· 论著 ·

心肌超声造影在急性心肌梗死检测中的应用及患者心室功能分析

毛瑞臣[1]　陈超[1]　毛骏[2]　何娇[2]

[1]天津医科大学，天津 300070；[2]南通大学附属医院急诊医学科，南通 226001

通信作者：何娇，Email：hejiao714@tmu.edu.cn

【摘要】 目的 探讨心肌超声造影在急性心肌梗死诊断中的应用价值，并观察不同病情患者心室功能变化。**方法** 采用前瞻性队列研究方法，选择 2021 年 1 月至 2022 年 5 月南通大学附属医院收治的 100 例疑似急性心肌梗死并接受经皮冠状动脉介入治疗（PCI）的患者作为研究对象。所有患者均在 PCI 术前接受常规超声和心肌超声造影检查，并于术后 48 h 和术后 3 个月采用常规超声进行随访。以冠状动脉造影为“金标准”，分析两种超声检查方案对急性心肌梗死的检出情况及诊断效能；通过心肌超声造影检查评估患者心肌灌注情况〔心肌梗死溶栓治疗血流分级（TIMI）〕，观察不同心肌灌注情况患者的心室功能〔左室舒张期末内径（LVEDD）、左室舒张期末后壁厚度（LVPWd）、左室射血分数（LVEF）、二尖瓣口舒张早期血流峰（E）、二尖瓣口舒张晚期血流峰（A）、E/A 比值、二尖瓣环舒张早期心肌运动速度（e'）〕。**结果** 100 例疑似急性心肌梗死并接受 PCI 治疗患者超声检查结果均纳入分析。所有患者 PCI 术前心室功能基线数据 LVEDD、LVPWD、LVEF 组间均衡可比。以冠状动脉造影为“金标准”，常规超声对急性心肌梗死的检出率为 92%（82/89），心肌超声造影的检出率为 99%（88/89）。诊断效能分析显示，心肌超声造影诊断急性心肌梗死的敏感度、特异度、准确率均高于常规超声〔敏感度：97.8%（87/89）比 84.3%（75/89），特异度：90.9%（10/11）比 36.4%（4/11），准确率：97.0%（97/100）比 79.0%（79/100），均 $P<0.05$〕。89 例确诊急性心肌梗死患者中，灌注良好 61 例，灌注减弱 24 例，无灌注 4 例。3 组患者 PCI 术后 48 h 和术后 3 个月 LVEDD、LVPWd 及术前 E、A 差异均无统计学意义（均 $P>0.05$）；血流灌注良好患者 PCI 术后 48 h 和术后 3 个月 LVEF 及术前 E/A 比值、e' 均高于灌注减弱与无灌注患者〔LVEF：术后 48 h 为 0.53±0.04 比 0.46±0.04、0.40±0.06，术后 3 个月为 0.58±0.06 比 0.51±0.05、0.43±0.07；术前 E/A 比值：0.89±0.11 比 0.78±0.03、0.74±0.05，术前 e'（cm/s）：6.35±0.92 比 6.12±0.74、5.22±0.82；均 $P<0.05$〕。**结论** 针对疑似急性心肌梗死患者，PCI 术前心肌超声造影的诊断效能显著优于常规超声；通过心肌超声造影检查评估患者心肌灌注状态，能够反映患者左室功能。

【关键词】 心肌超声造影；急性心肌梗死；心室功能；血流储备；心肌灌注；心室后壁厚度

DOI：10.3760/cma.j.cn121430-20260409-00171

Application of myocardial echocardiography in the detection of acute myocardial infarction and analysis of ventricular function in patients

Mao Ruichen[1], Chen Chao[1], Mao Jun[2], He Jiao[2]

[1]Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China; [2]Department of Emergency Medicine, Affiliated Hospital of Nantong University, Nantong 226001, China

