

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.03.031

冠状动脉钙化积分与冠心病患者 PCI 术后 主要不良心血管事件的相关性分析

马晓萌, 赵富生, 徐立博

(新密市中医院 心病二科, 河南新密 452370)

【摘要】目的 探讨冠状动脉钙化积分(coronary artery calcium score, CACS)与冠心病患者经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)术后主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE)的相关性及预测价值。**方法** 回顾性纳入 186 例冠心病患者,术前计算 Agatston 钙化积分,PCI 术后随访 12 个月。根据是否发生 MACE 分为发生组($n=28$)与未发生组($n=158$)。采用多因素 Logistic 回归及受试者操作特征(receiver operator characteristic curve, ROC)曲线分析 CACS 与 MACE 的关系及预测效能。**结果** MACE 发生率为 15.05%(28/186)。发生组 CACS 显著高于未发生组($P<0.05$)。多因素 Logistic 回归显示, CACS($OR=1.010$, 95%CI: 1.004 ~ 1.016)、病变血管支数($OR=10.319$, 95%CI: 3.258 ~ 32.680)及狭窄程度($OR=1.234$, 95%CI: 1.122 ~ 1.357)均为 MACE 的独立危险因素(均 $P<0.05$)。CACS 预测 MACE 的曲线下面积(area under the curve, AUC)为 0.705, 最佳截断值为 362 分, 敏感度为 57.14%, 特异度为 87.34%。**结论** CACS 与冠心病患者 PCI 术后 MACE 风险呈显著正相关, 为其独立预测因子, 对 MACE 具有中等预测效能。术前评估 CACS 有助于识别高危患者及临床决策制订。

【关键词】 冠心病; 经皮冠状动脉介入治疗; 冠状动脉钙化积分; 主要不良心血管事件; 预后

【中图分类号】 R541.4

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2026) 03-0167-05

Correlation analysis between coronary artery calcium score and major adverse cardiovascular events after PCI in patients with coronary heart disease

MA Xiaomeng, ZHAO Fusheng, XU Libo

(Department of Cardiology II, Xinmi Municipal Hospital of Traditional Chinese Medicine, Xinmi 452370, Henan, China)

【Abstract】 Objective To investigate the correlation between coronary artery calcium score (CACS) and major adverse cardiovascular events (MACE) after percutaneous coronary intervention (PCI) in patients with coronary heart disease, and to evaluate its predictive value. **Methods** A retrospective analysis was performed on 186 patients with coronary heart disease. Agatston calcium score was calculated before PCI, and patients were followed up for 12 months, divided into MACE group ($n=28$) and non-MACE group ($n=158$). Multivariate Logistic regression and receiver operator characteristic (ROC) curve were used to analyze the association and predictive efficacy. **Results** MACE group occurred in 15.05% (28/186). CACS in MACE group was significantly higher than that in non-MACE group ($P<0.05$). CACS ($OR=1.010$, 95%CI: 1.004 ~ 1.016), number of diseased vessels ($OR=10.319$, 95%CI: 3.258 ~ 32.680), and stenosis degree ($OR=1.234$, 95%CI: 1.122 ~ 1.357) were independent risk factors (all $P<0.05$). The area under the curve (AUC) of CACS for predicting MACE was 0.705, with an optimal cutoff of 362 points (sensitivity 57.14%, specificity 87.34%). **Conclusion** CACS is positively correlated with post-PCI MACE risk and serves as an independent predictor with moderate predictive value. Preoperative assessment of CACS is helpful in identifying high-risk patients and in formulating clinical decisions.

