

论 著

# CCTA斑块定量与冠周脂肪衰减指数评估心肌缺血的价值\*

刘冬梅<sup>1</sup> 李健<sup>1</sup> 贺丹<sup>2</sup>胡富碧<sup>3,\*</sup>

1.成都医学院第二附属医院·核工业四一六医院放射科(四川成都610050)

2.成都医学院第二附属医院·核工业四一六医院肿瘤科(四川成都610050)

3.成都医学院第一附属医院放射科(四川成都610500)

**【摘要】目的** 探讨基于CCTA斑块定量特征与斑块周围脂肪衰减指数(FAI)评估冠心病患者冠状动脉病变变心肌缺血的价值。**方法** 回顾性分析2017年1月至2022年12月因胸痛、胸闷等症于成都医学院第一附属医院和第二附属医院行CCTA检查并经临床诊断为CAD的222名患者资料。利用人工智能辅助诊断系统提取斑块定量特征、斑块周围FAI值和CT-FFR。根据病变血管CT-FFR $\leq$ 0.8分为缺血组和非缺血组。比较两组间各定量参数的差异,采用多因素Logistic回归分析影响心肌缺血的独立危险因素并构建预测模型,最后采用受试者工作特征曲线(ROC)评估模型的预测效能。**结果** 多因素二元logistic回归分析显示管腔狭窄程度(DS%)和FAI-lesion是冠脉病变变心肌缺血的独立危险因素。FAI-lesion和DS%的联合预测模型诊断效能最高(AUC=0.847,  $P<0.001$ ),其诊断准确度、灵敏度、特异度分别为80.1%、69.6%、86.5%。**结论** FAI-lesion和管腔狭窄程度(DS%)与冠状动脉病变变心肌缺血独立相关,联合能可靠反映缺血的存在,可能成为更早期预测冠脉缺血的新型影像学标记物。

**【关键词】** 冠状动脉计算机断层扫描血管造影; 心肌缺血; 血流储备分数; 斑块特征; 脂肪衰减指数

**【中图分类号】** R542.2

**【文献标识码】** A

**【基金项目】** 四川省科技厅科研课题(21YYJC1411)

**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2026.01.022

# The Value of CCTA Plaque Quantification and Pericoronary Fat Attenuation Index in Evaluating Myocardial Ischemia\*

LIU Dong-mei<sup>1</sup>, LI Jian<sup>1</sup>, HE Dan<sup>2</sup>, HU Fu-bi<sup>2,\*</sup>.

1.Department of Radiology,the 2nd Affiliated Hospital of Chengdu Medical College, Nuclear Industry 416 Hospital, Chengdu 610050, Sichuan Province, China

2.Department of Oncology, the 2nd Affiliated Hospital of Chengdu Medical College, Nuclear Industry 416 Hospital, Chengdu 610050, Sichuan Province, China

3.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Chengdu Medical College, Chengdu 610050, Sichuan Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To explore the value of predicting coronary artery lesion-specific ischemia in patients with coronary heart disease based on CCTA plaque quantitative characteristics and peri-plaque fat attenuation index (FAI). **Methods** A retrospective analysis was conducted on the data of 222 patients who underwent CCTA examinations at the First Affiliated Hospital and the Second Affiliated Hospital of Chengdu Medical College from 2017.01 to 2022.12 due to chest pain, chest tightness and other symptoms and were clinically diagnosed with CAD. The artificial intelligence-assisted diagnosis system was used to extract quantitative features of plaques, FAI values around plaques, and CT-FFR. According to the lesion vessel CT-FFR $\leq$ 0.8, they were divided into ischemic group and non-ischemic group. The differences in quantitative parameters between the two groups were compared, and multifactor logistic regression was used to analyze the independent risk factors affecting myocardial ischemia and a prediction model was constructed. Finally, the receiver operating characteristic curve (ROC) was used to evaluate the prediction performance of the model. **Results** Multivariate binary logistic regression analysis showed that the degree of luminal stenosis (DS%) and FAI-lesion were independent risk factors for coronary artery lesion myocardial ischemia. The joint prediction model of FAI-lesion and DS% has the highest diagnostic efficiency (AUC=0.847,  $P<0.001$ ), and its diagnostic accuracy, sensitivity, and specificity are 80.1%, 69.6%, and 86.5% respectively. **Conclusion** FAI-lesion and degree of luminal stenosis (DS%) are independently related to coronary artery lesion-specific ischemia. Their combination can reliably reflect the presence of ischemia and may become a new imaging marker for early prediction of coronary ischemia.

