论著·临床医学

冠状动脉周围脂肪衰减指数与纤维斑块指数预测急性冠状动脉综合征患者预后的效能研究

黄 聪[1],文 凤[1],王兴兰[2],刘 晨[1],梁红琴[1],杨 茜[1],牟成维[1],王 健[1] [1]陆军军医大学第一附属医院放射科,重庆;[2]重庆医科大学附属永川医院放射科,重庆

[摘要] **目的** 探究冠状动脉周围脂肪衰减指数(fat attenuation index,FAI)和纤维斑块指数(fibrous plaque index,FPI)对急性冠状动脉综合征(acute coronary syndrome,ACS)患者预后的预测价值。**方法** 采用回顾性队列研究设计,纳入于2021年3月至2023年7月在陆军军医大学第一附属医院心内科及重庆医科大学附属永川医院心内科接受冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention,PCI)的334例ACS患者,所有患者行冠状动脉CT血管成像(coronary computed tomography angiography,CCTA)检查,测量FAI和FPI值。对ACS患者跟踪随访,根据术后1年主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events,MACE)的发生情况,将ACS患者分为MACE组(n=108)和非MACE组(n=226)。检测并比较2组的基线资料、CCTA数据以及实验室检查数据,采用多因素Logistic回归分析FAI和FPI与ACS患者预后的关系,并绘制受试者工作特征(receiver operating caracteristic,ROC)曲线评估其预测效能。**结果** 334例ACS患者中,108例(32.34%)发生MACE。与非MACE组(226例)比较,MACE组糖尿病患病率(72.22% *vs* 31.86%)、左主干病变比例(18.52% *vs* 7.08%)显著升高,而手术成功率(79.63% *vs* 93.81%)显著降低(P<0.05)。影像学指标显示,MACE组重度狭窄比例(20.37% *vs* 10.62%)、FAI[(−80.12±6.41) HU *vs* (−72.34±7.09) HU]及FPI(0.58±0.41 *vs* 0.26±0.12)均显著增高(P<0.05)。实验室检测发现,MACE组高密度脂蛋白胆固醇水平[(1.20±0.15)mmol/L *vs* (1.09±0.16) mmol/L]、miR-126(0.91±0.12 *vs* 0.96±0.15)及sST2[(38.45±5.67) ng/mL *vs* (34.30±4.89) ng/mL]水平存在显著差异(P<0.05)。多因素Logistic回归分析显示,FAI(OR=1.200,95%CI:1.136~1.268)、FPI(OR=63.157,95%CI:14.126~282.374)、中度狭窄程度(OR=1.332,95%CI:1.024~1.859)、重度狭窄程度(OR=1.480,95%CI:1.074~2.039)、miR-126(OR=0.007,95%CI:0.001~0.077)和sST2(OR=1.192,95%CI:1.113~1.277)是MACE的独立预测因素(P<0.05)。ROC曲线分析显示,狭窄程度(AUC=0.622,95%CI:0.561~0.683,P=0.001)、FAI(AUC=0.790,95%CI:0.741~0.839,P=0.001)、FPI(AUC=0.716,95%CI:0.643~0.788,P=0.001)、miR-126(AUC=0.646,95%CI:0.584~0.707,P=0.001)、sST2(AUC=0.700,95%CI:0.638~0.761,P=0.001)对预后均有预测价值。**结论** 冠状动脉FAI和FPI可作为ACS患者预后的独立预测指标,其数值变化与斑块稳定性及炎症状态密切相关。

[关键词] 冠状动脉周围脂肪组织;冠状动脉周围脂肪衰减指数;纤维斑块指数;急性冠状动脉综合征;主要不良心血管事件

[中图法分类号] R181.23;R543.307;R814.42 [文献标志码] A

[基金项目] 重庆市中青年医学高端人才(5414Z395);重庆市中青年医学高端人才工作室(精准影像与智能诊断室)(524Z28921);陆军军医大学第一附属医院优青拔尖基金(2024YQBJ-2)

[通信作者] 王 健,E-mail:wangjian@aifmri.com

2097-0927/Copyright © 2025,陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循CC BY许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

引用格式:黄聪,文凤,王兴兰,等. 冠状动脉周围脂肪衰减指数与纤维斑块指数预测急性冠状动脉综合征患者预后的效能研究[J]. 陆军军医大学学报,2025,47(17):2106-2114. DOI:10.16016/j.2097-0927.202506062.

Citation:HUANG C,WEN F,WANG X L,*et al*. Prognostic efficacy of pericoronary fat attenuation index and fibrous plaque index in patients with acute coronary syndrome[J]. J Army Med Univ,2025,47(17):2106-2114. DOI:10.16016/j.2097-0927.202506062.