【Key words】 Coronary heart disease; Percutaneous coronary intervention; Calcium score; Major adverse cardiovascular events; Prognosis

冠心病是全球范围内高发的心血管疾病, 核心病理基础为冠状动脉粥样硬化导致管腔狭窄或闭塞, 进而诱发心肌缺血、缺氧甚至坏死^[1]。经皮冠

状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)可快速开通病变血管、恢复缺血区域心肌血供, 显著改善患者术后短期临床症状与生活质量^[2]。但

收稿日期: 2025-05-11。

作者简介: 马晓萌, 本科, 主治医师, 研究方向: 冠心病。E-mail: 13575779585@163.com。

临床随访数据显示,PCI术后仍有10%~20%的患者发生心源性死亡、非致死性心肌梗死等主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE),严重影响患者远期预后^[3]。因此,术前精准识别MACE发生高风险人群,是降低术后不良事件发生率、改善长期生存结局的关键环节。

冠状动脉钙化是动脉粥样硬化进展过程中的核心病理特征,其严重程度与冠脉病变整体负荷、斑块稳定性密切相关^[4]。冠状动脉CT血管造影(coronary CT angiography, CCTA)可清晰显示血管形态、狭窄程度及钙化分布,其检测的冠状动脉钙化积分(coronary artery calcium score, CACS)可精准量化钙化程度,具有无创、可重复、分辨率高等优势^[5]。近年来,国内外围绕CACS与冠心病患者远期预后的关联开展了大量研究,但现有研究多将CACS转换为分类变量进行组间比较,将CACS作为连续变量深入分析其与不良事件发生的剂量-反应关系的相关报道仍较少。基于此,本研究回顾性纳入186例接受PCI的冠心病患者的临床资料,探讨术前CACS水平与患者PCI术后12个月内MACE发生的相关性,评估其对术后不良事件的预测效能,旨在为临床开展PCI术前风险分层、制订个体化治疗策略提供循证参考依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性选取2023年1月至2024年9月新密市中医院心血管内科收治的冠心病患者365例。纳入标准:①符合冠心病诊断标准^[6],且经冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)证实至少1支冠状动脉主要分支管腔狭窄 $\geq 50\%$;②术前1周内行CCTA检查,图像质量良好可准确计算CACS;③接受PCI,无严重围手术期并发症;④临床资料完整,可配合完成术后12个月全程随访。排除标准:①合并严重肝肾功能不全、凝血功能障碍、恶性肿瘤、急性感染性疾病;②既往有心肌梗死、心脏瓣膜病、心肌病、先天性心脏病病史;③CCTA图像质量不佳,无法完成CACS定量计算;④术后失访或随访核心资料不完整;⑤合并严重心力衰竭[纽约心脏病协会(New York Heart Association, NYHA)心功能分级IV级]。

根据纳入与排除标准,依次排除合并严重肝肾功能不全等疾病者32例、有既往心脏疾病史者

18例、CTA图像质量不佳者9例、严重心力衰竭者7例、术后失访或资料不完整者9例,最终纳入186例。本研究严格遵循《赫尔辛基宣言》伦理准则,经新密市中医院医学伦理委员会批准,因属于回顾性观察研究设计,予以豁免患者知情同意。

1.2 冠状动脉CTA检查及CACS计算

采用Philips Brilliance 64排螺旋CT完成所有患者的CCTA扫描。扫描参数设置:管电压120 kV,管电流200~300 mA,重建层厚0.625 mm。采用Agatston钙化积分标准计算CACS^[7]:将CT值 ≥ 130 Hu、横截面积 ≥ 1 mm²的区域定义为冠状动脉钙化灶,根据钙化灶的峰值CT值与对应面积分别计算左主干、前降支、回旋支、右冠状动脉4支血管的钙化积分,总和即为CACS。由2名具备5年以上心血管影像诊断经验的主治医师独立盲法判读,不一致时由第3名副主任医师裁定。