Corresponding author: He Jiao, Email: hejiao714@tmu.edu.cn

【Abstract】 Objective To investigate the value of myocardial echocardiography in the diagnosis of acute myocardial infarction, and to observe the changes in ventricular function across different patient conditions. **Methods** A prospective cohort study was conducted. A total of 100 patients with suspected acute myocardial infarction who underwent percutaneous coronary intervention (PCI) and were admitted to Affiliated Hospital of Nantong University from January 2021 to May 2022 were selected as the study cohort. All patients underwent routine echocardiography and myocardial echocardiography before PCI, and were followed up with routine echocardiography 48 hours and 3 months after PCI. Using coronary angiography as the "gold standard", the detection rates and diagnostic accuracy of two ultrasound examination schemes for acute myocardial infarction were analyzed. Myocardial perfusion [thrombolysis in myocardial infarction, TIMI) flow grade] was assessed through myocardial echocardiography, and the ventricular function [left ventricular end diastolic diameter (LVEDD), left ventricular posterior wall thickness at end diastole (LVPWd), left ventricular ejection fraction (LVEF), mitral valve early diastolic flow peak (E), mitral valve late diastolic flow peak (A), E/A ratio, mitral annular early diastolic myocardial motion velocity (e')] was observed among the patients with different myocardial perfusion conditions. **Results** The ultrasound examination results of 100 patients suspected of having acute myocardial infarction and undergoing PCI were all included in the analysis. The baseline data of ventricular function before PCI, including LVEDD, LVPWD, and LVEF, were comparable among the groups. Using coronary angiography as the "gold standard", the detection rate of acute myocardial infarction by conventional ultrasound was 92% (82/89), while the detection rate by myocardial echocardiography was 99% (88/89). Diagnostic performance

analysis showed that the sensitivity, specificity, and accuracy of myocardial echocardiography in diagnosing acute myocardial infarction were higher than those of conventional ultrasound [sensitivity: 97.8% (87/89) vs. 84.3% (75/89), specificity: 90.9% (10/11) vs. 36.4% (4/11), accuracy: 97.0% (97/100) vs. 79.0% (79/100), all P<0.05]. Among the 89 patients with confirmed acute myocardial infarction, 61 had good perfusion, 24 had reduced perfusion, and 4 had no perfusion. No statistically significant differences were observed in LVEDD or LVPWD at 48 hours and 3 months after PCI, or E or A before PCI among the three groups (all P>0.05). However, the well-perfused patients exhibited higher LVEF at 48 hours and 3 months after PCI, and E/A ratio and e' values before PCI compared with the reduced-perfusion and non-perfused patients [LVEF: 0.53±0.04 vs. 0.46±0.04, 0.40±0.06 at 48 hours after PCI, 0.58±0.06 vs. 0.51±0.05, 0.43±0.07 at 3 months after PCI; E/A ratio before PCI: 0.89±0.11 vs. 0.78±0.03, 0.74±0.05; e' before PCI (cm/s): 6.35±0.92 vs. 6.12±0.74, 5.22±0.82; all P<0.05]. **Conclusions** In patients with suspected acute myocardial infarction patients, myocardial echocardiography before PCI demonstrates significantly superior diagnostic efficacy compared with conventional ultrasound. Evaluating the myocardial perfusion status of patients through myocardial echocardiography can reflect their left ventricular function.

【Key words】 Myocardial echocardiography; Acute myocardial infarction; Ventricular function; Blood flow reserve; Myocardial perfusion; Posterior ventricular wall thickness

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20260409-00171

急性心肌梗死是心血管系统高发危重疾病。国内流行病学数据显示，成人急性心肌梗死年发病率为（50～70）/10 万，住院期间病死率为 4%～8%，具有高患病率、高致残率、高病死率的特点，严重威胁居民生命健康与生活质量[1]。临床治疗急性心肌梗死大多以经皮冠状动脉介入治疗（percutaneous coronary intervention，PCI）为主，通过治疗可以减轻左心室重构，提高患者存活率，以达到改善远期预后的目的；但急性心肌梗死患者病情严重，即使进行 PCI，术后依旧可能存在急性灌注缺损的情况，从而影响整体预后。因此，需要在 PCI 前后加强对疾病的诊断及评估，旨在优化治疗方案，并在术后及时采取合理方案干预[2]。

心肌超声造影作为一种无创性的检查手段，在评估心肌灌注和微循环方面具有独特的优势，且具有无放射性损伤、操作简便的特点，通过将体积小于红细胞的微气泡输入患者体内，以观察心肌灌注及微循环情况，为临床评估患者预后提供参考。为深入分析心肌超声造影的应用价值，选择南通大学附属医院收治的 100 例疑似急性心肌梗死患者作为研究对象开展研究，报告如下。

1　资料与方法

1.1　研究对象：本研究采用前瞻性队列研究方法，已通过南通大学附属医院伦理委员会审批（审批号：2021-K042-11），所有受试者均签署知情同意书。选择 2021 年 1 月至 2022 年 5 月南通大学附属医院收治的疑似急性心肌梗死并接受 PCI 治疗的患者作为研究对象。