Prognostic efficacy of pericoronary fat attenuation index and fibrous plaque index in patients with acute coronary syndrome

HUANG Cong[1], WEN Feng[1], WANG Xinglan[2], LIU Chen[1], LIANG Hongqin[1], YANG Xi[1], MOU Chengwei[1], WANG Jian[1]
[1]Department of Radiology, First Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing; [2]Department of Radiology, Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, China

[**Abstract**] **Objective** To explore the predictive value of fat attenuation index (FAI) and fibrous plaque index (FPI) for the prognosis of patients with acute coronary syndrome (ACS). **Methods** A retrospective cohort study was conducted on 334 ACS patients undergoing percutaneous coronary intervention (PCI) in the First Affiliated Hospital of Army Military Medical University and Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University from March 2021 to July 2023. All patients received coronary computed tomography angiography (CCTA) to measure FAI and FPI. According to the occurrence of major adverse cardiovascular events (MACE) with 1 year of follow-up, they were divided into MACE group (n=108) and non-MACE group (*n*=226). The baseline data, CCTA data and results of laboratory tests were collected and compared between the 2 groups. Multivariate logistic regression analysis was used to analyze the relationship of FAI and FPI with the prognosis of ACS patients, and ROC curve was drawn to evaluate its predictive efficiency. **Results** Among the 334 ACS patients, 108 (32.34%) experienced MACE. When compared with the non-MACE group, the MACE group exhibited significantly larger proportions of diabetes (72.22% *vs* 31.86%) and left main coronary artery disease (18.52% *vs* 7.08%), but lower success rate of operation (79.63% *vs* 93.81%, $P<0.05$). Radiologic results showed that the proportion of severe stenosis (20.37% *vs* 10.62%), FAI (−80.12±6.41 HU *vs* −72.34±7.09 HU) and FPI (0.58±0.41 *vs* 0.26±0.12) were obviously increased in the MACE group than the non-MACE group ($P<0.05$). Laboratory tests indicated that there were statistical differences between the 2 groups in high-density lipoprotein-cholesterol (HDL-C, 1.20±0.15 *vs* 1.09±0.16 mmol/L), miR-126 (0.91±0.12 *vs* 0.96±0.15) and SST2 (38.45±5.67 *vs* 34.30±4.89 ng/mL, $P<0.05$). Multivariate Logistic regression analysis revealed that FAI (*OR*=1.200, 95%*CI*: 1.136~1.268), FPI (*OR*=63.157, 95%*CI*: 14.126~282.374), moderate stenosis (*OR*=1.332, 95%*CI*: 1.024~1.859), severe stenosis (*OR*=1.480, 95%*CI*: 1.074~2.039), miR-126 (*OR*=0.007, 95%*CI*: 0.001~0.077), and sST2 (*OR*=1.192, 95%*CI*: 1.113~1.277) were independent predictors of MACE ($P<0.05$). ROC curve analysis displayed that stenosis degree (AUC=0.622, 95%*CI*: 0.561~0.683, $P=0.001$), FAI (AUC=0.790, 95%*CI*: 0.741~0.839, $P=0.001$) and FPI (AUC=0.700, 95%*CI*: 0.638~0.761, $P=0.001$), miR-126(AUC=0.646, 95%*CI*:0.584~0.707, $P=0.001$), sST2 (AUC=0.700,95%*CI*: 0.638~0.761, $P=0.001$) had certain predictive values for ACS prognosis. **Conclusion** Coronary FAI and FPI can be used as independent prognostic indicators of ACS patients, and their numerical changes are closely related to plaque stability and inflammatory state.

[**Key words**] pericoronary adipose tissue; pericoronary fat attenuation index; fibrous plaque index; acute coronary syndrome; major adverse cardiovascular events

Supported by the Project of Young and Middle-Aged Top Medical Talents of Chongqing (5414Z395), the Young and Middle-Aged Top Medical Talents Studio of Chongqing (Room for Precision Imaging and Intelligent Diagnosis, 524Z28921), and the Excellent Young Scientist Fund of First Affiliated Hospital of Army Medical University (2024YQBJ-2). Corresponding author: WANG Jian, E-mail: wangjian@aifmri.com.

急性冠状动脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)是一组因冠状动脉粥样硬化斑块出现破裂、遭受侵蚀或者形成血栓,进而引发急性心肌缺血的临床综合征[1]。ACS有不稳定型心绞痛(unstable angina pectoris rehospitalization, UAP)、非ST段抬高型心肌梗死(non-ST-segment elevation myocardial infarction, NSTEMI)和ST段抬高型心肌梗死(ST-segment elevation myocardial infarction, STEMI)等不同的类型。每一种类型都有着独特的临床表现和风险程度。部分UAP或NSTEMI患者可表现为静息或低负荷状态下频繁发

