

QTcBaz 联合 NPAR 及 hs-CRP 对急性心肌梗死患者 PCI 术后发生 MACEs 的预测价值

龙女^{1,2} 罗春苗^{1,2}

【摘要】 目的 通过对比不同心率校正公式对 AMI 患者 PCI 术后预后的评估影响,筛选最优电生理指标,进而探讨 QTcBaz 联合中性粒细胞百分比与白蛋白比值(NPAR)及超敏 C 反应蛋白(hs-CRP)对 MACEs 的预测价值。方法 回顾性分析 288 例行 PCI 治疗的 AMI 患者资料。根据术后是否发生 MACEs 分为事件组($n=72$)与无事件组($n=216$)。通过对比 Bazett、Fridericia、Framingham 及 Hodges 公式生成的 QTc 间期筛选最优电生理指标,采用多因素 Logistic 回归筛选独立危险因素并构建递进式预测模型。结果 事件组多种 QTc 校正指标 QTcBaz、QTcFri、QTcFra、QTcHo 均显著高于无事件组($P<0.05$),ROC 曲线显示 QTcBaz 的预测效能最优(AUC=0.734),显著优于其他校正公式;多因素回归显示,在校正年龄、心功能及冠脉病变程度后,QTcBaz [$OR=1.024$ 95% $CI(1.013\sim 1.035)$]、NPAR [$OR=3.518$ 95% $CI(1.205\sim 10.271)$]及 $\ln(hs-CRP)$ [$OR=1.955$ 95% $CI(1.397\sim 2.736)$]是 MACEs 的独立危险因素(均 $P<0.05$);模型效能:基础临床模型(模型 A)的 AUC 为 0.831;整合了电学脆弱性与炎症负荷维度的最终联合模型(模型 D)效能最优,AUC 达 0.882,灵敏度 86.5%,特异度 80.4%,其预测价值显著优于传统临床模型($\Delta AUC=0.051$, $Z=3.894$, $P<0.001$)。结论 QTcBaz、NPAR 及 hs-CRP 均是 AMI 患者术后 MACEs 的独立预后因素;在多种心率校正公式中,QTcBaz 具有更佳的风险识别效能;在传统临床指标基础上联合心电图学与炎症指标,可显著提升风险预测效能。

【关键词】 急性心肌梗死;经皮冠状动脉介入治疗;主要不良心血管事件;QTcBaz;中性粒细胞百分比/白蛋白比值;超敏 C 反应蛋白

[中图分类号] R541.7 R540.4+1 [文献标识码] A [文章编号] 1005-0272(2026)02-0121-08

[引用格式] 龙女,罗春苗. QTcBaz 联合 NPAR 及 hs-CRP 对急性心肌梗死患者 PCI 术后发生 MACEs 的预测价值[J]. 临床心电学杂志, 2026, 35(2): 121-128.

Predictive Value of QTcBaz Combined with NPAR and hs-CRP for Post-PCI MACEs in Patients with Acute Myocardial Infarction LONG Nv, LUO Chunmiao. 1. Anhui Medical University; 2. Hefei Second People's Hospital, Hefei Anhui 230032, China

【Abstract】 Objective To investigate the predictive value of QTcBaz combined with neutrophil percentage/albumin ratio, and high-sensitivity C-reactive protein for major adverse cardiovascular and cerebrovascular events (MACEs) following percutaneous coronary intervention (PCI) in patients with acute myocardial infarction, and to compare the impact of different heart rate correction formulas on prognostic assessment. **Methods** A retrospective analysis of 288 patients with acute myocardial infarction (AMI) undergoing percutaneous coronary intervention (PCI). Patients were categorized into an event group ($n=72$) and a non-event group ($n=216$) based on the occurrence of MACEs postoperatively. The optimal electrophysiological indicator was identified by comparing QTc intervals derived from the Bazett, Fridericia, Framingham, and Hodges formulas. Independent risk factors were selected using multivariate logistic regression, and a stepwise predictive model was constructed. **Results** ① Multiple QTc correction indices in the event group (QTcBaz, QTcFri, QTcFra, and QTcHo) were significantly higher than those in the non-event group ($P<0.05$). ROC curve analysis demonstrated that QTcBaz exhibited the

基金项目:合肥市卫生健康应用医学科研项目(编号:Hwk2023zd009)

作者单位:230032 安徽 合肥,安徽医科大学(龙女,罗春苗);230011 安徽 合肥,合肥市第二人民医院,心血管内科(龙女,罗春苗)

