

本文引用: 田甜, 胡杨, 马宇虹. 单核细胞/高密度脂蛋白胆固醇比值联合系统炎症反应指数对老年2型糖尿病合并急性冠脉综合征患者心力衰竭再入院风险预测模型的价值[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(7): 650-660. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.07.007.

· 临床研究 ·

[文章编号] 1007-3949(2026)34-07-0650-11

单核细胞/高密度脂蛋白胆固醇比值联合系统炎症反应指数对老年2型糖尿病合并急性冠脉综合征患者心力衰竭再入院风险预测模型的价值

田甜^{1,2}, 胡杨², 马宇虹¹

1. 内蒙古医科大学附属医院全科医学, 2. 内蒙古医科大学, 内蒙古呼和浩特市 010010

[摘要] **[目的]** 探讨单核细胞/高密度脂蛋白胆固醇比值(MHR)联合系统炎症反应指数(SIRI)预测老年2型糖尿病(T2DM)合并急性冠脉综合征(ACS)患者心力衰竭(HF)再入院风险的价值,并构建风险预测模型。**[方法]** 采用回顾性队列研究方法,选取2023年1月—2025年10月于内蒙古医科大学附属医院住院治疗的老年T2DM合并ACS患者775例。以出院后至数据提取截止日期本院首次因HF再入院为结局事件,按7:3随机分为训练集542例和测试集233例。采用LASSO回归联合多因素Logistic回归筛选独立预测因子,构建风险预测模型,并采用受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线及决策曲线分析评价模型效能,绘制列线图。采用SHAP方法分析各预测因子对模型的贡献。**[结果]** 共筛选出9个独立预测因子,分别为性别、首次支架植入史、二次支架植入史、血小板计数(PLT)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、球蛋白(Glo)、左心室射血分数(LVEF)、MHR和SIRI。多因素Logistic回归分析显示,MHR水平升高($OR=4.464, 95\%CI:2.972\sim6.704, P<0.001$)和SIRI水平升高($OR=1.360, 95\%CI:1.015\sim1.823, P=0.039$)与HF再入院风险增加独立相关,而LVEF升高($OR=0.320, 95\%CI:0.233\sim0.439, P<0.001$)与HF再入院风险降低独立相关。Logistic回归模型在测试集中的AUC为0.917,表现出良好的区分度和校准度。SHAP分析显示,MHR对模型预测贡献最大,其次为LVEF。**[结论]** MHR联合SIRI可有效预测老年T2DM合并ACS患者HF再入院风险,基于Logistic回归构建的列线图具有较好的预测效能和潜在临床应用价值。

[关键词] 单核细胞/高密度脂蛋白胆固醇比值; 系统炎症反应指数; 急性冠脉综合征; 2型糖尿病; 心力衰竭

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

The predictive value of the monocyte-to-high density lipoprotein cholesterol ratio combined with systemic inflammation response index for heart failure readmission risk in elderly patients with type 2 diabetes mellitus complicated with acute coronary syndrome

Tian Tian^{1,2}, Hu Yang², Ma Yuhong¹

1. Department of General Practice, Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, 2. Inner Mongolia Medical University, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China

[ABSTRACT] **Aim** To evaluate the value of the monocyte-to-high density lipoprotein cholesterol ratio (MHR) combined with systemic inflammation response index (SIRI) in predicting the risk of heart failure (HF) readmission in elderly patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) and acute coronary syndrome (ACS), and to establish a risk prediction model. **Methods** In this retrospective cohort study, 775 elderly inpatients with T2DM and ACS hospitalized in

[收稿日期] 2026-03-25

[修回日期] 2026-05-17

[基金项目] 内蒙古自治区自然科学基金联合项目(2024LHMS08011);内蒙古医科大学附属医院公立医院联合重点项目(2025GLLH0181);内蒙古自治区自然科学基金项目(2026MS0913)

[作者简介] 田甜,硕士研究生,主要研究方向为老年心血管疾病,E-mail:1044255854@qq.com。通信作者马宇虹,硕士,主任医师,硕士研究生导师,主要研究方向为老年心血管疾病,E-mail:doctor_myh@126.com。

the Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University from January 2023 to October 2025 were enrolled. The primary endpoint was the first readmission for HF in our hospital from discharge to the data cutoff date. All patients were randomly divided into a training set ($n=542$) and a test set ($n=233$) at a ratio of 7 : 3. LASSO regression followed by multivariate Logistic regression was used to identify independent predictors and construct the prediction model. Model performance was assessed using receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration curves, and decision curve analysis, and a nomogram was established. The SHAP method was used to quantify the contribution of each predictor to the model. **Results** A total of nine independent predictors were identified: sex, history of primary stent implantation, history of secondary stent implantation, platelet count (PLT), low density lipoprotein cholesterol (LDLC), globulin (Glo), left ventricular ejection fraction (LVEF), MHR and SIRI. Multivariate Logistic regression showed that higher MHR ($OR=4.464$, 95% CI : 2.972 ~ 6.704, $P<0.001$) and higher SIRI ($OR=1.360$, 95% CI : 1.015 ~ 1.823, $P=0.039$) were independently associated with an increased risk of HF readmission, whereas higher LVEF ($OR=0.320$, 95% CI : 0.233 ~ 0.439, $P<0.001$) was independently associated with a reduced risk of HF readmission. In the test set, the Logistic regression model achieved an area under the curve (AUC) of 0.917, demonstrating good discrimination and calibration. SHAP analysis showed that MHR contributed most to the model prediction, followed by LVEF. **Conclusion** MHR combined with SIRI effectively predicts the risk of HF readmission in elderly patients with T2DM and ACS. The Logistic regression-based nomogram showed good predictive performance and potential clinical utility.

[**KEY WORDS**] monocyte-to-high density lipoprotein cholesterol ratio; systemic inflammation response index; acute coronary syndrome; type 2 diabetes mellitus; heart failure

急性冠脉综合征 (acute coronary syndrome, ACS) 是老年人群致死致残的重要原因之一, 其患者需系统风险分层与长期管理, 而合并 2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 者因代谢紊乱、炎症激活与血管内皮损伤等因素, 更易发生心力衰竭 (heart failure, HF) 等不良结局并导致再入院负担增加^[1-2]。中国目前约有 1 210 万成人 HF 患者, 且随着人口老龄化和心血管风险因素攀升, 预测到 2035 年我国 HF 患者将增至 2 270 万, HF 正成为公共卫生系统的严峻挑战^[3]。因此, 探索具有临床解释性的指标对老年 T2DM 合并 ACS 患者进行早期识别与个体化干预具有重要意义。

炎症反应与脂代谢失衡贯穿动脉粥样硬化进展、斑块不稳定及心肌重构过程, 并与 HF 发生发展密切相关^[4-5]。单核细胞/高密度脂蛋白胆固醇比值 (monocyte-to-high density lipoprotein cholesterol ratio, MHR) 作为复合炎症-代谢指标, 能够综合反映促炎细胞活化与高密度脂蛋白 (high density lipoprotein, HDL) 抗炎保护之间的平衡状态。近年研究表明, MHR 升高与 ACS 患者主要不良心血管事件及死亡风险增加相关, 具有一定的预后评估价值^[6-9]。系统炎症反应指数 (systemic inflammation response index, SIRI) 整合中性粒细胞、单核细胞及淋巴细胞信息, 可同时反映先天免疫激活与适应性免疫抑制状态, 其与 ACS 预后及风险分层相关^[10-14]。除炎症-脂代谢紊乱外, 血糖控制表型差异亦可能影响心血管预后。糖化血红蛋白指数 (hemoglobin

glycation index, HGI) 是指个体实际测得的糖化血红蛋白 (glycated hemoglobin A1c, HbA1c) 值与根据空腹血糖 (fasting plasma glucose, FPG) 预测的 HbA1c 之间的差值, 反映了血糖的个体差异性和波动性, 用于刻画个体在相同血糖暴露下的“过度糖化”倾向, 与糖尿病合并冠状动脉疾病患者的不良心血管结局存在关联^[15]。