1.1.1　纳入标准：① 临床高度疑似急性心肌梗死；② 发病至入院时间＜12 h；③ 入院后顺利完成 PCI 治疗；④ 精神状态、认知功能正常，可配合完成全程影像学检查；⑤ 临床病历、检查资料完整；⑥ 自愿参与本研究，并签署书面知情同意书。

1.1.2　排除标准：① 胸壁透声条件极差，无法完成图像采集与数据分析；② 确诊为陈旧性心肌梗死、重度心脏瓣膜病、先天性心脏病及严重心律失常；③ 合并严重肝肾功能衰竭等全身性重大疾病；④ PCI 术后冠状动脉远端血流未达到心肌梗死溶栓治疗（thrombolysis in myocardial infarction，TIMI）血流分级 3 级；⑤ 随访失联，数据缺失；⑥ 患者主动要求退出研究。

1.2　检查方案：所有纳入患者在 PCI 术前、术后 48 h 及术后 3 个月进行超声评估。其中，心肌超声造影仅获取术前基线数据，术后 48 h 和术后 3 个月仅开展常规超声检查。

1.2.1　常规超声检查：采用二维经胸心脏超声，主要观察心脏房室大小、室壁厚度、室壁运动、左室整体收缩功能、二尖瓣血流频谱等指标，所有检查步骤严格遵循心脏超声操作规范执行。

1.2.2　心肌超声造影检查：选择 Philips EPIQ 7C 彩色多普勒超声诊断仪，S5-1 探头后设置频率为 1.0～5.0 MHz，配有心肌声学及 2DS 显像程序软件，并安装 Qlab 10.5 工作站。检查时，协助患者选择左侧卧位，平静呼吸后连接同步导联心电图，扫描各个心室变化情况，存储数据后脱机。心肌超声造影检查前指导患者签署知情同意书，随后建立静脉通道，用生理盐水对六氟化硫进行稀释（5 mL），设置机器为造影检查模式，激活极低机械指数，进行心肌造影，并以 1.0 mL/s 的速度匀速推注 2.0～3.5 mL 增强剂，再以同等速度推注 5 mL 生理盐水后进行扫描，扫描结

束后存储数据并脱机。

采用视觉目测法半定量评估室壁心肌灌注状态（TIMI 血流分级）[3]：1 级为灌注良好且对比剂分布均匀；2 级为灌注减弱且延迟，对比剂分布不均匀；3 级为无灌注。由 2 名具有 5 年以上心脏超声工作经验的医师采用双盲法独立判读图像，结果不一致时两人共同复核判定，同时结合 Qlab 10.5 工作站进行辅助定量分析，以降低人为判读主观性。

1.3　观察指标及方法

1.3.1　急性心肌梗死检出情况：以冠状动脉造影为“金标准”，分析不同超声检查方案对急性心肌梗死的阳性、阴性检出情况，并计算阳性检出率（检出阳性病例数 /“金标准”阳性病例数 ×100%）。

1.3.2　急性心肌梗死诊断效能：计算不同超声检查方案诊断急性心肌梗死的敏感度、特异度、准确率。敏感度＝真阳性 /（真阳性＋假阴性）×100%，特异度＝真阴性 /（假阳性＋真阴性）×100%，准确率＝（真阳性＋真阴性）/ 总例数 ×100%。真阳性定义为“金标准”确诊为阳性（存在目标病变），超声检查结果也判定为阳性；假阳性定义为“金标准”确定为阴性（无目标病变），超声检查结果判定为阳性；真阴性定义为“金标准”确定为阴性，超声检查结果判定为阴性；假阴性定义为“金标准”确诊为阳性，超声检查结果判定为阴性。

1.3.3　心室功能：分析不同心肌灌注患者心室功能。心室功能指标：① 左室整体形态与收缩功能指标：左室舒张期末内径（left ventricular end diastolic diameter，LVEDD）、左室舒张期末后壁厚度（left ventricular posterior wall thickness at end diastole，LVPWd）、左室射血分数（left ventricular ejection fraction，LVEF）；② 左室舒张功能指标：二尖瓣口舒张早期血流峰（mitral valve early diastolic flow peak，E）、二尖瓣口舒张晚期血流峰（mitral valve late diastolic flow peak，A）、E/A 比值、二尖瓣环舒张早期心肌运动速度（e'）。