作者简介:龙女,主要从事心血管内科疾病研究工作。

通信作者:罗春苗,E-mail: 15956072732@163.com

highest predictive performance (AUC=0.734), significantly outperforming other correction formulas; ②Multivariate regression analysis revealed that after adjusting for age, cardiac function, and coronary artery disease severity, QTcBaz[OR=1.024 95%CI (1.013~1.035)], NPAR[OR=3.518 95%CI (1.205~10.271)] and (hs-CRP)[OR=1.955 95%CI (1.397~2.736)]were independent risk factors for MACEs (all $P<0.05$); ③Model performance: The AUC of the baseline clinical model (Model A) was 0.831; The final combined model (Model D), integrating electrical vulnerability and inflammatory burden dimensions, demonstrated optimal performance with an AUC of 0.882, sensitivity of 86.5%, and specificity of 80.4%. Its predictive value significantly surpassed that of traditional clinical models (Δ AUC=0.051, $Z=3.894$, $P<0.001$). **Conclusions** QTcBaz, NPAR, and hs-CRP are all independent prognostic factors for postoperative MACEs in AMI patients. Among various heart rate correction formulas, QTcBaz demonstrates superior risk identification performance. Combining these with traditional clinical indicators, along with electrocardiographic and inflammatory markers, significantly enhances risk prediction performance.

【Keywords】 Acute myocardial infarction; Percutaneous coronary intervention; Major adverse cardiovascular events; QTcBaz; Neutrophil percentage/albumin ratio; High-sensitivity C-reactive protein

急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)作为心血管疾病中最危急的病症之一,在全球范围内具有极高的致死率和致残率。随着经皮冠状动脉介入治疗(PCI)技术的成熟与普及,AMI的治疗已步入“再灌注时代”,显著降低了患者早期死亡率并改善了临床预后^[1-3]。然而,临床观察发现,即便成功实现血管再通,仍有相当一部分患者面临术后主要不良心血管事件(MACEs)的风险,包括再梗死、心力衰竭、心源性休克乃至死亡^[4]。因此,对行PCI术后的AMI患者进行有效的危险分层,寻找理想的预测指标以早期识别MACEs高危人群,具有重要的临床意义。

研究表明,炎症反应在AMI的发生发展及PCI术后心肌损伤中扮演着重要角色^[5]。超敏C反应蛋白作为经典的炎症指标,其水平升高可反映体内炎症负荷,预示更高的心血管事件风险;中性粒细胞百分比与白蛋白比值作为一种新型的复合指标,整合了机体急性炎症状态与营养储备信息,相较于单一指标具有更好的稳定性^[6-7]。但是,目前关于NPAR与AMI患者PCI术后预后相关性的研究仍较有限。此外,AMI后的心肌缺血与炎症风暴常导致心肌电生理的不稳定性,表现为心室复极延迟。QTcBaz间期作为反映心肌复极的重要心电学指标,其延长与恶性心律失常及心源性猝死密切相关^[8]。目前临床多侧重于从生化免疫或解剖学维度进行风险评估^[9],而忽略了电生理指标与炎症状态的内在联系及其协同预后价值。本研究旨在探讨NPAR、hs-CRP、QTcBaz及其联合检测对AMI患者PCI术后MACEs的预测价值,整合炎症生化指标与心电生理参数构建风险分层模型,为精准评估预后、优化临床干预提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取2023年8月至2025年8月于安徽医科大学附属合肥市第二人民医院心血管内科确诊为AMI且接受PCI治疗的患者。本研究采用回顾性连续入选法,纳入所有符合条件的病例以减少选择偏倚,纳入标准包括:①年龄 ≥ 18 岁;②符合AMI诊断标准,包括典型胸痛症状、特征性心电图动态演变及心肌酶学升高^[10];③术前24小时内有完整的血常规、生化指标检测和心电图结果;④成功接受PCI治疗术后TIMI血流分级 ≥ 2 级;⑤临床资料完整,包括人口学特征、病史、实验室检查、PCI手术记录和院内随访资料;排除标准包括:①临床数据不完整,随访资料缺失;②合并严重电解质紊乱;③服用已知可延长QT间期药物者;合并严重感染、肝肾疾病、恶性肿瘤或血液系统疾病;④近期(3个月内)使用免疫抑制剂或糖皮质激素。最终共纳入共纳入288例,根据是否发生MACEs分为事件组($n=72$)和无事件组($n=216$)。本研究符合《赫尔辛基宣言》原则,并经由医院伦理委员会审批,审批批号为2023-科研-117。

1.2 资料收集

收集并记录以下临床资料:①一般资料:年龄、性别、体质指数、收缩压、吸烟史、高血压病史、糖尿病病史;②实验室指标:白细胞计数、中性粒细胞计数、血红蛋白、中性粒细胞百分比、肌酐、白蛋白、甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、肌钙蛋白、肾小球滤过率(eGFR)、N末端脑钠肽前体(NT-proBNP)及hs-CRP水平;③心电图指标:记录患者入院时的首份12导联心电图,测量并记录心率

