

论 著

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*

黄心怡 杨旭东 石士奎*

蚌埠医科大学第一附属医院放射科
(安徽 蚌埠 233099)

【摘要】目的 探讨基于冠状动脉CT血管造影获得的冠周脂肪衰减指数(FAI)、CT血流储备分数(CT-FFR)联合Gensini评分对急性冠脉综合征患者(ACS)经皮冠状动脉介入治疗(PCI)后发生主要心血管不良事件(MACE)的预测价值。方法 选取PCI前经冠状动脉CT血管成像(CCTA)及冠脉造影检查的急性冠脉综合征130例患者作为研究对象,根据是否发生MACE,分为MACE发生组(n=36)和MACE未发生组(n=94)。利用人工智能软件测算责任血管的FAI及CT-FFR,收集患者的所有临床资料、血液生化指标及计算Gensini评分,比较两组患者的一般临床资料、生化指标、影像指标及Gensini评分,并绘制ROC曲线评估单一指标及联合指标对MACE的预测价值。结果 MACE发生组的CT-FFR低于MACE未发生组($P<0.05$),MACE发生组的年龄、FAI及Gensini积分均高于MACE未发生组($P<0.05$)。多元Logistic回归结果表明,年龄、FAI、CT-FFR、Gensini评分均为ACS患者PCI术后发生MACE的独立风险因素($P<0.05$)。ROC曲线显示,FAI、CT-FFR、Gensini评分三者联合指标的曲线下面积(AUC)为0.788,均优于单指标的预测价值。结论 年龄、FAI、CT-FFR、Gensini评分均为ACS患者PCI术后发生MACE的独立风险因素,FAI、CT-FFR、Gensini评分三者联合指标预测ACS患者PCI术后发生MACE具有较好的价值。

【关键词】冠周脂肪衰减指数; CT血流储备分数; Gensini评分; 急性冠脉综合征; 经皮冠状动脉介入治疗; 主要心血管不良事件

【中图分类号】R714.252

【文献标识码】A

【基金项目】蚌埠医科大学2024年度研究生科研创新计划135项资助立项项目
(Byycx24105)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.04.026

To Explore the Predictive Value of Pericoronary Fat Attenuation Index, Fractional Flow Reserve Combined with Gensini Score for the Prognosis of ACS after Percutaneous Coronary Intervention*

HUANG Xin-yi, YANG Xu-dong, SHI Shi-kui*.

Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University, Bengbu 233099, Anhui Province, China

ABSTRACT

Objective To assess the prognostic potential of pericoronary adipose tissue attenuation (FAI), computed tomography-derived fractional flow reserve (CT-FFR), and Gensini score in predicting major adverse cardiovascular events (MACE) among acute coronary syndrome (ACS) patients following percutaneous coronary intervention (PCI). **Methods** This study prospectively enrolled 130 ACS patients undergoing pre-PCI coronary CT angiography and invasive angiography. Participants were stratified into MACE (n=36) and non-MACE (n=94) cohorts based on clinical outcomes. AI-driven quantification of FAI and CT-FFR was performed for culprit vessels, supplemented by comprehensive clinical, biochemical, and angiographic data. Comparative analyses of baseline characteristics and imaging biomarkers were conducted, followed by ROC curve evaluation for single and combined predictors. **Results** The MACE cohort demonstrated significantly lower CT-FFR values compared to controls ($P<0.05$), alongside elevated age, FAI, and Gensini scores ($P<0.05$). Multivariate analysis confirmed age, FAI, CT-FFR, and Gensini score as independent predictors of post-PCI MACE ($P<0.05$). ROC analysis revealed superior predictive performance of the combined model (FAI+CT-FFR+Gensini; AUC=0.788), surpassing individual parameters. **Conclusion** Advanced age, heightened FAI, reduced CT-FFR, and elevated Gensini score emerged as independent risk factors for post-PCI MACE. The integrative model combining these parameters demonstrated enhanced predictive accuracy for adverse cardiovascular outcomes.

