

整合心脏超声参数的PCI术后再入院风险 列线图模型构建

丁 亮^{1,2}, 李 鹏^{1*}

¹青岛大学附属医院急诊医学科, 山东 青岛

²威海市立二院重症医学科, 山东 威海

收稿日期: 2026年8月4日; 录用日期: 2026年8月27日; 发布日期: 2026年9月7日

摘 要

目的: 探讨经皮冠状动脉介入治疗(PCI)术后1年心血管再入院的风险因素, 构建整合心脏超声参数的多维度列线图模型, 并明确其临床定位与适用范围。方法: 回顾性分析2013年1月~2024年5月青岛大学附属医院7125例PCI患者的临床资料。以术后1年内因心血管相关原因再入院为结局, 采用多重插补法处理缺失数据。经LASSO回归筛选变量后按7:3分为训练集($n = 4988$)与验证集($n = 2137$), 构建多因素Logistic回归列线图。采用ROC曲线、校准曲线及决策曲线分析(DCA)评估模型效能。结果: 全组再入院率为26.0%。多因素分析显示, 住院次数、Gensini评分、病变节段数、二尖瓣中度及以上反流、总胆固醇、空腹血糖及肌酐为独立危险因素(均 $P < 0.05$)。模型验证AUC 0.665 (95% CI: 0.639~0.691), 提示区分度中等; 校准曲线贴合理想对角线(Hosmer-Lemeshow检验 $P = 0.178$), 显示校准度良好; DCA证实其在5%~80%阈值率范围内具有正向临床净获益。结论: 本研究首次整合临床-解剖-代谢-心脏结构多维度指标构建列线图模型, 其核心创新在于纳入二尖瓣反流、室壁变薄等超声参数以反映心脏结构重构。模型校准性能优异, 可作为辅助筛查工具识别PCI术后再入院高危患者, 但区分度有限, 不支持个体精准预测, 临床应用需结合医师经验综合判断, 推广前需经多中心前瞻性外部验证。

关键词

经皮冠状动脉介入治疗, 再入院, 危险因素, 列线图, 预后

To Construct a Risk Nomogram Model for Readmission after PCI by Integrating Cardiac Ultrasound Parameters

Liang Ding^{1,2}, Peng Li^{1*}

¹Department of Emergency Medicine, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

²Department of Critical Care Medicine, The Second Municipal Hospital of Weihai, Weihai Shandong

*通讯作者。

文章引用: 丁亮, 李鹏. 整合心脏超声参数的 PCI 术后再入院风险列线图模型构建[J]. 临床医学进展, 2026, 16(9): 735-745. DOI: 10.12677/acm.2026.1693101

Abstract

Objective: This study aims to investigate the risk factors associated with cardiovascular readmission within one year following percutaneous coronary intervention (PCI) and to develop a comprehensive nomogram model that incorporates echocardiographic parameters, thereby elucidating its clinical relevance and applicability. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 7125 patients who underwent PCI at the Affiliated Hospital of Qingdao University between January 2013 and May 2024. Multiple imputation techniques were employed to address missing data, focusing on the outcome of readmission due to cardiovascular-related causes within one year post-surgery. Variables were selected using LASSO regression and subsequently divided into a training set ($n = 4988$) and a validation set ($n = 2137$) in a 7:3 ratio. A multivariate logistic regression nomogram was then developed. The model's performance was assessed using the receiver operating characteristic (ROC) curve, calibration curve, and decision curve analysis (DCA). **Results:** The readmission rate was observed to be 26.0%. Multivariate analysis identified the number of hospitalizations, Gensini score, number of diseased segments, moderate or greater mitral regurgitation, total cholesterol, fasting blood glucose, and creatinine levels as independent risk factors, all with statistical significance ($P < 0.05$). The area under the curve (AUC) for model validation was 0.665 (95% CI: 0.639~0.691), suggesting moderate discriminative ability. The calibration curve closely aligned with the ideal diagonal, as indicated by the Hosmer-Lemeshow test ($P = 0.178$), demonstrating good calibration. Decision curve analysis (DCA) confirmed a positive net clinical benefit, with threshold probabilities ranging from 5% to 80%. **Conclusion:** This study represents the inaugural effort to integrate clinical, anatomical, metabolic, and cardiac structural parameters in the development of a nomogram model. A key innovation of this model is the incorporation of echocardiographic parameters, specifically mitral regurgitation and ventricular wall thinning, to effectively capture cardiac structural remodeling. The model demonstrates excellent calibration performance and holds potential as an auxiliary screening tool for identifying high-risk patients for readmission following percutaneous coronary intervention (PCI). However, its discriminatory power is limited, precluding precise individual predictions. Clinical application should be guided by physicians' expertise, and multi-center prospective external validation is necessary prior to broader implementation.