作的胸痛,疼痛持续时间延长;而STEMI患者常突发持续性剧烈胸痛,且易伴发心源性休克、恶性心律失常等严重并发症。ACS患者的预后情况存在着极大的差异,及时规范治疗的ACS患者30 d主要不良心血管事件(major adverse cardiovascular events, MACE)发生率低于15%,而未及时干预或合并严重基础病的STEMI患者,24 h内死亡率达5%~10%[2]。因此,准确评估预后对制定个体化治疗方案、改善患者生活质量至关重要[3]。近年来,研究人员逐渐发现ACS的发生发展与冠状动脉周围脂肪衰减指数(fat attenuation index, FAI)、纤维斑块指数(fibre plaque index, FPI)的变化有关。FAI反映冠状动脉周围脂肪组织炎症状态,该组织具有活跃代谢和内分泌功能,在病理状态下释放炎症因子加速动脉粥样硬化。FPI体现纤维斑块稳定性,不稳定斑块易破裂形成血栓,是急性心血管事件重要诱因。目前,FAI和FPI在ACS发生中的作用已被证实,但对接受经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)的ACS患者预后预测价值尚不明确[4]。基于上述背景,本研究旨在系统评估FAI和FPI对接受PCI治疗的ACS患者预后的预测价值。通过冠状动脉CT血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)定量分析,结合临床资料与终点事件,构建基于影像组学特征的预后模型,以期为血运重建后的危险分层与治疗策略优化提供更为客观、精准的影像学依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究采用回顾性队列研究设计。本研究经陆军军医大学第一附属医院伦理委员会(KY2020306)及重庆医科大学附属永川医院伦理委员会(2022年科伦审104号)批准。研究对象为2021年3月至2023年7月在陆军军医大学第一附属医院心内科及重庆医科大学附属永川医院心内科接受PCI治疗的334例ACS患者;根据术后1年MACE的发生情况,将患者分为MACE组和非MACE组。纳入标准:①年龄≥18岁;②患者符合ACS诊疗指南[5];③病例的临床及实验室检查数据完整;④可耐受CCTA检查且无造影剂过敏史;⑤CCTA检查资料完整,图像质量优良(无明显运动伪影、血管显示清晰)。排除标准:①既往有冠状动脉旁路移植术或经皮冠状动脉介入治疗史;②发育短小的冠状动脉;③合并急性感染性疾病。本研究定义的MACE包括心源性死亡、非致死性心肌梗死、再次血运重建(冠状动脉搭桥术或再次PCI)、因UAP再次入院等[6-7]。本研究最终纳入分析的样本量为334例,其中MACE组108例,非MACE组226例。

1.2 研究质量控制与资料收集

2名经过专业培训的心血管影像医师采用双盲法独立分析CCTA数据,使用标准化数据采集表格记录基线特征和影像学参数。为确保数据可靠性,研究者间一致性通过计算组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)或Kappa值进行定量评估。当观察结果存在分歧时(ICC<0.75或Kappa<0.60),由第3位资深影像学专家进行仲裁并达成最终共识。所有统计分析基于仲裁后的统一数据;随访人员经过统一培训,采用结构化随访表记录事件,对MACE的发生情况定义进行明确界定(如心源性死亡需结合死亡证明及病历记录确认);采用盲法分析CCTA图像,减少评估偏倚;通过扩大样本量(n=334)及严格纳排标准,降低选择偏倚影响。临床资料主要包括:性别、年龄、吸烟史、高血压、糖尿病、高血脂、体质量指数(body mass index, BMI)、患者ACS类型(不稳定型心绞痛、非ST段抬高型心肌梗死、ST段抬高型心肌梗死)、手术治疗成功与否(记录手术是否达到预期血运重建效果、有无术中并发症等)以及靶病变部位(是否为左主干病变等)、不良事件具体情况等信息。实验室检查数据包括:总胆固醇(total cholesterol, TC)、低密度脂蛋白(low-density lipoprotein, LDL)、高密度脂蛋白胆固醇(high density lipoprotein cholestero, HDL-C)、甘油三酯。详细记录术后药物使用情况,包括阿司匹林、氯吡格雷、阿托伐他汀、美托洛尔等药物的使用剂量和疗程,并通过患者复诊记录、药房取药记录及问卷调查评估药物依从性[8]。

1.3 CCTA检查

采用西门子CT进行CCTA检查。患者在检查前需禁食>4 h,并口服硝酸甘油降低心率。扫描参数:管电压100~120 kV,自动管电流,重建层厚0.6 mm。扫描范围:自气管分叉水平至心脏膈面下。扫描方法:ROI置于升主动脉,采用Bolus Tacking方式自动触发扫描,阈值为100 HU;右肘静脉团注对比剂,剂量为1.0 mL/kg,注射速率为5.0~6.0 mL/s,随后以相同速率注射30 mL生理盐水。所有患者的CCTA检查在PCI术前72 h内完成。为确保影像学评估不受介入治疗影响,排除术后复查CCTA的数据。

1.4 CCTA图像分析

数据导入AI智能分析系统(中国深睿博联科技有限公司)分析病变血管。主要包括狭窄分布血管(右冠状动脉(right coronary artery, RCA)、左冠状动脉前降支

(left anterior descending artery,LAD)、左冠状动脉回旋支(left circumflex artery,LCX)、病变数量、狭窄程度、斑块类型、斑块范围。病变数量:根据病变数量将其分为单发(n=1)和多发(n≥2)。狭窄程度:根据病变血管狭窄程度分为无狭窄(0%)、极小狭窄(>0%~<25%)、轻度狭窄(25%~<50%)、中度狭窄(50%~<70%)、重度狭窄(70%~<100%)及闭塞(100%)。斑块类型:根据斑块成分可分为钙化斑块、非钙化斑块或混合斑块。斑块范围:根据血管病变范围将其分为局限性病变(<1 cm)、节段性病变(1~3 cm)、弥漫性病变(>3 cm)。

1.5 FAI、FPI及CT-FFR的测量

将所有患者CCTA数据导入AI智能分析系统(中国杭州深睿博联科技有限公司),自动测量FAI、FPI及冠状动脉CT血流储备分数(coronary computed tomography angiography-derived fractional flow reserve, CT-FFR)。具体测量方法参照文献[9-10]。图1展示CCTA的定量分析结果,左侧多平面重组影像清晰显示冠状动脉解剖结构(箭头指示斑块位置),用于评估病变形态与分布;右侧定量分析区包含FAI(-68.708 HU,反映冠脉周围脂肪炎症)、FPI(0.353,表征斑块纤维成分)及PV(1 933.361 mm^3)等参数,从炎症程度、斑块组成和体积等多维度量化病变特征,为风险评估提供客观依据。FAI与动脉粥样硬化进展相关,FPI可判断斑块稳定性,共同构成预后预测的重要指标体系。