Keywords: Pericoronary Fat Attenuation Index; CT Fractional Flow Reserve; Gensini Score; Acute Coronary Syndromes; Percutaneous Coronary Intervention; Major Adverse Cardiovascular Events

急性冠脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)是指因冠状动脉粥样硬化,管腔内不稳定斑块破裂或者侵蚀,引发心脏供血不足,继而导致以急性心肌缺血症状为主的临床综合征。目前,经皮冠状动脉介入(percutaneous coronary intervention, PCI)已成为ACS患者恢复血运重建的主要治疗手段,可有效解除解除冠脉狭窄,打开闭塞冠脉,改善心脏泵血功能^[1]。有研究表明^[2],尽管经PCI术治疗后的ACS患者死亡率很大程度上得以缓解,但是术后部分患者PCI术后仍然存在发生主要心血管不良事件(major cardiovascular adverse events, MACE)的风险。因此,对ACS患者PCI术后进行MACE风险评估有助于指导临床尽早进行干预,更有助于提高患者术后生存时间及生活质量。冠状动脉CT血管造影(CT coronary angiography, CCTA)已是诊断冠状动脉疾病常用的辅助诊断检查^[3], CCTA图像定量分析能够取得冠状动脉主要分支的冠周衰减脂肪指数(FAI)及血流储备分数(FFRCT)。研究证实^[4-6], FAI升高或FFR降低与MACE发生相关。Gensini评分是依据冠状动脉造影结果评价冠状动脉的狭窄情况及病变程度的评分系统,评分数值的高低与冠状动脉血管病变严重程度及复杂性密切相关。现有研究表明^[7-8],独立Gensini评分或者联合血清生化指标对不同类型心血管疾病的预后情况具有较好的预测价值,但基于CCTA获得的FAI及CT-FFR联合Gensini评分预测ACS患者PCI术后情况的研究报道鲜为少见,本文章旨在探讨FAI及CT-FFR联合Gensini评分能否预测PCI术后的ACS患者发生MACE的预测指标,为临床预后治疗提供有利的参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性收集2021年1月至2022年12月蚌埠医科大学第一附属医院接受冠状动脉CT血管造影及冠状动脉造影检查的130例急性冠脉综合征患者作为研究对象。

纳入标准:符合急性冠脉综合征的临床诊断标准; CCTA检查与PCI术时间间隔不超过2周。排除标准:患者临床资料缺失; CCTA图像质量较差; 心脏骤停及心源性休克者; 患者既往接受过PCI术或者冠脉搭桥术治疗; 严重碘对比剂过敏者。

根据患者PCI术后是否发生MACE进行分组, MACE发生组共有34例,男21例,女13例,年龄 66.5 ± 8.76 岁; MACE未发生组共有96例,男64例,女32例,年龄 60.39 ± 10.40 岁。本研究由蚌埠医科大学第一附属医院伦理委员会审核批准(审批号:2023YJS155)。

1.2 仪器与检查方法 采用GE Revolution 256排CT扫描仪进行扫描, CCTA检查开始前训练患者呼吸。采用前瞻性电门控技术,扫描范围为自气管分叉至心底。扫描参数设

【第一作者】黄心怡,女,研究生在读,主要研究方向:影像诊断。E-mail: 1522592285@qq.com

【通讯作者】石士奎,男,主任医师,主要研究方向:影像诊断。E-mail: sskuijp@163.com

置：管电压120kV，基准电压100kV，管电流范围200~300mA，层厚0.6mm，自动管电流调制噪声指数29。

1.3 冠状动脉周围脂肪及CT-FFR分析 将原始图像发送至GEAW4.7后处理工作站进行标准算法重建，将责任血管显示最清晰且图像质量最佳的序列导入数坤科技平台，构建冠状动脉模型，自动计算冠状动脉分支(左冠状动脉前降支及左回旋支近端4 cm、右冠状动脉近端1~5 cm)的FAI及CT-FFR。

1.4 Gensini积分 患者完成冠状动脉血管造影，获得多角度清晰的血管图像，由两位高年资心血管科室医师观察冠状动脉狭窄情况，明确责任血管即狭窄程度最重、病变范围最广的血管，并计算Gensini评分。Gensini评分标准如下：血管狭窄程度≤25%计1分，血管狭窄程度25%~49%计2分，血管狭窄程度50~74%计3分，血管狭窄程度75~89%计4分，血管狭窄程度90%~98%计5分，血管狭窄程度≥99%计6分；冠状动脉分支血管部位对应的得分如下：左冠状动脉主干为5.0，左前降支近段、回旋支近段均为2.5，左前降支中段为1.5，左前降支远端、左回旋之中端及远端、右冠脉均为1.0，小分支为0.5。Gensini评分结果先将每支病变血管的狭窄程度评分乘以病变血管部位对应的得分，再将以上数值相加即可。