既往 HF 再入院风险预测模型多见于一般 HF 或冠心病人群, 且预测时间窗、结局定义及纳入变量差异较大, 模型异质性和临床推广局限并存^[16-17]。因此, 基于常规临床资料筛选简便、稳定且具有病理生理意义的预测指标, 仍具有重要临床价值。

然而, 针对老年 T2DM 合并 ACS 这一高危共病人群, MHR、SIRI 及 HGI 在 HF 再入院风险评估中的作用仍缺乏系统研究。基于此, 本研究拟整合来源于常规检验的炎症-代谢指标 MHR 与 SIRI 对老年 T2DM 合并 ACS 患者 HF 再入院风险的预测价值, 并将 HGI 一并纳入分析, 构建兼具可解释性与临床可及性的 HF 再入院风险预测模型, 为临床早期分层管理提供参考。

1 资料和方法

1.1 研究人群与设计

本研究为单中心回顾性队列研究。研究对象选自 2023 年 1 月—2025 年 10 月期间在内蒙古医科大学附属医院心血管内科及全科医学住院治疗的

老年 T2DM 合并 ACS 患者。纳入标准如下:(1) 年龄 ≥ 65 周岁;(2) 依据《中国老年 2 型糖尿病防治临床指南(2026 年版)》对 T2DM 进行统一诊断标准判定,该指南发布时间晚于研究入组时间,本研究采用最新指南对既往病例进行回顾性统一标准化定义,以提高研究一致性^[18];(3) 依据《急性冠脉综合征诊断和治疗指南(2023 年版)》确诊为 ACS^[19],包括 ST 段抬高型心肌梗死、非 ST 段抬高型心肌梗死及不稳定型心绞痛;(4) 首次住院期间接受了血运重建治疗或基于指南的药物治疗;(5) 住院前病历系统中无明确 HF 诊断记录且无 HF 住院史,并且患者住院期间未记录 HF 诊断或急性失代偿性 HF 表现。排除标准包括:(1) 合并先天性心脏病、严重心脏瓣膜病或原发性心肌病者;(2) 合并严重肝肾功能衰竭、恶性肿瘤、自身免疫性疾病或急性感染者,其中肾功能衰竭定义为估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR) < 30 mL/(min $\cdot 1.73$ m²),该界值参照 KDIGO 2024《慢性肾脏病评估与管理临床实践指南》^[20];(3) 有重大手术或创伤史者;(4) 存在凝血功能障碍或血液系统疾病者;(5) 入院前近期使用大剂量糖皮质激素者。

本研究最终纳入 775 例患者,按 7:3 的比例随机分为训练集 542 例和测试集 233 例。训练集用于模型构建,测试集用于模型内部验证,研究对象的筛选、排除及数据集划分流程见图 1。本研究方案已获内蒙古医科大学附属医院伦理委员会批准(伦理审批号:KY2026056),并严格遵循《赫尔辛基宣言》原则,根据回顾性研究特点获得知情同意豁免。

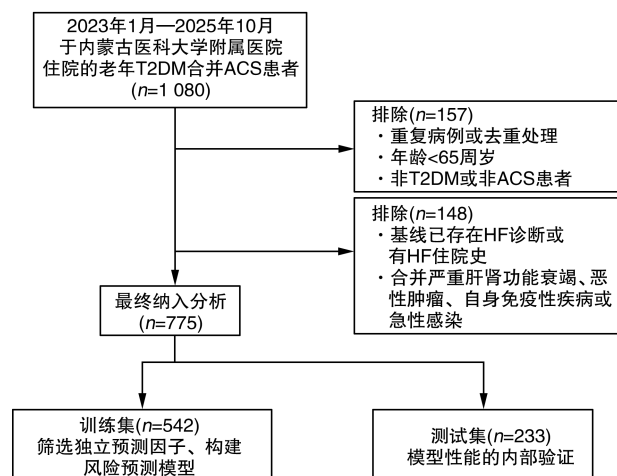


图 1. 研究对象纳入分组及分析流程图

Figure 1. Flow chart of patient selection, group assignment and analysis workflow

1.2 结局定义

主要结局为患者出院后至数据提取截止日期间,在本院发生的首次“因 HF 再入院”情况。本研究未开展主动随访,结局事件通过本院电子病历系统获取。鉴于研究基于单中心信息系统,外院再入院可能未被捕获,遂不对其是否发生外院再入院或其他结局作推断。HF 再入院定义为:患者出院后再次住院,且本次住院主要诊断为 HF,并同时满足以下条件:(1) 存在新发或加重的呼吸困难、端坐呼吸、乏力、下肢水肿等症状和/或肺部湿啰音、颈静脉充盈、外周水肿等体征;(2) 伴有客观证据支持,如 N 末端 B 型利钠肽原(N-terminal pro-B-type natriuretic peptide, NT-proBNP)升高、胸部影像学提示肺淤血/肺水肿,或超声心动图提示心脏结构和/或功能异常;(3) 住院期间需接受强化抗 HF 治疗,如静脉利尿剂、血管活性药物或其他抗 HF 治疗调整。HF 诊断参照《欧洲心脏病学会心力衰竭指南(2021 年版)》及其 2023 年重点更新内容^[2,21]。

1.3 资料收集与变量定义

收集患者的人口学资料、既往史、介入治疗史、实验室检查指标及超声心动图指标。吸烟史、饮酒史及高血压分级的判定均依据住院病历系统既往史及诊断记录。病历中明确记录当前或既往有吸烟或饮酒行为者定义为“有吸烟史”或“有饮酒史”,否则定义为“无吸烟史”或“无饮酒史”。高血压分级依据住院病历诊断记录,并参照《中国高血压防治指南(2024 年修订版)》分为 1 级、2 级和 3 级^[22]。所有基线变量均取基线住院期间入院后 24 h 内首次完成的检验或检查结果。若同一指标在 24 h 内存在多次检测,优先采用首次检测值纳入分析。超声心动图指标取基线住院期间首次检查结果。实验室指标采集时,患者禁食时间均超过 10 h,于次日晨空腹抽取肘部静脉血备查。本研究纳入分析的实验室指标主要包括血常规相关指标[白细胞计数、中性粒细胞计数、淋巴细胞计数、单核细胞计数、红细胞计数(red blood cell count, RBC)、血红蛋白、血小板计数(platelet count, PLT)等]、糖脂代谢指标[FPG、HbA1c、总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDLC)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDLC)]、肝功能及营养相关指标[丙氨酸氨基转移酶、天冬氨酸氨基转移酶、 γ -谷氨酰转肽酶、总蛋白、白蛋白、球蛋白(globulin, Glo)等]、电解质指标(钾、钠、氯等)及心血管相关指标(NT-proBNP、肌钙蛋白 T(troponin T, TnT)、肌酸激酶(creatine kinase, CK)、