图1 冠状动脉周围脂肪衰减指数和纤维斑块指数的人工智能测量结果

Figure 1 AI measurement results of FAI and FPI

1.6 miR-126以及sST2检测

采集患者空腹外周静脉血3 mL,采用qRT-PCR法检测miR-126水平,以U6为内参,结果以$2^{-\Delta\Delta Ct}$表示。采用ELISA法检测sST2水平,试剂盒购自武汉伊莱瑞特生物科技股份有限公司,严格按照说明书进行操作。正常参考值范围:miR-126相对表达量为1.00±0.20,sST2为10~35 ng/mL。

1.7 随访

采用标准化随访方案,通过门诊复诊(每3个月)和电话随访相结合的方式对PCI术后患者进行为期1年的跟踪随访。随访内容包括体格检查、心电图、心脏超声等常规检查,以及血脂、心肌酶等实验室指标复查,详细记录患者症状变化、治疗调整及不良事件。为确保数据质量,本研究建立多源数据核查系统:①电子病历系统自动追踪门诊记录;②专职护士进行电话随访(至少尝试3次);③对接区域医疗数据库核查再住院信息。采用REDCap电子数据采集系统(V12.5)进行数据管理,设置12项逻辑核查规则(如死亡患者无后续随访记录),并对关键指标实行双人独立录入(κ=0.89)。失访率控制在5%以内,对缺失数据采用多重插补法(5次插补)处理,并通过敏感性分析评估失访影响。所有随访数据通过重庆市覆盖85%医疗机构的区域数据库进行交叉验证,确保研究结果的可靠性。

1.8 统计学分析

采用SPSS 26.0进行统计学分析。计量资料以$\bar{x}\pm s$表示,采用独立样本t检验进行组间比较。计数资料以例(%)表示,采用χ^2检验进行组间比较。以是否发生MACE(是:1,否:0)为因变量,对狭窄程度(分类变量,设置哑变量,以极小狭窄为参照组)及其他变量进行赋值。单因素分析筛选显著变量,纳入多因素Logistic回归分析。绘制受试者工作特征(receiver operating caracteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC)、灵敏度、特异度及约登指数等参数,评估各独立影响因素对ACS患者预后的预测价值。P<0.05表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 MACE组糖尿病患病率升高、手术成功率降低且左主干病变比例增加

2组临床资料对比显示,MACE组与非MACE组在年龄、性别、BMI、高血压病史、血脂异常、吸烟史以及基础用药(阿司匹林、氯吡格雷、阿托伐他汀、美托洛尔)依从性等方面差异均无统计学意义。MACE组合并糖尿病的比例显著高于非MACE组(72.22% *vs* 31.86%,χ^2=48.123,P<0.001)。MACE组PCI手术成功率显著低于非MACE组(79.63% *vs* 93.81%,P<0.001),且左主干(left main coronary artery,LM)病变的比例更高(18.52% *vs* 7.08%,P=0.015)。2组在ACS临床分型(STEMI、NSTEMI、UAP)的构成上差异无统计学意义,见表1。

表1 MACE组与非MACE组的临床资料比较[$\bar{x}\pm s$,例(%)]

Table 1 Comparison of clinical data between the MACE group and non-MACE group in ACS patients [$\bar{x}\pm s$,n(%)]

Factors	MACE Group(n=108)	Non-MACE Group(n=226)	t/χ^2	P
Age/years	50.48±5.08	49.87±5.31	0.995	0.320
BMI/(kg/m^2)	24.73±2.35	25.13±2.48	1.402	0.161
Gender			0.340	0.559
Male	82(75.93)	178(78.76)		
Female	26(24.07)	48(21.24)		
Hypertension			1.206	0.272
Yes	68(62.96)	128(56.64)		
No	40(37.04)	98(43.36)		
Diabetes			48.123	<0.001
Yes	78(72.22)	72(31.86)		
No	30(27.78)	154(68.14)		
Hyperlipidemia			2.984	0.084
Yes	36(33.33)	55(24.34)		
No	72(66.67)	171(75.66)		
Smoking history			1.618	0.203
Yes	48(44.44)	84(37.17)		
No	60(55.56)	142(62.83)		
Aspirin use			0.032	0.857
Yes	103(95.37)	218(96.46)		
No	5(4.63)	8(3.54)		
Clopidogrel use			0.313	0.541
Yes	101(93.52)	215(95.13)		
No	7(6.48)	11(4.87)		
Atorvastatin use			0.154	0.690
Yes	97(97.81)	206(91.15)		
No	11(10.19)	20(8.85)		
Metoprolol use			0.037	0.846
Yes	86(79.63)	182(80.53)		
No	22(20.37)	44(19.47)		
Medication compliance			1.133	0.286
Poor	9(8.33)	12(5.31)		
Good	99(91.67)	214(94.69)		
ACS types			4.043	0.132
STEMI	64(59.26)	110(48.67)		
NSTEMI	30(27.78)	70(30.97)		
UAP	14(12.96)	46(20.35)		
Procedure success			15.270	<0.001
Yes	86(79.63)	212(93.81)		
No	22(20.37)	14(6.19)		
Culprit lesion location			10.437	0.015
LM	20(18.52)	16(7.08)		
LAD	54(50.00)	120(53.10)		
LCX	18(16.67)	50(22.12)		
RCA	16(14.81)	40(17.70)		
MACE			5.331	0.149
Cardiac death	14(12.96)	7(3.10)		
Non-fatal myocardial infarction	38(35.20)	7(3.10)		
Re-revascularization	42(38.89)	10(4.42)		
UAP readmission	14(12.96)	8(3.54)		