Keywords

Percutaneous Coronary Intervention, Readmission to Hospital, Risk Factors, Nomogram, Prognosis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

经皮冠状动脉介入治疗(Percutaneous Coronary Intervention, PCI)已成为冠心病血运重建的首选策略。随着 PCI 手术量的激增及患者生存期的延长,术后再入院问题日益凸显[1]-[3]。PCI 术后再入院不仅是不良预后的标志,也是医疗质量评价及医保支付改革的核心指标。PCI 术后 1 年内心血管相关再入院率居高不下,不仅加重了患者的经济负担,也占用了大量的医疗资源。

目前, 临床上尚缺乏简便、准确的工具来预测 PCI 术后的再入院风险。现有的风险评分主要侧重于院内或短期死亡风险, 对再入院这一复合结局的预测效能有限[4][5]。此外, 多数研究未能整合心脏超声结构功能指标与冠脉病变严重程度[3]。因此, 本研究基于大样本临床数据, 旨在通过严谨的统计建模方法, 构建一个融合临床、生化、超声及冠脉造影参数的可视化列线图, 以期为 PCI 术后患者的长期管理提供决策支持。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

回顾性纳入 2013 年 1 月至 2024 年 5 月于青岛大学附属医院急诊医学科接受 PCI 治疗的 7125 例患者。纳入标准: 成功行 PCI 治疗且临床资料完整。排除标准: 临床资料严重缺失无法补全者。以 PCI 术后 1 年内是否因心血管相关原因再次入院作为结局事件, 再入院判定依据为出院主诊断。根据结局将患者分为再入院组和未再入院组。

2.2. 数据收集与变量定义

收集的数据涵盖六大模块: 病历一般资料、实验室检验、心脏超声、出院用药、冠脉病变 Gensini 评分及结局分组。变量包括: 1) 连续型变量: 年龄、住院天数、住院次数、血压、心率、体重指数、总胆固醇、甘油三酯、空腹血糖、肌酐、胱抑素 C、尿酸、血红蛋白、血小板计数、血钾、肌酸激酶、肌酸激酶同工酶、游离三碘甲状腺原氨酸、中性粒细胞与淋巴细胞比值、左室射血分数、肺动脉收缩压、Gensini 总分、病变节段数、累及血管数等。2) 分类型变量: 性别、吸烟、饮酒、替格瑞洛使用、达格列净使用、右房扩大、室壁变薄、二尖瓣中度及以上反流等。

2.3. 数据清洗与缺失值处理

为确保数据质量, 对生理学上不可能的极端值进行清理。针对缺失数据, 首先剔除缺失率 $> 50\%$ 的变量。对于剩余变量, 采用多重插补法进行填补(插补 5 次), 连续变量采用预测均值匹配, 分类变量采用 Logistic 回归, 并将结局变量纳入插补模型以减少偏倚。考虑到缺失率较低且变量较多, 为聚焦于预测模型构建, 本研究在单因素分析阶段的统计采用 Rubin's 规则在插补数据集上进行合并计算。对于多重插补数据的单因素分析, 各项统计量(如中位数、频数)及 P 值均采用 Rubin's 规则在 5 个插补数据集上进行合并计算。在多因素建模阶段亦采用广义 Linear 模型结合 Rubin's 规则进行参数估计。

2.4. 变量筛选、模型构建与验证

变量筛选: 首先对插补后的数据集进行单因素分析, 并结合临床专业知识, 采用 LASSO 回归(10 折交叉验证)进行变量精简, 选用 λ_{1se} 准则以控制过拟合。模型建立: 将数据集按 7:3 比例随机划分为训练集和验证集。模型构建: 基于训练集构建多因素 Logistic 回归模型, 并绘制列线图。模型验证: 1) 区分度: 采用 ROC 曲线下面积(AUC)评价, 计算 95% CI。2) 校准度: 绘制校准曲线, 采用 Hosmer-Lemeshow 检验评价拟合优度。3) 临床获益: 采用 DCA 评估模型的临床实用性。

2.5. 统计学分析

采用 R 软件(4.3.0 版)进行统计分析。计数资料以频数(百分比)表示, 组间比较采用 χ^2 检验; 非正态分布计量资料以中位数(四分位间距)表示, 组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验。所有检验均为双侧, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 基线特征

共纳入 7125 例 PCI 术后患者, 其中再入院组 1848 例, 未再入院组 5277 例。两组比较显示, 再入院组在多项指标上与未再入院组存在显著差异。再入院组患者的住院天数、住院次数、空腹血糖、肌酐、中性粒细胞与淋巴细胞比值、肺动脉收缩压及 Gensini 总分均高于未再入院组(均 $P < 0.001$)。冠脉病变方面, 再入院组的病变节段数与累及血管数亦显著更高。再入院组二尖瓣中度及以上反流及室壁变薄的比例更高, 而游离三碘甲状腺原氨酸及血钾水平较低(均 $P < 0.05$) (详见表 1)。

Table 1. Comparison of baseline characteristics between the readmission group and the non-readmission group
表 1. 再入院组与未再入院组基线特征比较