1.4　统计学方法：应用 SPSS 23.0 统计学软件进行数据分析。计量资料均符合正态分布，以均数 ± 标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，多组间比较采用单因素方差分析，两组间比较采用独立样本 t 检验；计数资料以例数（百分比）表示，组间比较采用 χ^2 检验。以冠状动脉造影为“金标准”，计算常规超声与心肌超声造影诊断急性心肌梗死的敏感度、特异度、准确率等效能指标。单侧检验水准 $\alpha=0.05$。

2　结　果

2.1　一般资料：最终纳入 100 例疑似急性心肌梗死并接受 PCI 治疗患者，其中男性 54 例，女性 46 例；年龄 54～62 岁 52 例，63～72 岁 48 例；基础疾病：糖尿病 32 例，高血压 35 例，高血脂 12 例，冠心病 68 例；所有患者均接受常规超声和心肌超声造影检查，LVEDD 为（48.45±3.38）mm，LVPWd 为（8.13±1.42）mm，LVEF 为 0.51±0.08。采用基线匹配方式，排除 PCI 术前心功能差异对术后观察指标的干扰，所有患者术前心室功能基线数据组间均衡可比。

2.2　两种超声检查方案的检出情况对比（表 1）：以冠状动脉造影为“金标准”，常规超声对急性心肌梗死的阳性检出率为 92%（82/89），心肌超声造影的阳性检出率为 99%（88/89）。

表 1　PCI 术前两种超声检查方案对急性心肌梗死的检出情况比较

金标准	例数（例）	常规超声（例）		心肌超声造影（例）	
		阳性	阴性	阳性	阴性
阳性	89	75	14	87	2
阴性	11	7	4	1	10
合计		82	18	88	12

注：PCI 为经皮冠状动脉介入治疗；以冠状动脉造影结果为“金标准”

2.3　两种超声检查方案的诊断效能对比（表 2）：心肌超声造影诊断急性心肌梗死的敏感度、特异度、准确率均高于常规超声（均 $P<0.05$）。

表 2　PCI 术前两种超声检查方案对急性心肌梗死的诊断效能比较〔%（例 / 例）〕

超声检查方案	敏感度	特异度	准确率
常规超声	84.3（75/89）	36.4（4/11）	79.0（79/100）
心肌超声造影	97.8（87/89）	90.9（10/11）	97.0（97/100）
χ^2 值	9.888	9.605	15.341
P 值	0.002	0.002	<0.001

注：PCI 为经皮冠状动脉介入治疗；以冠状动脉造影结果为“金标准”

2.4　不同心肌灌注情况急性心肌梗死患者心室功能比较（表 3～4）：89 例确诊急性心肌梗死患者中，灌注良好 61 例，灌注减弱 24 例，无灌注 4 例。3 组患者 PCI 术后 48 h 和术后 3 个月 LVEDD、LVPWD 及术前 E、A 差异均无统计学意义（均 $P>0.05$）；血流灌注良好患者 PCI 术后 48 h 和术后 3 个月 LVEF 及术前 E/A 比值、e' 均高于灌注减弱和无灌注患者（均 $P<0.05$）。

表 3　PCI 术前不同心肌灌注情况各组急性心肌梗死患者 PCI 术后不同时间点心室收缩功能指标比较（$\bar{x}\pm s$）

灌注情况	例数（例）	LVEDD（mm）		LVPWd（mm）		LVEF	
		术后 48 h	术后 3 个月	术后 48 h	术后 3 个月	术后 48 h	术后 3 个月
灌注良好	61	46.85±5.41	46.26±4.71	8.13±1.11	8.54±1.26	0.53±0.04	0.58±0.06
灌注减弱	24	47.82±4.82	46.64±3.24	8.14±1.81	8.48±1.25	0.46±0.04[a]	0.51±0.05[a]
无灌注	4	48.21±2.62	47.12±4.77	8.35±1.52	8.62±1.72	0.40±0.06[ab]	0.43±0.07[ab]
F 值		0.496	0.353	0.375	0.120	5.949	5.235
P 值		0.622	0.724	0.708	0.904	<0.001	<0.001