(HR)、QT 间期;④影像学及功能学指标:左心室射血分数(LVEF)、冠状动脉 Gensini 评分^[9];⑤计算 NPAR 值: $NPAR = \text{中性粒细胞百分比} \times 100 / \text{白蛋白}^{[11]}$; QTc 间期校正,基于心率计算 RR 间期($RR = 60 / HR$), $QTcBaz = QT / \sqrt{RR}^{[12]}$; $QTcFri = QT / \sqrt[3]{RR}$ 、 $QTcFra = QT + 154 \times (1 - RR)$ 、 $QTcHod = QT + 1.05 \times (HR - 60)$;⑥观察指标和随访:本研究的随访起点定义为患者急性期治疗结束出院当天,主要终点事件为 PCI 术后发生的 MACEs,参考相关指南及临床研究^[2, 10],将其定义为:心源性死亡;非致死性再梗死;靶血管血运重建(TVR);严重心力衰竭。随访方式通过调取本院门诊及住院电子病历系统,核查患者术后复诊的心电图、超声心动图及再次造影记录;由两名经过统一培训的研究员通过电话或微信交互,询问患者是否有心绞痛发作、再次入院或卒中等情况;对于失去联系的患者,通过联系其直系亲属进行确认。所有终点事件需经两名高资历心脏内科医师根据临床证据共同评定。

1.3 统计学分析

统计分析采用 SPSS 26.0 和 R 4.5.2 执行,使用 Graphpad Prism 10 进行绘图。①数据描述与组间:比较连续变量首先进行正态性检验,符合正态分布者以均值±标准差表示,组间比较采用 *t* 检验;不符合正态分布者以中位数(四分位数间距)表示,组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验;分类变量以频数和百分比(*n*,%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或者确切概率法;②指标计算与对比:计算校正的 QTc 间期 QTcBaz、QTcFri、QTcFra 及 QTcHod,通过组间差异比较及 ROC 曲线下面积(AUC)对比,评价并筛选出预测效能最优的心电学指标纳入回归模型;③回归模型构建与风险匹配在建立回归模型前,对呈极度偏态分布的炎症指标 hs-CRP 进行自然对数转换,记为 $\ln(\text{hs-CRP})$;同时,为使回归系数更具临床解释价值,对部分连续型变量按特定临床步长进行单位缩放^[13],统计分析先进行单因素 logistic 回归分析筛选潜在影响因素,将显著者($P < 0.05$)纳入多因素 logistic 回归模型;为消除组间基线资料不平衡对预后分析的影响,在多因素 logistic 回归模型中将年龄、心功能及冠脉病变程度等差异显著的指标作为协变量进行校正,最终计算各变量的 OR 值及其 95% 置信区间(CI);④预测模型评估:通过绘制 ROC 曲线评估各指标对 MACEs 的预测性能,通常认为 $AUC > 0.70$ 时,该指标具有良好的预测价值;采用 DeLong 检验比较不同预测模型间 AUC 的差异,以

评估各模型预测效能的提升是否具有统计学意义。所有假设检验均为双侧检验,检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

本研究初始筛选符合入组条件的患者共 315 例。在随访过程中,因电话失效、家庭住址迁移或拒绝配合等原因失访 27 例,失访率为 8.5%。最终纳入有效病例 288 例。经敏感性分析,失访人群与纳入人群在年龄、性别及基础合并症方面的基线特征差异无统计学意义($P > 0.05$),提示失访偏倚较小;最终共纳入 288 例完成完整随访的 AMI 术后患者,其中 72 例(25.0%)发生 MACEs(事件组),216 例(75.0%)未发生 MACEs(无事件组)。

2.1 基线资料比较

基线资料比较显示,事件组和无事件组在性别构成、体质指数(BMI)、收缩压、高血压病史、糖尿病史、脑梗死病史、吸烟史、STEMI 诊断占比、手术时长,以及血小板、甘油三酯、胆固醇、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、出院常规药物使用上差异无统计学意义($P > 0.05$)。事件组患者的年龄、心率(HR)、Killip 分级、白细胞计数、中性粒细胞计数、静脉血糖、肌酐、NT-proBNP、QTcBaz、QTcBaz、QTcFri、QTcFra、QTcHod、hs-CRP、NPAR、Gensini 评分及冠脉病变支数水平均高于无事件组,差异均有统计学意义($P < 0.05$);而事件组患者的血红蛋白、白蛋白、eGFR、LVEF 水平低于无事件组,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

