

基于多模态数据构建急性 ST 段抬高型心肌梗死老年患者院内主要不良心血管事件风险预测模型



刘芷静¹, 彭 希², 金 静¹

1. 长沙市第四医院/长沙市中西医结合医院心血管内科 (长沙 410006)

2. 湖南省人民医院/湖南师范大学附属第一医院心血管内科 (长沙 410001)

【摘要】目的 基于多模态临床数据分析急性 ST 段抬高型心肌梗死 (STEMI) 老年患者经皮冠状动脉介入治疗 (PCI) 术后发生院内主要不良心血管事件 (MACE) 的影响因素并构建预测模型, 并评估该模型预测效能。**方法** 回顾性选取 2020 年 5 月至 2025 年 5 月于长沙市第四医院接受 PCI 的老年 STEMI 患者为研究对象, 按 7:3 的比例随机分为训练集和测试集, 根据住院期间是否发生 MACE 将训练集患者分为 MACE 组和非 MACE 组, 采用 Lasso 回归及多因素 Logistic 回归筛选独立预测因素, 并构建列线图模型。采用受试者工作特征曲线及其曲线下面积 (AUC)、校准曲线及决策曲线评估模型性能, 并采用 Bootstrap 法 (重复抽样 1 000 次) 进行内部验证。**结果** 共纳入 515 例老年 STEMI 患者, 其中训练集 361 例, 测试集 154 例, 院内 MACE 发生率为 26.02%。多因素 Logistic 回归显示, Killip 分级 $\geq$ II 级 [OR=4.186, 95%CI (1.967, 8.907)]、肌钙蛋白 [OR=2.415, 95%CI (1.690, 3.451)]、N 末端脑钠肽前体 (NT-proBNP) [OR=1.233, 95%CI (1.129, 1.347)]、冠状动脉血运重建术与心脏外科手术协作 (SYNTAX) 评分升高 [OR=1.214, 95%CI (1.129, 1.304)] 是院内 MACE 的独立危险因素, 而左心室射血分数 (LVEF) [OR=0.889, 95%CI (0.843, 0.938)]、预后营养指数 (PNI) 升高 [OR=0.843, 95%CI (0.784, 0.905)] 是院内 MACE 的独立保护因素。训练集和测试集的 AUC 分别为 0.941 和 0.934; 校准曲线与理想对角线基本重合 (Hosmer-Lemeshow 检验 $P > 0.05$); 决策曲线显示临床净收益优于极端策略。**结论** 基于 Killip 分级、肌钙蛋白、NT-proBNP、LVEF、SYNTAX 评分及 PNI 构建的列线图模型对老年 STEMI 患者 PCI 术后院内 MACE 风险表现出较好的预测效能和临床实用性, 初步提示其可用于临床早期识别高危患者及个体化干预, 但仍需多中心、大样本的外部独立队列进一步验证。

【关键词】 急性 ST 段抬高型心肌梗死; 老年; 主要不良心血管事件; 经皮冠状动脉介入治疗; 多模态数据; 预测模型

【中图分类号】 R542.2+2 **【文献标识码】** A

Construction of a risk prediction model for in-hospital major adverse cardiovascular events in elderly patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction based on multimodal data

LIU Zhijing¹, PENG Xi², JIN Jing¹

1. Department of Cardiovascular Medicine, The Fourth Hospital of Changsha/Changsha Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Changsha 410006, China

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202606040

基金项目: 湖南省自然科学基金联合基金项目 (2025JJ80465); 长沙市卫生健康科研课题 (KJ-202548)

通信作者: 金静, 主任医师, Email: jessielucy1123@163.com

2. Department of Cardiovascular Medicine, Hunan Provincial People's Hospital/The First Affiliated Hospital of Hunan Normal University, Changsha 410001, China

Corresponding author: JIN Jing, Email: jessielucy1123@163.com

【Abstract】Objective To analyze the influencing factors of in-hospital major adverse cardiovascular events (MACE) after percutaneous coronary intervention (PCI) in elderly patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI) based on multimodal clinical data, to establish a predictive model, and to evaluate the predictive performance of the model. **Methods** Elderly STEMI patients who underwent PCI at the Fourth Hospital of Changsha from May 2020 to May 2025 were retrospectively enrolled as research subjects. The patients were randomly divided into a training set and a validation set at a ratio of 7 : 3. Patients in the training set were further assigned to the MACE group and the non-MACE group according to whether in-hospital MACE occurred. Lasso regression and multivariate Logistic regression were applied to screen independent predictive factors, and a nomogram model was constructed. The model performance was assessed using the receiver operating characteristic curve and the area under the curve (AUC), as well as calibration curve and decision curve analysis. Bootstrap resampling (1, 000 repetitions) was performed for internal validation. **Results** A total of 515 elderly STEMI patients were included, with an in-hospital MACE incidence of 26.02%, of whom 361 were assigned to the training set and 154 to the validation set. Multivariate Logistic regression revealed that elevated Killip classification ($\geq$ Grade II) [OR=4.186, 95%CI (1.967, 8.907)], troponin [OR=2.415, 95%CI (1.690, 3.451)], N-terminal pro-brain natriuretic peptide (NT-proBNP) [OR=1.233, 95%CI (1.129, 1.347)], and Synergy between Percutaneous Coronary Intervention with TAXUS and Cardiac Surgery (SYNTAX) score [OR=1.214, 95%CI (1.129, 1.304)] were independent risk factors for in-hospital MACE, whereas elevated left ventricular ejection fraction (LVEF) [OR=0.889, 95%CI (0.843, 0.938)] and prognostic nutritional index (PNI) [OR=0.843, 95%CI (0.784, 0.905)] were independent protective factors for in-hospital MACE. The AUC values of the training set and validation set were 0.941 and 0.934, respectively. The calibration curve largely overlapped with the ideal diagonal line (Hosmer-Lemeshow test, $P > 0.05$). Decision curve analysis demonstrated superior clinical net benefit compared with extreme strategies. **Conclusion** The nomogram model constructed based on Killip classification, troponin, NT-proBNP, LVEF, SYNTAX score and PNI exhibits favorable predictive performance and clinical practicability for in-hospital MACE risk in elderly STEMI patients after PCI. It preliminarily suggests that this model can be used for early clinical identification of high-risk patients and individualized intervention. Further validation with multicenter, large-sample external independent cohorts is still required.

