

• 临床研究 •

老年高血压患者无症状心肌缺血风险预测模型构建

刘忆团, 钱中佳, 蔡婉

摘要: **目的:** 构建老年高血压患者无症状心肌缺血的列线图预测模型。**方法:** 本回顾性队列研究纳入上海中医药大学附属曙光医院 2020 年 1 月至 2024 年 12 月收治的 715 名老年高血压患者。按照 7 : 3 的比例随机分为训练集 (501 例) 和验证集 (214 例), 以无症状心肌缺血为主要结局事件。采用多因素 Logistic 回归分析无症状心肌缺血的影响因素, 并构建列线图预测模型, 采用校准曲线、受试者工作特征 (ROC) 曲线、临床决策曲线评价模型预测效能。**结果:** 训练集中共有 240 例发生无症状心肌缺血 (47.9%)。多因素 Logistic 回归分析结果显示, 连续相邻 RR 间期差值的均方根值 (rMSSD, OR 0.97, 95% CI 0.96 - 0.98)、相邻窦性 RR 间期差值 $>50ms$ 的百分比 (pNN50, OR 0.91, 95% CI 0.88 - 0.94)、低频/高频比值 (OR 0.31, 95% CI 0.20 - 0.47) 是无症状心肌缺血的相关因素。基于以上相关因素构建列线图风险模型, 采用 Bootstrap 自抽样法 ($n = 1000$) 进行内部验证, 获得训练集和验证集的校准曲线, 训练集 Hosmer - Lemeshow $\chi^2 = 2.352$, $P = 0.328$, 验证集 Hosmer - Lemeshow $\chi^2 = 2.938$, $P = 0.294$, 提示模型具有较好的校准度。ROC 曲线分析发现, 列线图模型内部验证和外部验证的曲线下面积分别为 0.678 (95% CI 0.631 - 0.724) 和 0.743 (95% CI 0.677 - 0.809), 表明模型具有较好的区分度。决策曲线分析结果显示, 训练集的风险阈值概率在 17%~63%, 验证集的风险阈值概率在 18%~70% 时, 存在临床净获益。**结论:** 基于 rMSSD、pNN50 及低频/高频比构建的列线图模型, 对老年高血压患者无症状心肌缺血具有较好的预测效能。

关键词: 高血压; 心肌缺血; 预测

文章编号: 1008 - 0074 (2026) 04 - 509 - 07

中图分类号: R544.1

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1008-0074.2026.04.08

Construction of a prediction model for risk of asymptomatic myocardial ischemia in elderly hypertensive patients/LIU Yi-jian, QIAN Zhong-jia, CAI Wan//Comprehensive ICU, Shuguang Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai, 201203, China

Corresponding author: CAI Wan, E-mail: 1157266154@qq.com

Abstract: **Objective:** To construct a nomogram model for asymptomatic myocardial ischemia in elderly hypertensive patients. **Methods:** This retrospective cohort study enrolled 715 elderly hypertensive patients admitted to Shuguang Hospital, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine between January 2020 and December 2024. Patients were randomly divided into training set ($n = 501$) and validation set ($n = 214$) in a 7 : 3 ratio. The primary outcome was asymptomatic myocardial ischemia. Multivariate Logistic regression analysis was used to determine factors associated with asymptomatic myocardial ischemia, then a nomogram model was constructed. The nomogram model was assessed using calibration curves, receiver operating characteristic (ROC) curves, and clinical decision curves. **Results:** A total of 240 patients (47.9%) had asymptomatic myocardial ischemia in the training set. Multivariate Logistic regression analysis showed that root mean square of successive differences between adjacent RR - intervals (rMSSD, OR 0.97, 95% CI 0.96 - 0.98), percentage of adjacent NN intervals varying by more than 50 ms (pNN50, OR 0.91, 95% CI 0.88 - 0.94), low frequency to high frequency ratio (LF/HF, OR 0.31, 95% CI 0.20 - 0.47) were associated with asymptomatic myocardial ischemia. A nomogram model was constructed according to multivariate logistic regression results. Bootstrap repeated sampling ($n = 1000$) was used for internal validation to obtain calibration curves of the training and validation sets, the training set showed Hosmer - Lemeshow test $\chi^2 = 2.352$, $P = 0.328$, and the validation set showed Hosmer - Lemeshow $\chi^2 = 2.938$, $P = 0.294$, suggesting that the model had satisfactory calibration performance. ROC analysis indicated that internal validation and ex-

收稿日期: 2025 - 10 - 11

基金项目: 国家自然科学基金项目 (82205011)

作者单位: 上海中医药大学附属曙光医院 (综合 ICU: 刘忆团, 钱中佳; 心胸外科: 蔡婉), 上海 201203

通讯作者: 蔡婉, E-mail: 1157266154@qq.com

ternal validation had area under ROC of 0.678 (95%CI 0.631–0.724) and 0.743 (95%CI 0.677–0.809), respectively, indicating that model had good discriminatory performance. Decision curve analysis showed net benefit when high-risk threshold was between 17% and 63% in training set, 18%~70% in validation set. **Conclusion:** A nomogram model incorporating MSSD, pNN50 and LF/HF showed good predictive performance for asymptomatic myocardial ischemia in elderly hypertensive patients.