2.2 FAI与FPI增高提示ACS患者不良预后风险增加

影像学指标中,2组在NOL、EVL及PT上的分布差异无统计学意义。但在DOS上,MACE组的SS患者比例显著高于非MACE组(20.37% *vs* 10.62%,*P*<0.001)。MACE组的FAI显著高于非MACE组[(−80.12±6.41) HU *vs* (−72.34±7.09) HU,*t*=9.669,P<0.001],FPI也同样显著升高[(0.58±0.41) *vs* (0.26±0.12),*t*=10.818,*P*<0.001]。2组间的CT-FFR值无显著差异(*P*=0.273),见表2。

2.3 HDL-C与miR-126水平降低、sST2水平升高与MACE发生相关

实验室指标显示,2组在TC、LDL-C及TG水平上均差异无统计学意义。MACE组的HDL-C水平高于非MACE组[(1.20±0.15) mmol/L *vs* (1.09±0.16) mmol/L,*P*<0.001]。MACE组的miR-126表达水平显著下调(0.91±0.12 *vs* 0.96±0.15,*P*=0.002),而sST2水平则显著升高[(38.45±5.67) ng/mL *vs* (34.30±4.89) ng/mL,*P*<0.001],见表3。

2.4 FAI、FPI、miR-126降低及sST2升高对ACS患者预后的独立预测价值

对ACS患者预后的预测价值进行多因素Logistic回归分析,结果显示,中度狭窄程度(*OR*=1.332,95%*CI*:1.024~1.859)、重度狭窄程度(*OR*=1.480, 95%*CI*:1.074~2.039)、FAI(*OR*=1.200, 95%*CI*:1.136~1.268)、FPI(*OR*=63.157, 95%*CI*:14.126~282.374)和miR-12(*OR*=0.007, 95%*CI*:0.001~0.077)、sST2(*OR*=1.192, 95%*CI*:1.113~1.277)与ACS患者预后独立相关(*P*<0.05,表4)。

表2 MACE组与非MACE组冠状动脉的CCTA指标比较[$\bar{x}\pm s$,例(%)]

Table 2 Comparison of CCTA indexes of coronary artery between the MACE group and non-MACE group in ACS patients[$\bar{x}\pm s$, n(%)]

Factors	MACE Group(n=108)	Non-MACE Group(n=226)	t/χ^2	P
Number of lesions			0.006	0.936
Single lesion	54(48.15)	112(49.56)		
Multiple lesion	54(51.85)	114(50.44)		
Degree of stenosis			28.368	<0.001
NS	0	0		
MinS	12(11.11)	78(34.51)		
MilS	38(35.19)	62(27.43)		
MS	36(33.33)	52(23.01)		
SS	22(20.37)	24(10.62)		
Occl	0	0		
Extent of vascular lesions			4.722	0.094
Lcalized lesion	36(33.33)	102(45.13)		
Segmental lesion	50(46.30)	80(35.40)		
Diffuse lesion	22(20.37)	44(19.47)		
Plaque type			3.774	0.151
NCP	32(29.63)	86(38.05)		
CP	58(53.70)	96(42.48)		
MP	18(16.67)	44(19.47)		
FAI/HU	−80.12±6.41	−72.34±7.09	9.669	<0.001
FPI	0.58±0.41	0.26±0.12	10.818	<0.001
CT-FFR	0.78±0.26	0.75±0.22	1.097	0.273

表3 ACS患者MACE组与非MACE组的实验室检测指标比较($\bar{x}\pm s$)

Table 3 Comparison of laboratory test indicators between the MACE group and non-MACE group of ACS patients ($\bar{x}\pm s$)

Factors	MACE Group(n=108)	Non-MACE Group(n=226)	t/χ^2	P
TC/(mmol/L)	4.65±0.28	4.59±0.26	1.923	0.055
LDL/(mmol/L)	2.67±0.77	2.70±0.75	0.339	0.734
HDL-C/(mmol/L)	1.20±0.15	1.09±0.16	5.995	<0.001
triglyceride/(mmol/L)	1.77±0.18	1.81±0.20	1.764	0.078
miR-126	0.91±0.12	0.96±0.15	3.030	0.002
sST2/(ng/mL)	38.45±5.67	34.30±4.89	6.882	<0.001

表4 影响ACS患者预后的预测价值多因素Logistic回归分析

Table 4 Predictive value of factors influencing prognosis of ACS patients by multivariate logistic regression analysis

Factors	*B*	*SE*	*Wald*	*P*	*OR*	95%*CI*
DOS(mild)	0.112	0.184	1.371	0.541	0.947	0.484~1.853
DOS(moderate)	0.283	0.197	2.066	0.039	1.332	1.024~1.859
DOS(severe)	0.392	0.164	5.749	0.017	1.480	1.074~2.039
FAI	0.182	0.028	42.431	0.001	1.200	1.136~1.268
FPI	4.146	0.764	29.436	0.001	63.157	14.126~282.374
miR-126	-5.002	1.244	16.170	0.001	0.007	0.001~0.077
sST2	0.175	0.035	25.030	0.001	1.192	1.113~1.277

