

本文引用: 邹嘉欣, 胡雁飞, 徐彤, 等. 全身免疫炎症指数联合左心室射血分数对急性心肌梗死患者冠状动脉病变严重程度的评估价值[J]. 中国动脉硬化杂志, 2026, 34(9): 887-896. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2026.09.009.

[文章编号] 1007-3949(2026)34-09-0887-10

· 临床研究 ·

全身免疫炎症指数联合左心室射血分数对急性心肌梗死患者冠状动脉病变严重程度的评估价值

邹嘉欣¹, 胡雁飞², 徐彤³, 张柳¹, 开的日叶·托合提亚尔¹, 李霞¹

新疆医科大学第五附属医院 1. 全科医学科, 2. 急诊科, 3. 心血管内科, 新疆乌鲁木齐市 830000

[摘要] **[目的]** 探讨全身免疫炎症指数(SII)联合左心室射血分数(LVEF)对急性心肌梗死(AMI)患者冠状动脉病变严重程度的评估价值。**[方法]** 回顾性纳入 1 963 例冠心病患者, 其中 AMI 患者 873 例, 非 AMI 患者 1 090 例。AMI 组按照 Gensini 评分三分位数分为轻度、中度和重度病变组。采用 Spearman 相关分析、限制性立方样条(RCS)、有序 Logistic 回归(包含部分比例优势模型)、ROC 曲线及 DeLong 检验分析 SII 与 LVEF 对冠状动脉病变严重程度的评估效能; 构建列线图模型, 并通过 Bootstrap 内部验证与决策曲线分析(DCA)评估模型性能。**[结果]** AMI 组 SII 水平高于对照组, LVEF 水平低于对照组, 且 SII 随 Gensini 分级递增而升高, LVEF 随 Gensini 分级递增而降低, 差异均具有统计学意义(均 $P < 0.001$)。由于比例优势假设不成立, 多因素采用部分比例优势模型, 结果显示, SII 每增加 100 个单位与病变严重程度呈正向关联且效应随切点而异(中重度病变对比轻度病变: $OR = 1.139, 95\% CI: 1.097 \sim 1.181, P < 0.001$; 重度病变对比轻中度病变: $OR = 1.045, 95\% CI: 1.024 \sim 1.065, P < 0.001$), LVEF 与病变严重程度呈负向关联($OR = 0.937, 95\% CI: 0.919 \sim 0.956, P < 0.001$)。RCS 分析结果显示, SII 与冠状动脉重度病变呈非线性关联(非线性检验 $P < 0.001$)。在评估冠状动脉重度病变时, SII、LVEF 以及二者联合模型的 AUC 分别为 0.674、0.664、0.696, 联合模型相较于单独使用 SII 未带来显著增量($P = 0.225$), 区分能力有限; 纳入四变量的列线图经 500 次 Bootstrap 内部验证校正后, AUC 为 0.707。在鉴别 AMI 与非 AMI 冠心病的独立探索性分析中, 联合模型的表观 AUC 为 0.910。**[结论]** 在 AMI 患者中, SII 与冠状动脉病变严重程度呈正相关, 且与重度病变呈非线性关联, LVEF 与冠状动脉病变严重程度呈负相关, 二者联合应用对冠状动脉病变严重程度评估的区分能力未得到显著提升。

[关键词] 急性心肌梗死; 全身免疫炎症指数; 左心室射血分数; Gensini 评分; 冠状动脉病变

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

Evaluation value of systemic immune-inflammation index combined with left ventricular ejection fraction for the severity of coronary artery lesions in patients with acute myocardial infarction

Zou Jiaxin¹, Hu Yanfei², Xu Tong³, Zhang Liu¹, Kaiyiye · Tohtiyar¹, Li Xia¹

1. Department of General Medicine, 2. Emergency Department, 3. Department of Cardiology, the Fifth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830000, China

[ABSTRACT] **Aim** To explore the evaluation value of systemic immune-inflammatory index (SII) combined with left ventricular ejection fraction (LVEF) for the severity of coronary artery lesions in patients with acute myocardial infarction (AMI). **Methods** 1 963 patients with coronary heart disease were retrospectively enrolled, including 873 patients with AMI and 1 090 patients without AMI. The AMI group was divided into mild, moderate, and severe lesion groups according to tertiles of Gensini score. Spearman correlation analysis, restricted cubic spline (RCS), ordered Logistic regression (including partial proportional odds models), ROC curve and DeLong test were used to analyze the effi-

[收稿日期] 2026-06-07

[修回日期] 2026-08-20

[基金项目] 国家自然科学基金项目(81960073);“天山英才”医药卫生高层次人才培养计划(TSYC202301B015);2026 年教育部新疆高等研究院校企联合人才培养和科研攻关项目(XJMU2026G039)

[作者简介] 邹嘉欣, 硕士研究生, 主要从事高血压与冠心病的基础与临床研究, E-mail: 18719330765@163.com。通信作者 李霞, 博士, 主任医师, 主要从事冠心病的基础与临床研究, E-mail: urmqlx@126.com。

cacy of SII and LVEF in assessing the severity of coronary artery lesion; a nomogram was constructed and its performance was evaluated through Bootstrap internal validation and decision curve analysis (DCA). **Results** The SII level in the AMI group was higher than that in the control group, and the LVEF level was lower than that in the control group. SII increased with increasing Gensini grading, while LVEF decreased with increasing Gensini grading, and the differences were statistically significant (both $P < 0.001$). Since the proportional odds assumption was violated, a partial proportional odds model was adopted for multiple factors. The results showed that for every 100 units increase in SII, there was a positive correlation with the lesion severity, and the effect varied with the cut-off point (moderate-to-severe vs mild lesions: $OR = 1.139$, 95% CI : 1.097 ~ 1.181, $P < 0.001$; severe lesions vs mild-to-moderate lesions: $OR = 1.045$, 95% CI : 1.024 ~ 1.065, $P < 0.001$), LVEF was negatively correlated with lesion severity ($OR = 0.937$, 95% CI : 0.919 ~ 0.956, $P < 0.001$). The RCS analysis results showed a non-linear association between SII and severe coronary artery lesions (P for nonlinearity < 0.001). When evaluating severe coronary artery lesions, the AUC of SII, LVEF and their combined models were 0.674, 0.664 and 0.696, respectively; the combined model did not yield a significant improvement compared to using SII alone ($P = 0.225$), indicating limited discriminative ability; after 500 bootstrap internal validation corrections, the AUC of nomogram with four variables included was 0.707. In the independent exploratory analysis of distinguishing AMI from non-AMI coronary heart disease, the apparent AUC of the combined model was 0.910. **Conclusions** In AMI patients, SII was positively associated with the severity of coronary artery lesions and nonlinearly associated with severe lesions, while LVEF was negatively associated with the severity of coronary artery lesions. The combined application of the two indices did not significantly improve the ability to distinguish the severity of coronary artery lesions.