**Keywords:** Coronary Computed Tomography Angiography; Myocardial Ischemia; Fractional Flow Reserve; Plaque Characteristics; Fat Attenuation Index

冠状动脉疾病(coronary artery atherosclerotic disease, CAD)是冠状动脉血管发生动脉粥样硬化病变而引起血管腔狭窄或阻塞,造成心肌缺血、缺氧或坏死而导致的心脏病,是心肌缺血性心源性死亡的最主要原因之一<sup>[1]</sup>。冠状动脉血管成像(coronary CT angiography, CCTA)已成为冠心病首选的无创性影像技术,具有很高的灵敏度和阴性预测值<sup>[2]</sup>。与有创冠状动脉造影血流储备分数(ICA-FFR)相比,CT-FFR操作简单、成本低,安全性高,CT-FFR诊断准确度与有创冠状动脉造影(ICA)的FFR相当,可用于血管特异性缺血的诊断,并指导进一步干预或血运重建<sup>[3]</sup>。冠周脂肪组织(Peri-coronary adipose tissue, PCAT)是紧邻冠状动脉的特殊类型脂肪组织,能够与冠状动脉管壁的进行双向信号传递,参与调节血管炎症,斑块周围脂肪的炎症会直接影响冠状动脉斑块的形成和稳定性,因此,PCAT的密度是冠状动脉炎症新的替代指标<sup>[4]</sup>。通过基于CCTA的血管周围脂肪衰减指数(fat attenuation index, FAI)可以量化PCAT的组成变化,该指数被认为是无创检测冠状动脉炎症更具代表性的生物标记物,并与冠状动脉不良事件密切相关,多个研究<sup>[5-6]</sup>表明冠周FAI值与FFR值有关。

因此,本研究目的是通过探讨FAI-lesion对缺血的预测价值,从而进一步研究FAI-lesion是否能成为一种早期量化反映斑块发生发展过程中局部微环境炎症对缺血事件发生作用机制的影像生物标记物,提供一种更早期预测未来缺血的方法。

## 1 材料与方法

**1.1 研究人群** 本研究属于回顾性研究,经单位伦理委员会批准免除患者知情同意书。回顾性分析2017年1月至2022年12月因胸痛、胸闷等疑似冠心病症状就诊于成都医学院第一附属医院和第二附属医院行CCTA检查的1480例患者的临床及影像资料。

**纳入标准:** (1)临床怀疑CAD并行CCTA检查;(2)冠脉三大主支至少有一支存在斑块且狭窄程度在50%以上。排除标准:(1)临床资料不完整;(2)CTTA图像质量差,影响斑块分析、CT-FFR和FAI测量;(3)有心肌桥血管;(4)既往有其他心血管疾病如心肌病、瓣膜病等;(5)既往存在心脏和冠状动脉手术病史如冠脉支架植入术或冠脉旁路移植术等。

**1.2 CCTA检查方法** 所有CCTA扫描均符合推荐指南<sup>[7]</sup>,使用128排螺旋CT并采用心电门控技术进行触发扫描。范围为气管分叉以下1厘米至心尖部所有层面。

**【第一作者】** 刘冬梅,女,主治医师,主要研究方向:老年代谢性疾病。E-mail: 971207615@qq.com

**【通讯作者】** 胡富碧,男,副主任医师,主要研究方向:临床放射学。E-mail: Hufubi@yahoo.cn

扫描参数：管电压120 kV，管电流57 mAs-86 mAs，螺距0.18，层厚为0.75mm-3.0mm，层间距0 mm，FOV 180mm×180mm/145mm×145mm，机架旋转时间0.3s，重建矩阵512×512。以4.5-5.0ml/s流率注射非离子型碘对比剂(350mg/mL) 0.8ml/kg，随后以相同流率推注生理盐水40mL。设置主动脉根部管腔内1cm<sup>3</sup>为动态监测区，当CT值达到110HU时自动触发扫描。所有患者检查前，均需签署增强检查知情同意书。