肌酸激酶同工酶、D-二聚体等)。血常规相关指标采用全自动血液分析仪检测;糖脂代谢、肝功能及电解质等生物化学指标采用全自动生物化学分析仪检测,其中血糖、血脂等采用酶法测定;NT-proBNP、肌钙蛋白 T 等心血管相关指标采用电化学发光免疫分析法测定;HbA1c 采用免疫比浊法测定。由于本研究为回顾性研究,未能获得研究期间各项实验室指标的具体检测仪器设备型号及 HbA1c 检测的详细室内质控参数(包括批内差异和批间差异)。

将以上变量以及计算获得的炎症-代谢相关复合指标 MHR、SIRI 和 HGI 纳入分析。MHR 计算公式为: $MHR = \text{单核细胞计数} (\times 10^9 \text{ L}^{-1}) / \text{HDL-C} (\text{mmol/L})$; SIRI 计算公式为: $SIRI = \text{中性粒细胞计数} (\times 10^9 \text{ L}^{-1}) \times \text{单核细胞计数} (\times 10^9 \text{ L}^{-1}) / \text{淋巴细胞计数} (\times 10^9 \text{ L}^{-1})$; HGI 作为探索性候选指标纳入后续变量筛选。将数据中的 HbA1c 和 FPG 进行分析计算,得预测 $\text{HbA1c} = \text{常数} + \text{回归系数} \times \text{FPG}$, 根据该回归方程计算每例患者的预测 HbA1c 值,并进一步求得个体 HGI: $\text{HGI} = \text{实测 HbA1c} - \text{预测 HbA1c}$ 。

1.4 样本量与缺失值处理

本研究为回顾性连续纳入研究,样本量由研究期间符合纳入和排除标准且资料可追溯的全部病例数决定。最终共纳入 775 例患者,其中 HF 再入院事件数为 153 例。为提高数据质量与模型稳健性,首先对全部变量进行缺失值分析,剔除缺失率 > 40% 的变量;对其余变量中,分类变量缺失值采用众数填补,连续变量缺失值采用中位数填补。随后对连续变量进行 Z-score 标准化处理,以减少量纲差异对模型训练的影响。

1.5 统计学处理方法

1.5.1 模型开发及评估解释 为保证模型稳定性,训练集采用 LASSO 回归筛选候选变量,并使用 10 折交叉验证进行特征筛选和模型训练,后使用逐步回退法排除 $P > 0.05$ 的指标,再纳入多因素 Logistic 回归分析筛选独立预测因子,分析结果以优势比值比及 95% 可信区间表示。采用 Logistic 回

归、支持向量机(support vector machine, SVM)、极端梯度提升(extreme gradient boosting, XGBoost)、随机森林(random forest, RF)、梯度提升算法(gradient boosting, GBM/GBDT)、朴素贝叶斯(naive bayes, NB)、K-近邻算法(K-nearest neighbors, KNN)、自适应增强算法(adaptive boosting, AdaBoost)和决策树(decision tree, DT)9 种机器学习算法进行比较,采用 ROC 曲线、准确度、灵敏度、特异度、F1 分数、校准曲线及决策曲线分析评价模型性能,最终构建列线图模型。同时对最终模型采用 SHAP 可解释性分析,以评估各特征对预测结果的贡献。

1.5.2 统计学分析 采用 Python 3.13 进行统计分析。连续变量首先采用 Shapiro-Wilk 检验评估正态性;符合正态分布的资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验;偏态分布资料以中位数和四分位数表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。分类变量以例数和百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。以双侧 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料特征

本研究最终纳入 775 例符合标准的老年 T2DM 合并 ACS 患者,并按 7 : 3 的比例随机分为训练集和测试集。在训练集中,两组患者在人口学特征及大多数实验室指标方面差异无统计学意义($P > 0.05$)。在测试集中,年龄在因 HF 再入院组略高于未因 HF 再入院组($P = 0.044$),其余基线特征总体分布较为均衡。在训练集中,与未因 HF 再入院组相比,因 HF 再入院组 MHR 增幅约 73.7%, SIRI 增幅约 79.8%, NT-proBNP 升高约 3.85 倍, D-二聚体升高约 79.3%, 左心室舒张期末内径增幅约 12.8%, 而左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)降低约 22.6% ($P < 0.001$)。此外,首次支架植入史和二次支架植入史分布差异亦有统计学意义(均 $P < 0.01$; 表 1)。

表 1. 训练集与测试集中因 HF 再入院与未因 HF 再入院患者基线特征比较
Table 1. Comparison of baseline characteristics between patients with and without HF readmission in the training and test cohorts

变量	训练集			测试集		
	未因 HF 再入院组	因 HF 再入院组	<i>P</i>	未因 HF 再入院组	因 HF 再入院组	<i>P</i>
男/女/[例(%)]	281/154 (64.6/35.4)	74/33 (69.2/30.8)	0.438	118/69 (63.1/36.9)	27/19 (58.7/41.3)	0.702
年龄/岁	70.00 (66.00, 72.00)	70.00 (66.50, 72.00)	0.841	69.00 (66.00, 73.00)	71.00 (68.00, 73.75)	0.044