[**KEY WORDS**] acute myocardial infarction; systemic immune-inflammation index; left ventricular ejection fraction; Gensini score; coronary artery lesions

心血管疾病是我国居民死亡的首位原因^[1],其中急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)的致死率尤为突出。AMI的诊断和分型依赖临床综合评估^[2];冠状动脉病变的严重程度直接影响介入治疗策略与患者远期预后,目前主要依靠冠状动脉造影后的Gensini评分进行定量评估^[3]。若能在造影前借助入院常规检查初步评估病变程度,将有助于急诊分诊与术前风险分层。炎症反应贯穿动脉粥样硬化的发生与发展过程^[4]。Hu等^[5]于2014年提出的全身免疫炎症指数(systemic immune-inflammation index, SII),不同于仅基于两类细胞比值计算的中性粒细胞与淋巴细胞比值(neutrophil-to-lymphocyte ratio, NLR)和血小板与淋巴细胞比值(platelet-to-lymphocyte ratio, PLR),可同时整合炎症激活与血栓活化两方面信息^[6]。左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)可反映心脏整体泵功能,当心肌梗死后存活心肌减少时,LVEF会随之下降^[7];但其与冠状动脉严重程度的对应关系,会受到侧支循环代偿、心肌顿抑或心肌冬眠等因素的干扰^[8]。Sun等^[9]对406例AMI患者的分析显示,SII与Gensini评分独立相关,LVEF为独立负向关联指标,但该研究侧重炎症指标间的横向比较,未评估SII与LVEF联合应用的区分效能与增量价值。既往研究多单独或在多因素模型中考察SII、LVEF与冠状动脉病变程度的关联,针对二者联合

区分度、增量价值及阈值特异性效应的研究证据仍较为有限。本研究拟开展以下工作:(1)借助限制性立方样条(restricted cubic spline, RCS)分析SII与冠状动脉重度病变的非线性关联形态;(2)构建整合SII、LVEF及年龄、心率的列线图,通过Bootstrap内部验证、校准曲线和决策曲线分析,评估其作为造影前初步风险评估工具的临床价值;(3)通过亚组分析探索SII效应在不同临床亚组间的一致性。

1 资料和方法

1.1 一般资料

本研究为单中心回顾性横断面研究,回顾性收集2022年9月至2025年12月于新疆医科大学第五附属医院因胸痛住院的冠心病患者临床资料。根据是否合并AMI分为AMI组(873例)和非AMI组(1 090例),共纳入1 963例。所有纳入患者的血常规(中性粒细胞、淋巴细胞、血小板)及超声心动图(LVEF)数据均完整,AMI组Gensini评分数据均完整;仅部分患者存在个别生物化学指标缺失,其中高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholesterol, HDLC)缺失52例,总胆固醇(total cholesterol, TC)和甘油三酯(triglyceride, TG)各缺失31例,低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDLC)缺失25例。AMI组中存在上述任一血脂指

标缺失的患者共 58 例(6.6%),且所有缺失变量均为非核心暴露变量(SII 和 LVEF 无缺失)。本研究为回顾性分析,经伦理委员会审查同意(审批号:XYDWFYLS-2019-04、XYDWFYLSk-2026-72、XYDWFYLSk-2025-256),豁免受试者书面知情同意,研究方案遵循《赫尔辛基宣言》的相关原则。

1.2 纳入标准

(1)年龄 ≥ 18 岁;(2)经冠状动脉造影证实,心外膜下左主干、三大分支或其分支存在至少一处直径狭窄 $\geq 50\%$;(3)AMI 的诊断依据第四版心肌梗死通用定义^[2];参照中华医学会心血管病学分会《非 ST 段抬高型急性冠脉综合征诊断和治疗指南(2024)》^[10]与《急性 ST 段抬高型心肌梗死诊断和治疗指南(2019)》^[11]完成非 ST 段抬高型心肌梗死(non-ST-segment elevation myocardial infarction, NSTEMI)与 ST 段抬高型心肌梗死(ST-segment elevation myocardial infarction, STEMI)分型,符合上述诊断标准者纳入 AMI 组(本研究数据库未设置稳定型/不稳定型心绞痛分型);(4)入院后均已完成冠状动脉造影术前的全血细胞计数、心脏彩超检查及冠状动脉造影检查;(5)关键暴露(SII、LVEF)、主要结局(AMI 组 Gensini 分级)及核心协变量资料完整可获得。

1.3 排除标准

(1)合并全身性免疫性疾病;(2)合并严重肝、肾功能不全,或合并严重心功能不全(NYHA 分级 IV 级或 LVEF $<30\%$);(3)合并严重呼吸系统疾病;(4)合并活动性恶性肿瘤;(5)合并血液系统疾病,或近期存在明显出血、贫血、输血史;(6)关键暴露或主要结局资料缺失。

1.4 冠心病诊断标准

本研究以冠状动脉造影作为判定阻塞性冠心病的影像学依据,将心外膜下左主干、三大分支中至少一支或其分支直径狭窄 $\geq 50\%$,作为造影学操作性入组标准,该阻塞性狭窄阈值参考《稳定性冠心病基层诊疗指南(2020 年)》^[12]设定。

1.5 冠状动脉造影

冠状动脉造影检查采用飞利浦数字血管造影系统完成。患者选择桡动脉或股动脉入路,按 Seldinger 法置入 6F 动脉鞘,沿鞘管将导丝及多功能造影导管送至左、右冠状动脉开口,注入对比剂后采集左前降支、左回旋支及右冠状动脉三支主干及其主要分支的影像。狭窄病变的部位与严重程度由至少两名经验丰富、具备冠状动脉介入诊疗资质的内科医师共同判定,以 Gensini 评分评估冠状动脉狭窄严重程度。

1.6 资料收集与变量定义

收集患者以下临床资料:(1)一般资料:年龄、性别、吸烟史,其中吸烟史依据入院病历中既往或目前吸烟的记录判定,以有/无二分类录入;(2)合并症:高血压、糖尿病,二者均依据既往史或出院诊断中的明确记录判定,以有/无二分类录入,两类疾病的临床诊断标准分别参照《中国高血压防治指南(2018 年修订版)》^[13]与《中国 2 型糖尿病防治指南(2020 年版)》^[14];(3)入院生命体征:收缩压、舒张压、心率;(4)血常规指标:于入院即刻采血,检测项目包括中性粒细胞计数、淋巴细胞计数、单核细胞计数、血小板计数及血红蛋白;(5)血生物化学指标:包括血糖、尿素氮及肌酐;(6)血脂指标:包括 TC、TG、LDLC 及 HDLC;(7)超声心动图:LVEF 采用入院后冠状动脉造影或经皮冠状动脉介入治疗术前经胸超声心动图 Simpson 双平面法测量;(8)Gensini 评分。