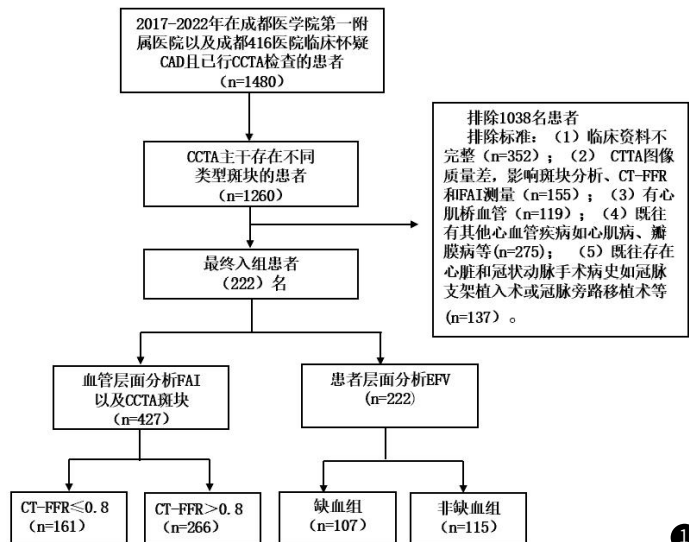


图1 研究设计路线。

**1.3 图像分析及数据后处理** 图像传输至AI数坤软件后处理平台，本研究冠状动脉斑块的评估包括斑块部位、管腔狭窄程度、斑块长度、斑块体积、斑块类型、斑块脂质成分体积、高危斑块。参照2014年SCCT(美国心血管CT学会)命名准则进行冠状动脉分段为18段以及狭窄程度分级<sup>[8]</sup>。斑块类型分为非钙化、混合及钙化斑块。高危斑块特征包含点状钙化、餐巾环征、正性重塑、低衰减斑，含其中两种及以上特征为高危斑块。

FAI-lesion值为管腔最狭窄处斑块周围的FAI值，测量外扩半径与同层面血管径一致，范围与斑块长度一致。

CT-FFR以CCTA图像为基础，采用计算流体力学(CFD)技术，模拟冠状动脉血流动力学特点，得到的参数计算FFR值。计算最远斑块远端2cm处的FFR值；若斑块远端2cm处直径<1.5mm，则计算1.5mm处FFR值。识别错误时需人工校正。

心外膜脂肪体积(EFV)测量使用3Dslicer5.0.3软件，逐层勾画主动脉分叉处至心尖心包内CT值为-190至-30HU范围内的所有脂肪体素。

上述所有测值由一名有10年以上放射诊断经验的医生完成，两周后再随机选取其中50名患者，由同一名医生及另一名20年放射诊断经验的医生独立进行复测。参数测量(图2)。

**1.4 统计分析** 统计软件使用SPSS26.0及MedCalc。正态分布的数据用( $\bar{x} \pm s$ )表示，独立样本用T检验行组间比较。非正态分布的数据，用Mann-Whitney U检验行组间比较。分类变量用卡方检验行组间比较。利用ICC对测量重复性进行评估。采用Logistic回归分析各参数与缺血之间的相关性并构建预测模型，利用ROC曲线评估各模型诊断效能；DeLong检验比较各模型的AUC。P<0.05为差异有统计学意义。