2.2 logistic 单因素回归分析

logistic 单因素回归分析,结果提示事件组患者的年龄、Killip 分级、Gensini 评分、QTcBaz、NPAR 及 $\ln(\text{hs-CRP})$ 水平均显著高于无事件组(均 $P < 0.05$),而 LVEF 水平显著降低($P < 0.05$)。此外,基础心率及四种不同公式校正的 QTc 间期即 QTcBaz、QTcFri、QTcFra、QTcHod 均与 PCI 术后 MACEs 的发生显著相关(均 $P < 0.001$),为进一步筛选最优的心电学预测指标,对单因素分析中有意义的心电参数进行了 ROC 曲线分析,结果显示,未校正的原始 QT 间期预测效能较低($AUC = 0.535$);而经过心率校正后的四种 QTc 指标预测价值均显著提升。其中,以 Bazett 公式校正的 QTcBaz 预测效能最优,其 AUC 为 0.734(95%CI: 1.020~1.040),约登指数为 0.407,灵敏度为 63.9%,特异度为 76.9%,均优于 QTcFri、QTcFra 及 QTcHod。因此,本研究选取 QTcBaz 作为反映心肌复极状态的核心指标纳入后续的多因素回归及联合预测模型构建。见表 2~3、图 1。

表 1 事件组和无事件组临床资料结果对比

变量	事件组(n=72)	无事件组(n=216)	t / Z / χ^2 值	P 值
男性, n(%)	56(77.78)	177(81.94)	0.367	0.545
年龄(岁)	69.00(55.00, 78.25)	60.00(52.00, 71.00)	3.386	0.001
收缩压(mmHg)	123.29±32.88	128.54±22.21	-1.526	0.21
BMI(kg/m ²)	24.75±2.68	24.36±3.30	0.892	0.373
高血压, n(%)	49(68.06)	121(56.02)	2.757	0.097
糖尿病, n(%)	27(37.50)	60(27.78)	1.982	0.159
脑梗死, n(%)	31(43.06)	101(46.76)	0.168	0.682
吸烟史, n(%)	37(51.39)	121(56.02)	0.299	0.584
白细胞计数(10 ⁹ /L)	11.09(8.70, 14.03)	8.97(7.05, 11.04)	4.687	<0.001
血红蛋白(g/L)	129.12±16.74	134.89±18.31	-2.366	0.015
血小板(10 ⁹ /L)	185.00(139.00, 219.25)	189.00(156.00, 225.00)	-0.821	0.412
中性粒细胞计数(10 ⁹ /L)	8.59(6.24, 11.69)	6.19(4.38, 8.09)	5.698	<0.001
白蛋白(g/L)	38.72±4.15	40.14±3.88	-2.653	0.012
肌酐(μ mol/L)	81.55(68.00, 97.05)	70.25(60.53, 83.33)	3.187	0.001
eGFR(ml/min/1.73m ²)	77.78(63.19, 100.89)	96.69(77.44, 112.95)	-3.626	<0.001
甘油三酯(mmol/L)	1.40(0.98, 1.97)	1.52(1.08, 2.39)	-1.444	0.149
总胆固醇(mmol/L)	4.17(3.59, 5.09)	4.29(3.67, 4.95)	-0.063	0.95
高密度脂蛋白(mmol/L)	1.09(0.97, 1.30)	1.06(0.90, 1.20)	1.372	0.17
低密度脂蛋白(mmol/L)	2.76(2.10, 3.44)	2.75(2.16, 3.30)	0.156	0.877
静脉血糖(mmol/L)	7.06(6.04, 8.96)	5.94(5.13, 7.47)	3.910	<0.001
肌钙蛋白(ng/mL)	32.30(9.40, 62.31)	7.72(1.97, 42.81)	4.029	<0.001
N末端脑钠肽前体(pg/mL)	1 546.00(582.50, 3 650.75)	517.50(211.75, 977.25)	5.57	<0.001
心率(次/min)	84.00(67.75, 99.25)	72.00(62.00, 84.25)	3.792	<0.001
QT间期(ms)	398.21±52.54	394.81±36.15	0.892	0.541
LVEF(%)	56.00(48.00, 60.00)	60.00(55.75, 65.00)	-4.2	<0.001
Gensini 评分	80.00(51.00, 101.25)	46.00(34.38, 64.00)	6.421	<0.001
手术时长(min)	61.50(50.00, 86.50)	56.00(45.00, 75.00)	1.642	0.1
STEMI 诊断, n(%)	71(98.61)	198(91.67)		0.075*
Killip 分级, n(%)				<0.001
I 级	27(37.50)	159(73.61)		
II 级	17(23.61)	46(21.30)		
III 级	11(15.27)	3(1.39)		
IV 级	17(23.61)	8(3.70)		
罪犯血管分布, n(%)				0.022
LAD(单纯前降支)	35(48.61)	109(50.46)		
RCA(单纯右冠)	19(26.28)	67(31.02)		
LCX(单纯回旋支)	5(6.94)	28(12.96)		
多支/复合病变	13(18.05)	12(5.56)		
出院用药				
阿司匹林, n(%)	63(87.50)	202(93.52)	1.906	0.167
P2Y12 抑制剂, n(%)	64(88.89)	190(87.96)	0.000	1
他汀类, n(%)	65(90.28)	197(91.20)	0.000	1
ACEI/ARB, n(%)	64(88.89)	202(93.52)	1.050	0.306
β 受体阻滞剂, n(%)	63(87.50)	198(91.67)	0.668	0.414