变量	总体(N = 7125)	未再入院(N = 5277)	再入院(N = 1848)	P 值
年龄	68.00 (60.00, 74.00)	68.00 (60.00, 74.00)	69.00 (61.00, 75.00)	<0.001
住院天数	5.00 (4.00, 7.00)	5.00 (4.00, 7.00)	6.00 (4.00, 8.00)	<0.001
住院次数	1.00 (1.00, 1.00)	1.00 (1.00, 1.00)	1.00 (1.00, 2.00)	<0.001
总胆固醇	4.21 (3.49, 5.00)	4.19 (3.48, 4.98)	4.27 (3.53, 5.08)	0.022
空腹血糖	5.53 (4.89, 6.90)	5.49 (4.88, 6.74)	5.69 (4.93, 7.38)	<0.001
肌酐	79.30 (64.00, 93.60)	78.00 (63.00, 92.40)	83.00 (67.00, 96.90)	<0.001
血小板计数	210.00 (176.0, 254.0)	212.00 (176.0, 256.0)	208.00 (174.0, 252.0)	0.031
血钾	4.11 (3.86, 4.36)	4.12 (3.87, 4.36)	4.08 (3.83, 4.34)	0.006
游离三碘甲状腺原氨酸	4.31 (3.75, 4.83)	4.34 (3.81, 4.86)	4.17 (3.62, 4.70)	<0.001
中性粒细胞与淋巴细胞比值	2.22 (1.64, 3.10)	2.18 (1.62, 3.03)	2.31 (1.71, 3.35)	<0.001
肺动脉收缩压	28.00 (25.00, 30.00)	27.00 (25.00, 30.00)	28.00 (25.00, 32.00)	<0.001
Gensini 总分	51.00 (30.00, 85.00)	47.00 (28.00, 80.00)	68.00 (39.00, 101.0)	<0.001
病变节段数	4.00 (2.00, 5.00)	3.00 (2.00, 5.00)	5.00 (3.00, 6.00)	<0.001
累及血管数	3.00 (2.00, 4.00)	3.00 (2.00, 3.00)	3.00 (2.00, 4.00)	<0.001
饮酒, n (%)	2035 (28.6)	1557 (29.5)	478 (25.9)	0.003
替格瑞洛, n (%)	4077 (57.2)	3072 (58.2)	1005 (54.4)	0.005
达格列净, n (%)	468 (6.6)	318 (6.0)	150 (8.1)	0.002
右房扩大, n (%)	247 (3.5)	159 (3.0)	88 (4.8)	<0.001
室壁变薄, n (%)	1252 (17.6)	865 (16.4)	387 (20.9)	<0.001
二尖瓣中度及以上反流, n (%)	572 (8.0)	356 (6.7)	216 (11.7)	<0.001

注: 数据为多重插补后结果。连续变量以中位数(四分位间距)表示, 采用 Wilcoxon 秩和检验; 分类变量以 n (%)表示, 采用 χ^2 检验。表中仅展示组间比较 $P < 0.05$ 的变量。

3.2. 训练集与验证集均衡性

训练集(4988 例)与验证集(2137 例)在绝大多数建模变量上分布均衡, 差异无统计学意义; 仅血小板计数($P = 0.039$)与游离三碘甲状腺原氨酸($P = 0.018$)存在轻微差异, 但中位数十分接近, 不影响整体可比性。两组再入院事件比例均为 26%, 提示分层随机划分有效(详见表 2)。

Table 2. Comparison of variables between the training and validation sets**表 2.** 训练集与验证集变量比较

变量	训练集(N = 4988)	验证集(N = 2137)	P 值
年龄	68.00 (60.0, 74.0)	68.00 (60.0, 74.0)	0.50
住院天数	5.00 (4.00, 7.00)	5.00 (4.00, 7.00)	0.50
住院次数	1.00 (1.00, 1.00)	1.00 (1.00, 1.00)	0.20
总胆固醇	4.20 (3.47, 5.00)	4.24 (3.55, 5.02)	0.10
空腹血糖	5.53 (4.90, 6.85)	5.53 (4.87, 7.02)	0.80
肌酐	79.00 (64.0, 93.0)	80.37 (64.0, 94.6)	0.20
血小板计数	209.0 (174, 254)	213.0 (178, 255)	0.04
血钾	4.11 (3.86, 4.36)	4.11 (3.85, 4.35)	0.20
游离三碘甲状腺原氨酸	4.32 (3.77, 4.84)	4.27 (3.71, 4.79)	0.02
中性粒细胞与淋巴细胞比值	2.21 (1.63, 3.10)	2.23 (1.66, 3.11)	0.50
肺动脉收缩压	27.0 (25.0, 30.0)	28.0 (25.0, 31.0)	0.60
Gensini 总分	50.75 (30.0, 84.0)	52.00 (30.0, 86.0)	0.20
病变节段数	4.00 (2.00, 5.00)	4.00 (2.00, 5.00)	0.30
累及血管数	3.00 (2.00, 4.00)	3.00 (2.00, 4.00)	0.60
饮酒, n (%)	1442 (29)	593 (28)	0.30
替格瑞洛, n (%)	2836 (57)	1241 (58)	0.30
达格列净, n (%)	314 (6.3)	154 (7.2)	0.20
右房扩大, n (%)	181 (3.6)	66 (3.1)	0.30
室壁变薄, n (%)	868 (17)	384 (18)	0.60
二尖瓣中度及以上反流, n (%)	401 (8.0)	171 (8.0)	> 0.90
再入院, n (%)	1295 (26)	553 (26)	> 0.90

注: 连续变量为中位数(四分位间距), 分类变量为 n (%); 采用 Wilcoxon 秩和检验与 χ^2 检验。结果证实随机划分均衡。

3.3. 变量筛选

采用 LASSO 回归对候选变量进行精简, 10 折交叉验证的系数路径与误差曲线见图 1。基于 lambda.1se 准则(lambda.1se = 0.02830)并经几何均值回退后, 最终从候选变量中筛选出 20 个建模变量, 分别为年龄、住院天数、住院次数、总胆固醇、空腹血糖、肌酐、血小板计数、血钾、游离三碘甲状腺原氨酸、中性粒细胞与淋巴细胞比值、肺动脉收缩压、Gensini 总分、病变节段数、累及血管数、饮酒、替格瑞洛使用、达格列净、室壁变薄、右房扩大、二尖瓣中度及以上反流。各变量的非零系数见表 3, 其中住院次数(系数 0.24101)、二尖瓣中度及以上反流(0.23184)与病变节段数(0.10140)的权重相对较大。鉴于多因素 Logistic 回归具有良好的临床解释性, 且 LASSO 回归筛选出的变量仍需在回归模型中验证其独立性, 故将 LASSO 筛选出的 20 个变量纳入多因素 Logistic 回归分析, 最终确定独立危险因素。

