

本文引用: 马梦慧, 王同, 宿东升, 等. 基于心脏磁共振的 ST 段抬高型心肌梗死后微血管阻塞的预测因素及预后分析[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(3): 211-222. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.03.004.

[文章编号] 1007-3949(2026)34-03-0211-12

· 临床研究 ·

基于心脏磁共振的 ST 段抬高型心肌梗死后微血管阻塞的预测因素及预后分析

马梦慧, 王同, 宿东升, 白杨, 汤建民, 杨雁华

郑州大学第二附属医院心血管内科, 河南省郑州市 450003

[摘要] **[目的]** 基于心脏磁共振(CMR)探究急性 ST 段抬高型心肌梗死(STEMI)患者发生微血管阻塞(MVO)的预测因素以及对患者预后的影响。**[方法]** 前瞻性纳入 2023 年 9 月—2025 年 6 月在心内科接受直接经皮冠状动脉介入治疗(PCI)的急性 STEMI 患者 102 例,分别于术后 1 周及术后 6 个月行心脏磁共振(CMR)检查。根据 CMR 结果是否存在 MVO 征象将患者分为 MVO 组($n=48$)和无 MVO 组($n=54$)。分析两组患者临床特征的差异,采用单因素及多因素 Logistic 回归分析 MVO 发生的独立危险因素,应用 ROC 曲线评估危险因素对 MVO 的预测价值,并进行 CMR 的检查随访,评估 MVO 对左心室重塑的影响。**[结果]** 与无 MVO 组比较,MVO 组入院心率、血小板计数/淋巴细胞计数比值(PLR)、肌酸激酶同工酶(CK-MB)和甘油三酯葡萄糖指数(TyG)等增加,前壁梗死的患者占比高,差异有统计学意义($P<0.05$)。多因素 Logistic 回归分析结果显示,TyG 增加($OR=6.324$, $95\% CI:1.547 \sim 25.854$, $P=0.01$)、PLR 增高($OR=1.037$, $95\% CI:1.018 \sim 1.056$, $P<0.001$)、入院心率增快($OR=1.137$, $95\% CI:1.07 \sim 1.208$, $P<0.001$)、CK-MB 峰值升高($OR=1.01$, $95\% CI:1.004 \sim 1.016$, $P=0.001$)是急性 STEMI 患者直接 PCI 术后发生 MVO 的独立危险因素。ROC 曲线分析结果提示入院心率(灵敏度 0.521,特异度 0.907, $AUC=0.76$)、TyG(灵敏度 0.875,特异度 0.519, $AUC=0.666$)、PLR(灵敏度 0.896,特异度 0.426, $AUC=0.688$)、CK-MB 峰值(灵敏度 0.854,特异度 0.704, $AUC=0.791$)各自对 MVO 发生的预测价值不高,但它们联合预测模型(灵敏度 0.833,特异度 0.852, $AUC=0.901$)对预测 MVO 发生的能力显著提升;经过 6 个月的随访观察,MVO 组左心室不良重塑的发生率明显高于无 MVO 组(42.2% 比 20.4%, $P=0.022$),MVO 组 6 个月后的左心室收缩期末容积指数(LVESVI)及左心室舒张期末容积指数(LVEDVI)明显高于无 MVO 组[LVESVI:51(39~59) mL/m² 比 37(30~45) mL/m², $P<0.001$; LVEDVI:81(72~100) mL/m² 比 70(57~85) mL/m², $P<0.001$]。**[结论]** 本研究基于急性 STEMI 患者的 CMR 参数,识别出 TyG 增加、PLR 增高、CK-MB 峰值升高、入院心率增快为 MVO 的独立危险因素,且联合预测价值更高,出现 MVO 征象的患者发生左心室不良重塑的风险明显增加。

[关键词] ST 段抬高型心肌梗死; 心脏磁共振; 微血管阻塞; 左心室重塑

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

Predictors and prognostic analysis of microvascular obstruction after ST-segment elevation myocardial infarction based on cardiac magnetic resonance

MA Menghui, WANG Tong, SU Dongsheng, BAI Yang, TANG Jianmin, YANG Yanhua

Department of Cardiology, the Second Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450003, China

[ABSTRACT] **Aim** To investigate the predictive factors for microvascular obstruction (MVO) in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI) and its impact on patient prognosis using cardiac magnetic resonance (CMR). **Methods** A total of 102 patients with acute STEMI who underwent primary percutaneous coronary intervention (PCI) in the Department of Cardiology from September 2023 to June 2025 were prospectively enrolled. CMR was performed on the patients at one week and six months after the operation, respectively. The patients were divided into

[收稿日期] 2025-09-05

[修回日期] 2025-12-25

[基金项目] 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20220441)

[作者简介] 马梦慧, 硕士研究生, 研究方向为冠心病、心力衰竭及其相关疾病的研究, E-mail: 17629359325@163.com。通信作者杨雁华, 硕士, 副主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向为冠心病、心力衰竭及其相关疾病的研究, E-mail: buyin13@163.com。

MVO group ($n=48$) and non-MVO group ($n=54$) based on the presence or absence of MVO signs on CMR. Differences in clinical characteristics between the two groups were analyzed, and univariate and multivariate Logistic regression analysis were performed to identify independent risk factors of MVO. ROC curves were used to assess the predictive value of risk factors for MVO, and CMR follow-up examinations were conducted to evaluate the impact of MVO on left ventricular remodeling. **Results** Compared with the non-MVO group, the MVO group had significantly higher admission heart rate, platelet-to-lymphocyte ratio (PLR), creatine kinase-MB (CK-MB), and triglyceride-glucose index (TyG), as well as higher proportion of anterior wall infarction ($P<0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that increased TyG ($OR=6.324$, 95% CI : 1.547 ~ 25.854, $P=0.01$), elevated PLR ($OR=1.037$, 95% CI : 1.018 ~ 1.056, $P<0.001$), higher admission heart rate ($OR=1.137$, 95% CI : 1.07 ~ 1.208, $P<0.001$), and elevated peak level of CK-MB ($OR=1.01$, 95% CI : 1.004 ~ 1.016, $P=0.001$) were independent risk factors for the occurrence of MVO in patients with acute STEMI after primary PCI. The results of ROC curve showed that admission heart rate (sensitivity: 0.521, specificity: 0.907, $AUC=0.76$), TyG (sensitivity: 0.875, specificity: 0.519, $AUC=0.666$), PLR (sensitivity: 0.896, specificity: 0.426, $AUC=0.688$), CK-MB peak (sensitivity: 0.854, specificity: 0.704, $AUC=0.791$) had limited predictive value for MVO. However, their combined prediction model (sensitivity: 0.833, specificity: 0.852, $AUC=0.901$) significantly improved the ability to predict the occurrence of MVO; after 6 months of follow-up observation, the incidence of left ventricular malignant remodeling in the MVO group was significantly higher than in the non-MVO group (42.2% vs. 20.4%, $P=0.022$), and the corresponding left ventricular end-systolic volume index (LVESVI) and left ventricular end-diastolic volume index (LVEDVI) at 6 months were significantly higher in the MVO group than in the non-MVO group (LVESVI: 51(39 ~ 59) mL/m^2 vs. 37(30 ~ 45) mL/m^2 , $P<0.001$; LVEDVI: 81(72 ~ 100) mL/m^2 vs. 70(57 ~ 85) mL/m^2 , $P<0.001$). **Conclusion** Based on CMR parameters in acute STEMI patients, this study identified increased TyG, elevated PLR, higher CK-MB peak level, and accelerated admission heart rate as independent risk factors for MVO; Moreover, their combined predictive value was higher, and patients with MVO signs had a significantly increased risk of developing left ventricular malignant remodeling.