注：PCI 为经皮冠状动脉介入治疗，LVEDD 为左室舒张期末内径，LVPWd 为左室舒张期末后壁厚度，LVEF 为左室射血分数；[a] 与灌注良好比较，$P<0.05$；[b] 与灌注减弱比较，$P<0.05$

表 4　PCI 术前不同心肌灌注情况各组急性心肌梗死患者术前心室舒张功能指标比较（$\bar{x}\pm s$）

心肌灌注情况	例数（例）	E（m/s）	A（m/s）	E/A 比值	e'（cm/s）
灌注良好	61	0.63±0.12	0.71±0.08	0.89±0.11	6.35±0.92
灌注减弱	24	0.62±0.06	0.72±0.12	0.78±0.03[a]	6.12±0.74[a]
无灌注	4	0.61±0.08	0.75±0.12	0.74±0.05[ab]	5.22±0.82[ab]
F 值		0.327	0.654	2.693	2.391
P 值		0.744	0.515	<0.001	0.019

注：PCI 为经皮冠状动脉介入治疗，E 为二尖瓣口舒张早期血流峰，A 为二尖瓣口舒张晚期血流峰，e' 为二尖瓣环舒张早期心肌运动速度；[a] 与灌注良好比较，$P<0.05$；[b] 与灌注减弱比较，$P<0.05$

3　讨　论

急性心肌梗死是临床高发的心血管疾病。已有研究证实，心肌细胞缺血缺氧持续超过 6 h 可出现不可逆坏死；在心肌梗死发病 12 h 内启动再灌注治疗、恢复冠状动脉血流灌注，是挽救濒死心肌的关键时机[4]。PCI 为目前急性心肌梗死的主要治疗方案，但术前需要明确诊断，以避免错失最佳时机[5]；术后需要加强对心肌状态的评估，旨在结合患者实际情况随时调整治疗方案，考虑是 PCI 术后即使冠状动脉造影检查显示冠状动脉大血管无狭窄情况，也仍然有 30% 的患者心肌无法再灌注，若未及时治疗，可能出现血管痉挛、血栓等问题[6]。冠状动脉造影为诊断急性心肌梗死的“金标准”，但实际应用中只能显示心外膜下的冠状动脉，无法对毛细血管水平的心肌灌注情况进行观察；甚至临床上有部分患者冠状动脉严重狭窄却无明显临床症状，而部分冠状动脉造影正常者却出现严重的意外事件，因此需要采取合理方案对心肌内微循环的灌注情况进行观察[7]。单光子发射计算机断层显像（single photon emission computed tomography，SPECT）可正确评估心肌灌注量，从而反映心肌组织代谢情况，是判断心肌状态的重要方法，但因该方案价格昂贵且存在放射性，导致其临床应用受到限制[8]。心肌超声造影检查可利用直径小于红细胞的微气泡通过毛细血管时产生的超声散射效应来显示心肌灌注情况。随着相关理论及显影技术的发展，近年来心肌超声检查成像质量升高，并逐渐被应用于临床[9-11]。

本研究显示，以冠状动脉造影为“金标准”，心肌超声造影对急性心肌梗死的检出率及诊断敏感度、特异度、准确率均显著优于常规超声。心肌超声造影借助微气泡造影剂可直观显示心肌毛细血管灌注状态，弥补了常规超声仅能观察心脏大体结构、室壁运动的不足，对 PCI 术后隐匿性心肌灌注缺损的检出能力更强[12-15]。同时本研究显示，不同心肌灌注情况患者 PCI 术后 48 h 和术后 3 个月 LVEDD、LVPWD 及术前 E、A 差异均无统计学意义，但 PCI 术后 48 h 和术后 3 个月 LVEF 及术前 E/A 比值、e' 差异均存在统计学意义，提示心肌灌注受损会直接造成患者左室收缩、舒张功能下降。结合本研究基线匹配设计，可以排除术前心功能干扰，证实 PCI 术后心肌灌注状态是影响患者远期心室功能恢复的核心因素[16-19]。近年来，多项研究同样证实心肌超声造影在心肌梗死患者微循环评估方面存在优势[20-23]，本研究诊断效能数据与上述研究结论基本一致，同时补充了不同心肌灌注患者心室功能变化的数据，丰富了现有的临床证据。PCI 可疏通心外膜冠状动脉大血管，但无法完全改善部分患者心肌微循环障碍，而心肌超声造影可实时、无创监测微循环与心功能变化，为临床早期干预、调整治疗方案提供依据。与 SPECT 等检查相比，心肌超声造影无放射性、操作便捷，更适用于急性心肌梗死 PCI 术后患者的反复随访评估。