1.5 一般临床资料收集及随访情况 记录患者身高、体重、体重质量指数(BMI)及危险因素，其中危险因素包括高血压、糖尿病、服用高血压药物情况；血生化检测指标包括总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL)、C反应蛋白(CRP)及乳酸脱氢酶(LDH)。由两位心内科医师通过电话或者记录出院1年后发生MACE情况，包括心源性猝死、因不稳定心绞痛再次入院(有/无靶血管血运重建)、急性心力衰竭及脑梗死。

1.6 统计学方法 所有数据均采用SPSS 27.0(IBM, Armonk, NY)统计软件包进行统计分析。计量资料选用均数±标准差表示；计数资料选用百分比(%)的形式表示。两组间比较采用两独立样本t检验、 χ^2 检验。对MACE发生组和MACE未发生组的责任血管FAI、Gensini积分、FAI+CT-FFR、CT-FFR+Gensini积分及

FAI+CT-FFR+Gensini积分进行比较。

2 结果

2.1 患者临床一般指标比较 MACE发生组的年龄高于MACE未发生组，差异有统计学意义($P<0.05$)；两组在性别、BMI、高血压病史、糖尿病病史、服用高血压药物及血液生化指标方面均无统计学意义($P>0.05$)(表1、表2)。

2.2 基于人工智能平台测算的FAI、CT-FFR与Gensini积分比较
2.2.1 责任血管所在冠脉分支对MACE发生的影响 MACE发生组在左前降支、左回旋支、右冠状动脉的例数分别为18例、3例、15例，MACE未发生组在左前降支、左回旋支、右冠状动脉的分别为59例、8例、27例，两组之间责任血管所属冠脉分支的差异并无统计学意义($P>0.05$)(表1)。

2.2.2 两组患者 FAI、CT-FFR及Gensini积分比较 MACE发生组责任血管的FAI及Gensini积分均高于未发生组，而MACE发生组的CT-FFR低于未发生组(表2)，差异均有统计学意义($P<0.05$)(表3)。

2.3 发生MACE危险因素的回归分析 选取两组差异有统计学意义的指标(年龄、FAI、FFR及Gensini积分)作为变量，分析PCI术后发生MACE的危险因素。多因素回归分析中，FAI、CT-FFR及Gensini积分均是PCI术后发生MACE的独立影响因素($P<0.05$)(表4)。

2.4 两组患者FAI、CT-FFR及Gensini积分对MACE发生的预测价值 以责任血管FAI、CT-FFR、Gensini积分及三者联合为检验变量，MACE事件为状态变量，绘制受试者工作曲线(ROC曲线)观察曲线下面积。ROC曲线分析显示责任血管FAI的曲线下面积(AUC)为0.725，最佳截断值为-79.5Hu，敏感度为58.3%，特异度为69.1%；责任血管CT-FFR的AUC为0.693，最佳截断值为0.775，敏感度为63.9%，特异度为69.1%；Gensini积分的AUC为0.639，最佳截断值为58.5分、敏感度为61.1%，特异度为66.0%；FAI、CT-FFR、Gensini积分三者指标联合应用预测MACE的发生时，AUC提升至0.788，较单一指标显著提高，差异具有统计学意义($P<0.05$ ，图1)。

表1 两组患者临床资料及血液生化指标比较

	MACE发生组(n=36)	MACE未发生组(n=94)	P值
年龄	66.5(±8.762)	60.39(±10.375)	0.002
BMI	23.80(±2.43)	25.00(±3.23)	0.056
男性	21(58.30%)	62(66.00%)	0.418
高血压	26(72.2%)	10(27.80%)	0.219
服用降压药	25(69.4%)	57(60.6%)	0.252
糖尿病	8(22.2%)	28(29.8%)	0.388
病变最窄处部位			
左前降支	18(50%)	59(62.8%)	
左回旋支	3(8.3%)	8(8.5%)	
右冠脉	15(41.7%)	27(28.7%)	

表2 两组FAI、CT-FFR及Gensini积分比较

	MACE发生组(n=36)	MACE未发生组(n=94)	P值
甘油三酯/(mmol/L)	1.10(0.80~1.64)	1.30(0.91~1.97)	0.17
总胆固醇/(mmol/L)	3.42(3.00~4.08)	3.63(3.06~4.41)	0.31
HDL/(mmol/L)	0.9(0.80~1.120)	0.97(0.84~1.17)	0.51
LDL/(mmol/L)	1.94(1.67~2.589)	2.11(1.64~2.77)	0.41
c反应蛋白/	1.30(0.75~3.87)	1.7(0.90~3.42)	0.51
乳酸脱氢酶(LDH)/	185(167~208)	186.5(164.5~209.25)	0.97