Key words: Hypertension; Myocardial ischemia; Forecasting

Funding: supported by National Natural Science Foundation of China (82205011)

高血压是引发心血管疾病的关键因素^[1],其与心肌缺血的发展过程有着重要联系。临床观察发现,高血压患者出现心肌缺血时经常没有显著症状,这种隐匿性特征增加了漏诊和治疗延迟的可能性^[2]。若不及时处理,心肌缺血可能进展为心绞痛或心肌梗死等严重问题,大幅提升猝死风险。研究数据表明,心血管疾病死亡病例中约 80%与缺血性心脏病有关^[3],这凸显了在老年高血压人群中筛查无症状心肌缺血的重要性。最新研究指出,自主神经功能状态与心血管事件风险密切相关,可作为预测心脏不良事件的指标^[4]。其中,心率变异性(heart rate variability, HRV)作为评估自主神经功能的关键参数,通过测量心跳间隔的微小波动来反映神经调节状况,且检测方法简便易行。已有证据显示,HRV与心绞痛、心肌梗死等疾病的进展及预后存在显著关联^[5]。但既往利用 HRV 指标对老年高血压患者人群进行无症状心肌缺血预测的相关研究较少,相关临床研究数据仍较为匮乏。基于此,本研究分析老年高血压患者 HRV 指标与无症状心肌缺血之间的相关性,并构建列线图预测模型。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本回顾性队列研究选择上海中医药大学附属曙光医院 2020 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日期间收治的 715 名老年高血压患者进行分析。本次研究已经通过上海中医药大学附属曙光医院医学伦理学批准(202505986)。本研究为回顾性观察性研究,经伦理委员会批准豁免患者知情同意。

纳入标准:(1)年龄 ≥ 60 岁的原发性高血压患者,诊断标准为《中国高血压防治指南(2018 年修订版)》^[6];(2)完成 24 h 动态心电图、冠脉造影等必要检查;(3)临床资料完整。排除标准:(1)具有心肌缺血相关症状者;(2)合并严重心脏疾病(如心梗、房颤、瓣膜病等)或血液系统异常(重度贫血、电解质紊乱等);(3)植入心脏起搏器者;(4)肿瘤患者;(5)精神心理疾病患者;(6)2 周

内服用影响自主神经功能药物者;(7)病历资料存在显著修改痕迹者。

1.2 方法

1.2.1 数据采集:研究数据通过医院电子病历系统采集,包括患者基本信息、高血压的情况以及合并症的情况、24 h 动态心电图的检查结果。所有数据收集项目均经本院专家团队审核确认,确保科学性和完整性。本研究纳入分析的 24 h 动态心电图检查数据均为患者入院时的首次检测记录。

研究采集三类数据:(1)基础信息:含性别、年龄、吸烟史、饮酒史;(2)高血压的相关信息:主要包括高血压的病程以及入院时的血压水平;(3)合并症情况:包括高脂血症以及糖尿病。

时域性指标:(1)RR 间期总体标准差(standard deviation of normal-to-normal intervals, SDNN);(2)5 min 分段 RR 间期均值标准差(standard deviation of the mean of normal-to-normal intervals, SDANN);(3)连续相邻 RR 间期差值的均方根值(root mean square of successive differences between adjacent RR-intervals, rMSSD);(4)相邻窦性 RR 间期差值 > 50 ms 的百分比(percentage of adjacent NN intervals varying by more than 50 ms, pNN50)。