1.7 AMI 患者分组

AMI 组患者按照 Gensini 评分的三分位数分组:轻度组(<48 分, $n=284$)、中度组($48 \sim 84$ 分, $n=302$)、重度组(>84 分, $n=287$)。RCS 分析、ROC 分析、列线图及亚组分析,均统一将重度组定义的冠状动脉重度病变作为二分类结局。

1.8 统计学分析

统计分析采用 SPSS 31.0、Python 3.13 及 R 4.5.2 软件完成。不符合正态分布的资料以中位数及四分位数表示,两组间比较采用 Mann-Whitney U 检验,三组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验;计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。SII 和 LVEF 与 Gensini 评分的关联性采用 Spearman 相关分析。校正年龄、心率、LVEF 后,采用 RCS 分析 SII 与冠状动脉重度病变之间是否存在非线性关系,共设置 4 个节点,分别位于第 5、35、65、95 百分位数。以冠状动脉病变严重程度为因变量,行有序 Logistic 回归分析。先通过单因素筛选,将 $P<0.10$ 的候选变量纳入多因素模型,并计算方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)评估多重共线性;为规避不同炎症指标间的共线性问题,多因素模型仅保留 SII,不再同时纳入 NLR、PLR 及其组分。采用近似 Brant 检验评估比例优势假设;若整体检验不成立且偏离仅集中于个别变量,则采用部分比例优势模型(partial proportional odds model, PPOM),仅对违反该假设的变量放松平行约束,其余变量保留比例优势假设,并以此作为主分析;同时设置两个二分类切点,通过 Logistic 回归开展敏感性分析,比较不同

切点下效应的方向与显著性。分别以 SII、LVEF 及二者的二分类 Logistic 回归联合预测概率绘制 ROC 曲线(下文称“SII+LVEF 联合模型”),采用 DeLong 检验对比各模型的曲线下面积(area under the curve, AUC)差异,最佳截断值依据约登指数确定。将多因素回归中与结局存在统计学关联的变量($P < 0.05$),以及基于临床重要性纳入的年龄共同构建列线图(包含年龄、心率、LVEF、SII 四个变量),通过 500 次 Bootstrap 重抽样开展内部验证,计算乐观校正 AUC、校准斜率及平均绝对误差(mean absolute error, MAE),以此评估模型的区分度与校准度,同时绘制校准曲线,采用决策曲线分析^[15]考察模型的临床净获益。亚组分析按年龄(<65 岁及 ≥65 岁)、性别、有无糖尿病、有无高血压、有无吸烟史分层;各亚组内模型及交互作用模型的协变量设置与主模型保持一致,交互模型额外纳入分组变量及 SII×

分组交互项,通过交互项的 P 值评估 SII 效应在各层之间的异质性。本次亚组分析共开展 5 项交互检验,未进行多重比较校正,所有结果均按探索性分析解释。双侧 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结 果

2.1 非 AMI 组与 AMI 组基线资料比较

共纳入冠心病患者 1 963 例,其中非 AMI 患者 1 090 例,AMI 患者 873 例。AMI 组的 SII 水平高于非 AMI 组,LVEF 水平低于非 AMI 组($P < 0.001$);两组间的年龄、男性占比、吸烟史、糖尿病病史、收缩压、舒张压、心率、中性粒细胞计数、单核细胞计数、血小板计数、血红蛋白、HDLc、尿素氮、肌酐、NLR 及 PLR 差异均有统计学意义($P < 0.05$),而淋巴细胞计数等其余指标的差异无统计学意义($P > 0.05$;表 1)。

表 1. 非 AMI 组与 AMI 组基线资料比较

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

项目	非 AMI 组 ($n = 1\ 090$)	AMI 组 ($n = 873$)	P
年龄/岁	60.00(53.00,67.00)	58.00(51.00,68.00)	0.005
收缩压/mmHg	127.00(117.00,140.00)	132.00(116.75,150.00)	<0.001
舒张压/mmHg	78.00(71.00,86.00)	82.00(71.00,95.00)	<0.001
心率/(次/分)	74.00(68.00,81.00)	78.00(68.00,89.00)	<0.001
中性粒细胞/ $(\times 10^9\ L^{-1})$	3.38(2.73,4.17)	6.11(4.55,8.08)	<0.001
淋巴细胞/ $(\times 10^9\ L^{-1})$	1.92(1.56,2.32)	1.87(1.36,2.65)	0.795
单核细胞/ $(\times 10^9\ L^{-1})$	0.47(0.39,0.57)	0.61(0.47,0.79)	<0.001
血小板/ $(\times 10^9\ L^{-1})$	212.00(179.00,248.00)	223.00(184.00,261.00)	<0.001
血红蛋白/(g/L)	140.00(130.00,150.00)	148.00(136.00,158.00)	<0.001
LDLC/(mmol/L)	2.66(2.12,3.37)	2.80(2.21,3.33)	0.093
HDLc/(mmol/L)	1.25(1.07,1.45)	1.16(0.99,1.34)	<0.001
TC/(mmol/L)	4.25(3.53,5.09)	4.36(3.63,5.09)	0.253
TG/(mmol/L)	1.50(1.07,2.11)	1.46(1.02,2.15)	0.361
尿素氮/(mmol/L)	5.35(4.43,6.34)	5.80(4.80,7.10)	<0.001
肌酐/ $(\mu\text{mol/L})$	66.59(57.20,77.40)	72.80(62.90,84.29)	<0.001
LVEF/%	65.00(62.00,68.00)	56.00(51.00,60.00)	<0.001
SII	373.68(269.40,513.03)	695.68(424.03,1131.28)	<0.001
NLR	1.76(1.37,2.27)	3.25(1.94,5.13)	<0.001
PLR	110.21(88.17,138.54)	114.00(83.62,158.39)	0.031
男性/[例(%)]	602(55.2)	729(83.5)	<0.001
吸烟史/[例(%)]	434(39.8)	581(66.6)	<0.001
高血压史/[例(%)]	630(57.8)	471(54.0)	0.097
糖尿病病史/[例(%)]	275(25.2)	295(33.8)	<0.001

注:部分指标存在数据缺失,或经生理学合理性核查后按缺失值处理,各指标有效例数如下:非 AMI 组收缩压 1 088 例、舒张压 1 087 例、心率 1 086 例、单核细胞计数 1 062 例、血红蛋白 1 089 例、肌酐 1 089 例,TC 与 TG 各 1 088 例,LDLC 与 HDLC 各 1 086 例;AMI 组收缩压 872 例、舒张压 868 例、血红蛋白 871 例、尿素氮 871 例、肌酐 869 例,TC 与 TG 各 842 例,LDLC 848 例,HDLC 821 例;其余指标数据完整。

2.2 AMI 患者不同 Gensini 评分组的基线资料比较

873 例 AMI 患者按 Gensini 评分三分位数分为轻度组 ($n=284$)、中度组 ($n=302$) 和重度组 ($n=287$)。由轻度组至重度组, SII 中位数从 490.15 递