【Keywords】 Acute ST-segment elevation myocardial infarction; Elderly; Major adverse cardiovascular events; Percutaneous coronary intervention; Multimodal data; Prediction model

急性 ST 段抬高型心肌梗死 (ST-segment elevation myocardial infarction, STEMI) 起病急、发展快、死亡率高, 是冠心病最危险的临床类型^[1]。经皮冠状动脉介入治疗 (percutaneous coronary intervention, PCI) 是 STEMI 的首选再灌注手段, 可显著降低死亡率^[2]。但部分患者术后依然会发生主要不良心血管事件 (major adverse cardiovascular events, MACE), 包括心源性休克、恶性心律失常、心肌梗死重新发作甚至死亡, 严重威胁患者预后^[3-4]。老年 STEMI 患者常合并多

种基础疾病、生理储备功能减退、冠状动脉病变复杂等高危特征, 其 PCI 术后院内 MACE 风险显著高于非老年人群^[5]。因此, 早期准确识别该类高危人群并予以个体化干预, 对改善患者预后具有重要临床意义。研究显示, 单一临床指标难以全方位反映老年 STEMI 患者复杂的病理生理状态, 对术后 MACE 的预测效能存在明显局限^[6-7]。基于此, 本研究旨在通过回顾性综合分析心功能状态、心肌损伤与负荷标志物、心脏结构、冠脉解剖及营养免疫等多模态数据, 构建老年 STEMI

患者 PCI 术后院内 MACE 风险的预测列线图模型, 以期为临床早期识别高危患者、优化管理策略提供直观、量化的决策参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性分析 2020 年 5 月至 2025 年 5 月于长沙市第四医院(长沙市中西医结合医院)接受 PCI 治疗的老年 STEMI 患者临床资料。纳入标准: ①年龄 ≥ 60 岁, 性别不限; ②符合 STEMI 诊断标准^[8]; ③发病至入院时间 ≤ 12 h; ④入院后接受 PCI 治疗, 术后 TIMI 血流分级 ≥ 2 级; ⑤临床资料完整。排除标准: ①有冠状动脉旁路移植术史; ②伴严重心脏瓣膜病、原发性心肌病、先天性心脏病或主动脉夹层; ③伴严重肝肾功能不全、恶性肿瘤、自身免疫性疾病或急性感染性疾病; ④术中死亡。本研究获长沙市第四医院(长沙市中西医结合医院)医学伦理委员会审批(批号: CSSDSYY-YXLL-SC-2026-01-39), 并豁免知情同意。

1.2 资料收集

收集患者入院 24 h 内的基线资料, 包括年龄、性别、体重指数 (body mass index, BMI)、吸烟史、高血压史、糖尿病史、发病至再灌注时间、Killip 心功能分级、收缩压、心率、血红蛋白 (hemoglobin, Hb)、血小板计数 (platelet count, PLT)、淋巴细胞计数 (lymphocyte count, LYM)、白蛋白 (albumin, ALB)、总蛋白 (total protein, TP)、肌酐 (creatinine, Cr)、尿素氮 (blood urea nitrogen, BUN)、甘油三酯 (triglyceride, TG)、肌钙蛋白、N 末端脑钠肽前体 (N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP)、超敏 C 反应蛋白 (high-sensitivity C-reactive protein, hs-CRP)、左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、二尖瓣舒张早期血流峰速度与二尖瓣环舒张早期运动速度比值 (ratio of early diastolic mitral inflow velocity to early diastolic mitral annular velocity, E/e')、冠状动脉血运重建术与心脏外科手术协作 (Synergy between Percutaneous Coronary Intervention with TAXUS and Cardiac Surgery, SYNTAX) 评分、Gensini 冠状动脉病变严重程度评分、预后营养指数 (prognostic nutritional index, PNI) 等信息。其中, 实验室指标 (肌钙蛋白、NT-proBNP、hs-CRP、Hb、PLT、

LYM、ALB、TP、Cr、BUN、TG 等) 均为入院时首次采血结果; 心脏超声参数 (LVEF、E/e') 为入院 24 h 内完成检查并报告; Killip 分级基于入院时首次体格检查结果评定; SYNTAX 评分和 Gensini 评分由 2 名具有 10 年以上心血管介入经验的心脏内科医师根据 PCI 术中冠脉造影结果独立评估, 意见不一致时由第 3 名主任医师裁定。

1.3 预后分组情况

院内 MACE 定义为住院期间发生以下任一事件^[9]: 心血管死亡、再发急性心肌梗死 (术后心肌酶再度升高超过正常值上限的 2 倍伴心电图动态演变)、靶血管血运重建、新发致残性卒中 (影像学证实且出院时改良 Rankin 量表评分 ≥ 2 分)、心源性休克 (持续低血压需血管活性药物或机械循环支持) 或危及生命的心律失常 (室速/室颤或高度房室传导阻滞需电复律/起搏器干预)。由 2 名具有 10 年以上心血管内科临床工作经验且具备中级职称的医师独立查阅病历资料进行判定, 意见不一致时由 1 名具有 20 年以上工作经验且具备主任医师职称的专家裁定。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 26.0 与 R 4.2.1 软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以均数和标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用 t 检验; 不符合正态分布的计量资料以中位数和四分位数 [$M(P_{25}, P_{75})$] 表示, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验; 计数资料采用例数和百分比 ($n, \%$) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。采用分层随机抽样法将总体样本按 7:3 比例分为训练集与测试集, 分层依据为是否发生院内 MACE。采用 Lasso 回归及十折交叉验证筛选特征, 对 Lasso 回归筛选出的变量进行多重共线性诊断, 方差膨胀因子 (variance inflation factor, VIF) < 5 视为不存在严重共线性。通过多因素 Logistic 回归 (Enter 法) 确定独立危险因素, 并使用 R 语言 rms 包绘制列线图, 对于量纲差异较大的连续变量, 在纳入回归模型前进行尺度变换 (除以 100), 并以变换后的单位报告 OR 值, 以优化表格呈现并便于临床解释。采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线及其曲线下面积 (area under the curve, AUC)、校准曲线及决策曲线评估模型区分度、校准度及临床实用性, 并在测试集中进行内部验证。采用 DeLong 检验对各独立预