1.3 资料收集

①一般临床基线资料:性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、高血压病史、糖尿病病史、吸烟史(每日 ≥ 1 支,持续 ≥ 1 年);②实验室指标:空腹血糖(fasting blood glucose, FBG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C);③影像学资料:CACS、病变血管支数、冠状动脉狭窄程度;④术后随访资料:患者PCI术后12个月内MACE发生情况。MACE定义为复合终点事件,包括心源性死亡、非致死性心肌梗死、靶血管再次血运重建、因不稳定心绞痛再入院。随访采用门诊复诊联合电话随访的方式开展,术后每月完成1次随访登记,持续随访满12个月。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0统计软件完成所有数据的分析处理。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;计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用Spearman秩相关性分析CACS与MACE发生风险的相关性。将单因素分析中 $P < 0.05$ 的变量纳入多因素Logistic回归模型,分析PCI术后12个月内MACE发生的独立危险因素。报告比值比(odds ratio, OR)

和 95% 置信区间 (95% confidence interval, 95%CI)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 MACE 发生情况

随访 12 个月期间, 186 例患者中发生 MACE 28 例 (15.05%)。其中心源性死亡 4 例 (14.29%), 非致死性心肌梗死 8 例 (28.57%), 靶血管再次血运重建 12 例 (42.86%), 恶性心律失常 4 例 (14.29%)。

2.2 MACE 发生组与未发生组一般资料及核心指标比较

根据是否发生 MACE, 将患者分为 MACE 发生组 (28 例) 与未发生组 (158 例)。MACE 发生组年龄、CACS、病变血管支数及冠状动脉狭窄程度均显著高于 MACE 未发生组 (均 $P < 0.05$); 其余指标组间比较差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$) (表 1)。

表 1 MACE 发生组与未发生组一般资料及核心指标比较

指标	MACE 未发生组 ($n=158$)	MACE 发生组 ($n=28$)	t/χ^2	P
性别 (男/女, 例)	88/70	18/10	0.716	0.398
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	66.25 $\pm$ 7.86	69.54 $\pm$ 8.28	2.025	0.044
BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	24.83 $\pm$ 3.12	25.62 $\pm$ 3.51	1.212	0.227
高血压病史 [例 (%)]	102 (64.56)	21 (75.00)	1.158	0.282
糖尿病病史 [例 (%)]	48 (30.38)	11 (39.29)	0.871	0.351
吸烟史 [例 (%)]	68 (43.04)	14 (50.00)	0.468	0.494
FBG ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	6.93 $\pm$ 1.15	7.29 $\pm$ 1.32	1.492	0.137
TC ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	5.75 $\pm$ 0.82	6.04 $\pm$ 0.91	1.696	0.092
TG ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	1.88 $\pm$ 0.65	2.05 $\pm$ 0.72	1.255	0.211
LDL-C ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	3.23 $\pm$ 0.71	3.46 $\pm$ 0.83	1.539	0.126
HDL-C ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	1.32 $\pm$ 0.28	1.21 $\pm$ 0.25	1.945	0.053
CACS ($\bar{x} \pm s$, 分)	245.32 $\pm$ 102.56	359.75 $\pm$ 168.45	4.869	<0.001
病变血管支数 ($\bar{x} \pm s$, 支)	1.65 $\pm$ 0.58	2.36 $\pm$ 0.62	5.909	<0.001
冠状动脉狭窄程度 ($\bar{x} \pm s$, %)	65.32 $\pm$ 8.76	77.45 $\pm$ 9.12	6.712	<0.001

注: BMI: 体重指数; FBG: 空腹血糖; TC: 总胆固醇; TG: 甘油三酯; LDL-C: 低密度脂蛋白胆固醇; HDL-C: 高密度脂蛋白胆固醇; CACS: 冠状动脉钙化积分。