增至 937.59, 增幅约为 91.3%; LVEF 中位数从 58.00% 递减至 53.00%, 降幅约为 8.6%, 二者差异均有统计学意义 (均 $P<0.001$)。其余指标的组间比较结果详见表 2。

表 2. AMI 组 Gensini 评分三分位分组的基线资料比较

Table 2. Comparison of baseline characteristics across Gensini tertile groups in the AMI cohort

变量	轻度组 ($n=284$)	中度组 ($n=302$)	重度组 ($n=287$)	P
年龄/岁	56.00(49.00,65.00)	59.00(51.00,68.00)	58.00(51.00,70.00)	0.004
心率/(次/分)	75.00(67.00,84.00)	78.00(68.00,88.75)	82.00(71.00,95.00)	<0.001
LVEF/%	58.00(54.00,61.00)	56.00(51.00,60.75)	53.00(46.50,58.00)	<0.001
中性粒细胞/ $(\times 10^9 L^{-1})$	5.02(3.97,6.76)	6.17(4.53,8.38)	7.06(5.50,8.84)	<0.001
淋巴细胞/ $(\times 10^9 L^{-1})$	2.21(1.64,2.86)	1.79(1.31,2.64)	1.66(1.25,2.25)	<0.001
单核细胞/ $(\times 10^9 L^{-1})$	0.59(0.47,0.74)	0.61(0.46,0.81)	0.61(0.48,0.81)	0.308
血小板/ $(\times 10^9 L^{-1})$	212.50(176.00,251.00)	228.00(185.25,265.00)	229.00(188.00,269.00)	0.004
LDLC/(mmol/L)	2.83(2.12,3.35)	2.85(2.28,3.38)	2.72(2.19,3.28)	0.272
HDLc/(mmol/L)	1.13(0.98,1.30)	1.16(1.00,1.35)	1.19(1.00,1.38)	0.081
TC/(mmol/L)	4.35(3.58,5.07)	4.42(3.78,5.10)	4.27(3.59,5.07)	0.466
TG/(mmol/L)	1.56(1.06,2.59)	1.49(1.04,2.20)	1.36(0.99,1.87)	0.023
血糖/(mmol/L)	7.62(6.20,9.96)	8.25(6.63,11.20)	8.72(7.04,12.02)	<0.001
SII	490.15(332.94,785.86)	721.55(436.98,1239.18)	937.59(587.71,1442.86)	<0.001
NLR	2.35(1.55,3.57)	3.38(2.00,5.12)	4.18(2.53,6.65)	<0.001
PLR	98.65(73.66,128.49)	115.34(84.66,172.56)	133.12(97.10,181.63)	<0.001
MHR/ $(10^9 mmol^{-1})$	0.54(0.40,0.70)	0.53(0.40,0.75)	0.54(0.40,0.72)	0.889
男性/[例(%)]	244(85.9)	247(81.8)	238(82.9)	0.384
吸烟史/[例(%)]	194(68.3)	208(68.9)	179(62.4)	0.184
高血压史/[例(%)]	151(53.2)	157(52.0)	163(56.8)	0.479
糖尿病病史/[例(%)]	88(31.0)	101(33.4)	106(36.9)	0.319

注:部分指标存在数据缺失,轻、中、重度组各指标有效例数分别为: HDLC 与 MHR 为 268 例、287 例、266 例, LDLC 为 280 例、291 例、277 例, TC 与 TG 为 278 例、289 例、275 例, 血糖为 280 例、301 例、280 例, 其余指标数据完整。

2.3 SII、LVEF 与 Gensini 评分的相关性分析

Spearman 相关分析结果显示, SII 与 Gensini 评分呈弱至中等正相关 ($r=0.386, P<0.001$), LVEF

与 Gensini 评分呈弱至中等负相关 ($r=-0.315, P<0.001$; 图 1)。

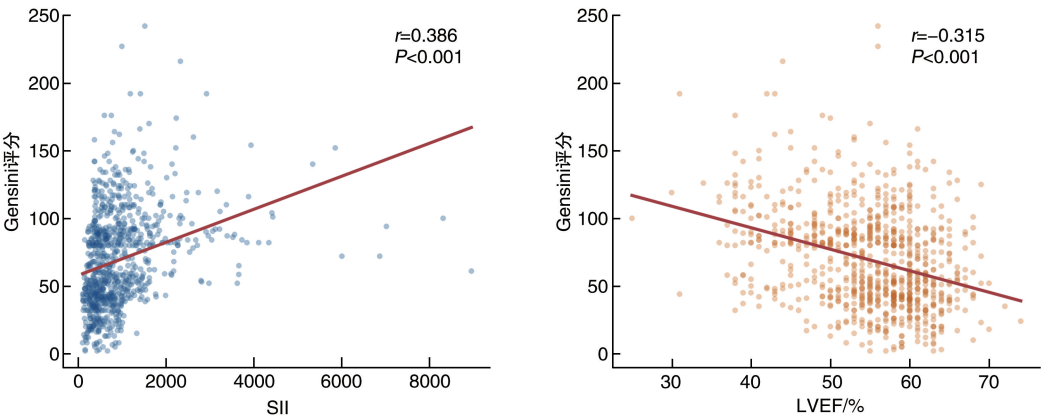


图 1. SII、LVEF 与 Gensini 评分的 Spearman 相关散点图

Figure 1. Spearman correlation scatter plots between SII, LVEF and Gensini score

2.4 SII 与冠状动脉重度病变的 RCS 非线性分析

以冠状动脉重度病变为结局,校正年龄、心率、LVEF 后的 RCS 分析结果显示,SII 与该结局呈非线性关联(非线性 $P<0.001$);以 SII 中位数为参考,低至中等 SII 区间 OR 上升较快,高 SII 区间斜率减小,增幅趋缓;由于高值区样本量较少($SII\geq 2\,500$ 者仅 41 例),该形态仅作探索性描述,结果见图 2。

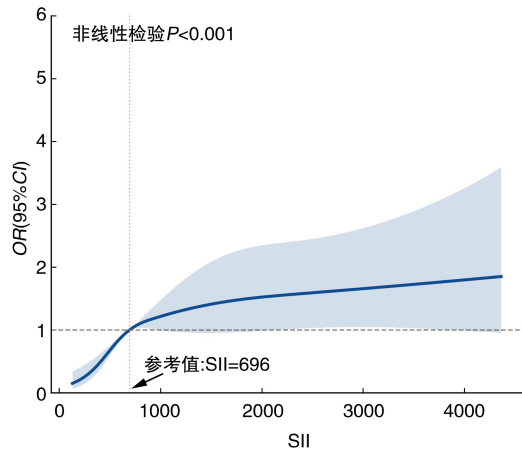


图 2. RCS 分析 SII 与冠状动脉重度病变的非线性关系
本次模型拟合使用全部 873 例样本,曲线显示范围限定为 SII 第 1~99 百分位(约 131~4 364),以减少极端值对横轴尺度的影响。整体关联检验与非线性检验的 P 值均 <0.001 。