测因素及列线图模型的 AUC 进行两两比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

共纳入 515 例老年 STEMI 患者，训练集 361 例，测试集 154 例，总体院内 MACE 发生率为 26.02% (134/515)，中位住院时间为 9 (7, 13) d。

训练集中发生 MACE 94 例 (26.04%)，测试集中发生 MACE 40 例 (25.97%)，2 组 MACE 发生率及其他临床资料差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。训练集中，MACE 组与非 MACE 组在年龄、发病至再灌注时间、Killip 分级、ALB、肌钙蛋白、NT-proBNP、hs-CRP、LVEF、E/e'、SYNTAX 评分、Gensini 评分、PNI 方面差异有统计学意义 ($P < 0.05$)，见表 1。

表 1 患者基线资料 ($\bar{x} \pm s$)
Table 1. Baseline characteristics of patients ($\bar{x} \pm s$)

项目	总体患者				训练集			
	训练集 (n=361)	测试集 (n=154)	$\chi^2/t/Z$ 值	P 值	MACE 组 (n=94)	非 MACE 组 (n=267)	$\chi^2/t/Z$ 值	P 值
年龄 (岁)	70.96 $\pm$ 5.14	71.21 $\pm$ 4.99	-0.521	0.602	72.35 $\pm$ 4.97	70.47 $\pm$ 5.12	3.088	0.002
性别*			0.043	0.835			0.067	0.796
男	198 (54.85)	86 (55.84)			62 (65.96)	180 (67.42)		
女	163 (45.15)	68 (44.16)			32 (34.04)	87 (32.58)		
BMI (kg/m ²)	23.92 $\pm$ 3.10	23.73 $\pm$ 2.90	0.640	0.523	23.45 $\pm$ 3.42	24.09 $\pm$ 2.97	-1.711	0.088
吸烟史*	198 (54.85)	86 (55.84)	0.043	0.835	51 (54.26)	147 (55.06)	0.018	0.893
高血压史*	201 (55.68)	86 (55.84)	0.001	0.972	53 (56.38)	148 (55.43)	0.026	0.873
糖尿病史*	118 (32.69)	45 (29.22)	0.600	0.439	32 (34.04)	86 (32.21)	0.106	0.745
发病至再灌注时间 (h)	5.10 $\pm$ 1.41	4.96 $\pm$ 1.48	1.000	0.318	5.56 $\pm$ 1.30	4.93 $\pm$ 1.42	3.742	< 0.001
Killip 分级*			0.013	0.910			24.763	< 0.001
$\geq$ II 级	159 (44.04)	67 (43.51)			62 (65.96)	97 (36.33)		
I 级	202 (55.96)	87 (56.49)			32 (34.04)	170 (63.67)		
收缩压 (mmHg)	126.87 $\pm$ 18.73	125.45 $\pm$ 18.90	0.783	0.434	126.34 $\pm$ 18.19	127.06 $\pm$ 18.95	-0.318	0.751
心率 (次/min)	80.19 $\pm$ 14.51	79.75 $\pm$ 13.63	0.321	0.748	80.64 $\pm$ 15.17	80.04 $\pm$ 14.30	0.345	0.730
Hb (g/L)	128.00 $\pm$ 15.30	127.72 $\pm$ 14.31	0.194	0.846	127.29 $\pm$ 15.77	128.24 $\pm$ 15.15	-0.518	0.605
PLT ($\times 10^9/L$)	213.66 $\pm$ 62.19	212.79 $\pm$ 59.72	0.147	0.883	214.66 $\pm$ 62.18	213.31 $\pm$ 62.30	0.181	0.857
LYM ($\times 10^9/L$)	1.73 $\pm$ 0.55	1.75 $\pm$ 0.57	-0.414	0.679	1.68 $\pm$ 0.52	1.75 $\pm$ 0.57	-1.069	0.286
ALB (g/L)	36.73 $\pm$ 4.07	37.03 $\pm$ 3.91	-0.775	0.439	35.95 $\pm$ 4.36	37.01 $\pm$ 3.94	-2.169	0.031
TP (g/L)	66.30 $\pm$ 7.17	65.41 $\pm$ 7.47	1.263	0.207	65.61 $\pm$ 7.33	66.54 $\pm$ 7.12	-1.071	0.285
Cr (μ mol/L)	76.14 $\pm$ 18.18	78.15 $\pm$ 18.12	-1.150	0.251	76.83 $\pm$ 18.31	75.89 $\pm$ 18.16	0.428	0.669
BUN (mmol/L)	6.21 $\pm$ 2.04	6.19 $\pm$ 2.04	0.108	0.914	6.27 $\pm$ 2.11	6.19 $\pm$ 2.02	0.312	0.755
TG (mmol/L)	1.46 $\pm$ 0.44	1.49 $\pm$ 0.43	-0.756	0.450	1.43 $\pm$ 0.41	1.46 $\pm$ 0.44	-0.532	0.595
肌钙蛋白 (ng/mL)	4.08 $\pm$ 1.30	4.14 $\pm$ 1.18	-0.542	0.588	4.92 $\pm$ 1.26	3.78 $\pm$ 1.18	7.927	< 0.001
NT-proBNP (pg/mL) #	1 234.00 (1 015.00, 1 500.00)	1 339.00 (1 066.00, 1 641.50)	-1.385	0.057	1 655.50 (1 301.25, 1 967.25)	1 234.00 (1 015.00, 1 500.00)	-6.815	< 0.001
hs-CRP (mg/L)	8.29 $\pm$ 2.34	8.23 $\pm$ 2.44	0.227	0.820	8.83 $\pm$ 2.22	8.09 $\pm$ 2.35	2.649	0.008
LVEF (%)	52.37 $\pm$ 8.75	52.47 $\pm$ 8.62	-0.115	0.909	47.19 $\pm$ 7.84	54.20 $\pm$ 8.33	-7.119	< 0.001
E/e'	11.99 $\pm$ 3.28	12.04 $\pm$ 3.27	-0.148	0.882	12.62 $\pm$ 3.40	11.78 $\pm$ 3.22	2.148	0.032
SYNTAX 评分 (分)	18.26 $\pm$ 5.85	18.22 $\pm$ 6.26	0.069	0.945	22.35 $\pm$ 5.72	16.82 $\pm$ 5.19	8.653	< 0.001
Gensini 评分 (分)	57.99 $\pm$ 8.97	57.64 $\pm$ 9.04	0.397	0.692	59.61 $\pm$ 9.00	57.42 $\pm$ 8.91	2.044	0.042
PNI	48.60 $\pm$ 6.22	48.95 $\pm$ 6.12	-0.591	0.555	44.85 $\pm$ 5.69	49.92 $\pm$ 5.86	-7.262	< 0.001