续表

变量	训练集			测试集		
	未因 HF 再入院组	因 HF 再入院组	<i>P</i>	未因 HF 再入院组	因 HF 再入院组	<i>P</i>
首次支架植入史/[例(%)]	252(57.9)	45(42.1)	0.004	111(59.4)	19(41.3)	0.041
二次支架植入史/[例(%)]	140(32.2)	12(11.2)	<0.001	60(32.1)	3(6.5)	<0.001
吸烟史/[例(%)]	201(46.2)	51(47.7)	0.871	86(46.0)	20(43.5)	0.888
饮酒史/[例(%)]	101(23.2)	23(21.5)	0.801	34(18.2)	7(15.2)	0.797
高血压分级/[例(%)]			0.561			0.862
无	144(33.1)	36(33.6)		63(33.7)	18(39.1)	
高血压 1 级	41(9.4)	6(5.6)		11(5.9)	3(6.5)	
高血压 2 级	89(20.5)	26(24.3)		46(24.6)	9(19.6)	
高血压 3 级	161(37.0)	39(36.4)		67(35.8)	16(34.8)	
白细胞计数/($\times 10^9 \text{ L}^{-1}$)	6.53(5.65,7.87)	6.53(5.52,7.79)	0.511	6.41(5.58,8.05)	6.38(4.85,7.60)	0.176
中性粒细胞计数/($\times 10^9 \text{ L}^{-1}$)	4.00(3.27,5.00)	4.18(3.38,5.25)	0.165	3.94(3.23,5.00)	3.82(3.20,4.88)	0.777
淋巴细胞计数/($\times 10^9 \text{ L}^{-1}$)	1.78(1.47,2.25)	1.43(1.04,1.77)	<0.001	1.84(1.36,2.30)	1.33(1.05,1.79)	<0.001
单核细胞计数/($\times 10^9 \text{ L}^{-1}$)	0.42(0.33,0.54)	0.54(0.48,0.61)	<0.001	0.41(0.33,0.52)	0.51(0.44,0.64)	<0.001
红细胞计数/($\times 10^9 \text{ L}^{-1}$)	4.76(4.36,5.12)	4.53(4.23,4.95)	0.005	4.73 $\pm$ 0.58	4.43 $\pm$ 0.72	0.01
血红蛋白/(g/L)	148.00(136.00,159.00)	143.00(132.00,153.00)	0.029	148.00(135.00,157.50)	137.00(124.00,152.00)	0.006
血小板计数/($\times 10^9 \text{ L}^{-1}$)	195.00(158.50,230.00)	179.00(144.50,231.00)	0.058	189.00(163.50,228.00)	182.50(146.50,243.00)	0.595
淋巴细胞百分比/%	27.20(21.80,33.65)	21.60(17.75,27.85)	<0.001	27.30(21.95,33.50)	23.05(19.32,26.93)	<0.001
中性粒细胞百分比/%	63.60(56.55,69.30)	67.00(61.60,71.70)	<0.001	63.10(56.65,68.50)	65.95(61.75,71.78)	0.008
FPG/(mmol/L)	7.30(6.41,8.60)	7.30(6.63,8.60)	0.31	7.30(6.53,8.60)	7.75(6.93,8.78)	0.091
HbA1c/%	7.50(6.90,8.49)	7.50(7.10,8.50)	0.228	7.60(6.90,8.76)	7.60(6.91,8.80)	0.959
总胆固醇/(mmol/L)	3.65(3.04,4.50)	3.73(3.06,4.67)	0.475	3.76(3.16,4.64)	3.71(3.15,4.66)	0.925
甘油三酯/(mmol/L)	1.39(0.99,2.03)	1.31(0.91,1.79)	0.065	1.52(1.15,2.07)	1.21(0.91,1.96)	0.029
LDLC/(mmol/L)	2.03(1.56,2.60)	2.23(1.66,2.92)	0.019	2.12(1.56,2.71)	2.33(1.73,2.91)	0.146
HDLc/(mmol/L)	1.13(1.00,1.27)	0.84(0.71,0.93)	<0.001	1.17 $\pm$ 0.24	0.81 $\pm$ 0.15	<0.001
丙氨酸氨基转移酶/(U/L)	20.60(15.15,29.10)	20.65(16.10,31.35)	0.529	19.60(13.95,27.05)	20.30(13.72,31.57)	0.739
天冬氨酸氨基转移酶/(U/L)	19.20(16.00,23.70)	21.40(17.30,26.05)	0.032	18.70(15.05,23.00)	19.62(16.32,30.93)	0.071
γ -谷氨酰转肽酶/(U/L)	27.00(20.00,34.20)	27.00(27.00,57.70)	<0.001	27.00(19.80,36.80)	27.00(27.00,41.77)	0.163
总蛋白/(g/L)	65.90(62.20,70.45)	64.00(59.80,67.55)	<0.001	65.80(62.15,70.15)	64.65(60.90,68.97)	0.136
白蛋白/(g/L)	40.10(37.70,42.90)	38.30(35.25,39.70)	<0.001	40.21 $\pm$ 3.87	37.88 $\pm$ 4.38	0.002
球蛋白/(g/L)	26.00(23.50,29.05)	26.00(23.50,28.20)	0.528	26.00(23.10,28.35)	26.20(24.07,28.90)	0.373
钾/(mmol/L)	3.90(3.65,4.17)	3.90(3.60,4.12)	0.63	3.89 $\pm$ 0.35	3.99 $\pm$ 0.44	0.149
钠/(mmol/L)	140.00(138.20,142.00)	140.00(138.00,141.80)	0.995	140.40(139.00,142.00)	139.70(138.03,142.00)	0.179
氯/(mmol/L)	102.80(100.35,105.00)	102.80(100.00,104.00)	0.277	103.00(101.00,105.00)	102.00(99.00,104.60)	0.026
NT-proBNP/(ng/L)	178.20(67.90,490.00)	864.40(366.50,1495.95)	<0.001	161.20(73.15,390.50)	925.50(373.58,2437.75)	<0.001
肌钙蛋白 T/($\mu\text{g/L}$)	0.01(0.01,0.03)	0.02(0.02,0.11)	<0.001	0.01(0.01,0.03)	0.02(0.02,0.15)	<0.001
肌酸激酶/(U/L)	79.50(67.00,106.50)	79.50(78.00,85.00)	0.762	79.50(65.00,104.00)	79.50(57.50,83.62)	0.233
肌酸激酶同工酶/(U/L)	11.30(9.00,14.90)	11.30(9.00,11.95)	0.265	11.30(5.20,13.40)	11.30(8.33,11.30)	0.976
D-二聚体/(mg/L)	0.29(0.19,0.41)	0.52(0.27,0.86)	<0.001	0.29(0.20,0.36)	0.38(0.28,0.77)	<0.001
LVEF/%	62.00(57.00,67.00)	48.00(43.00,57.50)	<0.001	62.00(57.00,67.00)	48.00(43.25,57.00)	<0.001
左心室舒张期末内径/mm	47.00(44.00,50.00)	53.00(48.00,61.50)	<0.001	48.00(44.00,50.00)	50.50(48.25,56.00)	<0.001
首次前降支狭窄/[例(%)]	331(76.1)	76(71.0)	0.337	149(79.7)	31(67.4)	0.113
首次前降支狭窄程度/(%)	0.80(0.50,0.90)	0.80(0.00,0.85)	0.246	0.80(0.50,0.90)	0.80(0.00,0.85)	0.669
首次回旋支狭窄/[例(%)]	260(59.8)	65(60.7)	0.94	95(50.8)	26(56.5)	0.596
首次回旋支狭窄程度/(%)	0.60(0.00,0.82)	0.60(0.00,0.75)	0.238	0.60(0.00,0.75)	0.60(0.00,0.70)	0.813
首次右冠状动脉狭窄/[例(%)]	202(46.4)	45(42.1)	0.48	99(52.9)	15(32.6)	0.021
首次右冠状动脉狭窄程度/%	0.50(0.00,0.70)	0.50(0.00,0.60)	0.125	0.50(0.00,0.80)	0.50(0.00,0.50)	0.012
MHR	0.38(0.30,0.50)	0.66(0.55,0.83)	<0.001	0.37(0.29,0.46)	0.65(0.50,0.78)	<0.001
SIRI	0.94(0.66,1.32)	1.69(1.25,2.32)	<0.001	0.91(0.67,1.32)	1.48(1.11,2.01)	<0.001
HGL/%	-0.17(-0.62,0.42)	-0.28(-0.74,0.36)	0.192	-0.04(-0.48,0.55)	-0.44(-0.73,0.24)	0.011

2.2 多因素 Logistic 回归分析与预测因子确定

通过两阶段变量筛选策略构建预测模型。LASSO 回归经 10 折交叉验证确定最佳惩罚参数 λ 后,筛选出具有非零回归系数的候选变量(图 2)。当惩罚参数 $\lambda=0.0170$ 时,模型拟合效果最好,此时筛选出 14 个非零系数候选变量。随后,将上述候选变量纳入多因素 Logistic 回归分析,并采用逐步后退法进一步筛选,部分具有统计学差异的指标在逐步

后退法调整后未显示出独立预测作用,提示其对 HF 再入院风险的影响可能被其他强相关变量所掩盖(表 2)。最终确定了 9 个与 HF 再入院独立相关的预测因子:MHR、SIRI、LDLC、性别、Glo、PLT、LVEF、首次支架植入史及二次支架植入史。相关变量的方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)均 <5 ,提示不存在明显多重共线性。