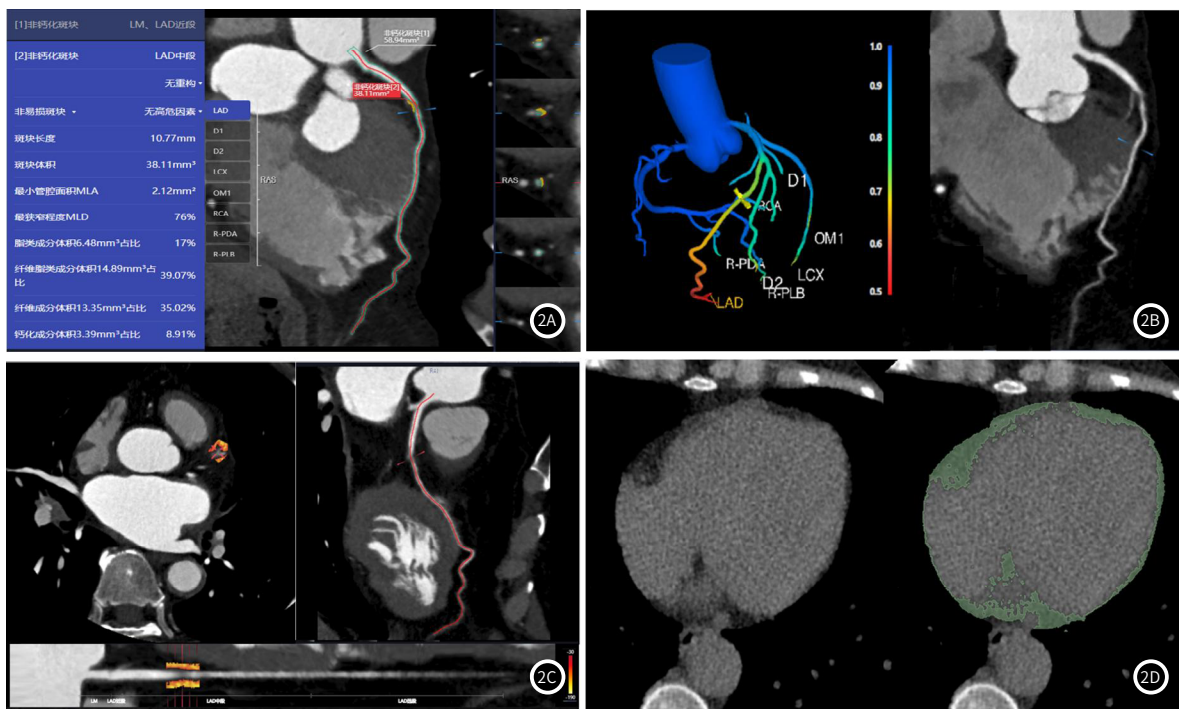


图2 图像分析及数据测量示意图。2A: CCTA斑块定量参数测量，软件自动识别并标注出斑块，同时显示斑块类型、斑块位置、斑块的长度、斑块的体积、最狭窄管腔面积、狭窄率和各斑块成分体积以及占比。2B: CT-FFR测量，为斑块远端2cm处CT-FFR值。2C: FAI-lesion值测量，测量长度与斑块长度一致，外扩半径与同层面管腔直径相等。2D: 心外膜脂肪体积测量阈值设置为-190HU至-30HU，逐层勾画并调整ROI为心包内(绿色部分)。

## 2 结果

**2.1 临床基线信息** 最终符合纳入和排除标准的患者222例(平均年龄68.8 ± 10.65岁)(图1)，其中男性126例(56.8%)，共427支血管入组，LAD201支(47.1%)、LCX86支(20.1%)、RCA140支(32.8%)。总队列中，高血压、糖尿病、高血脂、吸烟和CAD家族史患者数量分别为155(69.8%)、101(45.5%)、104(47.3%)、73(32.9%)和24(10.8%)。根据CT-FFR值分为CT-FFR≤0.8组(缺血组，n=161)和CT-FFR>0.8组(非缺血组，n=266)。