注：*计数资料以例数和百分比 (n, %) 表示；#不符合正态分布的计量资料，以中位数和四分位数 [$M (P_{25}, P_{75})$] 表示。

2.2 Lasso 回归分析

采用 Lasso 回归对单因素分析中有统计学意义的变量进行特征降维,通过十折交叉验证确定最优惩罚系数 λ 值。筛选出 6 个非零系数的预测变量: Killip 分级、肌钙蛋白、NT-proBNP、LVEF、SYNTAX 评分、PNI,见附件图 1。

2.3 预测模型构建

对 Lasso 回归筛选出的 6 个变量进行多重共线性检验,结果显示,各变量 VIF 为 1.035~1.094,均 <5 ,不存在共线性,满足 Logistic 回归建模的基本前提。以住院期间是否发生 MACE 为因变量(0=否,1=是),上述 6 个变量为自变量,进行多因素 Logistic 回归分析。结果显示,Killip 分级 $\geq$ II 级 [OR=4.186, 95%CI (1.967, 8.907)]、肌钙蛋白水平升高 [OR=2.415, 95%CI (1.690, 3.451)]、NT-proBNP 水平升高 [OR=1.233, 95%CI (1.129, 1.347)]、SYNTAX 评分升高 [OR=1.214, 95%CI (1.129, 1.304)] 是院内 MACE 的独立危险因素,而 LVEF 升高 [OR=0.889, 95%CI (0.843, 0.938)]、PNI 升高 [OR=

0.843, 95%CI (0.784, 0.905)] 是院内 MACE 的独立保护因素,见表 2。基于上述多因素 Logistic 回归分析结果,绘制列线图,见图 1。

2.4 独立因素及列线图模型预测效能比较

ROC 曲线分析显示,列线图模型 AUC 值显著高于 Killip 分级、肌钙蛋白、NT-proBNP、LVEF、SYNTAX 评分、PNI 各单一指标 (P 均 <0.001),见表 3。

2.5 模型验证与效能评估

ROC 曲线分析显示,训练集和测试集 AUC 值分别为 0.941 [95%CI (0.913, 0.968)]、0.934 [95%CI (0.885, 0.982)],在最大约登指数对应的临界值下,灵敏度分别为 81.9%、82.5%,特异度分别为 93.3%、95.6%,见附件图 2。经 Bootstrap 法重复抽样 1 000 次校正后,训练集和测试集的校准曲线均与理想曲线拟合度高,见附件图 3。Hosmer-Lemeshow 检验显示训练集及测试集拟合优度良好, P 值分别为 0.371 和 0.312。决策曲线分析显示,在较宽的阈值概率范围内(训练集约 10%~85%,测试集约 15%~80%),模型临

表 2 老年 STEMI 患者 PCI 术后 MACE 风险影响因素分析

Table 2. Analysis of influencing factors of MACE in elderly patients with STEMI after PCI

影响因素	B 值	SE 值	Wald χ^2 值	OR 值 (95%CI)	P 值
Killip 分级 $\geq$ II 级	1.432	0.385	13.810	4.186 (1.967, 8.907)	<0.001
肌钙蛋白 (ng/mL)	0.882	0.182	23.445	2.415 (1.690, 3.451)	<0.001
NT-proBNP (100 pg/mL)	0.210	0.045	21.649	1.233 (1.129, 1.347)	<0.001
LVEF (%)	-0.118	0.027	18.493	0.889 (0.843, 0.938)	<0.001
SYNTAX 评分 (分)	0.194	0.037	27.802	1.214 (1.129, 1.304)	<0.001
PNI	-0.171	0.037	21.807	0.843 (0.784, 0.905)	<0.001

注:由于 NT-proBNP 原始数值较大,为便于临床解释,将其除以 100 后(以 100 pg/mL 为单位)纳入多因素 Logistic 回归,即 NT-proBNP 每升高 100 pg/mL,老年 STEMI 患者 PCI 术后院内 MACE 发生风险增加约 23.3%。

