.9; HR = 1.4, 95%CI 1.1-1.7, both  $P < 0.05$ ). **Conclusions:** GCS derived from FTI can predict cardiac function recovery in STEMI patients after PCI without additional gadolinium injection, but MSI is the most effective parameter.

**【Key words】** Acute myocardial infarction; Percutaneous coronary intervention; Cardiac magnetic resonance; Cardiac function recovery

心脏磁共振(CMR)具有高空间分辨率、高软组织对比度、无辐射、造影剂安全、能直接三维成像和“一站式”(同时提供血管解剖、心肌局部和整体功能信息)等优势,已成为评价心肌梗死后心肌纤维化和存活心肌的首选无创检查之一。CMR 可采用静息、负荷心肌显像评价缺血,动态电影评价心室结构和功能,延迟钆增强(LGE)评估心肌疤痕。有研究发现, LGE-CMR 对主要心血管不良事件(MACE)发生有较高的预测价值,为评估预后提供危险分层信息<sup>[1]</sup>。然而,对于心肌梗死透壁程度在 25%~50%的节段,恢复的可能约为 50%,对于这部分患者,结合其他整体或局部的心肌活性评价指标就显得非常重要。本研究运用 CMR 的特征追踪技术(FTI)、首过灌注成像技术(PFI)、LGE 获得的不同参数评估其对初发 ST 段抬高型心肌梗死(STEMI)患者行急诊经皮冠状动脉介入术(PCI)后心功能改善的预测价值。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

选择 2018 年 1 月至 2020 年 1 月行急诊 PCI 的 STEMI、术后即刻超声心动图提示左室射血分数(LVEF)  $\leq 40\%$  的患者 58 例。本研究符合医学伦理学规范并获得上海市第五人民医院医学伦理委员会批准,所有入选者均自愿参与并签署知情同意书。

入选标准:(1)年龄  $\geq 18$  岁;(2)首次发生 STEMI;(3)出现症状后 12 h 内行 PCI 治疗;(4)LVEF  $\leq 40\%$ 。排除标准:(1)既往发生急性心肌梗死(AMI);(2)心肌病;(3)有幽闭恐惧症、脑血管夹植入术后、人工金属瓣膜置换术后、起搏器或除颤仪植入术后、钆螯合物造影剂过敏等检查禁忌证;(4)2 d 内接受过 CMR 检查;(5)血流动力学不稳定;(6)肾功能不全,肾小球滤过率(GFR)  $<$

30 mL/(min  $\cdot$  1.73 m<sup>2</sup>)。

### 1.2 方法

所有患者均于 PCI 后 3~5 d 行 CMR 检查。于术后第 12 个月复查超声心动图。

1.2.1 CMR 检查 使用 3.0T MRI 扫描装置(Verio,德国西门子),分别采用带自由呼吸运动校正(FB-MOCO)的单次激发双反转稳态自由进动(IR-SSFP)序列或心电门控的分段采集相位敏感反转恢复快速小角度激发(PSIR-FLASH)序列,完成覆盖全心的电影成像扫描。所有序列均取 10 mm 层厚,使不同图像类型之间的差异最小化。心肌标记 CMR 成像使用补偿空间磁化调制(CSPAMM)脉冲序列,T2 加权(T2W)CMR 采用黑血短时间反转恢复-快速自旋回波 T2 加权(T2W STIR-FSE)序列。此后以 0.15 mmol/kg 剂量注射钆螯合物造影剂(马根维显,德国拜耳)。15 min 后获取短轴切面影像、LGE 图像。

1.2.2 基本定义和参数 心肌延迟增强分为致密型和弥散型,前者表现为局部高强度(SI)/高密度信号,后者为边界不清的灰色 SI/密度。正常心肌组织定义为无明显延迟增强的心肌区域。以 17 节段法区分室壁节段并定位延迟增强所在区域。

延迟增强程度的定量分析以半自动描记增强区域面积为基础,并以 Simpson's 法计算得出。延迟增强程度计算公式:梗死容量(mL) =  $\sum$ 增强面积  $\times$  层厚;梗死质量(g) =  $\sum$ 增强面积  $\times$  层厚  $\times 1.06$ ;梗死程度 = 梗死质量(g)/左室质量(g)  $\times 100\%$ 。