本研究存在如下局限性：第一，本研究为单中心小样本研究，仅纳入 100 例 PCI 术后患者，样本代表性有限，研究结论外推存在偏倚；第二，心肌灌注采用视觉半定量分级，存在一定主观判读误差；第三，随访仅至术后 3 个月，缺乏长期不良心血管事件随访数据；第四，未纳入重度肾衰竭、晚期慢性阻塞

性肺疾病等复杂重症共病人群，无法完全覆盖全部急性心肌梗死患者。上述局限可能影响诊断效能评估结果，后续需开展多中心、大样本、长期随访研究进一步验证结论。

综上所述，心肌超声造影在诊断急性心肌梗死、评价 PCI 术后心室收缩及微循环方面具有重要作用。作为一种无创性的检查手段，心肌超声造影能够为医生提供准确、全面的信息，帮助制定最佳治疗方案。未来研究应进一步探讨心肌超声造影与其他心血管疾病诊断和治疗的关系，以及其在指导临床实践中的应用价值。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　毛瑞臣：酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、起草文章；陈超：实施研究、采集数据、分析 / 解释数据、统计分析；毛骏：酝酿和设计实验、对文章的知识性内容作批评性审阅、统计分析、指导、支持性贡献；何娇：酝酿和设计实验，实施研究，采集数据，分析 / 解释数据，起草文章，对文章的知识性内容作批评性审阅，统计分析，获取研究经费，行政、技术或材料支持，指导

参考文献

［1］焦晓芳，刘楠楠，周微微，等 . 实时心肌超声造影结合二维应变评价急性心肌梗死介入术后心肌灌注与收缩功能 [J]. 临床军医杂志，2023, 51(12): 1227–1230, 1236. DOI: 10.16680/j.1671–3826.2023.12.05.

［2］严广东，李彪，陈希伟，等 . 血管内超声与冠状动脉造影指导的经皮冠状动脉介入治疗急性心肌梗死有效性和安全性的 Meta 分析 [J]. 心肺血管病杂志，2023, 42(8): 850–858. DOI: 10.3969/j.issn.1007–5062.2023.08.016.

［3］国家放射与治疗临床医学研究中心胸痛中心专家委员会，苏州工业园区东方华夏心血管健康研究院 . 急性 ST 段抬高型心肌梗死经皮冠状动脉介入治疗术中冠状动脉内溶栓专家共识（2025）[J/OL]. 中华心血管病杂志（网络版），2025, 8(1): 1–20. http://dx.chinadoi.cn/10.3760/cma.j.cn116031.2025.1000189. DOI: 10.3760/cma.j.cn116031.2025.1000189.

［4］刘子琴，钟昕，胡勇军，等 . 心脏超声造影测量肺渡越时间评估急性 ST 段抬高型心肌梗死患者 PCI 术后心功能不全的价值 [J]. 中华超声影像学杂志，2025, 34(8): 670–677. DOI: 10.3760/cma.j.cn131148–20250324–00157.

［5］周世源，李明奇，郑赛，等 . 心肌声学造影对 ST 段抬高型心肌梗死患者经皮冠状动脉介入术后左心室功能恢复的预测价值 [J]. 中国临床医学影像杂志，2025, 36(9): 653–657, 662. DOI: 10.12117/jccmi.2025.09.011.

［6］周飞鸥，孙金栋，潘虹，等 . 超声造影联合心肌应变测值评估兔子急性心肌梗死 [J]. 心脑血管病防治，2022, 22(6): 14–18. DOI: 10.3969/j.issn.1009–816x.2022.06.004.

［7］毛泽华 . 心肌超声造影对急性心肌梗死患者左心室收缩功能恢复、心肌微循环中的价值 [J]. 心血管病防治知识，2022, 12(29): 29–31. DOI: 10.3969/j.issn.1672–3015(x).2022.29.008.

［8］孙若西，方纬，汪蕾 . 核素心肌血流定量新技术的研究和临床应用进展 [J]. 心血管病学进展，2023, 44(1): 3–6, 15. DOI: 10.16806/j.cnki.issn.1004–3934.2023.01.002.