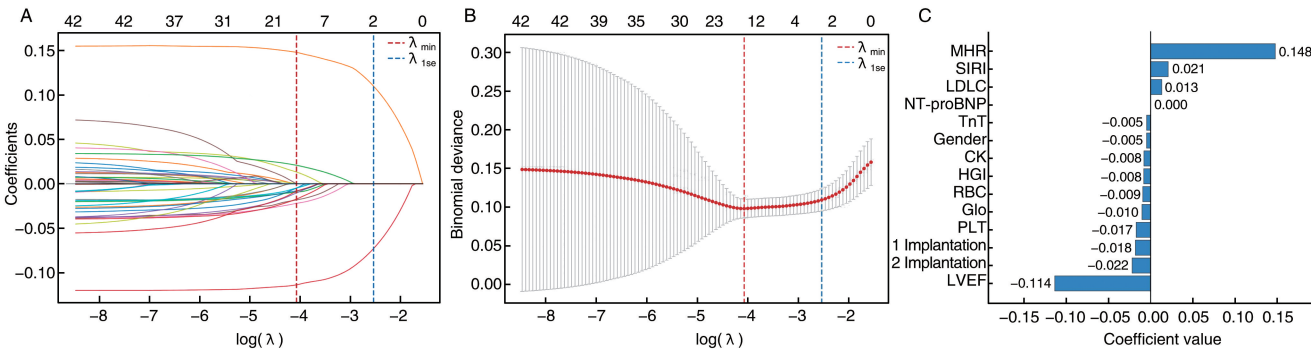


图 2. 基于 LASSO 回归的变量筛选过程

A 为系数路径图。B 为 10 折交叉验证误差曲线,虚线左侧为最小偏差准则($\lambda=0.0170$)。C 为 LASSO 筛选后非零系数变量的回归系数大小及方向,1 Implantation 为首次支架植入史,2 Implantation 为二次支架植入史。

Figure 2. Variable selection process based on LASSO regression

表 2. 多因素 Logistic 回归分析结果

变量	β	OR(95% CI)	P
性别	-0.737	0.478(0.237~0.967)	0.04
首次支架植入史	-0.813	0.444(0.237~0.829)	0.011
二次支架植入史	-1	0.368(0.159~0.850)	0.019
PLT	-0.328	0.720(0.534~0.971)	0.031
LDLC	0.325	1.384(1.025~1.868)	0.034
Glo	-0.429	0.651(0.461~0.921)	0.015
LVEF	-1.141	0.320(0.233~0.439)	<0.001
MHR	1.496	4.464(2.972~6.704)	<0.001
SIRI	0.308	1.360(1.015~1.823)	0.039

2.3 预测模型的构建与评估

基于上述 9 个独立相关因素构建 HF 再入院风险预测模型,并在测试集中评价模型性能。结果显示,Logistic 回归模型在测试集中的受试者工作特征曲线下面积(area under the receiver operating characteristic curve, AUC)为 0.917,具有较好的区分度。校准曲线显示模型预测概率与实际观察结果一致性较好,决策曲线分析提示在临床相关阈值范围内,该模型较“全部干预”或“无干预”策略具有更高净获益。与其他机器学习模型比较后,鉴于 Logistic 回归模型具有较好的预测效能和临床可解释性,故选其作为本研究的主要预测模型(表 3 和图 3)。

表 3. 各预测模型在测试集中的性能比较

机器学习模型	AUC(95% CI)	准确度(95% CI)	灵敏度(95% CI)	特异度(95% CI)	F1 分数(95% CI)
Logistic 回归	0.917(0.861~0.974)	0.876(0.833~0.918)	0.587(0.445~0.729)	0.947(0.914~0.979)	0.651(0.589~0.712)
RF	0.902(0.841~0.963)	0.876(0.833~0.918)	0.522(0.377~0.666)	0.963(0.935~0.990)	0.623(0.561~0.686)
SVM	0.909(0.850~0.967)	0.867(0.823~0.911)	0.565(0.422~0.708)	0.941(0.907~0.975)	0.627(0.564~0.689)
DT	0.804(0.724~0.884)	0.850(0.804~0.896)	0.565(0.422~0.708)	0.920(0.881~0.959)	0.598(0.535~0.661)
KNN	0.827(0.751~0.904)	0.850(0.804~0.896)	0.500(0.356~0.644)	0.936(0.901~0.971)	0.568(0.504~0.632)
NB	0.889(0.825~0.953)	0.854(0.809~0.899)	0.630(0.491~0.770)	0.909(0.868~0.950)	0.630(0.568~0.692)

续表

机器学习模型	AUC(95% CI)	准确度(95% CI)	灵敏度(95% CI)	特异度(95% CI)	F1 分数(95% CI)
AdaBoost	0.885(0.820~0.950)	0.858(0.814~0.903)	0.674(0.538~0.809)	0.904(0.861~0.946)	0.653(0.591~0.714)
GBM/GBDT	0.908(0.849~0.967)	0.867(0.823~0.911)	0.630(0.491~0.770)	0.925(0.887~0.963)	0.652(0.591~0.713)
XGBoost	0.915(0.858~0.972)	0.871(0.828~0.914)	0.630(0.491~0.770)	0.930(0.894~0.967)	0.659(0.598~0.720)