频域指标:(1)低频功率(low frequency, LF);(2)高频功率(high frequency, HF);(3)低频与高频功率比值(LF/HF)。

1.2.2 分组方法:首先依据 7:3 的比例,将全部患者分为训练集和验证集,其中训练集 501 例,验证集 214 例。在训练集中,按照患者是否发生无症状心肌缺血分为发生组和未发生组。无症状心肌缺血的诊断标准:对患者的心电图以及冠状动脉造影结果进行联合分析,做出是否为无症状心肌缺血的诊断。具体诊断标准如下^[7]:(1)静息心电图:出现 ST 段水平或下斜型压低 ≥ 0.1 mV,或 T 波倒置,且排除其他非缺血因素(如药物、电解质紊乱)。动态心电图:监测到短暂性 ST 段压低 ≥ 0.1 mV,持续时间 ≥ 1 min,且无症状;(2)负荷试验阳性:运动负荷试验:运动中或恢复期出现心电图缺血性改变(ST 段压低 ≥ 0.1

mV),但患者无胸痛等不适。药物负荷试验(如腺苷、多巴酚丁胺):通过药物诱发心肌缺血,结合心电图或影像学(如超声、核素显像)显示局部心肌灌注异常;(3)影像学证据:心肌灌注显像:静息或负荷状态下显示心肌局部血流灌注缺损。心脏超声:负荷状态下(运动或药物)出现室壁运动异常(如运动减弱、不运动)。冠状动脉成像:计算机断层扫描血管造影显示冠状动脉狭窄 $\geq 50\%$,且与缺血区域匹配;(4)其他辅助指标:生物标志物:如高敏肌钙蛋白 T 轻度升高(需排除急性冠脉综合征)。危险因素:合并高血压、糖尿病、高脂血症等,会增加无症状心肌缺血的可能性。

1.3 统计学分析

本研究采用 R 语言(1.4.2 版本)进行统计分析。符合正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验,组内比较用配对样本 t 检验;非正态分布的连续变量以 $M(Q_1, Q_2)$ 描述,组间差异比较采用秩和检验。

计数资料以百分率表示,比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率检验。单因素分析中 $P<0.05$ 的变量纳入到多因素 Logistic 回归中,分析老年高血压患者发生无症状心肌缺血的影响因素,基于多因素分析的结果构建列线图模型,并采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估预测效能。模型的预测效能验证进一步采用校准曲线、临床决策曲线,其中使用 Hosmer-Lemeshow 检验对校准曲线的结果进行描述。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 训练集患者单因素分析

训练集中共有 240 例(47.9%)发生无症状心肌缺血。单因素分析结果显示,与未发生无症状心肌缺血组相比,发生无症状心肌缺血组患者的 SDNN、低频、rMSSD、pNN50、LF/HF 均显著降低($P<0.05$ 或 <0.01 ,见表 1)。

表 1 两组患者一般资料比较

指标名称	未发生组 ($n=261$)	发生组 ($n=240$)	$t/\chi^2/Z$	P
年龄(岁)	71.4 $\pm$ 8.6	70.2 $\pm$ 7.6	1.632	0.103
男性 $n(\%)$	161 (61.7)	148 (61.7)	<0.001	0.996
基础心率(次/min)	87.66 $\pm$ 9.13	88.10 $\pm$ 9.25	-0.535	0.593
收缩压(mmHg)	160.02 $\pm$ 16.61	159.32 $\pm$ 18.20	0.452	0.652
舒张压(mmHg)	107.25 $\pm$ 15.32	107.73 $\pm$ 15.05	-0.359	0.720
SDNN(ms)	125.87 $\pm$ 21.95	121.52 $\pm$ 24.25 Δ	2.104	0.036
SDANN(ms)	116.50 $\pm$ 23.25	114.84 $\pm$ 20.73	0.842	0.400
高频(ms^2)	41.67 $\pm$ 7.64	40.81 $\pm$ 8.17	1.219	0.224
低频(ms^2)	46.21 $\pm$ 8.79	44.77 $\pm$ 7.09 Δ	2.021	0.044
rMSSD(ms)	29.76 (21.39, 39.54)	27.77 (22.79, 33.06) $\Delta\Delta$	-2.661	0.008
pNN50(%)	12.18 (8.51, 16.50)	10.93 (7.59, 13.67) $\Delta\Delta$	-3.864	<0.001
低频/高频比值	1.21 (0.92, 1.48)	1.01 (0.78, 1.25) $\Delta\Delta$	-4.808	<0.001
合并糖尿病 $n(\%)$	62 (23.7)	56 (23.3)	0.012	0.912
使用 β 受体阻滞剂 $n(\%)$	192 (73.6)	180 (75.0)	0.135	0.713
使用抗心律失常药物 $n(\%)$	91 (34.9)	79 (32.9)	0.212	0.645
糖尿病自主神经病变 $n(\%)$	20 (7.7)	13 (5.4)	1.025	0.311
心力衰竭 $n(\%)$	18 (6.9)	9 (3.8)	2.428	0.119
肾功能不全 $n(\%)$	30 (11.5)	27 (11.3)	0.007	0.931
咖啡因/尼古丁摄入 $n(\%)$	97 (37.2)	85 (35.4)	0.165	0.684
合并高脂血症 $n(\%)$	93 (35.6)	94 (39.2)	0.668	0.414
吸烟 $n(\%)$	112 (42.9)	104 (43.3)	0.009	0.924
饮酒 $n(\%)$	130 (49.8)	113 (47.1)	0.372	0.542