表5 FAI、FPI对ACS患者预后的预测价值

Table 5 Predictive value of FAI and FPI for prognosis of ACS patients

Factors	AUC	OCV	95%*CI*	*P*	Spe	Sen	YI
DOS	0.622	1.500	0.561~0.683	0.001	0.619	0.537	0.156
FAI	0.790	76.410	0.741~0.839	0.001	0.704	0.739	0.443
FPI	0.716	0.325	0.643~0.788	0.001	0.615	0.685	0.300
miR-126	0.646	1.005	0.584~0.707	0.001	0.668	0.639	0.307
sST2	0.700	35.330	0.638~0.761	0.001	0.571	0.704	0.275

2.5 FAI、FPI对ACS患者预后的ROC曲线

多因素分析进一步显示,在调整传统危险因素后,FAI、FPI为MACE的独立预测因素,且ROC曲线显示FAI的AUC高于FPI及sST2。结合最佳截断值(FAI=76.410 HU,FPI=0.325),当FAI>76.410 HU且FPI>0.325时,患者术后MACE风险显著增加(灵敏度0.739,特异度0.704)。见表5、图2。

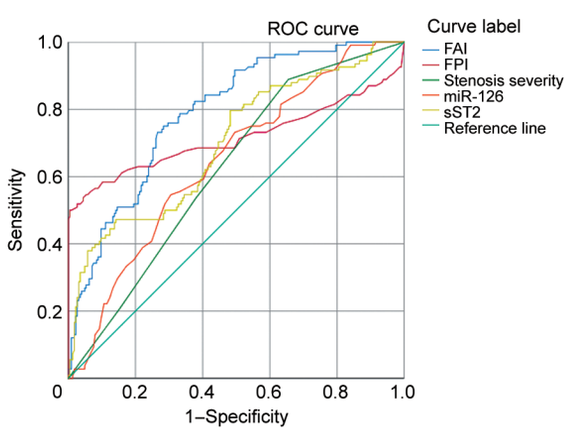


图2 FAI、FPI对ACS患者预后的ROC曲线

Figure 2 ROC curve of FAI and FPI for prognosis of ACS patients

3 讨论

3.1 FAI增高反映冠脉周围脂肪炎症,与ACS患者不良预后相关

本研究聚焦于FAI和FPI对ACS患者预后的预测价值,结果显示,334例患者中有32.34%预后不良,且FAI、FPI、狭窄程度、miR-126、sST2等是ACS患者预后的独立影响因素。这一结果具有重要的临床意义,为临床医生评估ACS患者预后提供了关键的量化指标。

3.2 FAI与FPI增高是ACS患者MACE的独立预测因素

本研究核心结果显示,FAI和FPI是ACS患者术后发生MACE的独立预测因素,FPI的OR值高达63.157(95%*CI*:14.126~282.374),这一发现为ACS患者的风险分层提供了新的量化指标。MACE组患者的FAI和FPI水平均显著高于非MACE组,FAI的AUC优于传统指标。机制上,FAI升高反映炎症活跃,FPI升高提示纤维斑块不稳定,二者共同构成预后评估关键量化指标。

FAI升高反映冠状动脉周围脂肪组织炎症活跃,其释放TNF-α、IL-6等炎症因子,促进动脉粥样硬化,降低斑块稳定性,使其更易破裂引发ACS[10]。本研究中,MACE组FAI显著更高,表明其升高不仅与ACS发生相关,还会对患者的预后产生负面影响。临床可通过监测FAI早期识别高风险患者,采取强化抗炎治疗等干预措施[11]。FPI是反映纤维斑块稳定性的指标。高FPI表明动脉粥样硬化病变严重,纤维斑块数量增多且不稳定。纤维斑块虽然相对较硬,但在血流动力学变化、炎症刺激等因素作用下,仍可能破裂[13-14],进而引发血栓形成和急性心血管事件。因此,FPI可辅助判断病变严重程度和斑块稳定性,对高FPI患者需加强抗血小板治疗与监测[15]。此外,本研究结果显示,FPI是ACS患者不良预后的强效独立预测因子

(*OR*=63.157)。这一发现与既往认知的差异可能源于以下机制:高FPI斑块(>0.75)虽纤维成分占比高,但AI影像分析显示其纤维结构异质性显著(82.6%胶原紊乱,68.4%位于分叉处),且伴炎症(MMP-9/TIMP-1失衡)和微钙化(52.9%),导致斑块易损。提示斑块稳定性需综合结构、炎症及血流动力学评估。

3.3 糖尿病、左主干病变及PCI失败增加ACS患者MACE发生风险

与既往研究相比,本研究结果兼具一致性与独特性。多数研究认可高血压、糖尿病等传统危险因素的重要性,本研究中糖尿病在2组间差异有统计学意义,左主干病变、手术效果不佳亦为预后不良的重要危险因素,但多因素分析显示其预测效能弱于FAI(AUC=0.790)和FPI(AUC=0.716),提示新型影像指标在风险分层中具有补充价值。因样本量等差异,不同研究对FAI和FPI预测价值的评估有别,本研究通过334例接受PCI治疗的ACS患者分析,更精准确定了二者在该人群中的预测价值[16-17]。