[**KEY WORDS**] ST-segment elevation myocardial infarction; cardiac magnetic resonance; microvascular obstruction; left ventricular remodeling

目前,经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)是急性ST段抬高型心肌梗死(ST-segment elevation myocardial infarction, STEMI)的有效治疗手段,能够及时恢复罪犯血管的血流,限制梗死面积扩大,并延长患者的预期寿命^[1]。但近年来发现,即使心外膜水平实现了再灌注成功,仍有20%~30%的患者持续出现或复发心绞痛症状^[2]。这一现象主要源于梗死动脉再灌注引发的微血管水平超微结构和功能改变,包括炎症因子激活、血小板聚集、血管痉挛、内皮细胞损伤以及局部微栓塞形成,这种微血管病变最终可能导致微血管阻塞(microvascular obstruction, MVO)的发生^[3-4]。已有研究表明,MVO不仅与左心室不良重塑密切相关,也是心力衰竭、恶性心律失常及心血管死亡的重要因素^[5]。尽管Feistritz等^[6-8]的研究揭示了高敏肌钙蛋白T(high-sensitivity troponin T, hs-TnT)、肌酸激酶(creatine kinase, CK)峰值、前壁梗死、术后TIMI血流<3级等与MVO发生密切相关,但术前他汀类药物的使用、入院心率、罪犯血管等对MVO的影响仍有争议,甘油三酯葡萄糖指数(triglyceride-glucose index, TyG)水平升高、全血细胞衍生的炎症

标志物[如全身免疫炎症指数(systemic immunoinflammatory index, SII)、血小板计数/淋巴细胞计数比值(platelet-to-lymphocyte ratio, PLR)、中性粒细胞计数/淋巴细胞计数比值(neutrophil-to-lymphocyte ratio, NLR)等]对于MVO的预测作用文献报道不多。

临床上关于MVO的诊断主要依靠心脏影像学检查,其中心脏磁共振(cardiac magnetic resonance, CMR)凭借其卓越的准确性、分辨率、可重复性和无放射性等优势,被公认为无创评估急性心肌梗死后心脏形态和功能的“金标准”^[5,9]。有研究发现CMR测量的心肌梗死面积和MVO显著增加STEMI患者左心室不良重塑的风险,左心室恶化重塑与严重的心力衰竭、更高的短期和长期死亡率密切相关^[10-11]。

因此,本研究旨在以STEMI患者前后两次CMR检查相关参数结果为评价指标,探讨急性STEMI患者发生MVO的预测因素,以及MVO对患者预后的影响。

1 资料和方法

1.1 研究对象

本研究是一项前瞻性、观察性研究。收集2023

年 9 月—2025 年 6 月在郑州大学第二附属医院心内科接受直接 PCI 的急性 STEMI 患者 102 例。

纳入标准:(1)年龄 18~80 周岁;(2)临床确诊的急性 STEMI 患者并计划行直接 PCI 手术治疗;(3)能够接受直接 PCI 术后 1 周内行 CMR 检查,并且愿意接受术后 6 个月随访和复查 CMR 的患者。

排除标准:(1)存在 6 个月以内的心肌梗死或 PCI 或冠状动脉旁路移植术后的患者;(2)既往瓣膜性心脏病、先天性心脏病、肺动脉高压或各类心脏病病史;(3)存在严重肝肾功能衰竭、严重感染及血液系统疾病的患者;(4)存在心源性休克的患者;(5)存在 CMR 检查禁忌的患者;(6)存在恶性肿瘤的患者;(7)存在免疫系统和结缔组织疾病、甲状腺功能亢进的患者。

本研究遵循《赫尔辛基宣言》中制定的相关原则,并通过郑州大学第二附属医院伦理委员会的批准(批件号:KY2025177)。所有患者均签署知情同意书。

1.2 基线临床资料收集

(1)一般资料:包括年龄、性别、血压、心率、体重指数(body mass index, BMI)等;(2)既往史:高血压、糖尿病、高脂血症、脑梗死病史;(3)个人史:吸烟(连续或累计吸烟 6 个月或以上者)、饮酒史(每周饮酒至少 1 次,每次饮酒量不少于 30 mL,且持续半年以上判定为饮酒);(4)根据患者从症状出现到行再灌注治疗的时间、入院心电图及冠状动脉造影结果确定心肌梗死位置(前壁/非前壁)、罪犯血管、病变血管数量、PCI 术前 TIMI 血流分级、PCI 术后 TIMI 血流分级和置入支架/球囊的情况等。

其中 BMI 定义为体重(kg)/身高(m)²。高血压病:既往诊断为高血压,或在未服用降压药物的情况下,诊室收缩压 ≥ 140 mmHg 和(或)舒张压 ≥ 90 mmHg,或目前正在进行降压药物治疗^[12]。糖尿病:既往诊断为糖尿病,或空腹血糖(fasting blood glucose, FBG) ≥ 7.0 mmol/L,或餐后 2 h 血糖 ≥ 11.1 mmol/L,或糖化血红蛋白(hemoglobin A1c, HbA1c) $\geq 6.5\%$,或目前正在进行降糖药物治疗^[13]。高脂血症:既往诊断为高脂血症;或总胆固醇(total cholesterol, TC) ≥ 5.2 mmol/L;或低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDLC) ≥ 3.4 mmol/L;或甘油三酯(triglyceride, TG) ≥ 1.7 mmol/L;或高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDLC) < 1.0 mmol/L;或目前正在进行降脂药物治疗^[14]。脑梗死病史:又称缺血性脑卒中,既往诊断为脑梗死,或出现过由于脑局

部血液循环障碍所导致的神经功能缺损综合征,症状持续时间至少 24 h 或存在影像学证实的脑梗死灶^[15]。

1.3 生物化学指标收集

所有患者入院时急查血常规、乳酸脱氢酶(lactic dehydrogenase, LDH)、N 末端脑钠肽前体(N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP)、CK、肌酸激酶同工酶(creatine kinase isoenzyme, CK-MB)及心肌肌钙蛋白 T(cardiac troponin T, cTnT)等血生物化学指标。采用全自动血细胞分析仪(迈瑞 BC-6800PLUS)进行血常规分析,使用全自动生物化学分析仪(VITROS 5600)及配套试剂进行生物化学检测。入院第 2 天清晨空腹采集静脉血,完善血常规、血生物化学指标(包括肝肾功能、血脂、FBG)以及 HbA1c,记录 LDH、CK 和 CK-MB 峰值水平。上述血清化验采用全自动血细胞分析仪(迈瑞 BC6800PLUS)进行血常规分析,使用全自动生物化学分析仪(cobas[®] 8000)及配套试剂进行生物化学检测。

计算全血细胞衍生的炎症标志物,包括 SII、NLR、PLR 和淋巴细胞计数/C 反应蛋白比值(lymphocyte-to-C-reactive protein ratio, LCR)。计算公式如下:SII=中性粒细胞计数($\times 10^9$ L⁻¹) \times 血小板计数($\times 10^9$ L⁻¹)/淋巴细胞计数($\times 10^9$ L⁻¹);NLR=中性粒细胞计数($\times 10^9$ L⁻¹)/淋巴细胞计数($\times 10^9$ L⁻¹);PLR=血小板计数($\times 10^9$ L⁻¹)/淋巴细胞计数($\times 10^9$ L⁻¹);LCR=淋巴细胞计数($\times 10^9$ L⁻¹)/C 反应蛋白(mg/L)。TyG 按公式计算:TyG = \ln [TG (mg/L) \times FBG(mg/L)/200]。