3.4. 多因素 Logistic 回归分析

基于多重插补合并后的参数估计, 构建多因素 Logistic 回归模型, 结果见表 4。在校正其他变量后,

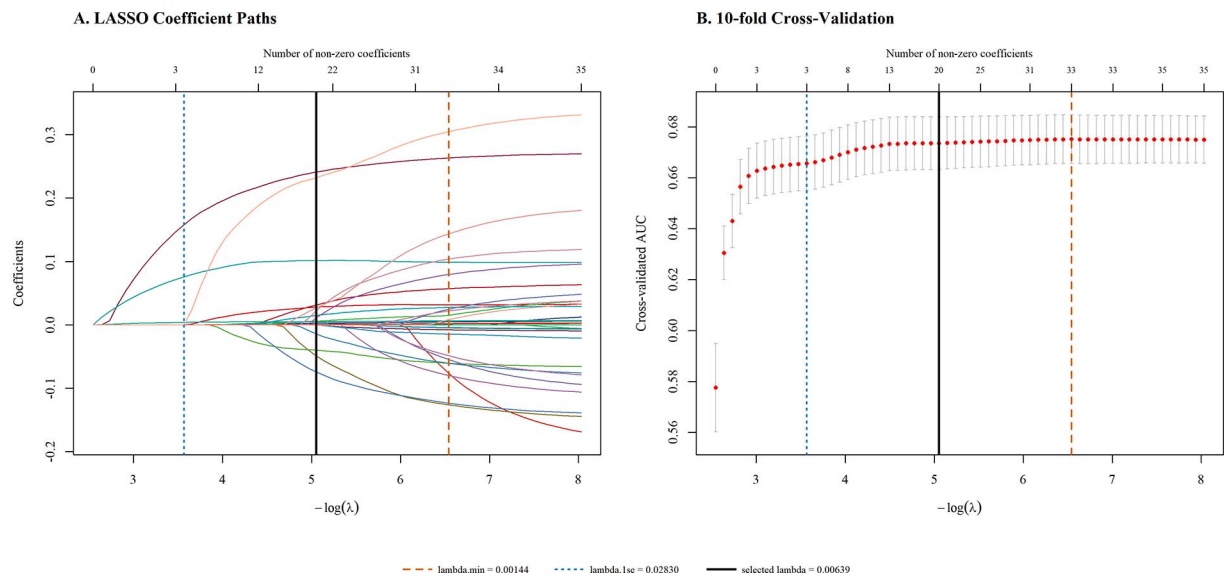


Figure 1. Coefficient paths and 10-fold cross-validation results of the LASSO regression model. (A) Coefficient paths of LASSO regression; (B) 10-fold cross-validation results

图 1. LASSO 回归筛选变量的路径图及 10 折交叉验证图。(A) LASSO 系数路径图；(B) 10 折交叉验证图

Table 3. Non-zero coefficients of the LASSO regression model

表 3. LASSO 回归非零系数

变量	系数
年龄	0.00264
住院天数	-0.00025
住院次数	0.24101
总胆固醇	0.03134
空腹血糖	0.02791
肌酐	0.00105
血小板计数	-0.00001
血钾	-0.04929
游离三碘甲状腺原氨酸	-0.03978
中性粒细胞与淋巴细胞比值	0.00586
肺动脉收缩压	0.00482
Gensini 总分	0.00511
病变节段数	0.10140
累及血管数	0.01492
饮酒	-0.01439
替格瑞洛	-0.07423
达格列净	0.01090
右房扩大	0.02227
室壁变薄	0.02675
二尖瓣中度及以上反流	0.23184

注：10 折交叉验证； $\lambda_{1se} = 0.02830$ ；共筛选 20 个变量用于精简模型。

住院次数(OR = 1.303, 95% CI 1.226~1.385, $P < 0.001$)、总胆固醇(OR = 1.074, $P = 0.011$)、肌酐(OR = 1.002, $P = 0.008$)、空腹血糖(OR = 1.028, $P = 0.031$)、Gensini 总分(OR = 1.005, 95% CI 1.003~1.007, $P < 0.001$)、病变节段数(OR = 1.115, 95% CI 1.047~1.187, $P < 0.001$)、二尖瓣中度及以上反流(OR = 1.383, 95% CI 1.085~1.762, $P = 0.009$)是再入院的独立危险因素; 而住院天数(OR = 0.983, $P = 0.015$)、血钾(OR = 0.843, $P = 0.044$)、游离三碘甲状腺原氨酸(OR = 0.886, 95% CI 0.814~0.963, $P = 0.005$)与替格瑞洛(OR = 0.870, $P = 0.048$)则与再入院风险降低相关。

Table 4. Multivariate logistic regression analysis of risk factors for readmission