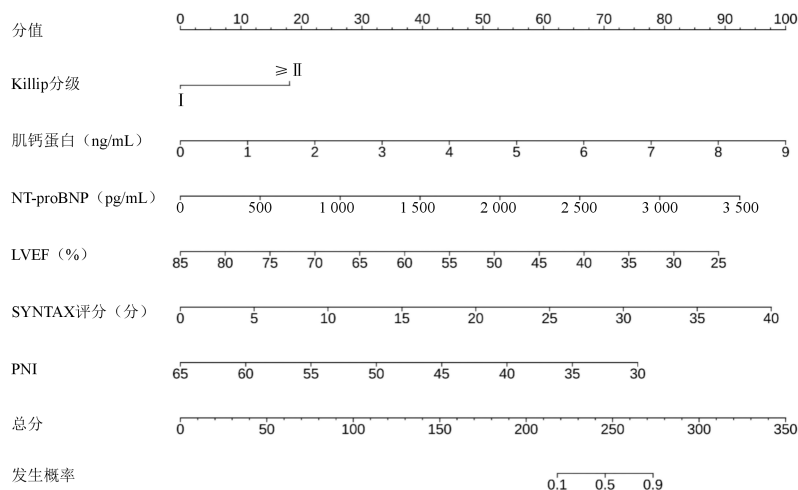


图 1 列线图模型

Figure 1. Nomogram model

表3 各独立因素及列线图模型预测老年 STEMI 患者 PCI 术后 MACE 风险的 ROC 曲线分析结果
Table 3. ROC curve analysis of individual independent factors and nomogram model for predicting the risk of MACE in elderly STEMI patients after PCI

变量	AUC 值 (95%CI)	SE 值	cut-off 值	约登指数	灵敏度	特异度	P 值
Killip 分级	0.648 (0.583, 0.713)	0.033	–	0.297	0.660	0.637	< 0.001
肌钙蛋白 (ng/mL)	0.755 (0.697, 0.814)	0.030	4.255	0.414	0.766	0.648	< 0.001
NT-proBNP (pg/mL)	0.736 (0.671, 0.801)	0.033	1 512.500	0.392	0.628	0.764	< 0.001
LVEF (%)	0.728 (0.669, 0.787)	0.030	50.860	0.387	0.674	0.713	< 0.001
SYNTAX 评分 (分)	0.757 (0.700, 0.815)	0.029	21.500	0.383	0.574	0.809	< 0.001
PNI	0.730 (0.671, 0.789)	0.030	45.510	0.372	0.798	0.574	< 0.001
列线图模型	0.941 (0.913, 0.968)	0.014	–	0.752	0.819	0.933	–

床净收益均显著优于“全干预”和“不干预”策略，提示模型在训练集与测试集中均具有良好的临床实用价值，见附件图4。

3 讨论

STEMI是心血管急危重症之一，发病率随年龄增大显著上升，老年患者占比超60%^[10]。尽管PCI的普及有效降低了STEMI总体病死率，但老年患者常合并多种基础疾病、机体生理储备减退，且冠状动脉病变程度复杂，其MACE发生率仍高达20%~30%^[11-12]。老年STEMI患者预后不良的病理生理机制错综复杂，与心肌收缩储备减弱、冠脉多支病变及钙化负荷高、神经-体液调节紊乱、营养及代谢功能衰退等多重因素密切相关。上述因素相互叠加，致使老年群体对缺血-再灌注损伤的耐受能力明显下降，增加术后MACE发生风险。

本研究发现，Killip 分级、肌钙蛋白、NT-proBNP、LVEF、SYNTAX 评分以及 PNI 是老年 STEMI 患者 PCI 术后院内 MACE 的独立影响因素，所构建的列线图模型高于单一预测因子，提示多模态信息的整合可在单一指标基础上提供额外的预测增益。Killip 分级 ≥ II 级提示患者已出现肺淤血或心源性休克前期表现，心肌损伤范围大，左心室收缩功能大幅下降，即便成功开通梗死相关血管，该类患者仍面临再灌注损伤、心肌顿抑、恶性心律失常以及心功能进行性恶化等高危风险^[13]。老年患者心脏代偿能力不足，对容量负荷以及压力负荷耐受不佳，一旦 Killip 分级上升，极易发展为心源性休克并导致死亡^[14]。提示应重点关注 STEMI Killip 分级 ≥ II 级的老年患者，术后加强心功能监测及循环支持。NT-proBNP 和肌

钙蛋白是心肌损伤和心力衰竭的核心生物标志物^[15-16]。既往研究证实，肌钙蛋白升高水平与心肌坏死范围呈正相关；大面积心肌梗死患者经 PCI 实现血运重建，仍无法完全避免心肌重构及心力衰竭的发生^[17]。心室肌细胞受牵张刺激后分泌 NT-proBNP，可灵敏反映心室壁张力与容量负荷状态^[18]。本研究结果与安锦华等^[19]相符合，该研究同样认为 NT-proBNP 是 STEMI 患者院内 MACE 的重要预测因子。LVEF 是超声评估左心室收缩功能最常用的参数，本研究结果显示，LVEF 每升高 1%，MACE 发生风险下降 11.1%，提示 LVEF 为 MACE 的独立保护因素，该结果与现有临床认知一致：LVEF 保留代表心肌收缩功能尚可，心输出量充足，重要脏器灌注得以维持^[20]。但 LVEF 检测结果受心脏负荷状态及操作者经验干扰，部分射血分数保留型心力衰竭患者依旧处于高危状态，因此临床需结合多项指标开展综合评估。SYNTAX 评分为当前评估冠状动脉病变解剖复杂程度的金标准^[21]。本研究中 MACE 组 SYNTAX 评分显著高于非 MACE 组，其潜在机制可能在于高 SYNTAX 评分常对应多支血管病变、分叉病变、慢性完全闭塞或重度钙化病变^[22]。老年患者血管基础条件差、钙化负荷重，PCI 操作难度大，术中并发症风险升高；同时术后双联抗血小板治疗的依从性与耐受性亦可对远期预后产生影响。除此之外，年龄增长带来的肝血流量降低、肾小球滤过率减退等生理改变，会改变氯吡格雷、替格瑞洛等抗血小板药物的药代动力学，使不同个体药物暴露水平差异增大。老年患者常并存多种基础疾病，药物相互作用风险增高，肝肾功能下降，使缺血与出血风险的权衡更为困难。