Figure 2. RCS analysis of the nonlinear association between SII and severe coronary lesions

2.5 冠状动脉病变严重程度的部分比例优势有序 Logistic 回归分析

多因素分析纳入了 7 个协变量数据均完整的 814 例样本(列线图预测模型仅需 4 个最终预测因子数据完整,因此基于全部 873 例样本拟合)。为避免不同炎症指标间存在共线性,多因素模型仅保留 SII,排除 NLR、PLR 及其组分;各变量 VIF 均 <1.2 。近似 Brant 检验结果显示,比例优势(平行线)假设整体不成立($\chi^2=35.83$, $df=7$, $P<0.001$),且对假设的偏离主要由 SII 驱动($\chi^2=32.42$, $P<0.001$),因此本研究采用仅对 SII 放松平行约束的 PPOM 作为主分析,结果见表 3。SII 每增加 100 个单位,均与冠状动脉病变严重程度呈独立正向关联,且关联效应随切点不同存在差异:区分中重度病变与轻度病变时 $OR=1.139$ (95% CI : 1.097~1.181, $P<0.001$),区分重度病变与轻中度病变时 $OR=1.045$ (95% CI : 1.024~1.065, $P<0.001$),提示 SII 与跨越第一切点的关联强度大于第二切点,但该 OR 差异不能直接等同于模型区分能力的比较。心率为独立正向关联指标 ($OR=1.010$, 95% CI : 1.002~1.018, $P=0.011$),LVEF 为独立负向关联指标 ($OR=0.937$, 95% CI : 0.919~0.956, $P<0.001$),其余协变量经校正后差异均无统计学意义。在基于两个二分类切点开展的 Logistic 回归敏感性分析中,SII 在两个切点均为显著预测因子(每增加 100 单位对应的 OR 分别为 1.180、1.042,均 $P<0.001$),效应方向与效应量级均与 PPOM 结果一致。

表 3. 冠状动脉病变严重程度的多因素部分比例优势有序 Logistic 回归分析

变量	β	SE	OR	95% CI	P
年龄	0.0103	0.0060	1.010	0.998~1.022	0.087
心率	0.0100	0.0040	1.010	1.002~1.018	0.011
LVEF	-0.0647	0.0100	0.937	0.919~0.956	<0.001
HDLc	0.1024	0.2208	1.108	0.719~1.708	0.643
TG	-0.0439	0.0500	0.957	0.868~1.056	0.380
血红蛋白	-0.0026	0.0046	0.997	0.989~1.006	0.575
SII(每 100 单位,中重度对比轻度)	0.1298	0.0188	1.139	1.097~1.181	<0.001
SII(每 100 单位,重度对比轻中度)	0.0437	0.0100	1.045	1.024~1.065	<0.001

2.6 ROC 曲线分析

2.6.1 SII、LVEF 在鉴别 AMI 与非 AMI 冠心病中的临床价值
在鉴别 AMI 与非 AMI 冠心病时,SII、LVEF 及其联合模型的表现 AUC 分别为 0.769、0.883 和 0.910,其中联合模型的 AUC 数值最高;各指标的 95% CI 、截断值、灵敏度与特异度结果见表 4 及图 3。

2.6.2 SII、LVEF 对冠状动脉重度病变的评估价值

在评估冠状动脉重度病变时,SII、LVEF 及其联合模型的 AUC 分别为 0.674 (95% CI : 0.637~0.711)、0.664 (95% CI : 0.626~0.703) 和 0.696 (95% CI : 0.659~0.734),三者对冠状动脉重度病变的区分能力均有限。DeLong 检验结果显示,联合模型的诊断效能优于单独采用 LVEF ($P<0.001$),但相较于单

独采用 SII 未观察到显著诊断增量 ($P=0.225$), 提示联合模型对冠状动脉重度病变的区分信息主要由 SII 提供(图 4)。

表 4. SII、LVEF 及其联合模型鉴别 AMI 与非 AMI 冠心病的表现效能

Table 4. Apparent performance of SII, LVEF and their combined model in distinguishing AMI from non-AMI coronary heart disease

指标	AUC(95% CI)	截断值	灵敏度/%	特异度/%
SII	0.769(0.748 ~ 0.791)	595.41	58.4	83.9
LVEF	0.883(0.868 ~ 0.898)	60.00	77.5	85.1
SII+LVEF	0.910(0.897 ~ 0.923)	0.431	80.3	86.2

注:SII、LVEF 的截断值为指标原始测量值,SII+LVEF 联合模型的截断值为 Logistic 回归预测概率,二者量纲不同。

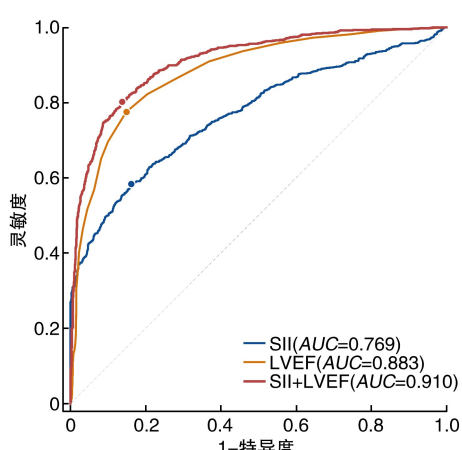


图 3. SII、LVEF 及联合鉴别 AMI 与非 AMI 冠心病的 ROC 曲线

Figure 3. ROC curves for SII, LVEF and their combination in distinguishing AMI from non-AMI coronary heart disease

2.7 列线图预测模型

以多因素关联分析中与结局存在统计学关联的变量为基础,纳入具有临床重要性的年龄,构建可预测 AMI 患者冠状动脉重度病变的 4 个变量列线图模型(图 5)。该模型纳入全部 873 例 AMI 患者,模型方程为: $\text{logit}[P(\text{Gensini}>84)] = 0.837 + 0.008\ 594 \times \text{年龄} + 0.013\ 822 \times \text{心率} - 0.066\ 046 \times \text{LVEF} + 0.000\ 429\ 6 \times \text{SII}$ 。该模型的表现 AUC 为 0.712, 仅较 SII+LVEF 二变量模型 ($AUC=0.696$) 略有提升,提示年龄与心率对模型诊断效能的增量贡献有限。