3.4 miR-126降低与sST2升高协同影像学指标增强ACS预后评估价值

HDL-C、miR-126、sST2及狭窄程度与FAI、FPI共同参与ACS预后评估,但核心预测价值仍以FAI、FPI为主。

本研究证实miR-126下调是MACE的独立预测因素。这一发现与既往研究一致,提示miR-126通过调节VEGF信号通路影响内皮修复功能[18]。其预测价值(AUC=0.646)虽不及FAI,但可作为内皮功能障碍的敏感指标,对指导内皮保护治疗具有潜在价值[19]。狭窄程度作为传统指标,其与预后的关联机制明确:严重狭窄导致心肌供血不足,诱发代谢紊乱与心功能损伤,同时血流动力学异常增加斑块破裂风险[20]。本研究证实其为独立预测因素(中度狭窄*OR*=1.332,重度狭窄*OR*=1.480),但预测效能弱于FAI、FPI,临床需结合影像指标优化血运重建决策。FAI影响ACS患者预后的机制主要与炎症反应和斑块稳定性相关[21]。冠状动脉周围脂肪组织是一个活跃的代谢器官,FAI升高会使脂肪组织中巨噬细胞浸润增加,释放TNF-α、IL-6等炎症因子,直接损伤血管内皮、促进脂质沉积和斑块形成,还会激活炎症细胞加剧斑块内炎症,导致纤维帽变薄,增加破裂风险[22];ACS发生后,持续炎症会阻碍心肌修复,升高心律失常、心力衰竭等并发症风险。FPI反映了纤维斑块的稳定性,高FPI意味着纤维斑块数量多且不稳定。这类斑块虽硬,但在血流动力学和炎症刺激下可能破裂,暴露促凝物质激活血小板,形成血栓堵塞冠状动脉;同时,纤维斑块积累会让血管壁僵硬、弹性下降,影响心脏射血和血压调节,加重心脏负担,对ACS患者预后不利[23]。sST2作为心肌纤维化和心肌重构的标志物,其水平变化能反映心肌的病理状态。ACS患者中其水平升高可能意味着心肌纤维化和重构更严重,影响心脏功能,导致不良预后。提示可将其纳入预后评估体系,对升高者加强监测干预,以改善预后、降低心血管事件风险。

本研究存在一定局限性:①本研究为回顾队列研究,虽经严格纳排标准减少混杂因素,仍难避选择偏倚,如研究对象仅为接受PCI治疗的ACS患者,结果在其他治疗方式或未血运重建患者中代表性不足;②样本量较小,可能无法涵盖所有临床特征和病理类型,影响结果普遍性与可靠性;③仅随访术后1年,对长期预后评估有限,无法明确FAI、FPI等指标的长期影响;④未深入探讨各因素间相互作用机制,需进一步研究明确[24]。

综上所述,本研究回顾性分析334例接受PCI治疗的ACS患者,发现FAI和FPI是其预后的重要独立影响因素,对风险分层和治疗策略制定意义重大,临床可纳入常规评估体系。同时发现狭窄程度、miR-126、sST2等与预后密切相关,未来需探索干预这些因素的方法,以改善患者预后。

利益冲突 本文所有作者声明不存在利益冲突

参考文献:

[1] ADAMO M, PAGNESI M, MEBAZAA A, *et al*. NT-proBNP and high intensity care for acute heart failure: the STRONG-HF trial[J]. Eur Heart J, 2023, 44(31): 2947-2962. DOI: 10.1093/eurheartj/ehad335.

[2] RAO SV, O'DONOGHUE ML, RUEL M, *et al*.2025 ACC/AHA/ACEP/NAEMSP/SCAI Guideline for the Management of Patients With Acute Coronary Syndromes: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines[J]. J Am Coll Cardiol, 2025, 85(22): 2135-2237. DOI: 10.1016/j.jacc.2024.11.009.

[3] 毛琦, 项朝君, 王玉清, 等. 单核细胞与高密度脂蛋白胆固醇的比值影响非ST段抬高型急性冠脉综合征预后[J]. 第三军医大学学报, 2019, 41(5): 454-460. DOI: 10.16016/j.1000-5404.201810137.
MAO Q, XIANG C J, WANG Y Q, *et al*. Effect of ratio of monocyte to high-density lipoprotein cholesterol on prognosis of patients with non-ST-segment elevation acute coronary syndrome[J]. J Third Mil Med Univ, 2019, 41(5): 454-460. DOI: 10.16016/j.1000-5404.201810137.

[4] SI N, SHI K, LI N, *et al*. Identification of patients with acute myocardial infarction based on coronary CT angiography: the value of pericoronary adipose tissue radiomics[J]. Eur Radiol, 2022, 32(10): 6868-6877. DOI: 10.1007/s00330-022-08812-5.

[5] 颜红兵.重释有创策略 重视出血风险--我看欧洲心脏病学会2023年版急性冠状动脉综合征管理指南[J].中国介入心脏病学杂志,2023,31(9):650-653. DOI:10.3969/j.issn.1004-8812.2023.09.002.

[6] ZHAI Y, SHANG H C, 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. DOI: 10.3389/fphys.2025.1514585.