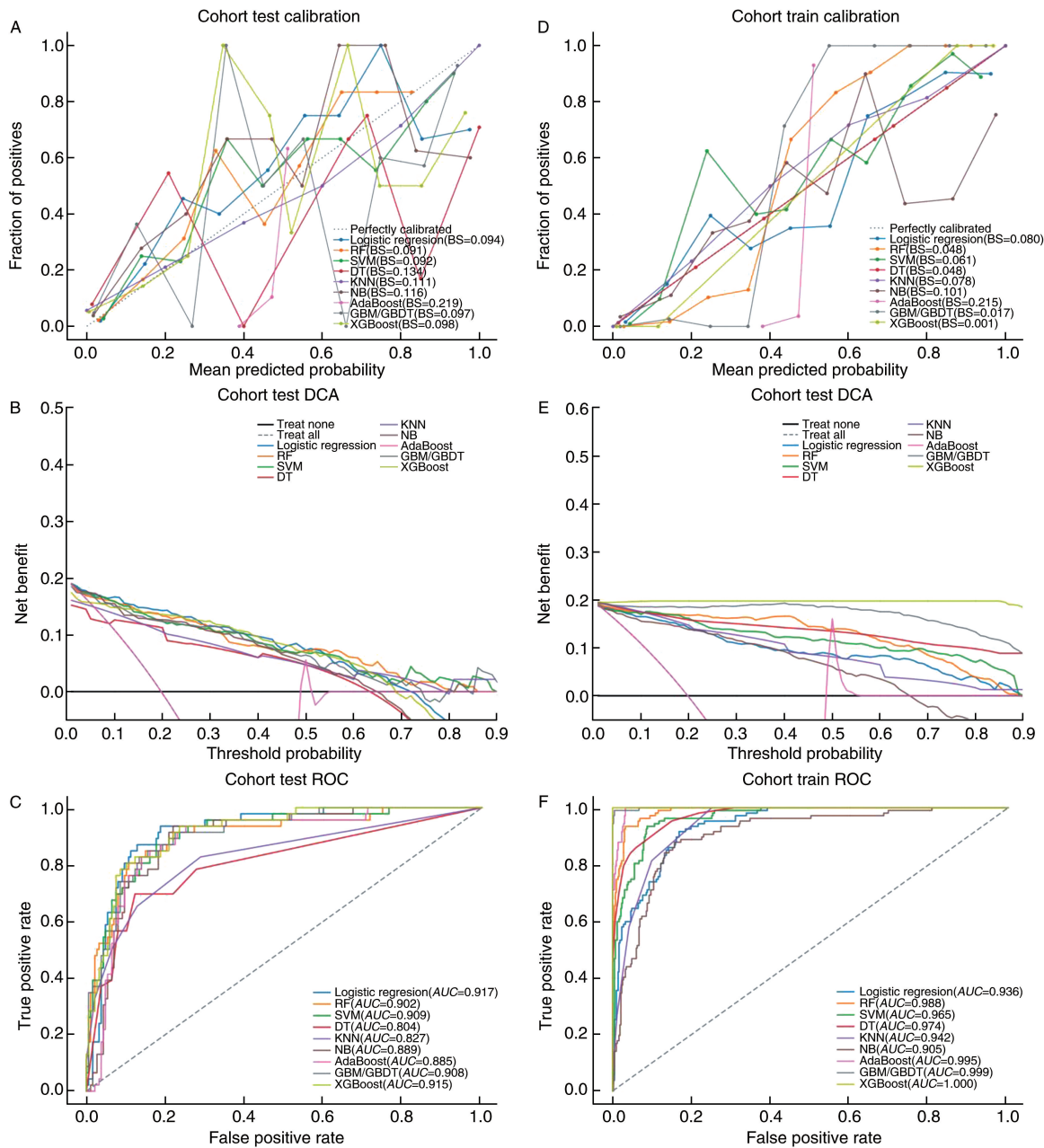


图 3. 训练集和测试集中 HF 再入院预测模型的性能评估

A ~ C 图分别为测试集的校准曲线、决策曲线分析及 ROC 曲线;D ~ F 图分别为训练集的校准曲线、决策曲线分析及 ROC 曲线。

Figure 3. Performance evaluation of the HF readmission prediction model in the training and test cohorts

2.4 列线图的构建与验证

基于多因素 Logistic 回归分析筛选出的 9 个独立预测因子构建列线图模型(图 4)。通过各变量对应得分累加可直观估计个体患者因 HF 再入院的可

率。鉴于 Logistic 回归模型在测试集中的 AUC 为 0.917,具有较好的临床可解释性和可视化优势,因此将其作为本研究的主要预测模型。与此同时结合 SHAP 方法进行补充解释分析,以进一步揭示关

键变量与再入院风险之间的潜在非线性关系。

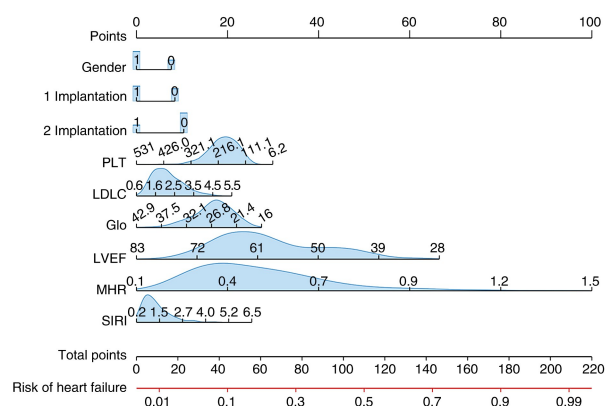


图 4. 老年 T2DM 合并 ACS 患者 HF 再入院风险预测列线图
1 Implantation 为首次支架植入史, 2 Implantation 为二次支架植入史。

Figure 4. Nomogram for predicting HF readmission risk in elderly patients with T2DM and ACS

2.5 SHAP 可解释性分析

为提高模型的可解释性,本研究采用 SHAP 方法

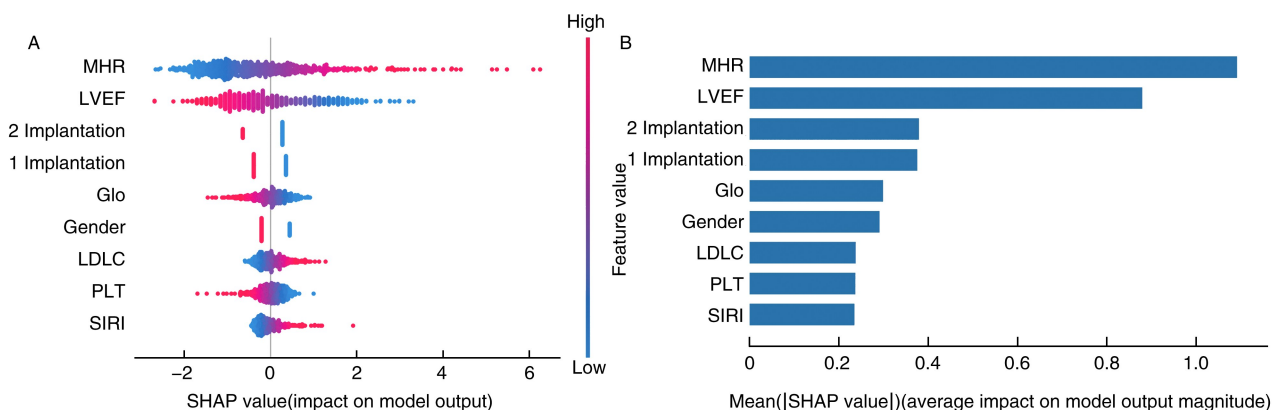


图 5. 基于 Logistic 回归模型的 SHAP 解释分析

A 为每个特征对模型输出影响的分布情况, B 为 SHAP 特征重要性排序。

Figure 5. SHAP-based interpretability analysis of the Logistic regression model

3 讨论

老年 T2DM 合并 ACS 患者因心血管储备下降、代谢紊乱与慢性炎症负荷叠加,出院后 HF 再入院风险高且残余风险显著。尽管经皮冠状动脉介入治疗及抗血小板、调脂、降糖等综合治疗不断规范,但该类患者仍存在较高的残余 HF 风险^[19,23-24]。本研究在基线无 HF 的老年 T2DM 合并 ACS 人群中,发现 MHR 与 SIRI 在多因素调整后仍独立相关。将二者与 LVEF 及临床变量整合可构建可解释的 Logistic 模型,且其性能与更复杂的机器学习模型相

对 Logistic 回归模型进行解释分析。SHAP 摘要图显示,在全部纳入特征中, MHR 对模型输出的平均绝对 SHAP 值最高,为影响预测结果的首要变量,其次为 LVEF, SIRI 虽然在整体特征贡献排序中相对较低,但仍提供了额外的预测信息,提示炎症-代谢失衡及心功能受损在老年 T2DM 合并 ACS 患者 HF 再入院风险中具有重要作用(图 5)。SHAP 结果显示,较高的 MHR 取值通常对应更高的正向 SHAP 贡献,而较低的 LVEF 取值通常对应更高的再入院风险预测贡献,该变化方向与多因素 Logistic 回归分析结果一致。

此外, SHAP 力图可在个体层面展示不同特征对预测结果的方向和贡献大小。高危患者通常表现为 MHR 和 SIRI 升高、LVEF 降低等危险因素共同推动预测概率上升,而低危患者则多表现为炎症-代谢指标处于较低水平且心功能相对保留(图 6)。上述结果表明,该模型不仅具有较好的总体预测效能,还能够为临床提供较为直观的个体化风险解释。