表3 ACS患者PCI后发生MACE的多因素回归分析

	MACE发生组(n=36)	MACE未发生组(n=94)	P值
gensini评分	62(46~80)	50(35.5~64)	<0.001
最重血管的FAI	-79(-83.75~-75.25)	-84.5(-89.25~-80)	<0.001
最重血管的CT-FFR	0.74(0.66~0.8325)	0.825(0.76~0.88)	<0.001

表4 ACS患者PCI后发生MACE的多因素回归分析

因素	β	SE	Wald	P值	OR	95% CI
年龄	-0.052	0.023	4.969	0.026	0.95	0.908~0.994
责任血管FAI	-0.118	0.04	8.803	0.003	0.888	0.822~0.961
责任血管CT-FFR	0.048	0.023	4.584	0.032	1.049	1.004~1.079
Gensini评分	-0.017	0.008	4.128	0.042	0.983	0.967~0.999

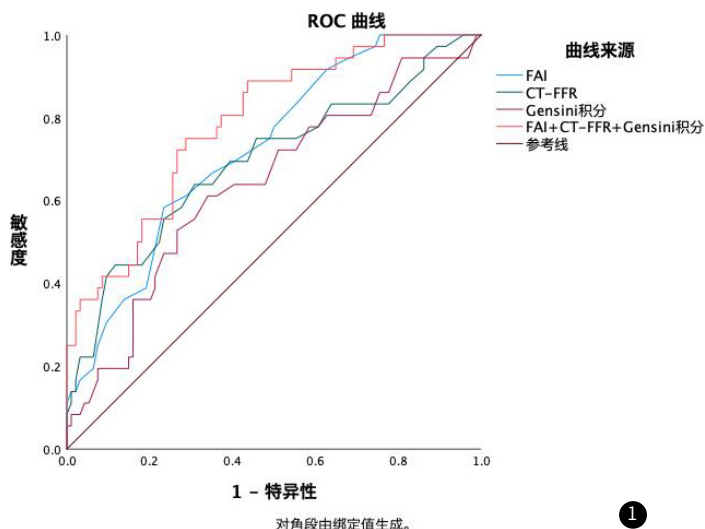


图1 FAI、CT-FFR及Gensini积分对ACS患者PCI后发生MACE的预测价值。

3 讨论

2023年欧洲心脏病学会指出^[9]，经皮冠状动脉介入治疗术已经成为治疗急性冠脉综合征的首选方法，逐渐取代了以往冠脉搭桥手术。尽管经皮冠状动脉介入治疗能够成功恢复病变血管原有的管腔形态，但是管腔动脉粥样硬化的过程仍在进行，这使得患者在PCI术后依旧面临发生MACE的风险。主要不良心血管事件包括因不稳定心绞痛再次发作、非致死性心肌梗死、缺血驱动再次血运重建及心血管性心脏骤停^[10]。因此，准确评估ACS患者PCI后发生主要心血管不良事件(MACE)的风险，有助于在治疗过程中及时实施针对性干预，从而提高治疗效果并改善预后。

血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)是基于冠状动脉内压力导丝测量的生理学功能评估技术，可量化反映心肌缺血程度。目前，我国介入治疗指南^[11]推荐将FFR作为稳定性心绞痛患者是否血运重建的标准之一。FFR测定过程存在若干局限性，例如有创性、存在术后并发症、操作技术要求极高，FFR在实际临床工作中的应用中受到限制。近年来，随着冠状动脉CT造影技术不断进步和计算机流体力学逐步完善，CT-FFR是一种基于CCTA评估冠状动脉血流动力学改变的非侵入性影像学检查。不仅解决了传统FFR的有创性和操作复杂性问题，同时其检查结果与侵入性FFR具有高度一致性。一项前瞻性的研究^[12]通过纳入550名稳定型心绞痛患者，以评估CT-FFR在指导接受冠状动脉血运重建和预测主要心血管不良事件的价值。研究结果显示91%的患者接受了血运重建并且其CT-FFR ≤ 0.80 ，且该阈值在预测MACE方面优于CCTA显示的重度狭窄。此外，以CT-FFR值 ≤ 0.80 作为转诊至侵入性冠状动脉造影的标准，患者接受非必需ICA的比率显著下降，减少不必要的侵入性检查，提高临床决策的准确性。CT-FFR ≤ 0.80 通常提示冠状动脉血流受阻，且这一指标也常被用来预测冠状动脉血运重建后的预后情况。本研究采用的责任CT-FFR来评估ACS患者PCI术后发生MACE的预测价值，当责任血管的CT-FFR ≤ 0.778 时，随着责任CT-FFR的数值减低，发生MACE的可能性也随之提高。本研究结果中责任血管的CT-FFR截断值为0.778，低于既往文献常用参考数值(即CT-FFR ≤ 0.8)，笔者认为这一差异可能与研究人群的病情特点有关，既往文献主要研究