续表

变量	事件组(n=72)	无事件组(n=216)	t/Z/χ²值	P值
QTcBaz(ms)	467.50(431.00,492.00)	432.00(413.00,452.00)	5.941	<0.001
QTcFri(ms)	441.11±40.09	417.59(402.20,435.15)	4.137	<0.001
QTcFra(ms)	435.94±36.77	415.76(403.36,433.04)	3.396	<0.001
QTcHod(ms)	425.61±37.29	404.90(390.44,425.32)	3.357	<0.001
NPAR	2.09(1.80,2.33)	1.83(1.53,1.99)	6.28	<0.001
hs-CRP(mg/L)	20.13(8.58,34.20)	7.25(3.10,12.93)	5.855	<0.001
ln(hs-CRP)(mg/L)	2.90±1.12	1.95±1.10	6.331	<0.001

注: *的P值由 Fisher确切概率法计算得出。

2.3 logistic 多因素回归分析

在建立多因素 logistic 回归模型前,对所有拟纳入的自变量进行多重共线性诊断。结果显示,各变量的方差膨胀因子(VIF)均<1.3,容忍度均>0.5,提示各预测变量间不存在严重的多重共线性,符合 logistic 回归建模条件。logistic 多因素回归分析,结果显示在校正了年龄、心功能及冠脉病变程度后,QTcBaz(OR=1.024,95%CI:1.013~1.035)、NPAR(OR=3.518,95%CI:1.205~10.271)及ln(hs-CRP)(OR=1.955,95%CI:1.397~2.736)均是AMI患者PCI术后发生MACEs的独立危险因素(均P<0.05),见表4。

2.4 ROC 曲线分析

为了评价各指标对MACEs的预后价值,本研究构建了四个递进模型并进行ROC曲线分析。结果显示:模型A(基础临床模型):包含年龄、Killip分级、Gensini评分及LVEF,其AUC为0.831(95%CI:0.769~0.881);模型B(联合心电模型):在模型A基础上引入心电指标QTcBaz,预测效能有所提升,AUC为0.858(95%CI:0.797~0.912);模型C(联合NPAR模型):在模型B基础上进一步引入NPAR,AUC提高至0.868(95%CI:0.812~0.924);模型D(最终联合预测模型):在模型B基础上引入ln(hs-CRP)后,模型展

表2 Logistic 单因素回归分析AMI患者PCI术后MACEs发生风险因素

变量	OR值	95%CI	P值
NPAR	11.684	4.793~28.482	<0.001
ln(hs-CRP)	2.186	1.660~2.879	<0.001
QTcBaz	1.03	1.020~1.040	<0.001
QTcFri	1.024	1.014~1.034	<0.001
QTcFra	1.022	1.012~1.032	<0.001
QTcHod	1.017	1.008~1.026	<0.001
年龄(每增加10岁)	1.419	1.151~1.751	0.001
心率	1.036	1.021~1.052	<0.001
白细胞计数	1.255	1.149~1.371	<0.001
中性粒细胞计数	1.323	1.201~1.457	<0.001
血红蛋白	0.982	0.968~0.997	0.020
白蛋白	0.913	0.852~0.978	0.009
血肌酐	1.021	1.007~1.034	0.002
eGFR(每增加10单位)	0.854	0.772~0.944	0.002
静脉血糖	1.119	1.041~1.203	0.002
N末端脑钠肽前体(每增加100 pg/mL)	1.029	1.016~1.042	<0.001
肌钙蛋白	1.008	1.003~1.014	0.004
LVEF(每增加10%)	0.551	0.401~0.757	<0.001
Killip分级(每升高1级)	2.597	1.927~3.501	<0.001
病变支数	3.687	1.684~8.072	0.001
Gensini评分(每增加10分)	1.408	1.265~1.566	<0.001

表3 不同心电图学指标对MACEs的预测价值比较

因素	AUC(95%CI)	敏感度(%)	特异度(%)	约登指数	P值
心率	0.649(1.021~1.052)	62.5	65.3	0.278	<0.001
QT	0.535(0.996~1.009)	43.1	75.9	0.190	0.540
QTcBaz	0.734(1.020~1.040)	63.9	76.9	0.407	<0.001
QTcFri	0.663(1.014~1.034)	50.0	86.1	0.361	<0.001
QTcFra	0.634(1.012~1.032)	48.6	81.9	0.306	<0.001
QTcHod	0.632(1.008~1.026)	59.7	70.4	0.301	<0.001