1.4 治疗策略

所有患者术前均已服用阿司匹林(300 mg)+氯吡格雷(300 mg)/替格瑞洛(180 mg)双联抗血小板治疗,术前完善患者基线资料、18 导联心电图。PCI 手术由心脏介入团队按照冠状动脉介入标准流程进行,确定病变程度,其中替罗非班以及血栓抽吸的使用根据术者的判断进行。使用 TIMI 血流分级评估梗死相关动脉的血流情况,由 2 名有经验的医师对冠状动脉造影资料进行分析,做出罪犯血管和 TIMI 血流分级的判断^[16]。PCI 术后,所有患者均遵 STEMI 治疗指南^[17]接受双联抗血小板治疗,并根据需要使用 β 受体拮抗剂、血管紧张素转换酶抑制剂(angiotensin converting enzyme inhibitor, ACEI)/血管紧张素受体拮抗剂(angiotensin receptor blocker, ARB)、醛固酮受体拮抗剂(mineralocorticoid receptor antagonist, MRA)、血管紧张素受体脑啡肽酶抑制剂(angiotensin receptor neprilysin inhibitor, ARNI)、钠-葡萄

糖共转运蛋白 2 抑制剂 (sodium-glucose cotransporter 2 inhibitor, SGLT2i) 和他汀类药物。

1.5 心脏磁共振检查

患者将在 PCI 术后 1 周内和 6 个月完善 CMR 检查。本研究使用 3.0T CMR 扫描装置 (Verio, Ingenia, 荷兰飞利浦)。通过静脉注射钆双胺对比剂, 10 min 后利用反转恢复、梯度回波序列获得晚期钆增强图像。获取图像后由专业影像科医师使用专业影像处理软件进行分析, 对患者临床资料采用盲法评估。电影序列下评估左心室功能的操作方法: 左心室容积均在短轴视角下, 采用稳态自由序列完成覆盖全心的电影成像扫描。所有序列均取 8 mm 层厚, 对左心室容积 (包括舒张期末容积和收缩期末容积) 等进行测定, 并计算左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF) 和左心室质量指数 (left ventricular mass index, LVMI)、左心室舒张期末容积指数 (left ventricular end-diastolic volume index, LVEDVI)、左心室收缩期末容积指数 (left ventricular end-systolic volume index, LVESVI), 进而进行心功能的评价。在延迟增强成像扫描 (late gadolinium enhance, LGE) 图像上, MVO 被定义为高强度梗死区内的低信号区^[18] (图 1)。

1.6 临床随访数据

所有纳入患者自直接 PCI 术当日起开始计算随访时间, 术后每个月通过电话或门诊方式随访 1 次。所有入组患者将在 PCI 术后 1 周内和术后 6 个月, 使用 3.0T MRI 扫描仪完成两次 CMR 检查以明确心脏结构和功能的变化情况^[11,19], 相关检查及随访工作由专门负责临床随访的心内科医师负责。其中左心室不良重塑定义为: 从术后 1 周到随访时的 CMR 检查结果显示, LVEDVI 较基线 (术后 1 周) 增加超过 15%, 或 LVEF 较基线 (术后 1 周) 下降超过 3%^[20]。

1.7 统计学方法

统计学分析采用 SPSS27.0 软件。在进行参数检验之前, 使用 Shapiro-Wilk 检验评估连续数据分布的正态性。呈正态分布的定量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间比较采用方差分析或独立样本 *t* 检验。非正态分布的定量资料采用中位数和四分位数描述, 组间比较采用秩和检验。计数资料以百分比表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。先进行单因素 Logistic 回归分析, 然后通过逐步回归 (前进法) 建立多因素 Logistic 回归分析筛选与 MVO 相关的独立危险因素, 在多因素分析基础上筛选出的危险因素导入 R4.5.0 软件与 rms 程序包构建 STEMI 患者 MVO 发生的列线图预测模型, 以受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线、校准曲线、Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验评估该列线图预测模型的预测效能。在所有分析中, 以 $P < 0.05$ (双侧检验) 定义为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 研究人群特征

本研究最初登记 131 例急性 STEMI 行 PCI 术的患者。经过纳入和排除标准筛选, 最终 102 例进行了第 1 次 CMR 检查并纳入本研究。入组患者平均年龄 58 岁, 其中男性 72 例 (70.6%), 女性 30 例 (29.4%)。根据第 1 次 CMR 结果将患者分为 MVO 组 ($n=48$) 和无 MVO 组 ($n=54$)。MVO 组均存在 LGE 序列中高信号梗死区域内低信号的微血管阻塞区 (图 1), 而无 MVO 组只可见心室壁内高信号梗死区域。最终共有 94 例急性 STEMI 患者完成了 6 个月的随访和第 2 次的 CMR 检查 (MVO 组 45 例, 无 MVO 组 49 例), 8 例患者因失访或拒绝复查未能完成随访。

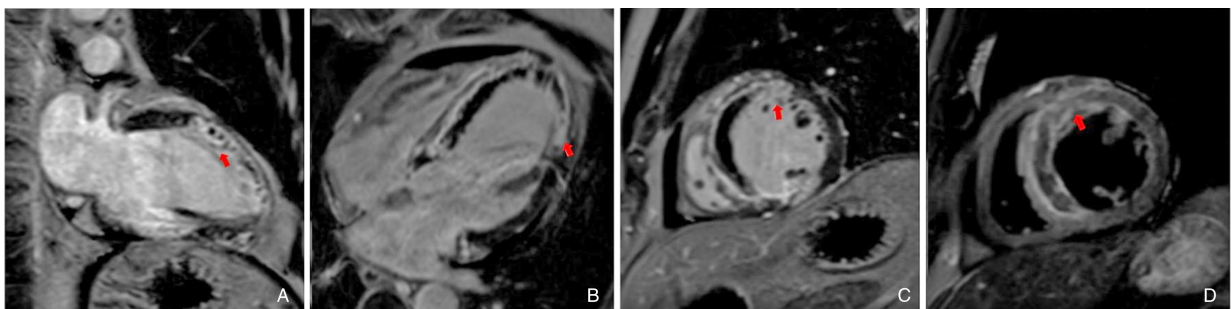


图 1. 急性 STEMI 患者 MVO 的心脏磁共振 LGE 与 T2WI 影像学表现

A 为 LGE 两腔心延迟序列; B 为 LGE 四腔心延迟序列; C 为短轴位延迟序列; D 为 T2WI 黑血序列。

Figure 1. LGE and T2WI manifestations of MVO on CMR in patients with acute STEMI

2.2 两组患者的基线特征比较

两组患者年龄、性别、BMI、糖尿病、高脂血症、高血压病、吸烟、饮酒、血压、植入材料、术前及术后 TIMI 血流分级等临床资料差异无统计学意义 ($P >$

0.05), 而 MVO 组的入院心率较无 MVO 组增快 ($P < 0.001$), 同时 MVO 组前壁梗死的发生率较无 MVO 组增加 ($P = 0.033$; 表 1)。

表 1. MVO 组与无 MVO 组患者的基线特征比较

Table 1. Comparison of baseline characteristics between MVO group and non-MVO group