[7] AZADANI P N, MILLER R J H, SHARIR T, *et al*. Impact of early revascularization on major adverse cardiovascular events in relation to automatically quantified ischemia [J]. JACC Cardiovasc Imag, 2021, 14(3): 644-653. DOI: 10.1016/j.jcmg.2020.05.039.

[8] BAGYAWANTHA N M Y, COOMBES I D, GAWARAMMANA I, *et al*. Impact of a clinical pharmacy intervention on medication adherence and the quality use of medicines in patients with acute coronary syndrome: a single centre nonrandomised controlled clinical trial [J]. J Pharm Policy Pract, 2025, 18(1): 2468782. DOI: 10.1080/20523211.2025.2468782.

[9] YU Y, KOU J L, GUO F Q, *et al*. Prognostic value of CT-derived fractional flow reserve and fat attenuation index in patients with suspected coronary artery disease: a sex-disaggregated analyses [J]. BMC Cardiovasc Disord, 2023, 23(1): 612. DOI: 10.1186/s12872-023-03650-9.

[10] LIU C Y, TANG C X, ZHANG X L, *et al*. Deep learning powered coronary CT angiography for detecting obstructive coronary artery disease: The effect of reader experience, calcification and image quality [J]. Eur J Radiol, 2021, 142: 109835. DOI: 10.1016/j.ejrad.2021.109835.

[11] KATSIOUPA M, KOURAMPI I, OIKONOMOU E, *et al*. Novel biomarkers and their role in the diagnosis and prognosis of acute coronary syndrome [J]. Life (Basel), 2023, 13(10): 1992. DOI: 10.3390/life13101992.

[12] ZHANG R Z, JU Z G, LI Y Y, *et al*. Pericoronary fat attenuation index is associated with plaque parameters and stenosis severity in patients with acute coronary syndrome: a cross-sectional study [J]. J Thorac Dis, 2022, 14(12): 4865-4876. DOI: 10.21037/jtd-22-1536.

[13] SEKIMOTO T, MORI H, KOBA S, *et al*. Clinical features and lipid profiles of plaque erosion over lipid-rich plaque versus fibrous plaque in patients with acute coronary syndrome [J]. Atherosclerosis, 2022, 360: 47-52. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2022.07.008.

[14] FAHED A C, JANG I K. Plaque erosion and acute coronary syndromes: phenotype, molecular characteristics and future directions [J]. Nat Rev Cardiol, 2021, 18(10): 724-734. DOI: 10.1038/s41569-021-00542-3.

[15] WU J J, YANG D W, ZHANG Y Q, *et al*. Non-invasive imaging innovation: FFR-CT combined with plaque characterization, safeguarding your cardiac health [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2025, 19(1): 152-158. DOI: 10.1016/j.jcct.2024.08.008.

[16] LI L L, TANG J, FANG P Y, *et al*. Evaluation of pericoronary fat attenuation index to better identify culprit lesions in acute coronary syndrome according to stenosis severity [J]. J Comput Assist Tomogr, 2025, 49(1): 93-100. DOI: 10.1097/RCT.0000000000001661.

[17] WANG C, TIAN X Q, FENG X, *et al*. Pancoronary plaque characteristics and clinical outcomes in acute coronary syndrome patients with cancer history [J]. Atherosclerosis, 2023, 378: 117118. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2023.03.023.

[18] SANTOVITO D, EGEA V, BIDZHEKOV K, *et al*. Autophagy unleashes noncanonical microRNA functions [J]. Autophagy, 2020, 16(12): 2294-2296. DOI: 10.1080/15548627.2020.1830523.

[19] BHERI S, BROWN M E, PARK H J, *et al*. Customized loading of microRNA-126 to small extracellular vesicle-derived vehicles improves cardiac function after myocardial infarction [J]. ACS Nano, 2023, 17(20): 19613-19624. DOI: 10.1021/acsnano.3c01534.

[20] MELOY P, RUTZ D, BHAMBRI A. 3rd-degree atrioventricular block [J]. J Educ Teach Emerg Med, 2022, 7(2): O1-O28. DOI: 10.21980/J8NP9S DOI: 10.21980/J8NP9S.

[21] HUANG M G, HAN T T, NIE X, *et al*. Clinical value of perivascular fat attenuation index and computed tomography derived fractional flow reserve in identification of culprit lesion of subsequent acute coronary syndrome [J]. Front Cardiovasc Med, 2023, 10: 1090397. DOI: 10.3389/fcvm.2023.1090397.

[22] JIANG J T, ZENG H S, ZHUO Y, *et al*. Association of neutrophil to lymphocyte ratio with plaque rupture in acute coronary syndrome patients with only intermediate coronary artery lesions assessed by optical coherence tomography [J]. Front Cardiovasc Med, 2022, 9: 770760. DOI: 10.3389/fcvm.2022.770760.

[23] YAN H H, YAO W J, YANG Q, *et al*. Association between malnutrition and coronary plaque characteristics in patients with acute coronary syndrome: an optical coherence tomography study [J]. Rev Cardiovasc Med, 2023, 24(10): 303. DOI: 10.31083/j.rcm2410303.

[24] WITKOWSKA A, STACIWA M, DURAJ I, *et al*. Interleukin-33/sST2: Dynamic assessment in patients with acute coronary syndrome [J]. Adv Med Sci, 2023, 68(2): 195-201. DOI: 10.1016/j.advms.2023.05.001.

(收稿:2025-06-22;修回:2025-08-05)

(编辑 刘秋池)