表 4. 再入院多因素 Logistic 回归分析

变量	β	SE	OR	95% CI	P 值
年龄	0.003	0.004	1.003	0.996~1.010	0.380
住院天数	-0.017	0.007	0.983	0.969~0.997	0.015
住院次数	0.265	0.031	1.303	1.226~1.385	<0.001
总胆固醇	0.071	0.028	1.074	1.016~1.135	0.011
空腹血糖	0.027	0.013	1.028	1.003~1.053	0.031
肌酐	0.002	0.001	1.002	1.000~1.003	0.008
血小板计数	-0.001	0.001	0.999	0.998~1.000	0.103
血钾	-0.171	0.085	0.843	0.714~0.995	0.044
游离三碘甲状腺原氨酸	-0.122	0.043	0.886	0.814~0.963	0.005
中性粒细胞淋巴细胞比值	0.020	0.011	1.020	0.999~1.041	0.066
肺动脉收缩压	0.004	0.006	1.004	0.993~1.016	0.436
Gensini 总分	0.005	0.001	1.005	1.003~1.007	<0.001
病变节段数	0.109	0.032	1.115	1.047~1.187	<0.001
累及血管数	0.049	0.048	1.051	0.956~1.155	0.307
饮酒	-0.138	0.077	0.871	0.749~1.014	0.075
替格瑞洛	-0.140	0.070	0.870	0.757~0.999	0.048
达格列净	0.096	0.137	1.101	0.842~1.439	0.482
右房扩大	0.224	0.181	1.251	0.876~1.785	0.218
室壁变薄	0.105	0.090	1.111	0.932~1.326	0.241
二尖瓣中度及以上反流	0.324	0.124	1.383	1.085~1.762	0.009

注: 基于多重插补数据集, 采用 Logistic 回归结合 Rubin's 规则进行参数估计。OR, 比值比; CI, 置信区间。

3.5. 列线图展示

基于 Logistic 回归模型构建预测 PCI 术后 1 年再入院风险的列线图(见图 2)。列线图纳入年龄、住院天数、住院次数、总胆固醇、空腹血糖、肌酐、血小板计数、血钾、FT3、NLR、肺动脉收缩压、Gensini 总分、病变节段数、累及血管数、饮酒、替格瑞洛、达格列净、右房扩大、室壁变薄及二尖瓣中度及以上反流共 20 个变量。使用时, 根据各变量取值读取对应分值, 累加得到总分, 并由总分对应至底部刻度即可估计个体再入院概率, 便于临床快速评估。