［9］邱银汝，何祥发，王茹，等 . 实时心肌超声造影与心脏磁共振成像心肌灌注延迟显像评价急性心肌梗死微循环的对比分析 [J]. 岭南心血管病杂志，2021, 27(4): 433–438. DOI: 10.3969/j.issn.1007–9688.2021.04.10.

［10］王飞，张健瑜，杨亚娟，等 . 心肌超声造影联合三维斑点追踪技术在急性心肌梗死患者经皮冠状动脉介入术后左心室收缩功能恢复的预测研究 [J]. 现代医用影像学，2021, 30(8): 1574–1577, 1584.

［11］曹肖楠 . 实时心肌超声造影技术 + 四维应变成像检查在冠状动脉粥样硬化性心脏病患者左心室各节段心肌运动功能评估中的应用价值 [J]. 中国药物与临床，2021, 21(8): 1297–1299. DOI: 10.11655/zgywylc2021.08.011.

［12］张慧，上官海娟，汪敏 . 急性心肌梗死后冠状动脉微循环障碍发生机制与评估手段的研究进展 [J]. 华西医学，2025, 40(8): 1327–1332.

［13］Capdeville S, Gholson BA, Lindner JR. Contrast echocardiography for assessing myocardial perfusion[J]. Curr Cardiol Rep, 2023, 25(11): 1581–1587. DOI: 10.1007/s11886–023–01970–y.

［14］Moschovidis V, Papadopoulou SL, Gogos C, et al. Usefulness of contrast echocardiography for detection of left ventricular thrombus in a real–world population with acute anterior myocardial infarction[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2023, 24(Suppl1): i608. DOI: 10.1093/ehjci/jead119.380.

［15］刘雅婷，谷新顺，张芳，等 . 前壁急性 ST 段抬高型心肌梗死患者直接经皮冠状动脉介入术后主要不良心血管事件发生的影响因素 [J]. 中华实用诊断与治疗杂志，2020, 34(5): 505–508. DOI: 10.13507/j.issn.1674–3474.2020.05.022.

［16］Han CH, Song Y, Lim HS, et al. Automated detection of acute myocardial infarction using asynchronous electrocardiogram signals–preview of implementing artificial intelligence with multichannel electrocardiographs obtained from smartwatches: retrospective study[J]. J Med Internet Res, 2021, 23(9): e31129. DOI: 10.2196/31129.

［17］Koivisto T, Lahdenoja O, Hurnanen T, et al. Mechanocardiography in the detection of acute st elevation myocardial infarction: the MECHANO–STEMI study[J]. Sensors (Basel), 2022, 22(12): 4384. DOI: 10.3390/s22124384.

［18］Huang JD, Wang JL, Ramsey E, et al. Applying artificial intelligence to wearable sensor data to diagnose and predict cardiovascular disease: a review[J]. Sensors (Basel), 2022, 22(20): 8002. DOI: 10.3390/s22208002.

［19］Wu X, Chen LB, Yang YQ. Myocardial contrast echocardiography predicts major adverse cardiovascular and cerebrovascular events in the population after percutaneous coronary intervention: a systematic review and meta–analysis[J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2025, 15(4): 802–819. DOI: 10.21037/cdt–2024–664.

［20］钟龙和，苏艳芳，张建琴，等 . 心肌声学造影评估急性心肌梗死介入治疗后患者心肌灌注及其对预后的预测价值 [J]. 中华心血管病杂志，2024, 52(10): 1186–1192. DOI: 10.3760/cma.j.cn112148–20231007–00219.

［21］王岚，马玉良，王伟民，等 . 急性心肌梗死血运重建后冠状动脉微循环障碍对患者住院期间急性左心衰竭的预测价值 [J]. 北京大学学报（医学版），2025, 57(2): 267–271. DOI: 10.19723/j.issn.1671–167X.2025.02.007.

［22］Greaves K, Dixon SR, Fejka M, et al. Myocardial contrast echocardiography is superior to other known modalities for assessing myocardial reperfusion after acute myocardial infarction[J]. Heart, 2003, 89(2): 139–144. DOI: 10.1136/heart.89.2.139.

［23］Wang L, Ma YL, Jin WY, et al. Coronary microcirculation dysfunction evaluated by myocardial contrast echocardiography predicts poor prognosis in patients with ST–segment elevation myocardial infarction after percutaneous coronary intervention[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2022, 22(1): 572. DOI: 10.1186/s12872–022–02947–5.

（收稿日期：2026–04–09）
（本文编辑：孙茜）