近,提示可用于该高危人群的早期风险识别。

MHR 整合单核细胞促炎活性与 HDL 抗炎、血管保护作用, MHR 升高与冠心病、缺血性心力衰竭及糖尿病相关不良心血管结局风险增加有关^[25-27]。此外,一些机制性影像研究表明,较高 MHR 与斑块易损性特征相关,如薄纤维帽、大脂质核心及不稳定斑块表型,提示 MHR 不仅反映系统炎症,还可能与病灶层面的不稳定性及不良血管重塑相关,这些过程与 ACS 后的病程演变密切相关^[28]。SIRI 则综合中性粒细胞、单核细胞与淋巴细胞信息,能够捕捉先天免疫激活与相对淋巴抑制。既往研究显示,

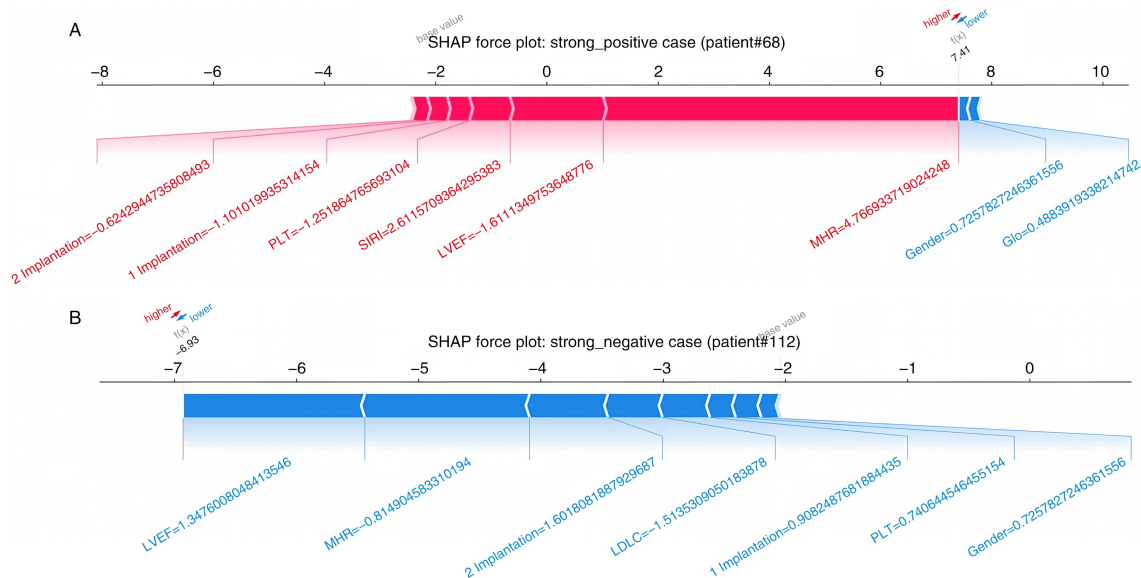


图 6. 典型患者个体化 HF 再入院风险预测的 SHAP 力图

A 为高危再入院患者(强阳性预测), B 为低危安全患者(强阴性预测)。红色条带表示增加风险的特征贡献,蓝色条带表示降低风险的特征贡献;横向长度表示贡献度大小,基线值为人群平均预测期望。

Figure 6. SHAP force plot for individualized prediction of HF readmission risk in a representative patient

SIRI 与急性心肌梗死、ACS 预后及冠状动脉病变严重程度相关^[29-30]。在 ACS 人群中,亦有研究提出 SIRI 在预后评估方面可能优于中性粒细胞/淋巴细胞比值(neutrophil-to-lymphocyte ratio, NLR)和血小板/淋巴细胞比值(platelet-to-lymphocyte ratio, PLR)等传统炎症指标,从而进一步支持其作为来源于常规血常规、易于理解和应用的炎症指标^[11]。LVEF 是评价左心室收缩功能的重要指标,本研究中 LVEF 升高与 HF 再入院风险降低相关,这与临床认识一致。将 MHR、SIRI 与 LVEF 联合纳入模型,有助于从炎症代谢和心功能两个层面进行综合评估。

本研究构建的 Logistic 模型在测试集中 AUC 为 0.917,显示出较好的预测效能。其中纳入的临床指标如 MHR 和 SIRI 均来源于常规检验项目,获取方便、成本较低,结合 LVEF 等常规指标,有望用于老年 T2DM 合并 ACS 患者出院前的早期风险分层,为随访和过渡期管理提供参考。

此外,本研究对象为老年 T2DM 合并 ACS 患者。老年人常存在“炎症衰老”背景,基线炎症指标可能偏高;同时,该人群易合并肌少症、衰弱及营养不良,而这些因素亦可能影响 HF 再入院风险^[31-33]。因此,MHR 和 SIRI 与结局之间的关联仍可能受到老年综合征相关因素的影响。由于本研究为回顾性研究,未能直接收集肌少症和衰弱的标准化评估资料,虽然纳入了年龄、营养及相关治疗变量进行调整,但仍可能存在残余混杂。

本研究也存在一定局限性。首先,本研究为单中心回顾性研究,结局事件依赖本院病历系统被动捕获,外院 HF 再入院事件可能遗漏,从而低估事件发生率并影响结果外推性。其次,本研究未建立基于统一随访起点和终点的完整时间-事件数据库,亦未采用生存分析方法,不同患者的可观察时间存在差异。进一步的出院后 1 年内 HF 再入院敏感性分析显示,最终模型构成与主分析有所不同,提示观察窗设定可能影响变量筛选结果及模型稳定性。再次,本研究纳入模型的变量主要为基线资料,未能充分纳入出院后治疗方案、用药依从性及动态指标变化等因素。最后,尽管所有实验室检测均由本院检验科完成,但由于本研究为回顾性研究,未能完整追溯研究期间各项实验室指标的具体检测方法、仪器设备型号及 HbA1c 检测的详细室内质控参数(包括批内差异和批间差异),可能对结果解释产生一定影响。后续需开展多中心、前瞻性研究进行外部验证,并进一步评估模型的临床适用性。

综上所述,本研究提示 MHR 与 SIRI 这两项容易获得的炎症-代谢指标水平,与老年 T2DM 合并 ACS 患者 HF 再入院独立相关。临床变量整合的可解释 Logistic 模型可能有助于该高危人群早期风险识别与出院后管理资源的优先级排序,但在临床推广前仍需严格的外部验证。

[参考文献]