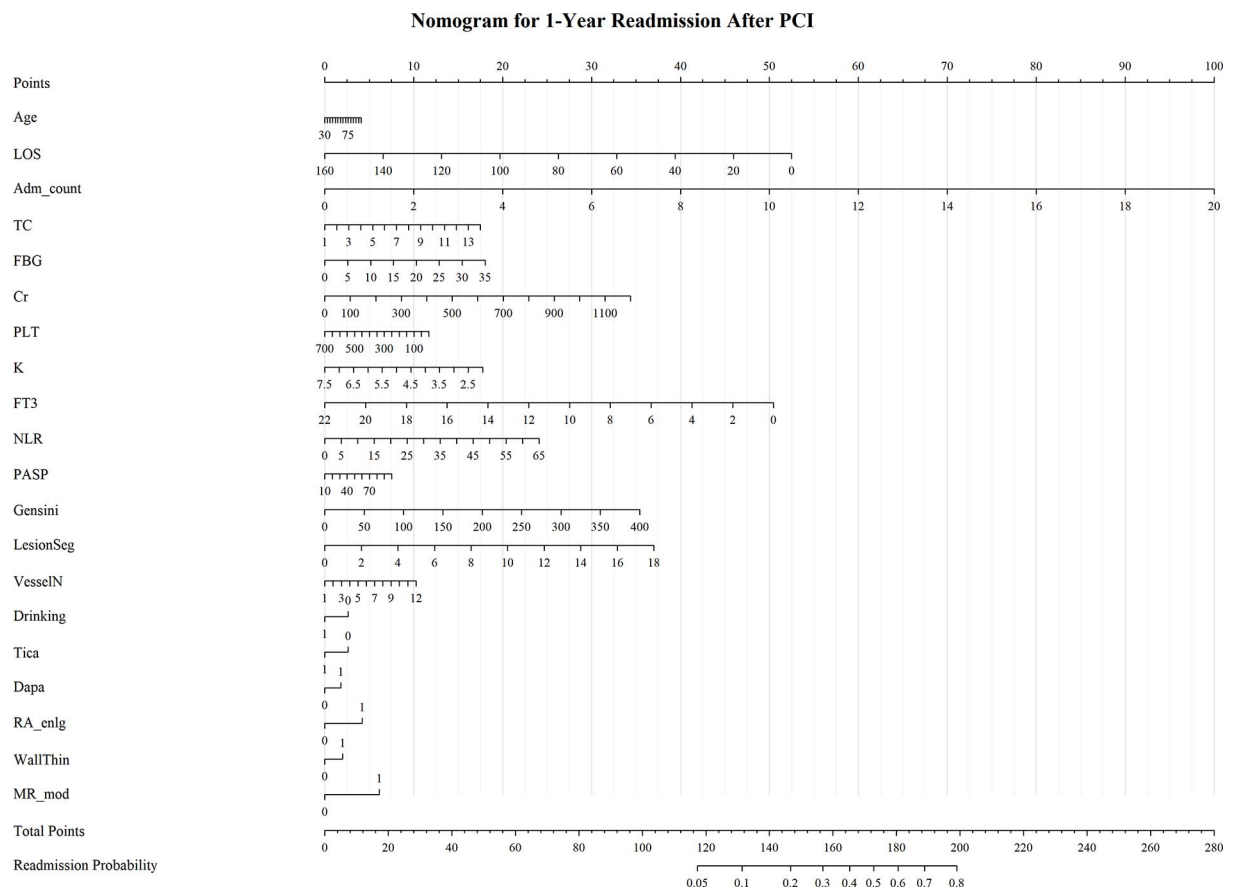


Figure 2. Nomogram for predicting 1-year readmission risk after PCI

图 2. PCI 术后 1 年再入院风险预测列线图

3.6. 模型性能评价

区分度: Logistic 回归模型在验证集中的 AUC 为 0.665 (95% CI: 0.639~0.691) (见图 3)。

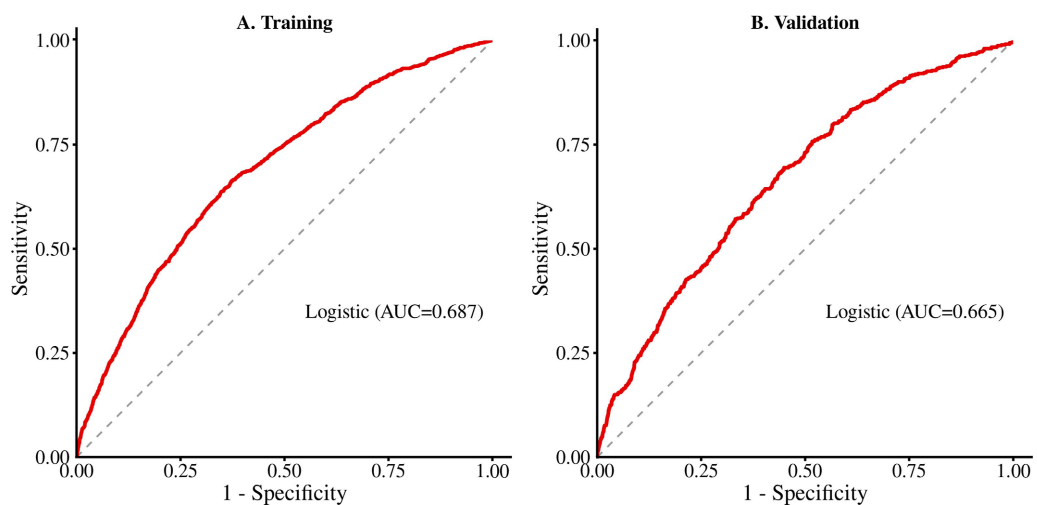


Figure 3. Comparison of receiver operating characteristic (ROC) curves between the training and validation sets

图 3. 训练集与验证集 ROC 曲线比较

校准度: 校准曲线显示预测概率与实际观测概率高度一致。Hosmer-Lemeshow 检验显示验证集 $P = 0.178$, 提示模型校准良好。训练集与验证集的校准曲线均较好地贴合理想对角线, 提示预测概率与实际观测概率吻合良好(见图 4)。

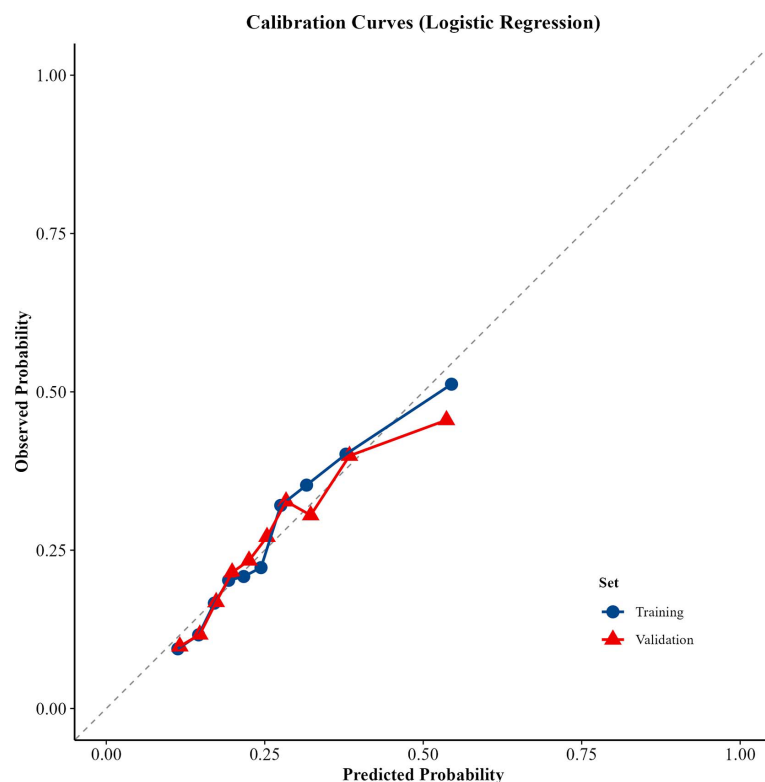


Figure 4. Comparison of calibration curves between the training and validation sets
图 4. 训练集与验证集校准曲线比较