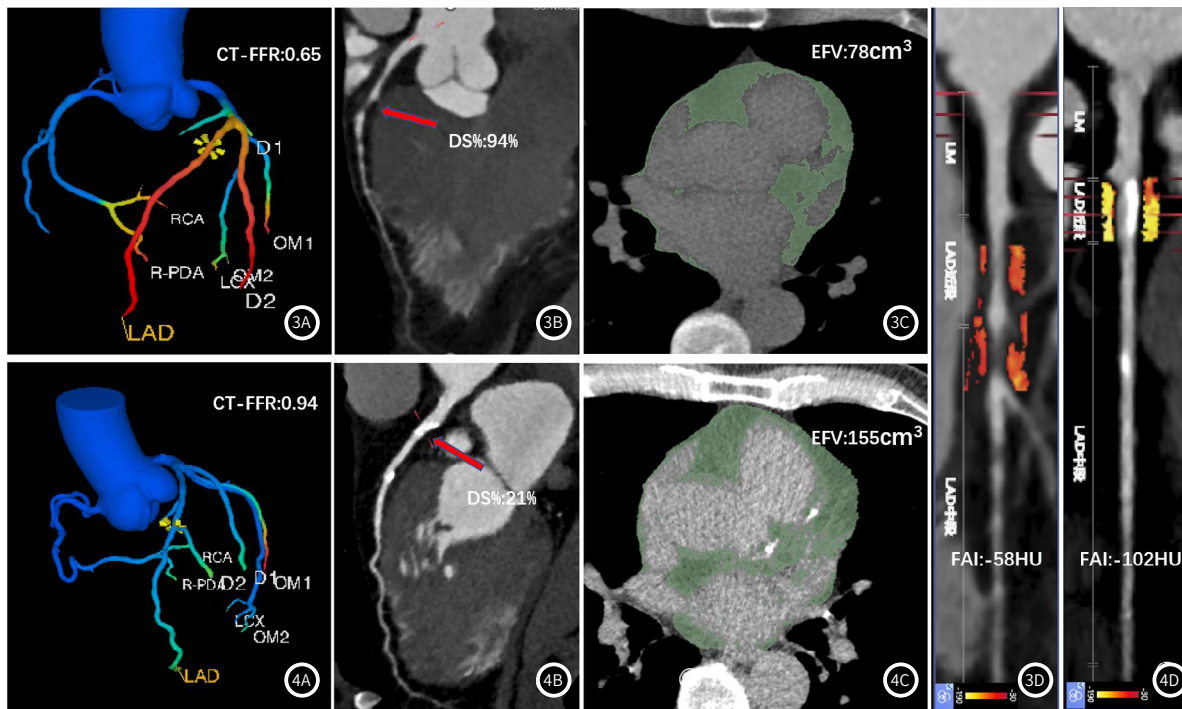
**2.2 组间各参数差异性与相关性** 两组间患者的年龄、性别及吸烟史存在显著差异性(P<0.05)(表1)。在血管层面，管腔狭窄率、斑块长度、斑块总体积、脂质斑块体积、最小管腔面积在缺血组的值均大于非缺血组，高危斑块及高危斑块特征数量在缺血组高于非缺血组，差异均存在统计学意义(所有P<0.05)；同样FAI-lesion值在缺血组大于非缺血组(-70.76 ± 10.60HU VS -76.86 ± 10.85HU, P<0.001)。(表2，图3~4)。

单因素及多因素logistic回归分析示，管腔狭窄率(OR=1.060,95%CI:1.046~1.074)及FAI-lesion值(OR=1.058,95%CI: 1.032~1.085)均是影响冠状动脉斑块特异性缺血的独立危险因素(P<0.001)。(表3)

**2.3 DS%、FAI-lesion在冠状动脉缺血中的诊断效能** ROC分析(图5)显示基于CCTA的DS%、FAI-lesion、DS%+FAI-lesion预测冠状动脉斑块特异性缺血的诊断效能分别为0.835、0.668、0.847，其中联合模型诊断效能最高，但较单独DS%诊断效能差异无统计学意义(P=0.2259)，其诊断特异度、准确度、敏感度分别为86.5%、80.1%、69.6%(表4)。

**表1 临床基线资料比较**

	缺血组 (n=107)	非缺血组 (n=105)	P值
患者			
年龄(Y)	70.5±10.5	67.31±10.6	0.015
男n(%)	74(69.2)	52(45.2)	<0.001
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	24.27±3.0	23.69±3.14	0.281
CAD传统危险因素(%)			
高血压n(%)	77(72.0)	78(67.8)	0.502
糖尿病n(%)	52(48.6)	49(42.6)	0.371
高血脂n(%)	50(46.7)	54(47.0)	0.973
吸烟n(%)	43(40.2)	30(26.1)	0.025
心血管疾病家族史n(%)	11(10.3)	13(11.3)	0.806