- [1] Savarese G, Becher P M, Lund L H, et al. Global burden of heart failure: a comprehensive and updated review of epidemiology[J]. *Cardiovasc Res*, 2023, 118(17): 3272-3287.
- [2] McDonagh T A, Metra M, Adamo M, et al. 2023 Focused update of the 2021 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure[J]. *Eur Heart J*, 2023, 44(37): 3627-3639.
- [3] Wang H, Zhou H Y, Chai K, et al. Heart failure in China: a macroeconomic modelling study of intervention strategies [J]. *Eur Heart J*, 2026, 47(8): 974-984.
- [4] Kaschina E, Lauer D, Lange C, et al. Angiotensin AT2 receptors reduce inflammation and fibrosis in cardiovascular remodeling[J]. *Biochem Pharmacol*, 2024, 222: 116062.
- [5] Libby P. The changing landscape of atherosclerosis[J]. *Nature*, 2021, 592(7855): 524-533.
- [6] 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 H X, Zhang L, et al. Analysis of influencing factors of adverse cardiovascular events in elderly acute STEMI patients after PCI and establishment of nomogram prediction model[J]. *Chin J Arterioscler*, 2024, 32(4): 319-324.
- [7] Yang Y, Lv X, Tan K, et al. The correlation between serum MHR and NLR and the severity of coronary lesions in NSTEMI-ACS patients of different genders[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2024, 11: 1469730.
- [8] Liu H, Gan F, Fu K, et al. Evaluation of the prognosis of elderly patients with heart failure by monocyte-to-high-density lipoprotein ratio, neutrophil gelatinase-associated lipocalin, and angiotensin II [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2025, 12: 1609798.
- [9] 魏亚君, 侯泽, 刘雨庭, 等. 单核细胞与高密度脂蛋白胆固醇比值评估射血分数降低型心力衰竭患者的预后价值[J]. *中华预防医学杂志*, 2025, 59(3): 309-316.
- Wei Y J, Hou Z, Liu Y T, et al. Prognostic value of monocyte to high-density lipoprotein cholesterol ratio in assessing patients with heart failure with reduced ejection fraction [J]. *Chin J Prev Med*, 2025, 59(3): 309-316.
- [10] Pruc M, Kubica J, Banach M, et al. Prognostic value of the monocyte-to-high-density lipoprotein-cholesterol ratio in acute coronary syndrome patients: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Kardiol Pol*, 2025, 83(1): 52-61.
- [11] Rajakumar H K, Coimbatore Sathyabal V, Vasanthan M, et al. The predictive role of systemic inflammation response index (SIRI), neutrophil-lymphocyte ratio (NLR), and platelet-lymphocyte ratio (PLR) in the prognosis of acute coronary syndrome in a tertiary care hospital[J]. *Heliyon*, 2024, 10(20): e39029.
- [12] Guo J, Huang Y, Pang L, et al. Association of systemic inflammatory response index with ST segment elevation myocardial infarction and degree of coronary stenosis: a cross-sectional study[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2024, 24(1): 98.
- [13] Ma Y, Geng X B. Prognostic value of the systemic inflammation response index on 3-year outcomes of elderly patients with acute coronary syndrome after stent implantation[J]. *Adv Clin Exp Med*, 2025, 34(7): 1123-1130.
- [14] He Q, Zhou Y, Tong X, et al. Prognostic value of the systemic inflammatory response index in patients with acute coronary syndrome and obstructive sleep apnea[J]. *J Inflamm Res*, 2025, 18: 7515-7527.
- [15] Lin Z Y, He J N, Yuan S, et al. Hemoglobin glycation index and cardiovascular outcomes in patients with diabetes and coronary artery disease: insights from a large cohort study[J]. *Nutr Diabetes*, 2024, 14(1): 69.
- [16] Zhang Y, Zhu X, Gao F, et al. Systematic review and critical appraisal of prediction models for readmission in coronary artery disease patients: assessing current efficacy and future directions [J]. *Risk Manag Healthc Policy*, 2024, 17: 549-557.
- [17] Chen T T, Wang R X, Song H X. Incidence and influencing factors of 30-day unplanned readmission in chronic heart failure patients: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2025, 12: 1663018.
- [18] 中国老年 2 型糖尿病防治临床指南编写组, 中国老年医学学会老年内分泌代谢分会, 中国老年保健医学研究会老年内分泌与代谢分会, 等. 中国老年 2 型糖尿病防治临床指南 (2026 年版) [J]. *中华内科杂志*, 2026, 65(3): 206-255.
- Writing Group for the Clinical Guideline for Prevention and Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus in Older Adults in China, Geriatric Endocrinology and Metabolism Branch of Chinese Geriatrics Society, Geriatric Endocrinology and Metabolism Branch of Chinese Research Society of Gerontology and Geriatrics, et al. Clinical guidelines for the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus in the elderly in China (2026 edition) [J]. *Chin J Int Med*, 2026, 65(3): 206-255.
- [19] 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.
- [20] Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) CKD Work Group. KDIGO 2024 clinical practice guideline for the evaluation and management of chronic kidney disease [J]. *Kidney Int*, 2024, 105(4S): S117-S314.

- [21] McDonagh T A, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(36): 3599-3726.
- [22] 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*, 2024, 32(7): 603-700.
Revision Committee of Chinese Guidelines for Prevention and Treatment of Hypertension, Hypertension League of China, Hypertension Branch of China International Exchange and Promotive Association for Medical and Health Care, et al. Chinese guidelines for prevention and treatment of hypertension (2024 revised edition)[J]. *Chin J Hypertens*, 2024, 32(7): 603-700.
- [23] Virani S S, Newby L K, Arnold S V, et al. 2023 AHA/ACC/ACCP/ASPC/NLA/PCNA guideline for the management of patients with chronic coronary disease; a report of the American heart association/American college of cardiology joint committee on clinical practice guidelines[J]. *Circulation*, 2023, 148(9): e9-e119.
- [24] Kittleson M M, Panjraht G S, Amancherla K, et al. 2023 ACC expert consensus decision pathway on management of heart failure with preserved ejection fraction: a report of the American college of cardiology solution set oversight committee[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2023, 81(18): 1835-1878.
- [25] Harding J L, Pavkov M E, Magliano D J, et al. Global trends in diabetes complications; a review of current evidence[J]. *Diabetologia*, 2019, 62(1): 3-16.
- [26] Jia G, Hill M A, Sowers J R. Diabetic cardiomyopathy: an update of mechanisms contributing to this clinical entity[J]. *Circ Res*, 2018, 122(4): 624-638.
- [27] Li Q, Lin X, Bo X, et al. Monocyte to high-density lipoprotein cholesterol ratio predicts poor outcomes in ischaemic heart failure patients combined with diabetes: a retrospective study[J]. *Eur J Med Res*, 2023, 28(1): 493.
- [28] Rong J, Gu N, Tian H, et al. Association of the monocytes to high-density lipoprotein cholesterol ratio with instant neoatherosclerosis and plaque vulnerability: an optical coherence tomography study[J]. *Int J Cardiol*, 2024, 396: 131417.
- [29] Xia Y, Xia C, Wu L, et al. Systemic immune inflammation index (SII), system inflammation response index (SIRI) and risk of all-cause mortality and cardiovascular mortality: a 20-year follow-up cohort study of 42 875 US adults[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(3): 1128.
- [30] Zhu D, Wang C, Zhou Y, et al. The associations of two novel inflammation biomarkers, SIRI and SII, with mortality risk in patients with chronic heart failure[J]. *J Inflamm Res*, 2024, 17: 1255-1264.
- [31] Bleve A, Motta F, Durante B, et al. Immunosenescence, inflammaging, and frailty: role of myeloid cells in age-related diseases[J]. *Clin Rev Allergy Immunol*, 2023, 64(2): 123-144.
- [32] Goyal P, Maurer M S, Roh J. Aging in heart failure: embracing biology over chronology: JACC family series[J]. *JACC Heart Fail*, 2024, 12(5): 795-809.
- [33] Bolt J, Carvalho V, Lin K, et al. Systematic review of guideline recommendations for older and frail adults with type 2 diabetes mellitus [J]. *Age Ageing*, 2024, 53(11): afae259.
- (此文编辑 许雪梅)