基线特征	无 MVO 组 ($n=54$)	MVO 组 ($n=48$)	P
年龄/岁	57.0±11.1	59.0±9.8	0.305
女性/[例(%)]	12(22.2)	8(16.7)	0.481
BMI/(kg/m ²)	25.1±2.8	25.7±3.1	0.265
既往史/[例(%)]			
脑梗死病史	4(7.4)	8(16.7)	0.147
高血压病史	38(70.4)	28(58.3)	0.204
糖尿病病史	7(13.0)	11(22.9)	0.188
高脂血症病史	5(9.3)	5(10.4)	0.844
吸烟史/[例(%)]	37(68.5)	40(83.3)	0.083
饮酒史/[例(%)]	12(22.2)	19(39.6)	0.057
入院收缩压/mmHg	134±19	128±27	0.168
入院舒张压/mmHg	83±17	74±13	0.149
入院心率/(次/min)	74±13	88±14	<0.001
症状至球囊时间/h	6.10±3.16	7.26±3.60	0.088
罪犯血管/[例(%)]			0.407
LAD	28(51.9)	31(64.6)	
LCX	4(7.4)	2(4.2)	
RCA	22(40.7)	15(31.3)	
病变血管数/[例(%)]			0.064
单支	11(20.4)	19(39.6)	
双支	20(37.0)	17(35.4)	
三支	23(42.6)	12(25.0)	
术前 TIMI 血流 ≤2 级/[例(%)]	33(61.1)	36(75)	0.134
术后 TIMI 血流分级 3 级/[例(%)]	43(79.6)	39(81.3)	0.837
植入材料/[例(%)]			0.321
药物洗脱支架	25(46.3)	17(35.4)	
药物涂层球囊	15(27.8)	12(25.0)	
两者均用	14(25.9)	19(39.6)	
血栓抽吸/[例(%)]	7(13.0)	10(20.8)	0.287
梗死部位/[例(%)]			0.033
前壁梗死	19(35.2)	27(56.3)	
非前壁梗死	35(64.8)	21(43.7)	
Killip 分级/[例(%)]			0.523
I	49(90.7)	40(83.3)	
II	4(7.4)	6(12.5)	
III	1(1.9)	2(4.2)	

注:症状至球囊时间:患者从症状出现到再灌注(血管打开、血流恢复)的时间;Killip 分级:心肌梗死心功能分级;LAD:左前降支(left anterior descending artery);LCX:左回旋支(left circumflex artery);RCA:右冠状动脉(right coronary artery)。

2.3 两组患者血生物化学指标比较

两组患者在入院 FBG、HbA1c、白细胞计数、红

细胞计数、中性粒细胞计数、C 反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、降钙素原(procalcitonin, PCT)、LCR、

术前血红蛋白、血红蛋白下降值、血小板计数、LDH 峰值、cTnT、NT-proBNP、谷草转氨酶、肌酐、尿酸、TG、TC、LDLC、HDLc 水平等差异无统计学意义(均 $P>0.05$),而 MVO 组患者的 TyG、白细胞介素 6(in-

terleukin-6, IL-6)、SII、PLR、NLR、CK 峰值、CK-MB 峰值分别是无 MVO 组的 1.03、1.17、1.39、1.30、1.25、1.63、1.67 倍(均 $P<0.05$),MVO 组患者的淋巴细胞计数较无 MVO 组降低约 20.1%($P=0.009$;表 2)。

表 2. MVO 组与无 MVO 组患者的生物化学指标比较

Table 2. Comparison of biochemical indicators between MVO group and non-MVO group

指标	无 MVO 组($n=54$)	MVO 组($n=48$)	P
入院 FBG/(mmol/L)	7.22±1.54	7.70±1.21	0.080
HbA1c/%	5.98±0.74	6.19±1.36	0.353
TyG	9.07±0.56	9.34±0.37	0.005
白细胞计数/($\times 10^9 L^{-1}$)	9.85±2.74	11.09±3.92	0.065
红细胞计数/($\times 10^{12} L^{-1}$)	4.56±0.51	4.42±0.53	0.168
中性粒细胞计数/($\times 10^9 L^{-1}$)	7.46±2.21	8.12±1.96	0.119
淋巴细胞计数/($\times 10^9 L^{-1}$)	2.14±0.94	1.71±0.67	0.009
CRP/(mg/L)	2.87(0.65 ~ 7.75)	5.02(0.69 ~ 12.14)	0.154
PCT/($\mu g/L$)	0.06(0.03 ~ 0.07)	0.06(0.03 ~ 0.26)	0.158
IL-6/(ng/L)	9.86(6.58 ~ 14.08)	11.55(8.77 ~ 36.17)	0.018
SII	876.61±365.39	1 215.18±411.78	<0.001
PLR	119.99±45.03	155.56±54.35	<0.001
NLR	4.15(2.71 ~ 5.39)	5.18(4.33 ~ 6.05)	0.002
LCR	0.69(0.23 ~ 3.16)	0.28(0.13 ~ 2.40)	0.072
术前血红蛋白/(g/L)	141.83±16.40	138.48±18.11	0.329
血红蛋白下降值/(g/L)	8.39±9.25	11.19±7.22	0.095
血小板计数/($\times 10^9 L^{-1}$)	223.59±47.98	243.88±65.51	0.081
LDH 峰值/(U/L)	339.00(170.00 ~ 677.00)	813.00(158.00 ~ 1 403.25)	0.118
CK-MB 峰值/(U/L)	138.50(118.75 ~ 182.50)	231.00(185.00 ~ 315.75)	<0.001
CK 峰值/(U/L)	1 417.00(1 211.75 ~ 2 115.75)	2 307.50(1 439.75 ~ 2 869.50)	0.003
cTnT/($\mu g/L$)	2.30(0.34 ~ 7.65)	4.50(1.78 ~ 6.42)	0.064
NT-proBNP/(pg/L)	628(421.7 ~ 1472.5)	1 147(637.00 ~ 3160)	0.089
谷草转氨酶/(U/L)	68.00(33.00 ~ 226.25)	153.00(29.00 ~ 315.00)	0.349
肌酐/($\mu mol/L$)	69.96±14.54	75.27±18.84	0.112
尿酸/($\mu mol/L$)	377.43±124.16	361.73±102.42	0.491
TG/(mmol/L)	1.78±1.02	2.00±0.80	0.234
TC/(mmol/L)	3.92±0.99	4.17±1.03	0.221
LDLC/(mmol/L)	2.86±0.75	3.14±0.86	0.083
HDLc/(mmol/L)	1.03±0.18	1.04±0.25	0.932

注:血红蛋白下降值指术前术后血红蛋白差值。

2.4 单因素和多因素 Logistic 回归分析

单变量回归分析中,症状至球囊时间、入院心率、TyG、白细胞计数、淋巴细胞计数、血红蛋白下降值、血小板计数、CRP、PCT、SII、PLR、NLR、LCR、CK-MB 峰值、CK 峰值、LDLC、前壁梗死、病变血管数的 P 值均 <0.10 。通过多因素回归分析,并采用基于似然比检验的向前选择法对其他潜在混杂因素进行

调整,结果显示症状至球囊时间延长、入院心率增快、TyG 增加、PLR 增加、CK-MB 峰值增加为 MVO 的独立预测因子(表 3)。

2.5 ROC 曲线分析

TyG(95% CI :0.559 ~ 0.773)、PLR(95% CI :0.586 ~ 0.791)、入院心率(95% CI :0.667 ~ 0.853)、CK-MB 峰值(95% CI :0.700 ~ 0.882)单独预测 STEMI 患者

PCI 术后 MVO 的 ROC 曲线下面积 (area under the curve, AUC) 分别为 0.666、0.688、0.760、0.791, 症状至球囊时间预测 STEMI 患者 PCI 术后 MVO 的 AUC 为 0.576 (95% CI: 0.463 ~ 0.688), 考虑到症状至球囊时间的 AUC 较小, 远远小于 0.7, 且 $P > 0.05$, 故认为没有预测价值, 不考虑将其纳入联合预测因

子中。根据单因素 ROC 曲线分析, 依次将独立危险因素纳入预测模型, 结果提示联合 CK-MB 峰值、入院心率、PLR、TyG 的联合预测因子 III 的 AUC 最大, 为 0.901 (95% CI: 0.842 ~ 0.960), 灵敏度为 0.833, 特异度为 0.852, 且联合预测因子的 AUC 高于各参数单独诊断 (表 4 和图 2)。

表 3. STEMI 患者 PCI 术后 MVO 的单因素和多因素 Logistic 回归分析

Table 3. Univariate and multivariate Logistic regression analysis of MVO after PCI in patients with STEMI