2.8 模型验证

2.8.1 Bootstrap 校准曲线 经 500 次 Bootstrap 重抽样内部验证,该模型的表现 AUC 为 0.712,乐观

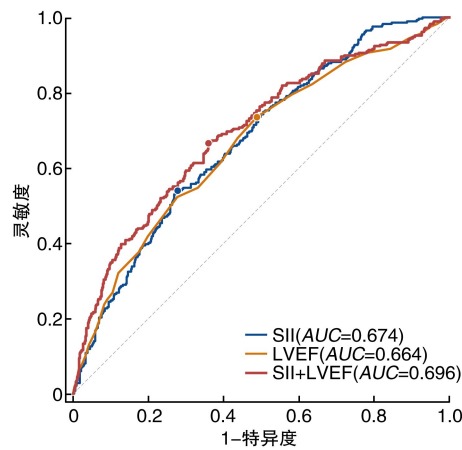


图 4. SII、LVEF 及联合预测冠状动脉重度病变的 ROC 曲线

单独检测 SII 时, $AUC=0.674$, 截断值为 909.49, 灵敏度为 54.0%, 特异度为 72.4%; 单独检测 LVEF 时, $AUC=0.664$, 截断值为 57.00%, 灵敏度为 73.5%, 特异度为 51.2%; SII 联合 LVEF 检测时, $AUC=0.696$, 灵敏度为 66.6%, 特异度为 64.2%。

Figure 4. ROC curves for SII, LVEF and their combination in predicting severe coronary artery lesions

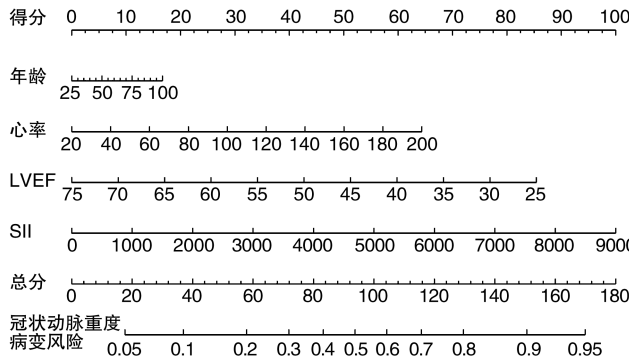


图 5. 基于年龄、心率、LVEF、SII 构建的预测 AMI 患者冠状动脉重度病变的列线图

Figure 5. Nomogram for predicting severe coronary artery lesions in AMI patients based on age, heart rate, LVEF and SII

度为 0.005, 校正 AUC 为 0.707, 校准斜率为 0.962, 整体校准效果尚可 ($MAE=0.036$); 但在高预测概率端存在一定程度的高估, 最大绝对偏差约为 0.15, 提示该模型对高风险个体的预测仍需进一步开展外部数据验证(图 6)。

2.8.2 决策曲线分析 决策曲线分析显示, 在约 12% ~ 55% 的阈概率区间内, 纳入年龄、心率、LVEF、SII 的列线图模型表现净获益总体高于单一指标模型及两种极端决策策略(图 7)。由于本研究未预先定义达到阈值后的具体干预措施, 且该评价基于开发数据集开展, 本次决策曲线分析仅反映模型在开发数据内的表现净获益, 可能存在乐观偏

倚,不等同于经过验证的临床决策价值,仍需进一步开展外部验证。

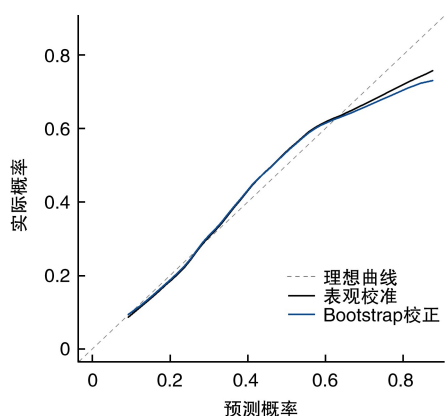


图 6. Bootstrap 内部验证校准曲线

Figure 6. Calibration curve with Bootstrap internal validation

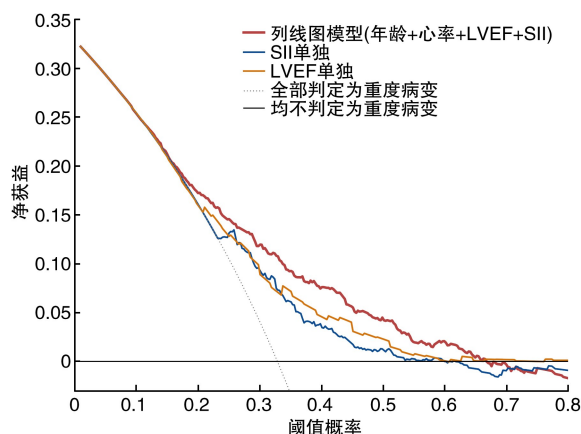


图 7. 决策曲线分析

Figure 7. Decision curve analysis

2.9 亚组分析

亚组分析结果显示,各亚组中 SII 与冠状动脉重度病变的关联方向一致,所有亚组 OR 均大于 1;5 项交互检验中仅糖尿病亚组得到显著的结果(交互 $P=0.042$),且所有结果均未达到 Bonferroni 校正阈值(0.01),目前未观察到稳健的效应修饰证据,本次仅作探索性观察报告,各亚组的 OR 及 95% CI 详见图 8。

3 讨论

本研究发现,SII 是独立正向关联指标,与冠状动脉重度病变呈阈值特异性关联,校正年龄、心率、LVEF 后的 RCS 分析进一步提示二者呈非线性关联;LVEF 为独立负向关联指标,SII 联合 LVEF 对冠状动脉重度病变的区分能力有限($AUC=0.696$),其

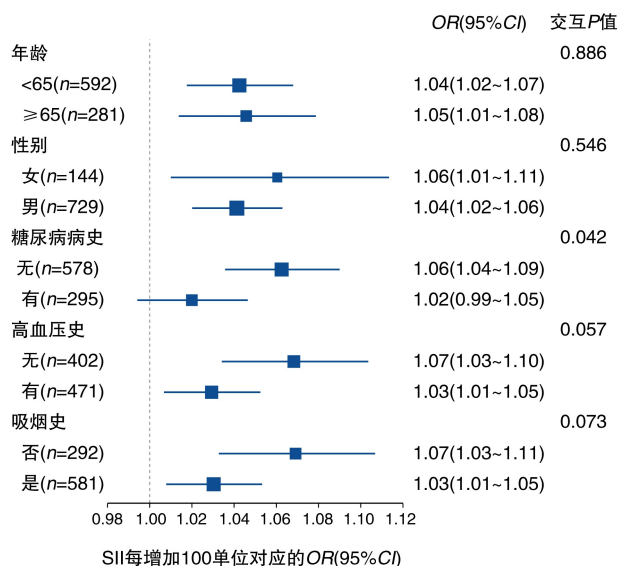


图 8. SII 预测冠状动脉重度病变的亚组分析森林图

Figure 8. Forest plot of subgroup analysis for SII in predicting severe coronary artery lesions

区分能力虽优于单独使用 LVEF,但相较单独使用 SII 未见显著增量价值,提示区分信息主要由 SII 提供;基于年龄、心率、LVEF、SII 构建的列线图经内部验证仅显示中等区分度(校正 $AUC=0.707$)。