注:SDNN:RR 间期总体标准差,SDANN:5 min 分段 RR 间期均值标准差,rMSSD:连续相邻 RR 间期差值的均方根值,pNN50:相邻窦性 RR 间期差值 >50 ms 的百分比。与未发生组比较 $\Delta P<0.05$, $\Delta\Delta P<0.01$ 。

2.2 训练集无症状心肌缺血的多因素 Logistic 分析

将单因素分析中结果 $P < 0.05$ 的变量纳入到多因素 Logistic 回归分析中, 各纳入多因素分析的自变量的 VIF 值分布在 1.362~2.114。多因素 Logistic 回归分析结果显示, rMSSD (OR 0.97, 95% CI 0.96–0.98, $P < 0.001$)、pNN50 (OR 0.91, 95% CI 0.88–0.94, $P < 0.001$)、低频高频比 (OR 0.31, 95% CI 0.20–0.47, $P < 0.001$) 是老年高血压患者发生无症状心肌缺血的相关因素。见表 2。

表 2 训练集无症状心肌缺血的多因素 Logistic 分析

变量	β	<i>S. E.</i>	Wald χ^2	<i>P</i>	<i>OR</i> (95% <i>CI</i>)
常数项	4.601	0.880	27.336	<0.001	—
SDNN	-0.008	0.004	3.724	0.054	0.99 (0.99–1.00)
rMSSD	-0.026	0.009	16.400	<0.001	0.97 (0.96–0.98)
pNN50	-0.077	0.019	31.826	<0.001	0.91 (0.88–0.94)
低频	-0.019	0.012	2.339	0.126	0.99 (0.97–1.00)
低频/高频比值	-1.081	0.250	18.697	<0.001	0.31 (0.20–0.47)

注:SDNN:RR 间期总体标准差,rMSSD:连续相邻 RR 间期差值的均方根值,pNN50:相邻窦性 RR 间期差值>50 ms 的百分比。

2.3 训练集无症状心肌缺血列线图预测模型构建

基于多因素 Logistic 回归结果构建可视化列线图风险模型 (见图 1)。列线图图中的每个变量对应一条标尺, 标尺长度反映该变量对预测结果的贡献权重。使用时根据实际数据在每条变量线上找到对应取值, 记录单项得分 (Points)。总分通过标准尺度线 (Total Points) 转换为最终发生无症状心肌缺血的概率, 直观展示预测结果。

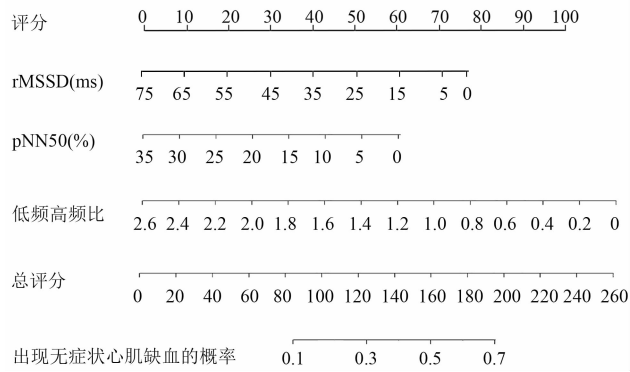


图 1 训练集患者发生无症状心肌缺血的预测列线图模型

注: rMSSD: 连续相邻 RR 间期差值的均方根值, pNN50: 相邻窦性 RR 间期差值>50 ms 的百分比。

2.4 老年高血压人群发生无症状心肌缺血的列线图模型验证

利用 Bootstrap 自抽样法进行内部验证, 重复自抽样 1000 次, 获得训练和验证数据集的校准曲线, 训练集 Hosmer–Lemeshow $\chi^2 = 2.352$, $P = 0.328$, 验证集 Hosmer–Lemeshow $\chi^2 = 2.938$, $P = 0.294$, 提示模型具有良好的校准度 (见图 2、图 3)。在对 ROC 曲线进行分析时, 观察到列线图模型在预测患者发生无症状心肌缺血的内部验证和外部验证 ROC 曲线下面积分别为 0.678 (95% CI 0.631–0.724) 和 0.743 (95% CI 0.677–0.809), 提示模型具有良好的区分度 (见图 4)。决策曲线分析结果显示, 训练集在风险阈值概率 17%~63%, 验证集在风险阈值概率 18%~70% 时, 存在临床净获益 (见图 5、图 6)。