本研究构建的预测模型虽未直接纳入用药相关变量,但 Killip 分级、NT-proBNP、LVEF 等心功能及血流动力学指标,以及反映肝脏合成功能的复合指标 PNI,可间接体现患者对药物治疗的耐受差异。刘赛等^[23]针对 STEMI 合并糖尿病人群开展研究,证实 PNI 对 MACE 具备预测价值,该研究主要聚焦慢性病介导的长期预后风险。与之相比,本研究进一步证实 PNI 在老年 STEMI 患者中的独立预测效能,同时验证了 SYNTAX 评分的临床意义。PNI 是近年备受关注的营养-免疫复合标志物,由血清 ALB 与外周血 LYM 计算得出。PNI 降低提示机体整体储备功能受损,对急性缺血损害的耐受能力差,术后感染、心力衰竭及死亡风险显著升高,其潜在机制包括低白蛋白血症可造成药物结合与转运异常、组织水肿延缓组织修复、机体抗氧化能力减弱;LYM 下降则代表免疫监视功能缺陷,炎症调控能力失衡,促使动脉粥样硬化斑块失稳,进一步加重心肌损伤^[24-25]。对于 PNI 降低的老年 STEMI 患者,临床早期实施营养支持与免疫调节干预有望改善预后,但该结论尚有待前瞻性研究加以验证。临床常用的营养评估工具还包括老年营养风险指数(GNRI)和控制营养状态评分(CONUT)等。本研究选择 PNI 主要基于其计算简便,仅需血清 ALB 和 LYM 两项常规指标,在急诊入院 24 h 内即可获得,临床实用性强。本研究采用 Lasso 回归筛选变量,PNI 最终被保留为独立预测因子,但并不否定 GNRI、CONUT 同样具备预测潜力,后续可开展研究横向对比不同营养评估工具在该人群中的预测效能。本研究单因素分析提示 MACE 组与非 MACE 组 Gensini 评分差异有统计学意义,但经 Lasso 回归筛选后并未进入最终模型,提示其独立预测效能弱于 SYNTAX 评分。该结果可能源于 Gensini 评分侧重对冠脉狭窄程度进行加权,而 SYNTAX 评分可更全面地反映冠状动脉病变的解剖复杂程度。

相较于近年同类研究,本模型整体预测效能表现良好。林芳等^[26]基于 216 例老年 STEMI 患者构建的列线图模型 AUC 值为 0.847;一项基于机器学习(CatBoost)的 STEMI 预后预测模型在外部验证中 AUC 值达 0.91^[27]。本模型能够取得较好的区分度,或得益于整合了心功能、心肌损伤、心脏结构、冠脉解剖、营养-免疫状态等多维度指标。但不同研究之间不宜直接对比 AUC 结果,

结局事件定义、随访时间、研究人群基线特征及验证方案均会对 AUC 数值产生干扰,解读时应当保持审慎。

本研究存在一定局限性。①单中心回顾性设计可能导致选择偏倚,模型仅在内部测试集验证,其外推性尚需多中心外部数据检验;②NT-proBNP、肌钙蛋白等指标的采血时间不完全一致,可能影响预测效能,后续研究应统一采样时间;③未纳入抗血小板药物强度、他汀剂量等用药细节及住院期间并发症等潜在混杂因素;④本模型纳入的部分变量(如 LVEF 与 NT-proBNP)在病理生理上具有关联性,该多维信息的整合既是模型优势,也可能带来信息冗余,后续研究可采用主成分分析或结构方程模型进一步剖析变量间的直接与间接效应;⑤老年人群内部异质性显著,超高龄(≥ 80 岁)与低龄(60~75岁)老年人、合并与不合并糖尿病、单支与多支病变、低 PNI 与正常 PNI 等亚组之间的病理生理状态和预后差异巨大,研究暂未针对上述关键亚组进行分层分析,一定程度上降低了临床指导的精细化程度;⑥未与传统风险评分进行直接比较,本模型是否真正优于临床常用评分工具尚不明确,结论应保守解读。未来研究应开展多中心的前瞻性研究,采用独立外部数据对模型进行外部验证与优化,并在更大样本基础上开展亚组分层分析及模型稳健性检验。同时将模型整合至临床信息系统,开发实时风险预测工具并评估其实用性,并基于模型识别高危人群,设计针对性干预策略(如早期营养支持、强化心功能管理),以验证其改善预后的实际效果。

综上所述,本研究基于 Killip 分级、肌钙蛋白、NT-proBNP、LVEF、SYNTAX 评分及 PNI 所构建的列线图模型,在内部验证中显示出较好的预测效能和临床实用性,初步提示其可能有助于老年 STEMI 患者 PCI 术后院内 MACE 风险的早期识别与个体化干预,但其普适性仍需多中心、大样本的前瞻性研究进一步验证。

附件见《医学新知》官网附录(<https://yxxz.whuznhmedj.com/futureApi/storage/appendix/202606040.pdf>)

伦理声明:本研究获长沙市第四医院(长沙市中西医结合医院)医

学伦理委员会审批(批号:CSSDSYY-YXLL-SC-2026-01-39)