AMI 组 SII 中位数显著高于对照组,且随 Gensini 三分位分级逐级提升。Sun 等^[9]曾在 406 例 AMI 患者中报告过类似趋势,但该研究以健康人群作为对照,且样本量较小;而本研究以非 AMI 冠心病患者为对照,AMI 样本量达 873 例,更贴合临床实际鉴别场景。SII 整合了中性粒细胞、血小板与淋巴细胞三类成分,可同时反映炎症激活与血栓活化状态^[16-17]。本研究中,两组淋巴细胞计数差异无统计学意义($P=0.795$),提示组间 SII 差异主要由中性粒细胞与血小板计数升高驱动,这是 SII 相较于仅包含两类细胞的 NLR 的信息优势^[18]。RCS 与 PPOM 均提示 SII 的效应并非恒定,但二者的结局定义与参数含义不同,仅在“效应随暴露水平或结局阈值变化”这一方向上相容,不构成相互验证;且高 SII 区样本较为稀疏($SII \geq 2500$ 者仅 41 例),曲线形态与潜在阈值仍需更大样本研究验证。

本研究发现,LVEF 随 Gensini 分级梯度下降,经多因素回归分析得到 $OR=0.937$ ($P<0.001$),其负向关联方向与既往研究结果一致^[7-9];但 LVEF 水平还会受梗死范围、侧支代偿、心肌顿抑或冬眠等因素影响^[7-8],不能直接等同于冠状动脉解剖负荷。这也是本研究将其与炎症指标联合建模的原因:二者可分别从炎症-血栓活化与心肌收缩功能两个不同维度提供补充信息。决策曲线分析提示列线图

模型在中段阈概率区间的表观净获益较高,但该结果仅为开发数据集内的表观结果,可能存在偏倚,不能等同于已经验证的临床决策价值。SII 与 LVEF 均来自入院常规检查,不会增加额外诊疗成本,但针对 STEMI 急诊 PCI 这类时间敏感的临床场景,使用该模型不应延误既定的诊疗流程。

在本研究中,SII 与 LVEF 联合模型鉴别 AMI 与非 AMI 冠心病的表观 AUC 为 0.910。该结果来自同一回顾性样本内的拟合与评价,且未经过外部验证,仅为一项独立探索性鉴别分析;它既无法替代基于症状、心电图与心肌肌钙蛋白的现有 AMI 诊断流程,也不能作为前述冠状动脉重度病变模型存在增量价值的证据,两项分析的研究人群、结局设定与研究目的均不相同。亚组分析结果显示,SII 与冠状动脉重度病变的关联方向在各临床亚组中保持一致,但 5 项交互检验均未通过多重校正(仅糖尿病亚组获得名义显著性, $P=0.042$),因此未作机制层面的解读,仅将其报告为方向一致的探索性观察结果。

近年研究已从不同人群与终点探讨 SII 评估冠状动脉病变的价值,但研究对象或终点设计多与本研究存在差异:Wang 等^[19]报道糖尿病冠心病人群中 SII 与冠状动脉狭窄程度相关,但该研究排除了 AMI 患者;Li 等^[20]以 SII 构建预测 AMI 后主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE)的列线图,研究终点为临床事件而非冠状动脉解剖负荷;尼罗菲尔·艾尔肯等^[21]以新型炎症因子构建神经网络预测 STEMI 患者冠状动脉病变严重程度;唐锴等^[22]报道 SII 联合全身炎症反应指数(systemic inflammation response index, SIRI)预测 AMI 患者院内 MACE,但 RCS 分析显示 SII 与 MACE 呈线性关系,与本研究 SII 对冠状动脉严重程度存在非线性关联的结果不同;林芳等^[23]为老年 STEMI 患者 PCI 术后 MACE 构建列线图($AUC=0.914$),研究思路相近但终点同样为临床事件;Li 等^[24]在 2 424 例稳定型冠心病患者中比较 6 种炎症指数并校正 LVEF,未评估 SII 与 LVEF 联合应用对病变的区分度及增量价值。综上,现有研究多聚焦于单项指标或以临床事件作为研究终点,直接评估 SII 与 LVEF 二者联合对冠状动脉病变区分度及增量价值的证据仍较为有限;本研究补充报告了 SII 的阈值特异性效应,并正式比较二者联合的病变区分能力,但未发现 LVEF 能够带来显著的 AUC 增量。

本研究存在以下局限:第一,本研究为单中心回顾性横断面研究,仅能揭示关联,但无法推导因果,研究结果外推性受限;研究未区分 STEMI 与 NSTEMI 亚型;非 AMI 组可能纳入不稳定型心绞痛

患者,但原始数据未保留相关分型字段,无法进一步分层分析,该异质性可能缩小两组 SII 差异,进而限制鉴别分析结果的解释。第二,血常规检测采集于疾病急性期,SII 升高既可反映慢性冠状动脉炎症负荷,也包含急性心肌梗死引发的应激性中性粒细胞与血小板反应,仅单次测量无法分离两种效应;研究排除了 LVEF<30% 的病例,截断了 LVEF 的低值分布范围,可能低估二者的真实关联。第三,研究采用完整病例分析,主要依据单因素筛选($P<0.10$)纳入协变量,可能带来选择偏倚与残余混杂,如性别、吸烟、糖尿病、高血压因素;且未纳入肌钙蛋白、利尿钠肽及高敏 C 反应蛋白等相关标志物,也未对 SII 与 NLR、PLR 进行头对头的区分度比较。第四,RCS 提示二者呈非线性关联,但有序 Logistic 回归与列线图仍以线性项构建模型,可能在高 SII 区间高估其边际风险贡献;且 Bootstrap 仅重复评价固定模型,未纳入变量选择的不确定性,模型性能评估可能仍偏乐观。第五,本研究中“重度病变”系按 Gensini 评分上三分位(>84 分)界定,并非学术界公认阈值;亚组交互分析属于探索性分析,未校正多重比较且结果对校正方案敏感;同时本研究缺乏 PCI 术后长期结局数据。第六,吸烟史、高血压与糖尿病信息取自病历记录的二分类记录,数据库未保留吸烟量与吸烟年限、重复血压测量结果、降压降糖用药及糖代谢检测等判定要素,可能存在错分偏倚。因此,本研究得到的模型性能与阈值均需在多中心前瞻性队列中进一步验证。

综上,在本研究单中心回顾性横断面纳入的 AMI 人群中,SII 与冠状动脉病变严重程度呈阈值特异性正向非线性关联,LVEF 与冠状动脉病变严重程度呈负向关联。SII+LVEF 对冠状动脉重度病变的区分能力有限($AUC=0.696$),与 SII 单独检测相比未见显著增量($P=0.225$);基于 4 个变量构建的列线图经 Bootstrap 内部验证后校正 AUC 为 0.707,校准效果尚可,该结果仅反映模型在同源人群中的稳定性。二者鉴别 AMI 与非 AMI 冠心病的表观 AUC 为 0.910,属于独立探索性分析。上述结果仅具备探索性价值,其临床应用价值仍需多中心前瞻性队列的外部验证。