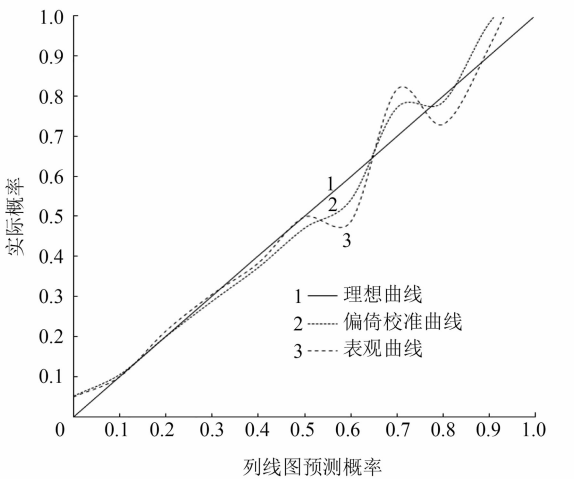


图 2 训练集的校准曲线

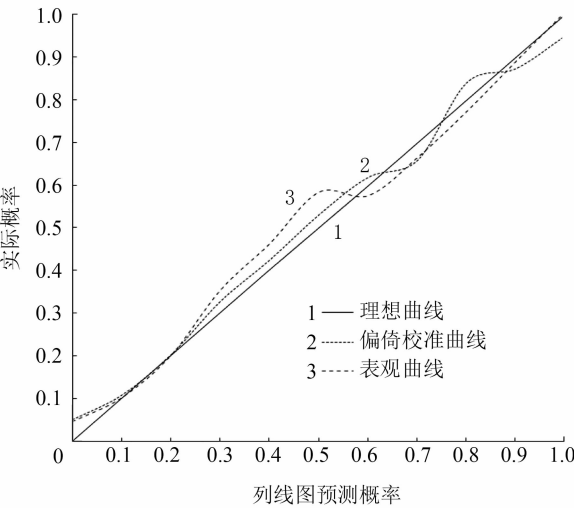


图 3 验证集的校准曲线

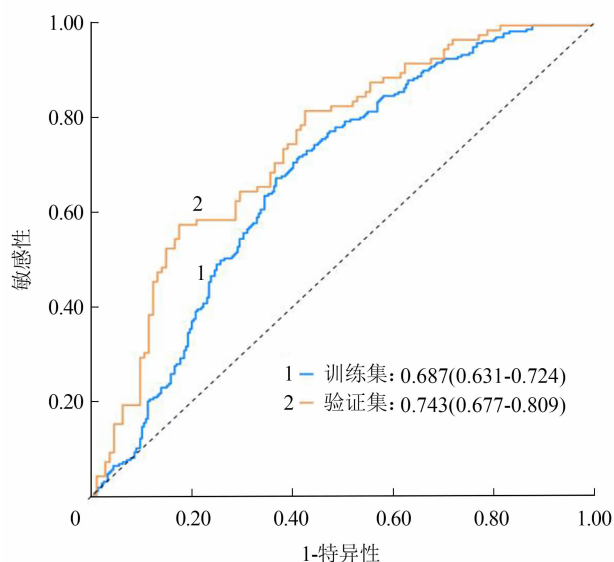


图4 训练集以及验证集的受试者工作特征曲线

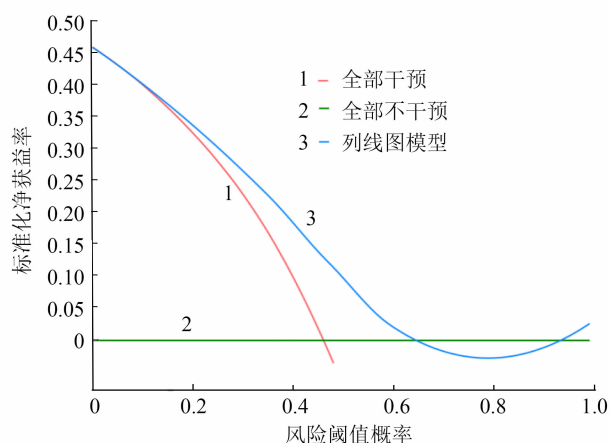


图5 临床决策曲线 (训练集)