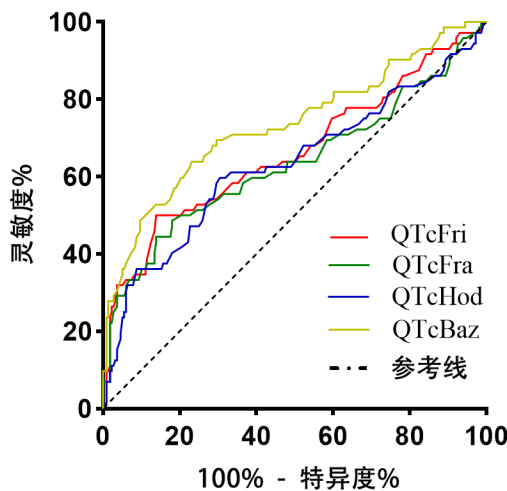


图1 不同校正公式QTc间期预测AMI患者PCI术后MACEs的ROC曲线比较

现出最高的预测效能, AUC达0.882(95%CI: 0.830~0.929), 其约登指数最大, 对应的灵敏度为86.5%, 特异度为80.4%。见表5。

2.5 模型预测效能比较

经DeLong检验显示, 各联合模型对MACEs的预测价值均优于单一的基础临床模型: 与模型A(基础临床模型)相比, 加入QTcBaz后模型B的预测效能显

著提升($\Delta AUC=0.027, Z=2.145, P=0.032$); 最终联合模型D的预测效能提升最为显著, 相比于初始基础模型, 其 ΔAUC 达0.051($Z=3.894, P<0.001$)。这表明QTcBaz联合ln(hs-CRP)能在传统临床指标基础上显著提高对AMI患者术后风险的识别能力。见表5。

3 讨论

PCI治疗并非AMI患者管理的终点, 术后MACEs的发生不仅影响患者的短期预后, 还增加了医疗负担。本研究通过分析QTcBaz、NPAR和hs-CRP对PCI术后主要不良事件的预测作用, 旨在为AMI患者的术后风险识别提供客观的量化依据, 辅助临床医生在早期阶段制定更为个体化的干预策略。

本研究发现, QTcBaz及炎症指标NPAR、hs-CRP均是AMI患者PCI术后发生MACEs的独立危险因素, 这与其病理生理机制密切相关。一方面, AMI导致心肌细胞缺血缺氧及离子通道功能障碍, 引起心室复极延迟并产生跨壁离散度增加^[14]。由于原始QT间期受心率波动影响显著, 临床多依赖校正公式评价复极状态, 本研究单因素分析显示, 原始QT间期对MACEs无显著预测意义($P=0.540$), 而经HR校正后的QTcBaz、QTcFri、QTcFra及QTcHod均展现出

表4 logistic多因素回归分析AMI患者PCI术后MACEs发生风险因素及共线性诊断

变量	模型1:OR(95%CI)	模型1:P值	模型1:VIF	模型2:OR(95%CI)	模型2:P值
年龄(每增加10岁)	1.228(0.939~1.607)	0.133	1.12	1.326(1.005~1.750)	0.046
Killip分级(每增加1级)	2.037(1.410~2.943)	<0.001	1.22	2.202(1.486~3.262)	<0.001
Gensini评分(每增加10分)	1.330(1.163~1.520)	<0.001	1.25	1.339(1.169~1.534)	<0.001
LVEF(每增加10%)	0.943(0.625~1.423)	0.781	1.15	1.007(0.653~1.551)	0.976
QTcBaz(ms)	1.024(1.013~1.035)	<0.001	1.16	1.023(1.012~1.034)	<0.001
NPAR	3.518(1.205~10.271)	0.021	1.27	-	-
ln(hs-CRP)	-	-	-	1.955(1.397~2.736)	<0.001

注:模型1:纳入变量包括年龄(每增加10岁)、Killip分级、Gensini评分(每增加10分)、LVEF(每增加10%)、QTcBaz以及NPAR;模型2:纳入变量包括年龄(每增加10岁)、Killip分级、Gensini评分(每增加10分)、LVEF(每增加10%)、QTcBaz以及ln(hs-CRP)。

表5 AMI患者PCI术后发生MACEs的ROC曲线分析及Delong检验

因素	AUC(95%CI)	敏感度(%)	特异度(%)	约登指数	P值	ΔAUC*	Z值*	P值*
模型A	0.831(0.769~0.881)	78.4	74.2	0.526	<0.001	-	-	-
模型B	0.858(0.797~0.912)	82.1	77.5	0.596	<0.001	0.027	2.145	0.032
模型C	0.868(0.811~0.918)	84.3	79.1	0.634	<0.001	0.037	2.864	0.004
模型D	0.882(0.830~0.929)	86.5	80.4	0.669	<0.001	0.051	3.894	<0.001

注:ΔAUC*、Z*值及P*值均为各模型与模型A进行DeLong检验的对比结果;模型A中基础临床指标包括年龄、Killip分级、Gensini评分及LVEF;模型B包括基础临床指标+QTcBaz;模型C包括基础临床指标+QTcBaz+NPAR,模型D包括基础临床指标+QTcBaz+ln(hs-CRP)