电影序列成像后进行左室功能测定,具体参数包括左室舒张末期容积指数(LVEDVi)、左室收缩末期容积指数(LVESVi)、LVEF 和左室心肌质量(LVMM)。

1.2.3 CMR 图像后处理 应用 CVI42 软件半自动定量分析 CMR 测量参数。(1)存活心肌/心肌纤

维化程度:梗死程度(MIS)、缺血危险区面积(AAR)、心肌挽救指数(MSI)。(2)左室整体功能参数:左室整体环向应变(GCS)、整体纵向应变(GLS)。同时,由另一位经验丰富的影像学专家核对CMR测量数据。

1.2.4 观察指标 临床观察指标包括发病至球囊扩张时间(SO-to-B)、进门至球囊扩张时间(D-to-B)、PCI术后即刻心肌梗死溶栓治疗(TIMI)血流分级、N末端脑钠肽前体(NT-proBNP)。

PCI术后根据指南给予相应药物治疗,并于术后12个月门诊随访,评估临床症状、用药情况、纽约心脏病协会(NYHA)心功能分级,复查超声心动图再次评价左室整体收缩功能。

1.3 统计学分析

采用统计学软件 SPSS 20.0 对所得数据进行统计学分析,计量资料以均数±标准差表示,组间比较采用 *t* 检验;如方差不齐或不满足正态分布的计量资料以中位数(M)和下、上四分位数(Q1,Q3)表示,组间比较采用非参数检验。计数资料以百分率表示,组间比较采用卡方检验或 Fisher 精确概率检验。采用 Spearman 线性回归分析比较各参数的相关性。采用受试者特征曲线(ROC 曲线)分析确定心肌应变和定量 LGE 预测左室整体改善的敏感性、特异性和曲线下面积。进行单变量和多变量 logistic 回归分析,计算危险比(HR)和 95% 置信区间(CI)。在所有分析中,以双侧检验值 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般临床情况

58 例 STEMI 患者的平均年龄为(56±12)岁,其中男性 41 例,女性 17 例。14 例(24%)合并 2 型糖尿病,基础 LVEF 为(35±5)%,基线 NT-proBNP 为 5 179(2 328,10 388)ng/L。急诊 PCI 术中,54 例(93%)患者达到了 TIMI 血流 3 级,SO-to-B 为

(8.9±3.1)h,D-to-B 为(83±6)min,47 例(81%)的犯罪血管是左前降支(LAD)。

多数患者住院期间和出院后给予β受体阻滞剂、血管紧张素转化酶抑制剂(ACEI)或血管紧张素Ⅱ受体拮抗剂(ARB)。平均随访(11±2)个月后,27 例(47%)患者心功能改善(LVEF 增加≥5%)。

2.2 CMR 对左室整体功能、局部梗死程度的评价

PCI 术后 3~5 d CMR 测得的 GLS 为-(17.2±4.9)%,GCS 为-(22.9±5.3)%,LVEF 为(35±7)%。CMR 测量的具体 LVEDVi 为(105±32)mL/m<sup>2</sup>、LVESVi 为(68±30)mL/m<sup>2</sup>、LVMM 为(151±50)g 和 LVEF 为(35±7)%。

CMR 定量分析 MIS 为 18.8%(2.0%~34.0%),AAR 为 31.6%(18.2%~34.0%),换算获得心肌活性参数 MSI 为 40%(0~89.0%)。

2.3 CMR 测量的应变参数、MIS、NT-proBNP、LVEF 的相关性

GCS 与 MIS、随访的 LVEF 均相关(*r*=0.75,95%CI:0.62~0.82 和 *r*=-0.71,95%CI:-0.80~-0.57,*P*均<0.001)。GLS 也与 MIS、随访的 LVEF 相关(*r*=0.44,95%CI:0.23~0.60 和 *r*=-0.47,95%CI:-0.65~-0.27,*P*均<0.001)。GCS 与 MIS(*P*=0.004)、随访 LVEF(*P*=0.03)的相关性高于 GLS。此外,MIS 与基线 NT-proBNP、随访的 LVEF 均显著相关(*r*=0.67,95%CI:0.52~0.78 和 *r*=-0.71,95%CI:-0.81~-0.62,*P*均<0.001)。

2.4 预测左室整体功能改善

判断患者心功能改善,GCS 的临界值为-19.1%,其敏感性为 76%、特异性 85%(AUC=0.86,95%CI:0.71~0.92,*P*<0.001),优于 GLS(ΔAUC=0.14,*P*=0.01)。而 MSI 的临界值为 61.5%,其敏感性为 85%、特异性为 91%,优于 GCS(ΔAUC=0.07,*P*<0.05),见表 1。