临床获益: DCA 曲线显示, 在阈概率 5%~80% 的范围内, 使用该模型指导临床决策的净获益均高于“全干预”或“全不干预”策略(见图 5)。

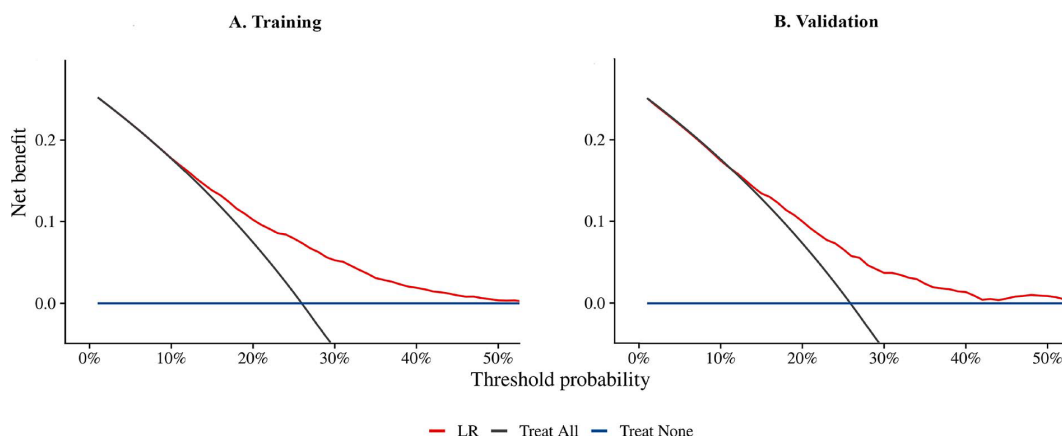


Figure 5. Decision curve analysis (DCA) for the training and validation sets
图 5. 训练集与验证集 DCA 曲线

4. 讨论

本研究基于 7125 例 PCI 术后患者的大样本数据, 构建了一个整合临床、生化、超声及冠脉造影多维度参数的再入院风险列线图模型。模型验证集 AUC 为 0.665 (95% CI: 0.639~0.691), 虽区分度属中等水平, 但校准曲线与 Hosmer-Lemeshow 检验($P=0.178$)显示预测概率与实际观测概率高度吻合, DCA 证实其在 5%~80% 阈概率范围内具有稳定临床净获益, 符合再入院这类多因素驱动复杂结局的预期。本研究的核心创新点在于突破传统模型仅依赖临床生化或冠脉解剖指标的局限, 首次将二尖瓣反流、室壁变薄、右房扩大等反映心脏结构与血流动力学改变的超声参数纳入模型, 实现了从心脏结构重构、代谢紊乱、解剖病变严重性到临床病程特征的多维度风险整合, 为 PCI 术后再入院风险的精细化评估提供了更全面的视角[4] [6]。

住院次数是预测再入院最强的独立危险因素($OR=1.303$, 95% CI: 1.226~1.385, $P<0.001$)。需明确的是, 住院次数在本研究中扮演的是“综合风险标记物”而非因果驱动因素, 不能解读为“住院本身导致再入院”, 而是患者整体健康脆弱性的集中体现: 既反映反复心血管事件累积的心肌损伤、微血管功能障碍及易损斑块持续存在等深层病理过程, 也隐性提示治疗依从性、社会经济状况及长期管理能力的差异, 需作为触发强化二级预防干预的重要信号而非干预靶点。这一发现与 Biswas 等基于 2.8 万例多中心 PCI 登记队列的结果一致——术前 12 个月内住院次数越多, 术后 30 天非计划再入院风险呈梯度上升, 作者同样将其解释为“整体脆弱性与卫生服务利用模式”的替代指标, 而非因果驱动[7]。

住院天数在校正混杂因素后呈现弱保护性($OR=0.983$, 95% CI: 0.969~0.997, $P=0.015$), 与单因素分析结果相反, 这一“悖论”源于混杂偏倚的剥离: 单因素下再入院组住院时间更长, 主要因病情更重患者既需更长住院时间, 也面临更高再入院风险; 当模型纳入 Gensini 评分、二尖瓣反流等反映疾病严重程度的变量后, 住院天数的净效应体现为同等病情背景下诊疗充分性的差异, 但效应幅度有限且存在反向因果, 不能推导“主动延长住院可降低再入院风险”, 临床应用中无需过度解读其保护意义。

本研究纳入的多维度心脏超声参数是模型的重要增量价值来源, 突破了既往模型仅依赖左室射血分数的局限。其中二尖瓣中度及以上反流是最强的超声预测因子($OR=1.383$, 95% CI: 1.085~1.762, $P=0.009$), 其病理意义兼具因果两端: 既是既往心肌缺血导致乳头肌功能不全或左室扩大的结果, 也通过容量负荷过重推高左室充盈压, 加速心室重构, 形成“缺血-反流-心衰”恶性循环; 右房扩大、室壁变薄、肺动脉收缩压升高则分别提示右心适应性改变、心肌纤维化及左心衰竭向肺动脉高压演进, 警示 PCI 术后超声发现的瓣膜反流、心房扩大等改变不应被视为无关紧要的伴随现象, 而应作为启动或强化心衰规范化管理的重要指征。Yan 等对 6940 例 AMI-PCI 患者的研究证实, 中重度二尖瓣反流使 3 年因心衰再入院风险显著升高($HR=1.69$) [8]; Qiao 等进一步显示, PCI 后持续性中重度继发二尖瓣反流与心功能恶化、再住院风险独立相关, 支持将超声结构性参数纳入风险分层[9]。