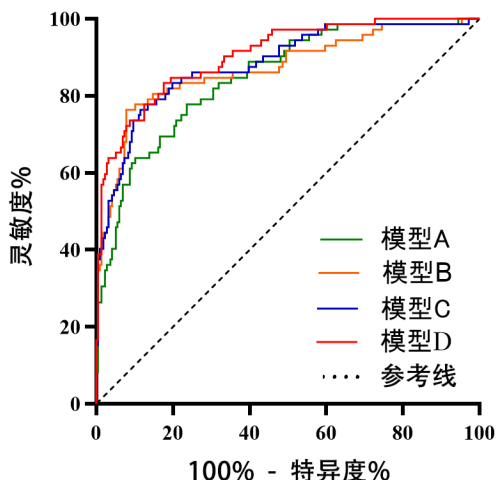


图2 不同模型预测AMI患者PCI术后MACEs的ROC曲线比较

极强的预测性能(均 $P < 0.001$);重要的是,通过ROC曲线对比发现,Bazett公式生成的QTcBaz在本研究样本中的曲线下面积达峰值(AUC=0.734),显著优于其他校正公式。本研究采取了效能优先、去冗余化的变量筛选策略,经ROC筛选后仅保留预测价值最高的QTcBaz参与多因素建模,随后的共线性诊断(VIF均 < 1.3)证实了该处理显著降低了变量间的相互干扰,有效避免了模型参数估计受共线性偏倚的影响。结果表明在AMI诱发的“交感风暴”与系统性炎症应激这一特殊病理状态下,Bazett公式能更敏锐地捕捉到心肌电生理的微细改变,QTcBaz的延长不仅直观预示了恶性心律失常风险,更反映出心肌受损面积的扩张及交感神经过度激活的稳态失衡^[15-16]。因此,选取QTcBaz作为评估心肌电学脆弱性的核心指标,既符合临床诊疗习惯,也具备循证医学数据支持。另一方面,全身炎症反应与营养状态失衡在病程进展中起核心作用。hs-CRP作为经典急性期反应蛋白,直接参与冠脉斑块不稳定及心肌再灌注损伤^[7, 17];而新兴复合指标NPAR整合了中性粒细胞与

白蛋白的信息,精准刻画了AMI诱发的“细胞因子风暴”与低白蛋白介导的修复障碍相叠加的病理过程。NPAR的升高代表了机体“高炎症-低防御”的严重失衡状态,为预后评估提供了有力的生化依据^[7, 18]。

本研究的最大亮点在于,并非单纯验证单项指标的作用,而是进一步证实了整合电生理与炎症多维度指标在临床风险分层中的显著增量价值^[19]。传统的临床风险评估多侧重于解剖学病变Gensini评分或心脏泵功能LVEF^[9],难以全面反映疾病的动态演变,本研究构建的递进式模型显示,在传统基础临床模型(模型A)中引入QTcBaz与ln(hs-CRP)构建的最终联合预测模型(模型D),展现出最优的预后评估效能(AUC达0.882),显著优于单纯依赖解剖及心功能的预测方案($\Delta AUC = 0.051, P < 0.001$)。模型D之所以能大幅提升预测效能,是因为它对AMI患者的风险进行了更全面的多维评估。传统基础模型主要关注心脏结构的物理损伤,而QTcBaz和hs-CRP的加入,则精准补齐了心脏电生理异常和全身炎症负荷的评估短板^[8, 13, 15]。由于综合了结构、心电与炎症三个维度,模型D不仅能敏锐捕捉危险信号(灵敏度86.5%),还能有效避免临床误判(特异度80.4%)。其实际应用价值在于当面对多位年龄、心功能等常规指标相似的患者时,模型D能够精准识别出那些暗藏恶性心律失常或严重炎症损伤的高危个体,从而辅助医生提前预警。这弥补了单一维度评估的不足,为临床在PCI术后早期精准筛选高危患者、实施个体化的强化抗炎与电生理监护策略提供了可靠的量化决策工具。

本研究存在一定局限性:一,本研究为单中心回顾性研究,样本量($n = 288$)相对有限,可能存在一定的选择偏倚,研究涵盖的临床及实验指标较多,尽管在构建logistic回归模型时已严格遵循变量筛选原则并校正了混杂因素,但在有限的事件数($n = 72$)下,仍需警惕模型过拟合的可能性;二,虽然本研究对比了

四种常用的QTc校正公式,并证实了QTcBaz的最优预测效能,但不同公式在极端心率下的表现仍存在差异。未来研究可进一步结合动态心电图监测或更精密的心电学指标进行验证,以提供更全面的心电生理风险评估;另外仅收集了患者入院时的指标水平,未动态监测术后随访过程中QTcBaz及炎症指标的演变趋势,无法评估指标动态变化对预后的影响;且QTcBaz受多种电解质及药物影响,未来需前瞻性控制干扰因素以进一步验证;三,随访时间尚短,对于远期MACE的预测价值仍需验证。未来研究可开展多中心、大规模的前瞻性队列研究,并尝试引入机器学习算法^[20],探索更多电生理参数与生物标记物的非线性关系。同时,动态评估指标的变化轨迹^[21-22],构建动态精准的风险预测系统,以提升AMI患者的个体化预后管理水平。