表 1 MSI、GLS 和 GSC 预测 LVEF 改善的敏感性、特异性和预测值

	截断值/%	敏感性/%	特异性/%	阳性预测值/%	阴性预测值/%	曲线下面积
MSI	61.5	85	91	89	87	0.93
GCS	-19.1	76	85	67	90	0.86
GLS	-12.6	50	91	67	83	0.72

2.5 影响 LVEF 改善的危险因素分析

将单因素分析有统计学意义的自变量和年龄、性别纳入 LVEF 改善的多因素分析,结果显示,经年龄、基础 LVEF 校正后,GCS 和 MSI 仍是预测心功能改

善的独立影响因素(HR=1.5,95%CI:1.0~1.9 和 HR=1.4,95%CI:1.1~1.7,*P*均<0.05)。

3 讨论

AMI 后可引起 3 种心肌病理改变,包括心肌坏

死、心肌顿抑、心肌冬眠。心肌坏死是不可逆的心肌损害,可造成心肌纤维化,是临床不良事件发生的重要预测因素<sup>[2]</sup>。冬眠和顿抑心肌属于存活心肌,存活心肌如果能及时再血管化可有效改善局部和整体左室收缩功能,逆转重构<sup>[3]</sup>,并减少 AMI 后复合终点事件、心力衰竭和不稳定心绞痛的发生<sup>[4]</sup>。如果 AMI 患者没有或仅有很少的存活心肌,那么与药物治疗相比,血运重建术无法带来更多的临床获益<sup>[3]</sup>。CMR 最大的优势就是能够敏感地鉴别出即使是少量( $<1\text{ g}$ )的心肌坏死组织。延迟显像中持续存在的造影剂能够鉴别坏死心肌组织,由于心肌坏死区域的钆清除比正常心肌要慢,坏死心肌组织表现为 LGE 阳性。LGE-CMR 不仅能鉴别心肌是否存活,还能半定量或定量判断心肌梗死的程度,从而指导临床治疗。

本研究结合心肌 T2-STIR 序列,除了能评价梗死大小外,还能提供心肌坏死、水肿等信息,进而得出一系列定量分析指标评价心肌活性,包括 AAR、MSI。这些指标在 AMI 的早期有助于鉴别心肌坏死和水肿区域,以免高估坏死区域。本研究结果显示 MSI 对预测 STEMI 患者再血管化后 LVEF 的恢复有理想的阳性和阴性预测价值,并且在校正年龄、糖尿病、基础 LVEF 后仍是心功能恢复的独立预测因素。大型多中心 PROTECTION-AMI 研究的 CMR 亚组分析结果指出<sup>[5]</sup>,MSI 与 90 d 后 LVEF 相关,但该研究也指出 MSI 不是独立预测因素。然而,该研究入选患者的基线 LVEF 为  $46\% \sim 63\%$ ,且患者的微血管阻塞(MVO)比例较同类研究偏低,病情相对较轻,随访时间仅 90 d,再血管化后心肌重构恢复的过程并不充分。另外,该研究发表时 T2 技术才起步,对于新型 MSI 指标的判读准确性、一致性不理想。随着半自动化定量分析软件的发展,近期一项荟萃分析结果显示,MSI 每增加  $1\%$  可减少 STEMI 患者主要心血管不良事件的发生率  $1.7\%$ <sup>[6]</sup>。

本研究结果显示 MIS 与基线 NT-proBNP 呈正相关,而与随访 LVEF 值呈负相关,表明 MIS 能准确预测冠状动脉再血管化后心肌功能恢复的程度。Kim 等<sup>[7]</sup>也指出,随着 LGE 透壁程度的增加,血运重建术后,局部心肌收缩能力恢复的可能性逐步降低。对于 LGE 透壁程度  $\leq 25\%$  的心肌节段,约  $80\%$  能恢复收缩功能,而透壁  $> 50\%$  的节段中仅有  $10\%$  能恢复。虽然 MIS 不是预测 LVEF 恢复的独立影响因素,但左室局部功能和整体功能不能完全