参数	单因素分析		多因素分析	
	OR (95% CI)	P	OR (95% CI)	P
症状至球囊时间	1.107 (0.984 ~ 1.245)	0.09	1.313 (1.055 ~ 1.633)	0.015
入院心率	1.086 (1.045 ~ 1.129)	<0.001	1.137 (1.07 ~ 1.208)	<0.001
TyG	3.310 (1.362 ~ 8.044)	0.008	6.324 (1.547 ~ 25.854)	0.01
白细胞计数	1.126 (0.987 ~ 1.285)	0.077		
淋巴细胞计数	0.511 (0.298 ~ 0.874)	0.014		
血红蛋白下降值	1.042 (0.992 ~ 1.094)	0.098		
血小板计数	1.006 (0.999 ~ 1.014)	0.08		
CRP	1.036 (0.995 ~ 1.079)	0.082		
PCT	3.807 (1.126 ~ 12.878)	0.032		
SII	1.002 (1.001 ~ 1.004)	<0.001		
PLR	1.015 (1.006 ~ 1.024)	<0.001	1.037 (1.018 ~ 1.056)	<0.001
NLR	1.400 (1.108 ~ 1.769)	0.005		
LCR	0.821 (0.665 ~ 1.013)	0.066		
CK-MB 峰值	1.007 (1.003 ~ 1.011)	0.002	1.01 (1.004 ~ 1.016)	0.001
CK 峰值	1 (1 ~ 1.001)	0.037		
LDLC	1.569 (0.932 ~ 2.642)	0.09		
前壁梗死	2.368 (1.066 ~ 5.262)	0.034		
病变血管数	0.551 (0.331 ~ 0.917)	0.022		

注:空白处表示不适用。

表 4. CK-MB 峰值、入院心率、PLR、TyG 及联合预测因子对 MVO 预测价值的比较分析

Table 4. Comparative analysis of the predictive value of peak CK-MB, admission heart rate, PLR, TyG, and their combined predictors for MVO

参数	AUC	95% CI	约登指数	截断值	灵敏度/%	特异度/%	P
症状至球囊时间	0.576	0.463 ~ 0.688	0.19	6.15 h	54.2	64.8	0.188
TyG	0.666	0.559 ~ 0.773	0.394	9.005	87.5	51.9	0.004
PLR	0.688	0.586 ~ 0.791	0.322	101.955	89.6	42.6	0.001
入院心率	0.760	0.667 ~ 0.853	0.428	87 次/min	52.1	90.7	<0.001
CK-MB 峰值	0.791	0.700 ~ 0.882	0.558	174.5 U/L	85.4	70.4	<0.001
联合预测因子 I	0.826	0.746 ~ 0.906	0.549	1 231.1	77.1	77.8	<0.001
联合预测因子 II	0.871	0.803 ~ 0.939	0.657	1 796.3	75.0	90.7	<0.001
联合预测因子 III	0.901	0.842 ~ 0.960	0.685	3 476.33	83.3	85.2	<0.001

注:联合预测因子 I = CK-MB 峰值 + 12.8 × 入院心率; 联合预测因子 II = CK-MB 峰值 + 12.8 × 入院心率 + 3.6 × PLR; 联合预测因子 III = CK-MB 峰值 + 12.8 × 入院心率 + 184.4 × TyG + 3.6 × PLR。

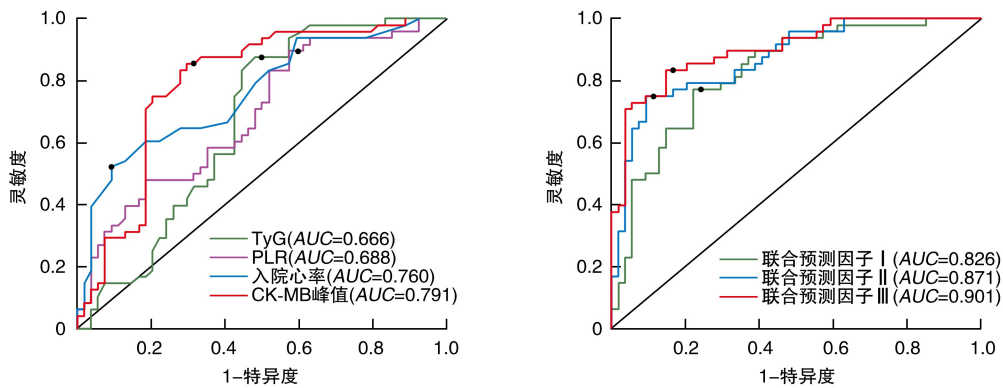


图 2. CK-MB 峰值、入院心率、PLR、TyG 及它们的联合预测因子对 STEMI 患者急诊 PCI 术后发生 MVO 预测价值的 ROC 曲线

Figure 2. ROC curves of peak CK-MB, admission heart rate, PLR, TyG, and their combined predictors for predicting MVO after emergency PCI in STEMI patients

2.6 列线图预测模型构建与验证

将表 4 中 STEMI 患者急诊 PCI 术后发生 MVO 的影响因素引入 R 软件, 建立预测 MVO 发生的列线图模型(图 3), 采用校准曲线、Hosmer Lemeshow 拟合优度检验验证列线图预测模型的拟合效率, 校

准曲线斜率接近 1, 拟合优度检验 $\chi^2 = 9.76$ 、 $P = 0.282$, 采用决策曲线评估预测模型的临床获益性, 可见在合理阈值范围内, 列线图展现出良好的临床应用价值(图 4 和图 5)。

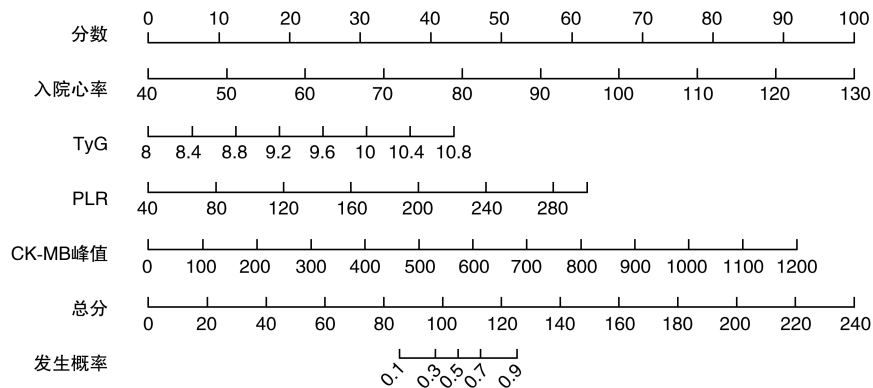


图 3. STEMI 患者急诊 PCI 术后发生 MVO 的影响因素列线图预测模型

Figure 3. Nomogram predictive model for predictive factors of MVO occurrence after emergency PCI in STEMI patients