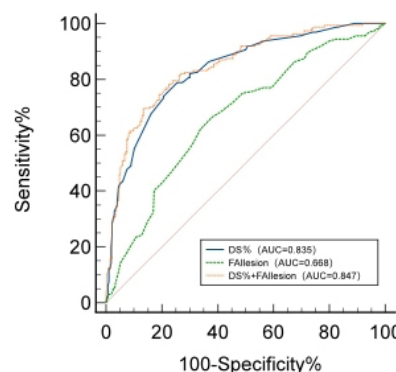


**图3~4** 两名有代表性的案例。3A~3D: 61岁女性患者,CT-FFR<0.8, LAD近段存在非钙化斑块, DS%为94%, FAI-lesion为-58HU, EFV为78cm<sup>3</sup>。4A~4D: 71岁男性患者,CT-FFR>0.8, LAD存在多发钙化斑块, DS%为21%, FAI-lesion为-120HU, EFV为155cm<sup>3</sup>。该两名代表性案例显示, 缺血患者, 管腔狭窄率更高、FAI-lesion值升高, 但EFV并不一定增大。

**表2 斑块各参数组间差异性比较**

参数	Total	CT-FFR≤0.8(n=161)	CT-FFR>0.8(n=266)	P值
管腔狭窄程度(%)	40.88(20, 56)	56(50, 76)	25(19, 50)	<0.001
斑块长度(mm)	7.91(4.03, 9.75)	7.81(5.04, 12.27)	5.97(3.52, 8.20)	<0.001
斑块总体积(mm <sup>3</sup> )	21.28(3.36, 27.35)	22.45(6.18, 37.84)	8.84(2.51, 35.93)	<0.001
脂质斑块体积(mm <sup>3</sup> )	2.61(0, 2.97)	1.45(0.03, 4.58)	0.06(0, 1.71)	<0.001
管腔最小面积(mm <sup>2</sup> )	2.3(0.8, 3.26)	2.09(0.82, 3.89)	1.65(0.73, 2.91)	0.031
高危斑块特征				
低衰减斑块(%)	224(52.5)	105(65.2)	119(44.7)	<0.001
点状钙化(%)	35(8.2)	1(0.6)	34(12.8)	<0.001
正性重构(%)	72(16.9)	37(23)	35(13.2)	0.009
餐巾环征(%)	29(6.8)	18(11.3)	11(4.1)	0.005
高危斑块(%)	58(13.6)	32(20)	26(9.8)	0.003
FAI-lesion值(HU)	-74.56±11.14	-70.76±10.60	-76.86±10.85	<0.001

注: FAI-lesion值为斑块冠周脂肪衰减指数。



**图5** DS%、FAI-lesion、DS%+FAI-lesion对缺血诊断效能的ROC曲线。

**表3 CCTA斑块定量特征及FAI单多因素回归分析**

参数	单因素 logistic回归分析			多因素logistic回归分析		
	B	OR值(95%CI)	P值	B	OR值(95%CI)	P值
斑块长度	0.115	1.122(1.076~1.170)	<0.001	0.039	1.040(0.966-1.120)	0.297
斑块总体积	0.020	1.021(1.012~1.030)	<0.001	-0.03	0.997(0.985-1.010)	0.671
脂质成分体积	0.083	1.087(1.035~1.140)	0.001	-0.010	0.990(0.932-1.052)	0.743

高危斑块	0.828	2.290(1.308~4.009)	0.004	-0.128	0.879(0.415-1.862)	0.737
管腔狭窄率	0.059	1.060(1.048~1.072)	<0.001	0.058	1.060(1.046-1.074)	<0.001
最小管腔面积	0.135	1.144(1.030~1.271)	0.012	-0.007	0.993(0.903-1.092)	0.886
FAI-lesion	0.053	1.055(1.034~1.076)	<0.001	0.057	1.058(1.032-1.085)	<0.001

注: FAI-lesion值为斑块冠周脂肪衰减指数。

表4 DS%及FAI-lesion在冠脉缺血中的诊断效能

	截断值	AUC(95% CI)	敏感度(%)	特异度(%)	准确性(%)
FAI-lesion	-74	0.668(0.621~0.713)	66.5	62.0	63.5
DS%	49	0.835(0.797~0.869)	78.9	74.4	77.0
DS%+FAI-lesion	0.506	0.847(0.809~0.880)	69.6	86.5	80.1