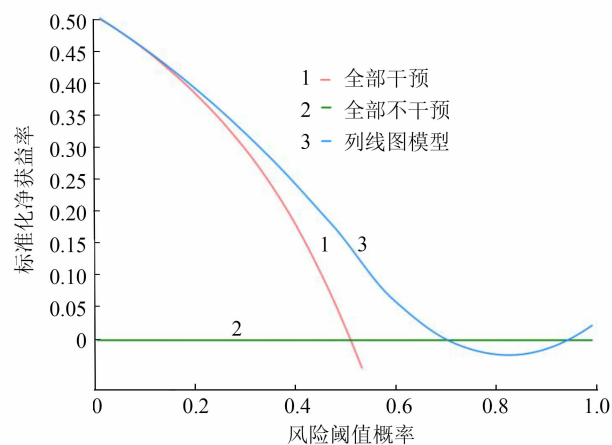


图6 临床决策曲线 (验证集)

3 讨论

本研究结果显示, HRV 指标中的 rMSSD、pNN50 以及低频/高频比值与老年高血压患者发生无症状心肌缺血相关。在时域分析维度, 研究选择了 SDNN、rMSSD 和 pNN50 三大核心指标。其中, SDNN 通过计算连续正常 RR 间期的标准差, 能够准确反映交感神经系统对心脏节律的整体调控作用^[8]。rMSSD 指标主要用于评估副交感神经对心率变化的调节能力^[9]。而 pNN50 通过统计相邻 RR 间期差值超过 50 ms 的百分比, 直观反映迷走神经兴奋性的动态变化^[10]。这些指标相互补充, 构成了完整的自主神经功能评估体系。频域分析方面, 采用功率谱分析法将心率变异性信号分解为高频与低频成分。高频功率与迷走神经张力密切相关, 低频功率主要反映交感神经活动水平, 两者比值能精确反映自主神经系统的平衡状态^[11]。当该比值出现异常降低时, 往往提示自主神经调节功能紊乱, 具体表现为迷走神经活性减弱与交感神经功能相对亢进^[12]。大量临床研究证实, HRV 指标对评估慢性疾病引起的自主神经功能失调具有重要价值^[13-18]。特别是在高血压患者群体中, 这种自主神经失衡状态会导致 HRV 水平显著下降^[19]。长期临床观察表明, 高血压患者 HRV 降低与左心室肥厚、心功能异常以及心血管事件发生风险存在显著相关性^[20]。需要强调的是, 本研究所有结论均建立在严谨的临床数据基础之上, 研究方法符合国际通行的临床研究规范。通过多维度的心率变异性分析, 为临床早期识别老年高血压患者无症状心肌缺血风险提供了新的评估思路。

本研究构建的预测模型通过整合 rMSSD、pNN50 及低频/高频比值三项自主神经功能指标, 为老年高血压患者无症状心肌缺血的早期识别提供了量化工具。模型内部验证显示预测值与实际值具有良好一致性。ROC 曲线分析结果提示, 模型在训练集 (AUC=0.678) 和验证集 (AUC=0.743) 均表现出中等以上预测效能, 其中验证集表现更优, 提示模型具有较好的泛化能力。决策曲线分析显示, 当风险阈值概率处于 17%~70% 区间内, 模型存在临床净获益。这一发现具有重要实践意义: 一方面, 17% 的阈值下限有助于筛选出需要进一步检查的高危患者, 避免漏诊; 另一方面, 70% 的阈值上限可为临床干预提供可靠依据, 减少不必要的过度诊疗。模型将复杂的自主神经功能指标转化为直观的风险

概率,显著提升了临床决策效率。本研究的创新之处在于首次将 HRV 指标与无症状心肌缺血风险预测相结合,为自主神经功能评估提供了新的临床应用场景。模型构建严格遵循临床预测模型开发规范,采用 Bootstrap 法进行内部验证,确保结果可靠性。虽然模型 AUC 值尚未达到 0.8 以上的优异水平,但无症状心肌缺血起病隐匿、早期预测难度较高,当前结果已具有临床应用价值。后续研究可考虑联合其他生物标志物或影像学指标,进一步提升模型预测效能。

研究表明,HRV 检测可作为老年高血压患者无症状心肌缺血的预测工具。高血压的病理机制中,交感神经过度兴奋是关键因素。持续的高血压状态会增强交感神经兴奋性,同时降低迷走神经活性,这种自主神经功能失衡可能削弱其对心肌的保护作用,从而诱发心肌缺血。通过分析 HRV 的动态变化,能够客观反映高血压患者的自主神经功能状态,为预测无症状心肌缺血风险提供依据。同时,该指标在评估治疗效果和判断预后方面也具有重要临床价值。结合 ROC 曲线、校准曲线的预测结果可见,模型仍存在提升空间,出现该种结果的可能原因如下:本次仅关注了 HRV 的指标,单纯一个维度的指标对于无症状心肌缺血的诊断效能有限,在临床工作中,需要纳入临床症状,血清学指标等进行综合考虑。