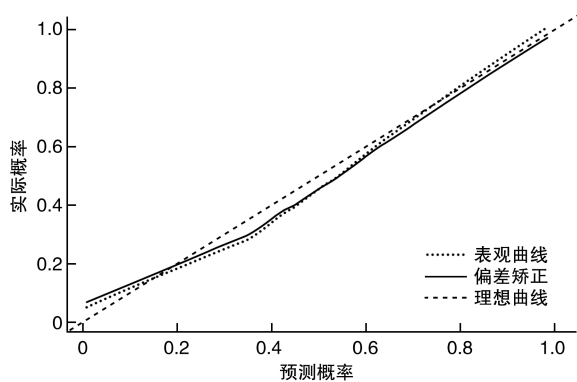


图 4. 预测模型的校准曲线

Figure 4. Calibration curve of the predictive model

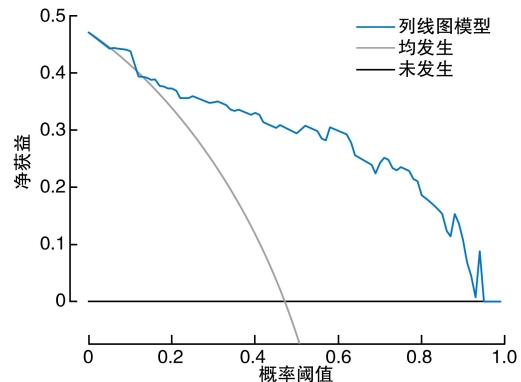


图 5. 预测模型的决策曲线

Figure 5. Decision curve of the predictive model

2.7 CMR 指标及左心室重塑比较

首次入院时 MVO 组与无 MVO 组经 CMR 测量的 LVMI 比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。MVO 组术后 1 周的 LVEDVI、LVESVI 分别是无 MVO 组的 1.10、1.19 倍, LVEF 较无 MVO 组降低约 14.6% (均 $P<0.05$)。在随访 6 个月时, MVO 组的心功能更差, LVEDVI、LVESVI、LVMI 分别为无 MVO 组的 1.16、1.38、1.04 倍, MVO 组的 LVEF 较无 MVO 组降低约 12.5%, MVO 组发生左心室不良重塑的比例显著升高 (均 $P<0.05$; 表 5)。

表 5. MVO 组与无 MVO 组患者的 CMR 指标比较
Table 5. Comparison of CMR indicators between MVO group and non-MVO group

CMR 指标	无 MVO 组 ($n=54$)	MVO 组 ($n=48$)	P
术后 1 周			
LVEF/%	51.5(45~58)	44(39~53)	<0.001
LVESVI/(mL/m ²)	38.5(33~47)	46(37~58)	0.001
LVEDVI/(mL/m ²)	74.5(63~90)	82(72~94)	0.02
LVMI/(g/m ²)	77.5(70~86)	84(72~95)	0.066
随访 6 个月			
LVEF/%	56(53~59)	49(42~55)	<0.001
LVESVI/(mL/m ²)	37(30~45)	51(39~59)	<0.001
LVEDVI/(mL/m ²)	70(57~85)	81(72~100)	<0.001
LVMI/(g/m ²)	74(64~81)	77(72~87)	0.017
左心室不良重塑/ [例(%)]	10(20.4)	19(42.2)	0.022

注:随访 6 个月 MVO 组和无 MVO 组病例数分别为 45 例和 49 例。

3 讨论

目前许多研究发现,有不少的 STEMI 患者成功实施 PCI 术后仍反复发作心绞痛,且早期出现不良左心室重塑,这一现象主要与 MVO 的形成有关^[21-22],其病理机制复杂,涉及心肌缺血、远端栓塞、缺血再灌注损伤、炎症反应、心肌水肿压迫、个体易感性等多种因素之间的相互作用^[23]。本研究通过 102 例 STEMI 患者的多种相关因素分析,发现入院心率、PLR、TyG、CK-MB 峰值均是预测 MVO 发生的独立危险因素,其联合预测价值较高,且本研究进一步验证了 MVO 显著增加患者左心室不良重塑的风险。

心率过快是心血管疾病的危险因素之一。Lan

等^[24]发现,入院心率与急性心肌梗死患者短期不良预后关系紧密,且与非 ST 段抬高型急性冠脉综合征相比,在 STEMI 患者中观察到的关联性更强;然而目前关于入院心率与 MVO 发生的相关性尚未见报道。本研究结果显示, MVO 组的入院心率较无 MVO 组明显增快,进一步行多因素 Logistic 回归分析发现,入院心率是 MVO 的独立预测因素。其病理生理机制可能是由于心率综合了自主神经平衡、血流动力学压力和心肌需氧量。急性心肌梗死后交感神经激活增加,心率增快,进而增加心肌耗氧,加重缺血,此外心率增快增加了施加在动脉壁上张应力的大小和频率,并延长了冠状动脉内皮暴露于收缩期低剪切应力和振荡剪切应力的时间。增强的张应力和紊乱的剪切应力共同诱导内皮细胞结构和功能变化^[25],促进梗死区域的扩张和延伸,从而增加 MVO 的风险。

多项研究证实, TyG 是预测心血管疾病风险和预后的有效标志物,是目前心血管领域研究的热点之一^[26-27]。Bilgin 等^[28]发现对于初次行 PCI 治疗的 STEMI 患者,较高的 TyG 水平与冠状动脉内血栓负荷和死亡率增加显著相关,表明 TyG 可作为重要的心血管风险标志物,在早期风险分层和治疗计划中具有潜在的效用。一项针对 2 190 例患者的前瞻性多中心研究中,发现随 TyG 水平的升高,糖尿病、高血压、高血脂的患病率随之升高,而且 TyG 与 STEMI 患者院内死亡率呈正相关^[29]。本研究通过对入院时的 FBG 及 TG 计算 TyG,发现 TyG 与 STEMI 患者 PCI 术后出现 MVO 显著相关。就潜在机制而言, TyG 水平升高反映胰岛素抵抗状态,胰岛素抵抗不仅会干扰一氧化氮的合成与降解,使其生物利用度下降,直接削弱内皮功能,还会引发高胰岛素血症,进而促进 LDLC 的合成、血管平滑肌细胞增殖与脂质在血管壁的沉积。同时,伴随胰岛素抵抗出现的脂代谢异常,可使富含甘油三酯的脂蛋白释放游离脂肪酸,通过对内皮细胞及巨噬细胞的促炎作用,进一步加剧微血管的内皮损伤与动脉粥样硬化进程^[30-31],进而促进 MVO 形成。

炎症反应贯穿动脉粥样硬化的各个阶段^[32],多种外周血炎症指标对急性冠脉综合征 (acute coronary syndrome, ACS) 的预后有着重要预测价值,其中 PLR 可综合反映淋巴细胞介导的炎症反应及血小板相关的血栓形成通路,因此被认为是评估 ACS 患者预后的重要生物学标志物^[33]。Şenöz 等^[34]通过纳入 247 例在症状出现后 12 h 内出现 STEMI 并在初次 PCI 期间接受血栓抽吸的患者,发

现较高的术前 PLR 是血栓抽吸后无回流的独立预测因素。本研究通过对 102 例 STEMI 患者的多项炎症指标进行分析比较,发现 PLR 是急诊 STEMI 患者 PCI 术后发生 MVO 的独立预测因子。血小板计数增加反映了血小板活化程度增强,进而促使血管反应性介质释放,加速动脉粥样硬化斑块坏死核心的形成及病变钙化进程,最终增加动脉血栓形成风险。而淋巴细胞则在动脉硬化发生发展中起保护作用。因此,PLR 在预测再灌注受损方面的临床价值显著优于血小板计数或淋巴细胞计数单一指标。