作者贡献: 研究设计、数据收集、经费支持: 刘芷静; 数据分析、病例入组、论文审定: 彭希; 研究指导、论文撰写、病理诊断: 金静

数据获取: 本研究中使用和(或)分析的数据可联系通信作者获取

利益冲突声明: 无

致谢: 不适用

参考文献

- 1 王星, 治桂茹, 戴金娜. 白蛋白与球蛋白比值评估急性ST段抬高型心肌梗死患者预后的价值分析[J]. 中国医师进修杂志, 2026, 49(1): 63-68. [Wang X, Zhi GR, Dai JN. Prognostic value of albumin to globulin ratio in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction[J]. Chinese Journal of Postgraduates of Medicine, 2026, 49(1): 63-68.]
- 2 Li D, Liu T, Li Z. Sema4D combined with electrocardiographic parameters for predicting STEMI prognosis: development and validation of a nomogram model[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2025, 104(28): e43236.
- 3 Hakeem A, Ali Shah J, Kumar R, et al. Rationale and design of the TADCLLOT trial: a double blind randomized controlled trial comparing twice a day clopidogrel vs ticagrelor in reducing major cardiac events in patients with acute STEMI undergoing primary percutaneous coronary intervention[J]. *Am Heart J*, 2025, 287: 141-150.
- 4 张兆元, 马茜钰, 张丹, 等. C反应蛋白与高密度脂蛋白胆固醇比值, N末端脑钠肽前体与射血分数比值对STEMI患者PCI术后院内MACE的预测价值研究[J]. 心血管病学进展, 2023, 44(2): 186-192. [Zhang ZY, Ma QY, Zhang D, et al. Predictive value of C-reactive protein to high-density lipoprotein cholesterol ratio and N-terminal pro-brain natriuretic peptide to ejection fraction ratio for in-hospital MACE in STEMI patients after PCI[J]. *Advances in Cardiovascular Diseases*, 2023, 44(2): 186-192.]
- 5 马玲玲, 冯俊, 孙召金, 等. 胸痛中心持续改进对急性ST段抬高型心肌梗死患者再灌注及预后的影响[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2025, 17(3): 305-308. [Ma LL, Feng J, Sun ZJ, et al. Effect of continuous improvement of chest pain center on reperfusion and prognosis in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Chinese Journal of Evidence-Based Cardiovascular Medicine*, 2025, 17(3): 305-308.]
- 6 翟双久美, 程光慧, 李迎婕, 等. 血清GLP-1、DKK1、ACSL4水平与2型糖尿病合并急性ST段抬高型心肌梗死患者PCI术后预后不良的关系[J]. 检验医学与临床, 2026, 23(3): 397-403. [Zhai SJM, Cheng GH, Li YJ, et al. Relationship between serum GLP-1, DKK1, ACSL4 levels and poor prognosis in patients with type 2 diabetes mellitus complicated with acute ST-segment elevation myocardial infarction after PCI[J]. *Laboratory Medicine and Clinic*, 2026, 23(3): 397-403.]
- 7 Xu J, Luo D, Lei Y, et al. Correlation between abnormal microvascular perfusion and quantitative flow ratio after primary PCI in patients with STEMI[J]. *Int J Cardiol*, 2025, 422: 132949.
- 8 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. Guideline for the diagnosis and treatment of acute ST-segment elevation myocardial infarction (2019)[J]. *Chinese Journal of Cardiology*, 2019, 47(10): 766-783.]
- 9 曹干, 邓毅凡, 何胜虎, 等. 乳酸脱氢酶与白蛋白比值与急性ST段抬高型心肌梗死急诊经皮冠状动脉介入治疗术后患者预后的相关性研究[J]. 中国全科医学, 2025, 28(15): 1878-1883, 1890. [Cao G, Deng YF, He SH, et al. Correlation between lactate dehydrogenase to albumin ratio and prognosis in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction after emergency percutaneous coronary intervention[J]. *Chinese General Practice*, 2025, 28(15): 1878-1883, 1890.]
- 10 王进, 张新贵, 王长虹, 等. 短期血压变异性与老年急性ST段抬高型心肌梗死患者介入治疗后全因死亡的关系[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2026, 28(1): 23-26. [Wang J, Zhang XG, Wang CH, et al. Association between short-term blood pressure variability and all-cause mortality in elderly patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction after PCI[J]. *Chinese Journal of Geriatric Heart Brain and Vessel Diseases*, 2026, 28(1): 23-26.]
- 11 刘莹, 夏小丽, 袁莹, 等. STEMI患者血清BNP、FBG、ApoA2水平变化及其与PCI术后1年内发生MACE的关系[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2025, 17(10): 1227-1230, 1236. [Liu Y, Xia XL, Yuan Y, et al. Changes of serum BNP, FBG and ApoA2 levels in STEMI patients and their relationship with MACE within 1 year after PCI[J]. *Chinese Journal of Evidence-Based Cardiovascular Medicine*, 2025, 17(10): 1227-1230, 1236.]
- 12 马晓雨, 潘思雨, 李若水, 等. Glasgow预后评分、C反应蛋白/白蛋白与全球急性冠状动脉登记事件评分对急性非ST段抬高型心肌梗死患者PCI术后院内不良预后的预测价值[J]. 陕西医学杂志, 2025, 54(10): 1343-1348. [Ma XY, Pan SY, Li RS, et al. Predictive value of Glasgow Prognostic Score, C-reactive protein/albumin ratio and Global Registry of Acute Coronary Events score for in-hospital adverse prognosis in patients with acute non-ST-segment elevation myocardial infarction after PCI[J]. *Shaanxi Medical Journal*, 2025, 54(10): 1343-1348.]
- 13 Zhang W, Jia H, Zhao X, et al. Predictive value of cumulative SII for MACE in STEMI patients after PCI[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2025, 104(13): e41983.
- 14 翟虎, 张纯溪, 王禹, 等. 急性ST段抬高型心肌梗死患者急诊介入前心室颤动预测模型构建及验证[J]. 临床心血管病杂志, 2023, 39(6): 459-465. [Zhai H, Zhang CX, Wang Y, et al. Construction and validation of a prediction model for ventricular fibrillation before emergency intervention in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Journal of Clinical Cardiology*, 2023, 39(6): 459-465.]
- 15 杨海燕, 翁洁瑶, 钱怡琳, 等. 急性ST段抬高型心肌梗死患者血清IRGM、Syndecan-1水平表达对PCI术后预后的影响[J]. 现代检验医学杂志, 2025, 40(3): 123-128. [Yang HY, Weng JY, Qian YL, et al. Expression of serum IRGM and Syndecan-1 levels in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction and their influence on prognosis after PCI[J]. *Journal of Modern Laboratory Medicine*, 2025, 40(3): 123-128.]
- 16 Oberhollenzer F, Lechner I, Reindl M, et al. Prognostic impact of remote myocardium changes using T1 mapping in patients with ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Eur Radiol*, 2025, 35(12): 8012-8024.
- 17 李欣, 彭喆, 王雨佳, 等. STEMI患者PCI治疗后NT-proBNP、Mb、CK-MB、cTnI浓度与不良心血管事件的关系[J]. 岭南心血管病杂志, 2025, 31(4): 344-349. [Li X, Peng Z, Wang YJ, et al. Relationship between NT-proBNP, Mb, CK-MB, cTnI concentrations and adverse cardiovascular events in STEMI patients after PCI[J]. *South China Journal of Cardiovascular Diseases*, 2025, 31(4): 344-349.]
- 18 王国余, 许岑, 王健, 等. 老年急性ST段抬高型心肌梗死病人营养不良风险与PCI术后预后的关系[J]. 实用老年医学, 2025, 39(5):