本研究存在一定的局限性:(1)本研究为单中心研究,样本量有限,不可避免存在选择偏倚,样本的代表性存在局限性;(2)本研究无法排除未纳入混杂变量对结果的影响;(3)本研究基于回顾性数据分析,仅能对已经获取数值的指标实施分析,而无法如前瞻性分析一样,事先设计欲分析的指标种类;(4)本研究仅局限在中国人群中开展,研究结果是否适用于其他人群有待今后研究验证。

综上所述,基于 rMSSD、pNN50 和 LF/HF 构建的列线图模型,对老年高血压患者无症状心肌缺血具有较好的预测效能。

利益冲突:所有作者声明无利益冲突。

参考文献:

- [1] 袁群凯,张群吉,侯经远,等. N-6-腺苷酸甲基化修饰在心血管疾病中的研究进展 [J]. 国际心血管病杂志, 2023, 50 (6): 337-340.
- [2] MARKWERTH P, BAJANOWSKI T, TZIMAS I, et al. Sudden cardiac death - update [J]. Int J Legal Med, 2021, 135 (2): 483-495.
- [3] GENTILE F, CASTIGLIONE V, DE CATERINA R. Coronary artery anomalies [J]. Circulation, 2021, 144 (12): 983-996.
- [4] ESER P, JAEGER E, MARCIN T, et al. Acute and chronic effects of high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise on heart rate and its variability after recent myocardial infarction: a randomized controlled trial [J]. Ann Phys Rehabil Med, 2022, 65 (1): 101444.
- [5] CHUMACHENKO D, BUTKEVYCH M, LODE D, et al. Machine learning methods in predicting patients with suspected myocardial infarction based on short-time HRV data [J]. Sensors (Basel), 2022, 22 (18): 7033.
- [6] 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中国医师协会高血压专业委员会, 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.
- [7] 葛均波, 徐永健. 内科学 [M]. 第 8 版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 257-258.
- [8] HUET F, DELBAERE Q, AGUILHON S, et al. Colchicine to prevent sympathetic denervation after an acute myocardial infarction: the COLD-MI trial protocol [J]. Medicina (Kau-nas), 2021, 57 (10): 1047.
- [9] TRIANTAFYLLOU K, FRAGAKIS N, GATZOULIS K A, et al. Risk assessment of post-myocardial infarction patients with preserved ejection fraction using 45-min short resting Holter electrocardiographic recordings [J]. Anna Noninvasive Electrocardiol, 2023, 28 (6): e13087.
- [10] WANG C M, SU T T, YUE Y, et al. Relationship between heart rate variability parameters and short-term prognosis of patients with acute myocardial infarction [J]. J Coll Physicians Surg Pak, 2024, 34 (4): 468-473.
- [11] NAWAR A, GAZI A H, CHAN M, et al. Towards quantifying stress in patients with a history of myocardial infarction: validating ECG derived patch features [J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2023, 2023: 1-4.
- [12] PICARD M, TAUVERON I, MAGDASY S, et al. Effect of exercise training on heart rate variability in type 2 diabetes mellitus patients: a systematic review and meta-analysis [J]. PLoS One, 2021, 16 (5): e0251863.
- [13] 马随随, 温昌明, 贾艳露, 等. 椎-基底动脉系统及颈内动脉系统狭窄患者睡眠质量、结构与心率变异性的关系研究 [J]. 中华神经医学杂志, 2025, 24 (4): 362-369.
- [14] 杨浩, 鄢苏鹏, 周婷, 等. 1 小时心率变异性在高血压性心脏病患者中的应用研究 [J]. 中国心脏起搏与心电生理杂志, 2025, 39 (2): 131-136.
- [15] 王平, 阳梅, 张红, 等. 心率变异性指标对老年高血压患者发生无症状心肌缺血的预测价值 [J]. 国际心血管病杂志, 2025, 52 (1): 58-61.
- [16] 梁蓉. 冠心病伴慢性心力衰竭患者心率变异性及其与病情严重程度的相关性 [J]. 武警医学, 2025, 36 (2): 138-140, 144.
- [17] 胡斯茵, 何振多, 杜勇兴, 等. 扩张型心肌病左室重构与心率

变异性、室性心律失常的相关性：基于心脏磁共振 [J]. 分子影像学杂志, 2025, 48 (2): 173-179.

[18] 李春燕, 钟晔, 柴娟娟, 等. 基于 Lorenz 散点图及三维 RR 散点图心率变异性构建列线图模型预测 2 型糖尿病心脏自主神经病变 [J]. 河北医学, 2025, 31 (6): 1033-1038.