综上,QTcBaz、NPAR与hs-CRP均是预测AMI患者PCI术后MACEs的重要独立预后因素。心电生理与炎症指标联合应用具有显著的增量预测价值,为早期识别高危个体、实施干预提供了科学依据,对优化AMI患者预后、提升生存质量具有重要临床意义。

参考文献

- [1] Tsao C W, Aday A W, Almarazooq Z I, et al. Heart disease and stroke statistics—2023 update: a report from the American heart association[J]. *Circulation*, 2023, 147(8): e93–e621.
- [2] 龚艳君, 霍勇. 急性ST段抬高型心肌梗死诊断和治疗指南(2019)解读[J]. *中国心血管病研究*, 2019, 17(12): 1057–1061.
- [3] 杨继, 张垚, 马腾, 等. 1990—2019年中国心血管疾病流行现状、疾病负担及发病预测分析[J]. *中国全科医学*, 2024, 27(2): 233–244.
- [4] Stone G W, Kappetein A P, Sabik J F, et al. Five-year outcomes after PCI or CABG for left main coronary disease[J]. *N Engl J Med*, 2019, 381(19): 1820–1830.
- [5] Romeo F J, Golino M, Morello M, et al. Residual inflammatory risk and clinical outcomes after contemporary percutaneous coronary intervention: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sci Rep*, 2026, 16: 8584.
- [6] Herwald H, Egesten A. C-reactive protein: more than a biomarker[J]. *J Innate Immun*, 2021, 13(5): 257–258.
- [7] 张芹, 程毅松, 贾禹, 等. 中性粒细胞百分比与白蛋白比值对急性ST段抬高型心肌梗死患者预后的预测价值分析[J]. *临床急诊杂志*, 2020, 21(5): 354–358.
- [8] Guaricci A I, Carità P, Lorenzoni V, et al. QT-interval evaluation in primary percutaneous coronary intervention of ST-segment elevation myocardial infarction for prediction of myocardial salvage index[J]. *PLoS One*, 2018, 13(2): e0192220.
- [9] 牛学明, 王付启, 张芳, 等. 冠心病患者Gensini评分及左心功能参数的64排CT评价[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2016, 14(4): 45–48.
- [10] 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.
- [11] 董磊, 樊泽元. 中性粒细胞百分比/白蛋白比值(NPAR)对冠状动脉支架内再狭窄的预测价值[J]. *吉林医学*, 2020, 41(11): 2565–2567.
- [12] Bazett H C. An analysis of the time-relations of electrocardiograms[J]. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 1997, 2(2): 177–194.
- [13] Ridker P M. C-reactive protein and the prediction of cardiovascular events among those at intermediate risk: moving an inflammatory hypothesis toward consensus[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 49(21): 2129–2138.
- [14] 张令生. 急性心肌梗死患者QT间期离散度的临床价值[J]. *河北医药*, 2001, 23(2): 94–95.
- [15] Vink A S, Neumann B, Lieve K V V, et al. Determination and interpretation of the QT interval[J]. *Circulation*, 2018, 138(21): 2345–2358.
- [16] 吴月娥, 胡泽平, 马兰, 等. 梗死区Tp-ec及Tp-e/QT值对ST段抬高型心肌梗死患者的预后价值分析[J]. *安徽医科大学学报*, 2020, 55(5): 790–794.
- [17] 王鑫, 孙振国, 胡志成, 等. 急性冠脉综合征不同程度冠脉病变患者血浆高敏C反应蛋白检测及其意义[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2010, 2(3): 156–158.
- [18] 邵亚晓, 李现立, 贾研研, 等. 急性ST段抬高型心肌梗死患者经皮冠状动脉介入治疗术后合并恶性室性心律失常的影响因素[J]. *临床心电学杂志*, 2025, 34(5): 334–338.
- [19] 杨玉琴, 吴祥树. QRS时限联合系统免疫炎症指数预测急性心肌梗死患者PCI术后的预后[J]. *临床心电学杂志*, 2025, 34(6): 433–437.
- [20] 周仟慧, 古满平. 急性冠脉综合征不良心血管事件机器学习预测模型的研究进展[J]. *现代医药卫生*, 2024, 40(17): 3023–3027.
- [21] 钟杭美. 动态心电图预警心脏性猝死[J]. *临床心电学杂志*, 2007, 16(5): 352–355.
- [22] 何谨. QT间期动态性对急性心肌梗死患者心律失常事件的预测价值[J]. *实用预防医学*, 2011, 18(7): 1318–1320.

(收稿日期:2026-03-03)