此外,我们研究还发现,MVO 组的 CK-MB 峰值明显高于无 MVO 组,这与既往多个研究结果一致^[35-36]。同时我们针对入院心率、PLR、TyG 与 CK-MB 峰值对 MVO 的预测价值分别进行分析,结果显示其各自对 MVO 的预测价值并不高,灵敏度及特异度较差。然而通过建立它们的联合预测模型,发现其联合应用对 STEMI 患者发生 MVO 的预测价值 ($AUC=0.901$, 灵敏度 83.3%, 特异度 85.2%) 明显优于单独应用。另外我们在此基础上建立了预测因素的列线图模型,进行校准曲线验证了此模型具有较好的预测能力,通过 DCA 曲线证实了其潜在的临床应用价值。这可能为临床工作中快速准确评估 MVO 的存在提供了更加快速安全的手段。最后我们对术后 1 周出现 MVO 的患者进行 6 个月的随访,发现 MVO 显著增加 STEMI 患者发生左心室不良重塑的风险,其 LVEF 值下降(6 个月时降低约 12.5%), LVEDVI 和 LVESVI 明显增大(分别高出约 15.7% 和 37.8%),这与既往多项研究相符^[7,37]。相较于心外膜大血管,微血管是心肌细胞与血液之间进行氧和营养物质交换的关键结构。因此对于 PCI 术后的心肌梗死患者,MVO 的发生会造成局部心肌供和营养持续不足,进而引发心肌细胞缺血损伤、凋亡乃至坏死。长时间的缺血缺氧最终可促使心脏结构及功能发生改变,导致左心室不良重塑发生,并显著增加心力衰竭的风险^[38-39]。本研究结果表明,MVO 有望成为 STEMI 患者治疗的新靶点。在 STEMI 急性期应用糖蛋白(glycoprotein, GP) II b/III a 受体拮抗剂、大剂量他汀类药物、冠状动脉内腺苷注射、超声溶栓技术及延迟支架置入术等策略,可有效减轻 MVO 或改善冠状动脉无复流现象^[40]。 β 受体拮抗剂、钙通道阻滞剂(calcium channel blocker, CCB)、ACEI 等药物在冠状动脉微循环障碍、血管痉挛性心绞痛的治疗中疗效得到了肯定^[41]。然而目前仍缺乏明确的针对性指南及循证医学证据,

难以支撑 MVO 有效治疗方法的规范应用。

本研究有一定的局限性。首先,本研究为单中心小样本研究,纳入的 STEMI 患者例数有限,可能降低研究结果的外推性,其结论仍需多中心、大样本临床研究进一步验证。其次,本研究对患者 PCI 术后主要不良心脏事件的随访时间较短(6 个月),难以全面评估 MVO 对患者远期预后(如心力衰竭、死亡率等)的影响。后续将开展针对 MVO 的长期随访研究以弥补上述不足。最后,本研究仅采用 CMR 来评估 MVO 的发生情况,未联合微循环阻力指数(index of microcirculatory resistance, IMR)、冠状动脉血流储备(coronary flow reserve, CFR)、血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)等有创指标以提高测量准确性。此外,研究未按具体梗死部位(前壁、下壁、侧壁等)进行亚组分析,该预测模型在特定亚组中的应用价值尚需更大队列的验证。

综上所述,入院心率、PLR、TyG、CK-MB 峰值是急性 STEMI 患者 PCI 术后发生 MVO 的独立危险因素,与单一指标相比,联合预测模型对 MVO 的预测价值更高,可作为导管室内快速筛查高危 MVO 患者的实用工具,有助于临床早期识别高危患者和指导个体化治疗,改善预后。当 STEMI 患者合并 MVO 时,发生左心室不良重塑的风险增加,左心室功能更差,需及时采取有效干预措施以减少 MVO 对心脏的不良影响。

[参考文献]

- [1] BYRNE R A, ROSSELLO X, COUGHLAN J J, et al. 2023 ESC guidelines for the management of acute coronary syndromes[J]. Eur Heart J, 2023, 44(38): 3720-3826.
- [2] CREA F, BAIREY MERZ C N, BELTRAME J F, et al. Mechanisms and diagnostic evaluation of persistent or recurrent angina following percutaneous coronary revascularization[J]. Eur Heart J, 2019, 40(29): 2455-2462.
- [3] MARC M C, IANCU A C, BĂLĂNESCU Ș, et al. Microvascular obstruction in acute myocardial infarction: an old and unsolved mystery[J]. Med Pharm Rep, 2019, 92(3): 216-219.
- [4] 张子倩, 尹宏斌, 刘苏宁, 等. CMR 心肌应变联合心肌酶对急性心肌梗死治疗后左心室射血分数正常患者微血管阻塞的预测价值[J]. 临床放射学杂志, 2024, 43(10): 1708-1713.
ZHANG Z Q, YIN H B, LIU S N, et al. The predictive value of CMR myocardial strain combined with myocardial enzyme for microvascular obstruction in patients with normal left ventricular ejection fraction after treatment for acute myocardial infarction[J]. J Clin Radiol, 2024, 43(10): 1708-1713.
- [5] VORA K P, KUMAR A, KRISHNAM M S, et al. Microvascular obstruction and intramyocardial hemorrhage in reperfused myocardial infarctions: pathophysiology and clinical insights from imaging[J].

- JACC Cardiovasc Imaging, 2024, 17(7): 795-810.
- [6] FEISTRITZER H J, REINSTADLER S J, KLUG G, et al. Multimarker approach for the prediction of microvascular obstruction after acute ST-segment elevation myocardial infarction: a prospective, observational study[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2016, 16(1): 239.
- [7] 马振岩, 阿鑫, 赵蕾, 等. 急性 ST 段抬高型心肌梗死经皮冠状动脉介入术后左心室不良重构的新型风险预测模型: 基于心脏磁共振的多中心前瞻性研究[J]. 南方医科大学学报, 2025, 45(4): 669-683.
- MA Z Y, A X, ZHAO L, et al. A cardiac magnetic resonance-based risk prediction model for left ventricular adverse remodeling following percutaneous coronary intervention for acute ST-segment elevation myocardial infarction: a multi-center prospective study[J]. J South Med Univ, 2025, 45(4): 669-683.
- [8] 吴晴晴, 闫蕊, 郭明, 等. 肌酸激酶峰值对急性 ST 段抬高型心肌梗死患者经皮冠状动脉介入术后心肌内出血的预测价值[J]. 中国心血管杂志, 2024, 29(2): 137-142.
- WU Q Q, YAN R, GUO M, et al. Predictive value of peak creatine kinase for intramyocardial hemorrhage after percutaneous coronary intervention in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction[J]. Chin J Cardiovasc Med, 2024, 29(2): 137-142.
- [9] REINDL M, EITEL I, REINSTADLER S J. Role of cardiac magnetic resonance to improve risk prediction following acute ST-elevation myocardial infarction[J]. J Clin Med, 2020, 9(4): 1041.
- [10] OKETUNBI T J, WANG J, DING B, et al. Novel insights into myocardial fibrosis in patients with new onset ST-elevation myocardial infarction following percutaneous coronary intervention through enhanced cardiac magnetic resonance imaging: a prospective cohort study[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2025, 25(1): 274.
- [11] 崔佳宁, 刘文佳, 闫非, 等. 心脏磁共振成像对急性 ST 段抬高型心肌梗死后左心室不良重构的预测价值[J]. 南方医科大学学报, 2024, 44(3): 553-562.
- CUI J N, LIU W J, YAN F, et al. Predictive value of cardiac magnetic resonance imaging for adverse left ventricular remodeling after acute ST-segment elevation myocardial infarction[J]. J South Med Univ, 2024, 44(3): 553-562.
- [12] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟(中国), 中国医疗保健国际交流促进会高血压病学分会, 等. 中国高血压防治指南(2024 年修订版)[J]. 中华高血压杂志(中英文), 2024, 32(7): 603-700.
- Chinese Hypertension Guidelines Revision Committee, Hypertension Alliance (China), Hypertension Branch of China International Exchange and Promotive Association for Medical and Health Care, et al. Chinese guidelines for the management of hypertension (2024 revision)[J]. Chin J Hypertens, 2024, 32(7): 603-700.
- [13] 中华医学会糖尿病学分会. 中国糖尿病防治指南(2024 版)[J]. 中华糖尿病杂志, 2025, 17(1): 16-139.
- Chinese Diabetes Society. Guideline for the prevention and treatment of diabetes mellitus in China (2024 edition)[J]. Chin J Diabetes Mellitus, 2025, 17(1): 16-139.
- [14] 中国血脂管理指南修订联合专家委员会. 中国血脂管理指南(2023 年)[J]. 中华心血管病杂志, 2023, 51(3): 221-255.
- Joint Committee on the Chinese Guidelines for Lipid Management. Chinese guidelines for lipid management(2023)[J]. Chin J Cardiol, 2023, 51(3): 221-255.
- [15] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 脑血管病防治指南(2024 年版)[J]. 磁共振成像, 2025, 16(1): 1-8.
- National Health Commission of the People's Republic of China. Guideline for prevention and treatment of cerebrovascular disease (2024 edition)[J]. Chin J Magn Reson Imaging, 2025, 16(1): 1-8.
- [16] NEUMANN F J, SOUSA-UVA M, AHLSSON A, et al. 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization[J]. Eur Heart J, 2019, 40(2): 87-165.
- [17] 中华医学会心血管病学分会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 急性 ST 段抬高型心肌梗死诊断和治疗指南(2019)[J]. 中华心血管病杂志, 2019, 47(10): 766-783.
- Chinese Society of Cardiology of Chinese Medical Association, Editorial Board of Chinese Journal of Cardiology. 2019 Chinese society of cardiology (CSC) guidelines for the diagnosis and management of patients with ST-segment elevation myocardial infarction[J]. Chin J Cardiol, 2019, 47(10): 766-783.
- [18] BEIJNINK C W H, VAN DER HOEVEN N W, KONIJNENBERG L S F, et al. Cardiac MRI to visualize myocardial damage after ST-segment elevation myocardial infarction: a review of its histologic validation[J]. Radiology, 2021, 301(1): 4-18.
- [19] LEGALLOIS D, HODZIC A, ALEXANDRE J, et al. Definition of left ventricular remodelling following ST-elevation myocardial infarction: a systematic review of cardiac magnetic resonance studies in the past decade[J]. Heart Fail Rev, 2022, 27(1): 37-48.
- [20] RODRIGUEZ-PALOMARES J F, GAVARA J, FERREIRA-GONZÁLEZ I, et al. Prognostic value of initial left ventricular remodeling in patients with reperfused STEMI[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2019, 12(12): 2445-2456.
- [21] GALLI M, NICCOLI G, DE MARIA G, et al. Coronary microvascular obstruction and dysfunction in patients with acute myocardial infarction[J]. Nat Rev Cardiol, 2024, 21(5): 283-298.
- [22] LECHNER I, REINDL M, STIERMAIER T, et al. Clinical outcomes associated with various microvascular injury patterns identified by CMR after STEMI[J]. J Am Coll Cardiol, 2024, 83(21): 2052-2062.
- [23] NDREPEPA G, KASTRATI A. Coronary no-reflow after primary percutaneous coronary intervention-current knowledge on pathophysiology, diagnosis, clinical impact and therapy[J]. J Clin Med, 2023, 12(17): 5592.
- [24] LAN W, HE B, HU S. Admission heart rate and in-hospital mortality in acute myocardial infarction: a contemporary analysis of the MIMIC-III cohort[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2025, 25(1): 484.
- [25] MA X, WANG Z, WANG J, et al. Admission heart rate is associated with coronary artery disease severity and complexity in patients with acute coronary syndrome[J]. Angiology, 2019, 70(8): 774-781.
- [26] ZHANG Y, DING X, HUA B, et al. High triglyceride-glucose index is associated with adverse cardiovascular outcomes in patients with acute myocardial infarction[J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2020, 30(12): 2351-2362.