2.3 冠状动脉 CACS 与 PCI 术后 MACE 发生风险的相关性分析

Spearman 秩相关性分析显示, CACS 与 PCI 术后 MACE 发生风险呈显著正相关 ($r=0.452$, $P < 0.001$)。

2.4 冠心病患者 PCI 术后 MACE 发生风险的多因素 Logistic 回归分析

以术后 12 个月内是否发生 MACE 为因变量, 将

单因素分析中 $P < 0.05$ 的变量 (年龄、CACS、病变血管支数、冠状动脉狭窄程度) 纳入多因素 Logistic 回归分析。结果显示, CACS ($OR=1.010$, 95%CI: 1.004 ~ 1.016)、病变血管支数 ($OR=10.319$, 95%CI: 3.258 ~ 32.680)、冠状动脉狭窄程度 ($OR=1.234$, 95%CI: 1.122 ~ 1.357) 均为冠心病患者 PCI 术后 MACE 的独立危险因素 (均 $P < 0.05$) (表 2)。

表 2 冠心病患者 PCI 术后 MACE 发生风险的多因素 Logistic 回归分析

因素	回归系数	标准误	Wald	P	OR	95%CI
年龄	0.066	0.042	2.436	0.119	1.068	0.983 ~ 1.161
CACS	0.010	0.003	12.141	0.000	1.010	1.004 ~ 1.016
病变血管支数	2.334	0.588	15.748	0.000	10.319	3.258 ~ 32.680
冠状动脉狭窄程度	0.210	0.049	18.788	0.000	1.234	1.122 ~ 1.357
常量	-24.52	4.733	26.845	0.000	0.000	—

注: PCI: 经皮冠状动脉介入治疗; MACE: 主要不良心血管事件; OR: 比值比; 95% 置信区间: 95%CI; CACS: 冠状动脉钙化积分。

2.5 CACS 对 PCI 术后 MACE 的预测效能

采用受试者操作特征 (receiver operator characteristic, ROC) 曲线评估 CACS 对 PCI 术后 MACE 的预测价值。结果显示, CACS 预测 MACE 的

曲线下面积 (area under the curve, AUC) 为 0.705 (95%CI: 0.634 ~ 0.769, $P=0.002$), 最佳截断值为 362 分 (Youden 指数最大原则), 对应敏感度为 57.14%、特异度为 87.34%。ROC 曲线见图 1。

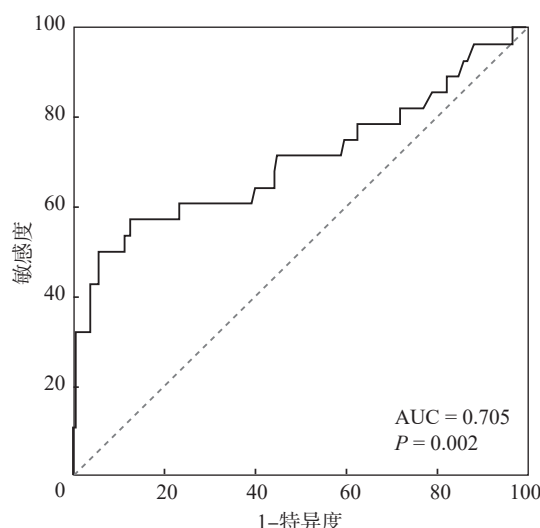


图1 CACS对PCI术后MACE的预测ROC曲线

注: CACS: 冠状动脉钙化积分; PCI: 经皮冠状动脉介入治疗; MACE: 主要不良心血管事件; ROC: 受试者操作特征。

3 讨论

本研究结果显示,MACE发生组的CACS显著高于未发生组,CACS与MACE发生风险呈显著正相关;多因素 Logistic 回归分析证实CACS是PCI术后MACE的独立预测因子,ROC曲线分析显示CACS预测MACE的AUC为0.705,最佳截断值为362分。上述结果表明,CACS与冠心病患者PCI术后不良预后密切相关,对MACE具有中等预测价值。