[19] BURLACU A, BRINZA C, POPA I V, et al. Influencing cardiovascular outcomes through heart rate variability modulation: a systematic review [J]. Diagnostics (Basel), 2021, 11 (12):

2198.

[20] DE ANDRADE P E, ZANGIROLAMI - RAIMUNDO J, MORAIS T C, et al. Cardiac behavior and heart rate variability in elderly hypertensive individuals during aerobic exercise: a non - randomized controlled study [J]. Int J Environ Res Public Health, 2023, 20 (2): 1292.

(责任编辑: 刘 丰)

血清 ADAM10、LRG1、GATA4 水平对冠心病 PCI 术后支架内再狭窄的预测价值

曾 伟¹, 高辰玮², 孙 毅¹, 刘伟亮², 阎学贞¹

摘要: **目的:** 探讨血清整合素-金属蛋白酶 10 (ADAM10)、富亮氨酸- α 2-糖蛋白 1 (LRG1)、GATA 结合蛋白 4 (GATA4) 水平对冠心病患者经皮冠脉介入 (PCI) 术后支架内再狭窄的预测价值。**方法:** 本回顾性观察性研究纳入 2021 年 1 月至 2024 年 1 月在中国人民解放军陆军第 81 集团军医院接受 PCI 治疗的冠心病患者。本研究主要终点事件为随访 1 年期内发生支架内再狭窄。采用多因素 Logistic 回归分析血清 ADAM10、LRG1 和 GATA4 水平与支架内再狭窄的相关性; 采用受试者工作特征 (ROC) 曲线评估上述指标对主要终点事件的预测效能。**结果:** 共 180 例患者纳入研究, 随访 1 年内, 41 例 (22.8%) 发生支架内再狭窄。多因素 Logistic 回归分析结果显示, 在校正糖尿病、术前 Gensini 评分、病变长度等混杂因素后, ADAM10 (OR 2.57, 95% CI 1.62-4.07)、LRG1 (OR 3.42, 95% CI 1.88-6.22)、GATA4 (OR 2.84, 95% CI 1.63-4.94) 均为主要终点事件的独立危险因素。ROC 曲线分析显示, ADAM10、LRG1、GATA4 单项指标预测支架内再狭窄的曲线下面积 (AUC) 分别为 0.844 (95% CI 0.772-0.916)、0.856 (95% CI 0.791-0.922)、0.841 (95% CI 0.776-0.905), 三者联合检测的 AUC 为 0.955 (95% CI 0.915-0.995), 显著高于 ADAM10 (Z = 2.639, P = 0.008)、LRG1 (Z = 2.510, P = 0.012)、GATA4 (Z = 2.954, P = 0.004) 单项检测。**结论:** 血清 ADAM10、LRG1、GATA4 水平联合检测对冠心病患者 PCI 术后 1 年内支架内再狭窄具有良好的预测价值。

关键词: 冠心病; 血管成形术; 气囊; 冠状动脉; 支架

文章编号: 1008-0074 (2026) 04-515-06

中图分类号: R541.4

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1008-0074.2026.04.09

Predictive value of serum ADAM10, LRG1, GATA4 for in-stent restenosis in patients with coronary heart disease undergoing percutaneous coronary intervention/ZENG Wei, GAO Chen-wei, SUN Yi, LIU Wei-liang, YAN Xue-zhen//Cardiology and Nephrology Department, the 81st Group Army Hospital of the Chinese PLA Army, Zhangjiakou, Hebei, 075000, China

Corresponding author: SUN Yi, E-mail: sunyihengshui@163.com

Abstract: Objective: To investigate the predictive value of serum levels of disintegrin and metalloprotease 10 (ADAM10), leucine rich alpha-2 glycoprotein-1 (LRG1), GATA binding protein 4 (GATA4) for in-stent restenosis in patients with coronary heart disease (CHD) undergoing percutaneous coronary intervention (PCI). **Methods:** This retrospective observational study included CHD patients undergoing PCI admitted to the 81st Group Army Hospital of the Chinese PLA Army between January 2021 and January 2024. The primary outcome was in-stent restenosis during 1-year follow-up. Multivariate Logistic regression was used to assess the association of in-stent

收稿日期: 2025-09-17

基金项目: 河北省 2021 年度医学科学研究课题 (20210722)

作者单位: 1. 中国人民解放军陆军第 81 集团军医院心肾内科, 河北 张家口 075000; 2. 河北北方学院附属第一医院超声医学科

通讯作者: 孙毅, E-mail: sunyihengshui@163.com