割裂,随着 MIS 的增加,左室整体心功能变差。

由于 CMR 扫描过程中需要使用钆螯合物造影剂,有可能引起过敏,且对患者肾功能有一定要求,增强扫描增加了检查费用,延长了检查时间。随着 CMR 图像处理技术的发展,无需造影剂的左室应变技术显示出了很好的临床应用价值。本研究结果证实,GLS、GCS 与 MIS、随访的 LVEF 均相关,但 GCS 与两者的相关性更好,且是预测心功能恢复的独立影响因素,有较理想的阳性和阴性预测价值,在 STEMI 患者 PCI 术后预测心功能恢复方面有较高的临床应用价值。早期的 CMR 在心脏形变方面采用 tagging 技术,该技术的时间分辨率很低( $<30$  帧/s),限制了检查的精确性,且对患者检查时的心率、屏气有很高要求。近年来随着 FTI 技术的成熟,越来越多的研究显示整体应变能预测心功能的恢复<sup>[8-9]</sup>,但早期研究中入选的人群基线 LVEF 值多处于临界或正常范围,且多采用 GLS 作为单纯评价指标。本研究与 Khan 等<sup>[10]</sup>的研究结果相似,认为 GCS 较 GLS 在预测心功能恢复方面具有更高的价值,其敏感性和特异性均显著高于 GLS。

目前,临床上测量静息 LVEF、瓣膜功能以及评估左室血栓最常用的方法仍然是超声心动图。本研究结果显示结合电影序列和 T2W 或 T1W 的 LGE-CMR 可用于评估 LVEF、左室应变、MIS、MSI,在评价预后方面显示出了更好的预测价值。本研究的局限性在于样本量较小,随访时间较短,且没有评估 MACE 等终点事件,故尚不足以说明是否需要在 STEMI 患者中进行常规 CMR 检查,以更有效地识别需要强化治疗或干预的 STEMI 患者。

#### 参 考 文 献

- [1] Greenwood JP, Herzog BA, Brown JM, et al. Prognostic value of cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography in suspected coronary heart disease: long-term follow-up of a prospective, diagnostic accuracy cohort study [J]. *Ann Intern Med*, 2016, 165(1):1-9.
- [2] Azevedo CF, Nigri M, Higuchi ML, et al. Prognostic significance of myocardial fibrosis quantification by histopathology and magnetic resonance imaging in patients with severe aortic valve disease[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 56(4):278-287.
- [3] Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R, et al. Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: a meta-analysis[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2002, 39(7):1151-1158.
- [4] Rahimtoola SH, Dilsizian V, Marwick TH, et al. Chronic ischemic left ventricular dysfunction: from pathophysiology to

imaging and its integration into clinical practice[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2008, 1(4):536-555.

[ 5 ] Grover S, Bell G, Lincoff M, et al. Utility of CMR markers of myocardial injury in predicting lv functional recovery: results from PROTECTION AMI CMR sub-study[J]. Heart Lung Circ, 2015, 24(9):891-897.

[ 6 ] Kendziora B, Dewey M. Prognostic value of the myocardial salvage index measured by T2-weighted and T1-weighted late gadolinium enhancement magnetic resonance imaging after ST-segment elevation myocardial infarction; a systematic review and meta-regression analysis[J]. PLoS ONE, 2020, 15(2):e0228736.

[ 7 ] Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction[J]. N Engl J Med, 2000, 343(20): 1445-1453.

[ 8 ] Altiok E, Tiemann S, Becker M, et al. Myocardial deformation imaging by two-dimensional speckle-tracking echocardiography for prediction of global and segmental functional changes after acute myocardial infarction; a comparison with late gadolinium enhancement cardiac magnetic resonance[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2014, 27(3):249-257.

[ 9 ] Mollema SA, Delgado V, Bertini M, et al. Viability assessment with global left ventricular longitudinal strain predicts recovery of left ventricular function after acute myocardial infarction[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2010, 3(1):15-23.

[10] Khan JN, Singh A, Nazir SA, et al. Comparison of cardiovascular magnetic resonance feature tracking and tagging for the assessment of left ventricular systolic strain in acute myocardial infarction[J]. Eur J Radiol, 2015, 84(5): 840-848.

(收稿:2020-10-08 修回:2021-03-15)

(本文编辑:丁媛媛)



(上接第 162 页)

[28] Ordog K, Horvath O, Eros K, et al. Mitochondrial protective effects of PARP-inhibition in hypertension-induced myocardial remodeling and in stressed cardiomyocytes[J]. Life Sci, 2021, 268:118936.

[29] Pang B, Hu C, Wu G, et al. Identification of target genes in hypertension and left ventricular remodeling[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(28):e21195.

(收稿:2020-09-07 修回:2021-03-27)

(本文编辑:程雪艳)