冠状动脉钙化是动脉粥样硬化晚期的标志性病理改变,Agatston钙化积分是无创评估冠状动脉钙化负荷的“金标准”^[8]。本研究中MACE发生组CACS显著高于MACE未发生组,且与MACE发生风险呈正相关,提示钙化负荷越重,术后MACE发生风险越高,这与既往研究结论一致。Zhai等^[9]对冠状动脉多支病变介入术后患者的研究发现,高钙化组(CACS>400)的MACE发生率显著升高,CACS是术后不良预后的独立预测因子。Iwane等^[10]研究进一步证实,非增强CT检测的结节状钙化与严重钙化病变PCI术后MACE的发生密切相关。从病理生理机制分析,高钙化负荷可能通过以下途径影响患者预后:首先,严重钙化增加PCI操作难度,导致支架膨胀不全、贴壁不良等并发症发生风险上升^[11];其次,高钙化负荷是全身动脉粥样硬化的替代标志物,可反映非靶病变进展风险增高;最后,钙化病变区域的血流动力学异常可能促进斑块不稳定^[12]。

本研究创新性地将CACS作为连续变量纳入多因素 Logistic 回归分析,避免了人为分组导致的信息损失^[13]。多因素分析显示,CACS每增加1分,MACE发生风险增加1.0% ($OR=1.010$, $95\%CI: 1.004 \sim 1.016$),该效应在校正混杂因素后依然显著。ROC曲线分析显示,CACS预测MACE的AUC为0.705 ($95\%CI: 0.634 \sim 0.769$),与文献报道的单一影像学指标预测效能基本一致^[14-15];其最佳截断值为362分,与既往研究中常用的400分界值接近但略低,可能与样本量、人群特征及随访时间差异有关^[16]。该截断值的特异度较高(87.34%),敏感度中等(57.14%),提示单独使用该指标预测MACE可能存在漏诊风险,建议联合其他临床指标综合评估^[17]。

本研究多因素分析显示,病变血管支数($OR=10.319$)和冠状动脉狭窄程度($OR=1.234$)亦是MACE的独立危险因素。病变血管支数可反映冠状动脉粥样硬化的整体负荷,多支病变患者的心肌缺血范围更广、侧支循环代偿能力更差,且PCI术后残余风险更高,因此预后相对更差^[18]。冠状动脉狭窄程度则直接反映单支病变的严重性,重度狭窄病变往往伴随更复杂的斑块形态和更高的操作难度。本研究结果显示,病变血管支数的OR值较高,可能与本研究中多支病变患者的MACE发生率显著升高有关,但其置信区间较宽,提示效应估计的精度有限,这可能与本研究样本量较小、事件数较少有关,未来需扩大样本量进一步验证该结论。

本研究的临床意义在于,术前通过CCTA评估CACS有助于识别PCI术后的高危患者,为临床风险分层和个体化治疗决策提供参考依据。根据本研究结果,CACS>362分可作为高危预警指标,对此类患者建议术中采用腔内影像学指导支架优化植入,必要时行旋磨或血管内碎石术等充分的斑块修饰,术后强化二级预防治疗,并适当缩短随访问隔。

本研究存在如下局限性:①采用单中心回顾性设计,可能存在选择偏倚;②MACE发生组仅28例,事件数较少,部分指标置信区间较宽,可能存在模型过拟合风险;③未能纳入术中操作细节、术后用药依从性等混杂因素;④仅采用Agatston积分法,未对钙化形态进行细分;⑤未纳入炎症标志物等指标,未能分析协同预测价值。