利益冲突声明:所有作者声明不存在利益冲突。

[参考文献]

- [1] 国家心血管病中心,中国心血管健康与疾病报告编写组.中国心血管健康与疾病报告 2023 概要[J].中国循环杂志,2024,39(7):625-660.
National Center for Cardiovascular Diseases, Chinese Cardiovascular Health and Disease Report Writing Group. Report on cardiovascular

- health and diseases in China 2023; an updated summary[J]. *Chin Circ J*, 2024, 39(7): 625-660.
- [2] Thygesen K, Alpert J S, Jaffe A S, et al. Fourth universal definition of myocardial infarction (2018)[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(18): 2231-2264.
- [3] Rampidis G P, Benetos G, Benz D C, et al. A guide for Gensini score calculation[J]. *Atherosclerosis*, 2019, 287: 181-183.
- [4] Bäck M, Yurdagul A Jr, Tabas I, et al. Inflammation and its resolution in atherosclerosis: mediators and therapeutic opportunities[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2019, 16(7): 389-406.
- [5] Hu B, Yang X R, Xu Y, et al. Systemic immune-inflammation index predicts prognosis of patients after curative resection for hepatocellular carcinoma[J]. *Clin Cancer Res*, 2014, 20(23): 6212-6222.
- [6] Yang Y L, Wu C H, Hsu P F, et al. Systemic immune-inflammation index (SII) predicted clinical outcome in patients with coronary artery disease[J]. *Eur J Clin Invest*, 2020, 50(5): e13230.
- [7] Frantz S, Hundertmark M J, Schulz-Menger J, et al. Left ventricular remodelling post-myocardial infarction: pathophysiology, imaging, and novel therapies[J]. *Eur Heart J*, 2022, 43(27): 2549-2561.
- [8] Heusch G. Myocardial stunning and hibernation revisited[J]. *Nat Rev Cardiol*, 2021, 18(7): 522-536.
- [9] Sun H, Liu H Y, Li J X, et al. Analysis of the clinical predictive value of the novel inflammatory indices SII, SIRI, MHR and NHR in patients with acute myocardial infarction and their extent of coronary artery disease[J]. *J Inflamm Res*, 2024, 17: 7325-7338.
- [10] 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. 非ST段抬高型急性冠脉综合征诊断和治疗指南(2024)[J]. *中华心血管病杂志*, 2024, 52(6): 615-646.
Chinese Society of Cardiology of Chinese Medical Association, Editorial Board of Chinese Journal of Cardiology. Guidelines for the management of non-ST elevation acute coronary syndromes (2024)[J]. *Chin J Cardiol*, 2024, 52(6): 615-646.
- [11] 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 guidelines for the diagnosis and management of patients with ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Chin J Cardiol*, 2019, 47(10): 766-783.
- [12] 中华医学会, 中华医学会杂志社, 中华医学会全科医学分会, 等. 稳定性冠心病基层诊疗指南(2020年)[J]. *中华全科医师杂志*, 2021, 20(3): 265-273.
Chinese Medical Association, Chinese Medical Journals Publishing House, Chinese Society of General Practice, et al. Guideline for primary care of stable coronary artery disease(2020)[J]. *Chin J Gen Pract*, 2021, 20(3): 265-273.
- [13] 中国高血压防治指南修订委员会, 高血压联盟(中国), 中华医学会心血管病学分会, 等. 中国高血压防治指南(2018年修订版)[J]. *中国心血管杂志*, 2019, 24(1): 24-56.
Writing Group of 2018 Chinese Guidelines for the Management of Hypertension, Chinese Hypertension League, Chinese Society of Cardiology, et al. 2018 Chinese guidelines for the management of hypertension[J]. *Chin J Cardiovasc Med*, 2019, 24(1): 24-56.
- [14] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2020年版)[J]. *中华糖尿病杂志*, 2021, 13(4): 315-409.
Chinese Diabetes Society. Guideline for the prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus in China (2020 edition)[J]. *Chin J Diabetes Mellitus*, 2021, 13(4): 315-409.
- [15] Vickers A J, Elkin E B. Decision curve analysis: a novel method for evaluating prediction models[J]. *Med Decis Making*, 2006, 26(6): 565-574.
- [16] Guo L, Harari E, Virmani R, et al. Linking hemorrhage, angiogenesis, macrophages, and iron metabolism in atherosclerotic vascular diseases[J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2017, 37(4): e33-e39.
- [17] Luo X, Lv Y, Bai X X, et al. Plaque erosion: a distinctive pathological mechanism of acute coronary syndrome[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2021, 8: 711453.
- [18] Adamstein N H, MacFadyen J G, Rose L M, et al. The neutrophil-lymphocyte ratio and incident atherosclerotic events: analyses from five contemporary randomized trials[J]. *Eur Heart J*, 2021, 42(9): 896-903.
- [19] Wang H M, Huang Z H, Wang J, et al. Predictive value of system immune-inflammation index for the severity of coronary stenosis in patients with coronary heart disease and diabetes mellitus[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 31370.
- [20] Li X B, Yu C, Liu X W, et al. A prediction model based on systemic immune-inflammatory index combined with other predictors for major adverse cardiovascular events in acute myocardial infarction patients[J]. *J Inflamm Res*, 2024, 17: 1211-1225.
- [21] 尼罗菲尔·艾尔肯, 菲尔东·阿布力孜, 印婷婷, 等. 基于新型炎症因子的反向传播人工神经网络模型对急性ST段抬高型心肌梗死患者冠状动脉病变严重程度分级的预测价值[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2026, 34(4): 335-343.
Elken N, Abulizi F, Yin T T, et al. Predictive value of a back-propagation artificial neural network model based on novel inflammatory factors for grading coronary artery lesions severity in patients with acute ST-segment elevation myocardial infarction[J]. *Chin J Arterioscler*, 2026, 34(4): 335-343.
- [22] 唐 锴, 刘 磊, 谭 震, 等. 外周血衍生炎症标志物 SII 和 SIRI 对急性心肌梗死患者院内不良心血管事件的预测价值[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2024, 32(7): 606-612.
Tang K, Liu L, Tan Z, et al. The predictive value of peripheral blood-derived inflammatory markers SII and SIRI for in-hospital adverse cardiovascular events in patients with acute myocardial infarction[J]. *Chin J Arterioscler*, 2024, 32(7): 606-612.
- [23] 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 STE-MI patients after PCI and establishment of nomogram prediction model[J]. *Chin J Arterioscler*, 2024, 32(4): 319-324.
- [24] Li Y, Zhao Z N, Zhang H X, et al. A study on the correlation between novel inflammatory indices and severity of coronary artery lesions in patients with stable coronary artery disease[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2026, 13: 1760308.
- (此文编辑 文玉珊)