- 482-486. [Wang GY, Xu C, Wang J, et al. Relationship between malnutrition risk and prognosis after PCI in elderly patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Practical Geriatrics*, 2025, 39(5): 482-486.]
- 19 安锦华, 李建国. sST2联合Gensini评分对急性STEMI病人发生院内MACE的预测价值[J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2024, 22(17): 3186-3189. [An JH, Li JG. Predictive value of sST2 combined with Gensini score for in-hospital MACE in patients with acute STEMI[J]. *Chinese Journal of Integrative Medicine on Cardio-Cerebrovascular Disease*, 2024, 22(17): 3186-3189.]
- 20 张慧, 王黎, 上官海娟, 等. 基于心脏磁共振评估的冠状动脉微血管阻塞对急性ST段抬高型心肌梗死患者急诊经皮冠状动脉介入治疗术后预后的临床研究[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2025, 33(6): 327-333. [Zhang H, Wang L, Shangguan HJ, et al. Clinical study on the prognosis of coronary microvascular obstruction assessed by cardiac magnetic resonance in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction after emergency percutaneous coronary intervention[J]. *Chinese Journal of Interventional Cardiology*, 2025, 33(6): 327-333.]
- 21 Xie WH, Shi RY, Xiang JY, et al. Machine Learning using clinical and cardiac MRI features to predict long-term outcomes in acute STEMI[J]. *Radiology*, 2026, 318(2): e251490.
- 22 周军, 林松, 郑亚国. 红细胞分布宽度/白蛋白比值对急性ST段抬高型心肌梗死直接经皮冠状动脉介入治疗患者预后的预测价值[J]. *中国心血管病研究*, 2026, 24(2): 127-132. [Zhou J, Lin S, Zheng YG. Predictive value of red blood cell distribution width to albumin ratio for prognosis in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction undergoing primary percutaneous coronary intervention[J]. *Chinese Journal of Cardiovascular Research*, 2026, 24(2): 127-132.]
- 23 刘赛, 张凯文, 郭金成, 等. 预后营养指数与老年ST段抬高型心肌梗死冠状动脉介入后不良事件风险的研究[J]. *心肺血管病杂志*, 2025, 44(5): 443-449, 532. [Liu S, Zhang KW, Guo JC, et al. Prognostic nutritional index and risk of adverse events in elderly patients with ST-segment elevation myocardial infarction after percutaneous coronary intervention[J]. *Journal of Cardiovascular and Pulmonary Diseases*, 2025, 44(5): 443-449, 532.]
- 24 Li J, Xie P, Hu Y, et al. Predictive value of combining angio-based index of microcirculatory resistance and fractional flow reserve in patients with STEMI[J]. *Can J Cardiol*, 2025, 41(7): 1363-1371.
- 25 金峰, 郭兴, 祁昊. 系统性免疫炎症指数与急性ST段抬高型心肌梗死患者PCI术后左室重构的关系[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2024, 16(11): 1350-1352, 1357. [Jin F, Guo X, Qi H. Relationship between systemic immune-inflammation index and left ventricular remodeling in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction after PCI[J]. *Chinese Journal of Evidence-Based Cardiovascular Medicine*, 2024, 16(11): 1350-1352, 1357.]
- 26 林芳, 李寒雪, 张琳, 等. 老年急性ST段抬高型心肌梗死患者PCI术后不良心血管事件影响因素分析及列线图预测模型建立[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2024, 32(4): 319-324. [Lin F, Li HX, Zhang L, et al. Analysis of influencing factors of adverse cardiovascular events after PCI in elderly patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction and establishment of a nomogram prediction model[J]. *Chinese Journal of Arteriosclerosis*, 2024, 32(4): 319-324.]
- 27 Mirzohreh ST, Roshanravan N, Suleymanov T, et al. Missing-data-aware machine learning prediction of in-hospital major adverse cardiovascular events after primary percutaneous coronary intervention for ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Sci Rep*, 2026, 16(1): 25059.

收稿日期: 2026 年 06 月 10 日 修回日期: 2026 年 08 月 04 日

本文编辑: 杨室淞 曹 越

引用本文: 刘芷静, 彭希, 金静. 基于多模态数据构建急性ST段抬高型心肌梗死老年患者院内主要不良心血管事件风险预测模型[J]. *医学新知*, 2026, 36(9): 980-988. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202606040.

Liu ZJ, Peng X, Jin J. Construction of a risk prediction model for in-hospital major adverse cardiovascular events in elderly patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction based on multimodal data[J]. *Yixue Xinzhi Zazhi*, 2026, 36(9): 980-988. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202606040.