综上,CACS与冠心病患者PCI术后MACE的发

生风险呈显著正相关,是术后不良预后的独立预测因子,对MACE具有中等预测效能。术前评估CACS有助于识别高危患者,为临床风险分层和个体化治疗决策提供参考依据。

参考文献

- [1] 兰丽花,汪驰,李雁洁,等.老年高血压合并冠心病患者心血管代谢性共病流行特征及预后研究[J].解放军医学院学报,2025,46(6):539-545,582.
- [2] 李博,张丽艳,胡学敬,等.通脉止痛汤对冠心病经皮冠状动脉介入治疗术后心绞痛患者的治疗效果分析[J].临床误诊误治,2026,39(5):74-80.
- [3] TANNER R, FARHAN S, GIUSTINO G, *et al.* Impact of diabetes mellitus on clinical outcomes after first episode in-stent restenosis PCI: Results from a large registry[J]. *Int J Cardiol*, 2024, 401:131856.
- [4] 刘辰月,吕滨.冠状动脉钙化积分与CCTA在疑诊冠心病患者早期临床管理中的应用与研究进展[J].放射学实践,2026,41(1):102-106.
- [5] 罗鸿,郭志伟,王运春,等.CCTA测量心外膜脂肪体积与冠心病患者主要不良心脏事件危险因素及冠状动脉钙化积分的关系[J].四川医学,2026,47(1):15-19.
- [6] 中国医师协会放射医师分会,卢光明,吕滨,等.冠心病CT检查和诊断中国专家共识[J].中华放射学杂志,2024,58(2):135-149.
- [7] 何宜,李莲,杨浩,等.视觉冠状动脉钙化积分相较于Agatston积分预测冠心病的价值[J].武警医学,2025,36(3):224-228.
- [8] 陈颖,马莹莹,李承霖,等.基于人工智能非门控钙化积分不同人群风险分层的效能研究[J].临床放射学杂志,2025,44(11):2071-2077.
- [9] ZHAI Y, SHANG H, LI Y, *et al.* A Systematic Review of risk factors for major adverse cardiovascular events in patients with coronary heart disease who underwent percutaneous coronary intervention[J]. *Front Physiol*, 2025, 16:1514585.
- [10] IWANE S, TOBA T, KAWAMORI H, *et al.* Prognostic Utility of Nodular Calcification Detected on Non-Contrast Computed Tomography in Severely Calcified Coronary Lesions[J]. *Circ J*, 2025, 89(8):1172-1181.
- [11] 谷奇峰,李小明,鲁璇.冠状动脉CTA多参数在冠心病诊断及PCI术后MACE预测中的应用[J].中国CT和MRI杂志,2026,24(2):84-86.
- [12] 徐橙,徐敏,邹丽森,等.基于减影技术的冠状动脉CT血流储备分数对钙化所致狭窄血流动力学的诊断价值[J].中华老年心脑血管病杂志,2023,25(12):1236-1239.
- [13] 孙沁瑜,邓毅凡,杨天笑,等.糖化血红蛋白和载脂蛋白A-1比值、三酰甘油葡萄糖-体质指数及联合预测冠状动脉钙化严重程度的临床研究[J].中国全科医学,2026,29(9):1137-1145.
- [14] KISHI S, MAGALHÃES T A, CERCÍ R J, *et al.* Comparative Effectiveness of Coronary Artery Stenosis and Atherosclerotic Plaque Burden Assessment for Predicting 30-Day Revascularization and 2-Year Major Adverse Cardiac Events[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2020, 36(12):2365-2375.
- [15] 黄心怡,杨旭东,石士奎.FAI及CT-FFR联合Gensini评分对ACS经皮冠状动脉介入治疗术后MACE发生的预测价值[J].中国CT和MRI杂志,2025,23(4):90-92,135.
- [16] 谢丽响,鲍慧新,胡春峰.CT-FFR和冠状动脉造影在评价钙化斑块所致冠心病的相关性研究[J].中国CT和MRI杂志,2025,23(9):63-65.
- [17] 苗彦,全冠民,刘德敏,等.联合CT血流储备分数、定量CT与临床指标的列线图预测冠心病PCI术后MACE风险[J].中国医学影像学杂志,2026,34(2):166-173.
- [18] 严玮,刘圣好,吴克霞.中青年与老年冠心病患者病变特点差异及PCI术后支架内再狭窄的危险因素分析[J].中国循证心血管医学杂志,2024,16(4):466-468.