代谢紊乱构成了再入院的微观病理生理基础: 总胆固醇($OR=1.074$, 95% CI: 1.016~1.135, $P=0.011$)、空腹血糖($OR=1.028$, 95% CI: 1.003~1.053, $P=0.031$)及肌酐($OR=1.002$, 95% CI: 1.000~1.003, $P=0.008$)均为独立危险因素, 分别提示他汀治疗背景下的“残余胆固醇风险”、糖代谢异常对血管内皮功能的持续损害及肾功能作为“风险放大器”的作用, PCI 术后需重点管控 LDL-C 未达标、合并糖代谢异常或轻度肾功能损伤的高危人群[10]。Gao 等在东亚 PCI 人群中证实, 即便接受他汀治疗, 残余胆固醇风险仍独立预测远期主要不良心脑血管事件[10]; 同期欧洲心脏杂志研究亦显示, 他汀治疗后残留炎症/胆固醇风险是再发事件的重要驱动[11]。

本研究的优势在于样本量大、数据维度广, 且采用多重插补法处理缺失值以减少选择偏倚。但需客观认识模型局限性: 首先, 模型区分度中等, 无法支持精准个体风险预测, 仅可作为辅助筛查工具识别

高危人群, 临床决策需结合医师经验, 不可仅凭模型概率制定方案; 其次, 单中心回顾性设计存在固有偏倚, 未纳入社会经济、心理及行为学变量, 可能低估非临床因素的贡献; 最后, 仅经内部独立验证, 推广前必须经过多中心、前瞻性外部验证以确认泛化能力。未来研究应: ① 开展多中心前瞻性队列研究验证并优化模型性能; ② 纳入社会经济、心理评估及行为学指标构建更全面模型; ③ 开展干预性研究验证基于模型的风险分层管理能否切实降低再入院率。

综上所述, 本研究构建的列线图模型量化了住院次数、冠脉病变、心功能不全及代谢紊乱对再入院的协同影响, 其优异的校准度可为临床风险分层提供可靠依据, 但区分度有限, 仅可作为辅助筛查工具, 不可过度依赖其进行个体精准预测。未来经外部验证优化后, 该模型有望为 PCI 术后患者个体化管理提供决策支持, 改善远期预后。

声 明

本研究经医院伦理委员会批准(审批号: QYFYWZLL30090), 免除知情同意。

参考文献

- [1] 国飞艳, 孟凡华, 黄圣男, 等. 经皮冠状动脉介入术患者术后 1 年内心源性计划外再入院原因分析[J]. 中国心血管病研究, 2022, 20(1): 14-19.
- [2] 张萌, 许艳, 郑红艳. 急性心肌梗死患者经皮冠状动脉介入术后 1 年内再入院风险预测列线图模型构建与评估[J]. 实用心脑血管病杂志, 2022, 30(3): 17-21.
- [3] 杨顺清, 唐庚, 陈静静, 等. 冠心病合并 2 型糖尿病患者 PCI 术后再入院的影响因素及预测模型构建[J]. 现代生物医学进展, 2025, 25(12): 1955-1960+1975.
- [4] Xu, W., Tu, H., Xiong, X., Peng, Y. and Cheng, T. (2022) Predicting the Risk of Unplanned Readmission at 30 Days after PCI: Development and Validation of a New Predictive Nomogram. *Clinical Interventions in Aging*, **17**, 1013-1023. <https://doi.org/10.2147/cia.s369885>
- [5] Li, D., Lin, Y., Dong, W., Hu, Y. and Li, K. (2022) A Nomogram for Predicting the Readmission within 6 Months after Treatment in Patients with Acute Coronary Syndrome. *BMC Cardiovascular Disorders*, **22**, Article No. 448. <https://doi.org/10.1186/s12872-022-02873-6>
- [6] Ye, J., Yuan, R., Liu, Y., Wang, W., Xu, D., Li, Y., et al. (2025) A Nomogram Risk Prediction Model for Ischemic Mitral Regurgitation after Primary Percutaneous Coronary Intervention in Patients with ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *European Journal of Medical Research*, **30**, Article No. 357. <https://doi.org/10.1186/s40001-025-02624-1>
- [7] Biswas, S., Dinh, D., Lucas, M., Duffy, S.J., Brennan, A.L., Liew, D., et al. (2020) Incidence and Predictors of Unplanned Hospital Readmission after Percutaneous Coronary Intervention. *Journal of Clinical Medicine*, **9**, Article 3242. <https://doi.org/10.3390/jcm9103242>
- [8] Yan, N., Wu, P., Zhu, B., Ma, A., Wang, X., Hai, X., et al. (2025) The Association between Mitral Regurgitation and Long-Term Outcomes in Acute Myocardial Infarction Undergoing Percutaneous Coronary Intervention: A Retrospective Large Sample Cohort Study. *International Journal of General Medicine*, **18**, 703-715. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s509816>
- [9] Qiao, L., Huang, H., Liu, J., Jia, C., He, Y., Yu, S., et al. (2023) Wall Motion Score Index Predicts Persistent Moderate or Severe Secondary Mitral Regurgitation and Its Prognostic Role in Patients Undergoing Percutaneous Coronary Intervention. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, **24**, Article No. 256. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2409256>
- [10] Gao, A., Guo, T., Yang, Z., Qiu, H. and Gao, R. (2025) Residual Inflammatory and Cholesterol Risk and the Association with Recurrent Cardiovascular Events in East Asian Patients after Percutaneous Coronary Intervention. *Reviews in Cardiovascular Medicine*, **26**, Article No. 36438. <https://doi.org/10.31083/rcm36438>
- [11] Bay, B., Tanner, R., Gao, M., Oliva, A., Sartori, S., Vogel, B., et al. (2025) Residual Cholesterol and Inflammatory Risk in Statin-Treated Patients Undergoing Percutaneous Coronary Intervention. *European Heart Journal*, **46**, 3167-3177. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaf196>