的是稳定型心绞痛患者，而本研究选择的是特定类型的心绞痛患者，其冠状动脉病变更为复杂，血流动力学变化更加显著，例如，急性冠脉综合征患者的冠状动脉病变通常处于急性炎症和血栓形成阶段，导致血管内压力显著下降，CT-FFR值也相应降低。另一方面，本研究将主要心血管不良事件作为临床终点事件，随访时间需要适当延长，才能更全面地评估责任血管CT-FFR与长期预后之间的关系，进而确定更为精准的截断值，以提高对高危患者的识别能力。

血管炎症作为冠状动脉粥样硬化性心脏病发生和发展的核心病理驱动因素^[13]，通过介导内皮功能障碍、斑块不稳定及血栓形成等机制参与疾病全程演进。心包脏层与心肌表面之间存在一层脂肪组织即心外膜脂肪^[14]，其中贴于冠状动脉血管外壁的冠周脂肪与冠脉管壁之间通过“双向信号”的方式相互作用，促进冠脉周围炎症反应加剧，为了清晰直观地表现出这一炎症变化，Antonopoulos^[15]提出了一种评估冠周脂肪的新型生物学指标即FAI，通过无创性成像工具来检测冠周FAI的变化，精准反应出冠周血管炎症的严重程度，以此达到监测患者病情的目的。既往研究^[16-17]表明，FAI是反映冠状动脉状态的一种更客观、更准确的非侵入性方法，与传统心血管危险因素相比^[18-19]，FAI在预测不同类型冠心病患者发生MACE的价值更高。本研究结果显示，责任血管FAI敏感度为58.3%、特异性为69.1%、AUC为0.725，FAI对预测ACS患者PCI后MACE发生的具有较好的价值，与既往研究结果一致。

Gensini评分是临床实践中较常采用的评分体系，其评分准不仅纳入了病变血管的部位、数量，也包括病变血管的狭窄程度^[20]。Gensini评分常被用于评价冠状动脉粥样硬化性心脏病的严重程度，也被广泛应用于评价冠心病患者的预后情况。多项研究表明^[21-23]，Gensini评分对不同类型冠心病患者主要心血管不良事件发生的预测价值已经得到广泛认可。但是关于Gensini评分在PCI术后预后评估中的研究相对较少，尤其是PCI术后发生MACE的预测价值尚未得到充分验证。本研究采用Gensini评分评估其对ACS患者PCI术后一年内发生MACE的预测价值。研究结果显示Gensini评分是作为ACS患者PCI术后发生MACE的独立影响因素。ROC曲线显示，FAI、CT-FFR联合Gensini评分对ACS患者PCI术后发生MACE的曲线下面积显著大于单个指标FAI、CT-FFR或Gensini评分的曲线下面积(AUC=0.788vs0.725vs0.693vs0.639)。由此表明，影像学指标与联合Gensini评分的联合使用在预测ACS患者PCI术后MACE发生风险方面具有显著优势，明显优于单一指标Gensini评分。本研究的发现为这一领域提供了新的证据，表明影像学指标与Gensini评分的联合使用能够显著提高对ACS患者PCI术后MACE发生风险的预测准确性，优化患者的治疗方案和预后管理。

综上所述，在经完全血运重建治疗的ACS患者中，CT-FFR与MACE发生呈负相关即CT-FFR越低，发生MACE几率越高；FAI、Gensini积分则呈正相关。因此，对Gensini评分高、FAI高且CT-FFR ≤ 0.8 的患者应进行加强随访力度，动态优化药物治疗策略，降低临床危险事件发生风险。

(下转第135页)

参考文献

- (收稿日期: 2024-03-04)
(校对编辑: 赵望淇)