- [27] 李天玥, 鲍雪, 张颖, 等. 甘油三酯葡萄糖指数对ST段抬高型心肌梗死患者急诊经皮冠状动脉介入治疗后微血管阻塞的预测价值[J]. 中国动脉硬化杂志, 2025, 33(11): 953-960.
LI T Y, BAO X, ZHANG Y, et al. Predictive value of triglyceride-glucose index on microvascular obstruction after emergency PCI in patients with ST-segment elevation myocardial infarction[J]. Chin J Arterioscler, 2025, 33(11): 953-960.
- [28] BILGIN M, AKKAYA E, DOKUYUCU R. Prognostic value of triglyceride glucose index in ST-elevation myocardial infarction: a key predictor of mortality and thrombus burden[J]. Diagnostics (Basel), 2024, 14(20): 2261.
- [29] FU R, ZHAO Y Y, CUI K Y, et al. Triglyceride glucose index predicts in-hospital mortality in patients with ST-segment elevation myocardial infarction who underwent primary angiography[J]. J Geriatr Cardiol, 2023, 20(3): 185-194.
- [30] ORMAZABAL V, NAIR S, ELFEKY O, et al. Association between insulin resistance and the development of cardiovascular disease[J]. Cardiovasc Diabetol, 2018, 17(1): 122.
- [31] 杨文晓, 郭文玲. TyG指数与冠心病关系的研究进展[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2025, 23(18): 2794-2797.
YANG W X, GUO W L. Research progress on the relationship between TyG index and coronary heart disease[J]. Chin J Integr Med Cardio-Cerebrovasc Dis, 2025, 23(18): 2794-2797.
- [32] GISSLER M C, ANTIOCHOS P, GE Y, et al. Cardiac magnetic resonance evaluation of LV remodeling post-myocardial infarction: prognosis, monitoring and trial endpoints[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2024, 17(11): 1366-1380.
- [33] 陈思婷, 邓华钊. 外周血炎症指标在急性冠状动脉综合征预后中的研究进展[J]. 中国心血管病研究, 2025, 23(8): 722-727.
CHEN S T, DENG H Z. Research progress on peripheral blood inflammation index in prognosis of acute coronary syndrome[J]. Chin J Cardiovasc Res, 2025, 23(8): 722-727.
- [34] ŞENÖZ O, EMREN S V, ERSEÇİN A, et al. Platelet-lymphocyte ratio is a predictor for the development of no-reflow phenomenon in patients with ST-segment elevation myocardial infarction after thrombus aspiration[J]. J Clin Lab Anal, 2021, 35(6): e23795.
- [35] BODI V, GAVARA J, LOPEZ-LEREU M P, et al. Impact of persistent microvascular obstruction late after STEMI on adverse LV remodeling: a CMR study[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2023, 16(7): 919-930.
- [36] CHEN Y, ZHOU X, CHEN Z, et al. The use of high-sensitivity cardiac troponin T and creatinine kinase-MB as a prognostic markers in patients with acute myocardial infarction and chronic kidney disease[J]. Ren Fail, 2023, 45(1): 2220420.
- [37] 刘科, 马振岩, 付磊, 等. 心脏磁共振成像整体纵向应变对急性ST段抬高型心肌梗死后左心室重构的预测价值: 403例前瞻性研究[J]. 南方医科大学学报, 2024, 44(6): 1033-1039.
LIU K, MA Z Y, FU L, et al. Predictive value of global longitudinal strain measured by cardiac magnetic resonance imaging for left ventricular remodeling after acute ST-segment elevation myocardial infarction: a multi-centered prospective study[J]. J South Med Univ, 2024, 44(6): 1033-1039.
- [38] KONIJNENBERG L S F, DAMMAN P, DUNCKER D J, et al. Pathophysiology and diagnosis of coronary microvascular dysfunction in ST-elevation myocardial infarction[J]. Cardiovasc Res, 2020, 116(4): 787-805.
- [39] 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.
WANG L, MA Y L, WANG W M, et al. Predictive value of coronary microcirculation dysfunction after revascularization in patients with acute myocardial infarction for acute heart failure during hospitalization[J]. J Peking Univ (Health Sci), 2025, 57(2): 267-271.
- [40] QIAN G, ZHANG Y, MA Z, et al. Long-term prognostic role of persistent microvascular obstruction determined by cardiac magnetic resonance for ST-segment elevation myocardial infarction[J]. Am Heart J, 2025, 290: 29-37.
- [41] MARCHINI F, POMPEI G, D'ANIELLO E, et al. Shedding light on treatment options for coronary vasomotor disorders: a systematic review[J]. Cardiovasc Drugs Ther, 2024, 38(1): 151-161.

(此文编辑 许雪梅)