注: DS%为CCTA冠状动脉管腔狭窄程度; FAI-lesion值为斑块冠周脂肪衰减指数。

### 3 讨论

冠脉周围脂肪衰减指数(FAI)是近年来CCTA的新型影像生物学指标,它能反应血管炎症状态,而动脉斑块的形成及进展与血管的炎症状态密切相关<sup>[9]</sup>,冠状动脉斑块是引起心肌缺血的重要因素。炎症血管释放炎性信号到血管周围脂肪组织,影响脂肪细胞从脂相向水相转化<sup>[10]</sup>,在CT图像上表现为衰减增加,因此可通过测量血管周围FAI值,反应炎症状态,从而间接反映斑块状态导致管腔狭窄性缺血的情况。

本研究结果发现CT-FFR $\leq$ 0.8的FAI-lesion值更高,FAI-lesion是冠脉缺血的独立预测因素,这与大多数研究<sup>[11-12]</sup>结果一致。Ma S<sup>[11]</sup>等人研究指出缺血组病变冠周FAI值高于非缺血组病变冠周FAI值,是斑块所致心肌缺血的独立预测因素。多个研究<sup>[14-15]</sup>结果也表明单独的病变特异性冠周FAI诊断效能不高,但与CCTA联合时,能显著提高狭窄的鉴别和在分类能力。因此,本研究将CCTA的DS%与FAI-lesion联合时,较单独DS%的诊断效能有所提高(AUC=0.847 vs 0.835),准确度和特异度明显提高,这与Yu M<sup>[16]</sup>及Yan<sup>[17]</sup>等人的研究结果一致。原因可能是,虽然冠脉动脉解剖学狭窄在预测血流动力学方面有较高的准确性,但狭窄还受其它诸多因素的影响,如血管内皮功能异常、微循环障碍等,因此存在冠脉解剖狭窄程度与血流动力学不吻合的情况,而FAI能补充反映上述情况,从而表明FAI-lesion可能从病理生理层面早期预测缺血<sup>[18]</sup>。

本研究结果EFV不能预测缺血,与多数研究结果一致<sup>[19-20]</sup>,但也有研究指出EFV可以预测FFR下降,导致这结果的不一致的原因可能与研究纳入人群、病变斑块类型及弥漫程度有关<sup>[21]</sup>。

本研究显示各斑块参数在组间差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),但不是缺血的危险因素( $P > 0.05$ ),在CT-FFR $\leq$ 0.8组斑块总体积、低衰减斑块成分体积、斑块长度、最小管腔面积值更大。但在预测缺血的研究中,结果不完全一致,原因可能与斑块自身的多变性有关,例如相似体积、长度的斑块可凸向腔内或腔外,从而引起不确定的管腔狭窄性缺血,一项多中心研究<sup>[22]</sup>可解释斑块特征在不同病变中预测价值存在多变性。本文研究选择的是管腔最狭窄处的斑块,所以狭窄率较其余斑块参数相对稳定。

多项研究均证实高危斑块和冠脉疾病严重程度成正相关,与本研究结果一致,但却不是缺血的独立危险因素。原因可能是,观察时间截点不同,上述多项研究是高危斑块特征可预测未来心肌缺血,但本文研究的是高危斑块诊断缺血的能力,目前存在高危斑块但无缺血的血管可能会在未来发生缺血。

本研究优点探讨的是斑块周围的FAI,更能反映斑块局部的炎症状态。局限性是回顾性研究以及未使用FFR作为金标准。

综上,FAI-lesion与缺血存在相关性,是预测斑块所致冠脉缺血的危险因素,在传统基于CCTA的DS%中加入FAI-lesion后,可提高诊断冠脉缺血的准确性、特异性,FAI-lesion可成为CCTA管腔狭窄率预测缺血的增量,可能成为更早期预测冠脉缺血的新型影像学标记物,为临床提早预防冠脉缺血提供帮助。

### 参考文献

- [1] Timmis A, Townsend N, Gale C P, et al. European Society of Cardiology: cardiovascular disease statistics 2019[J]. Eur Heart J, 2020, 41(1): 12-85.
- [2] 沈淑馨, 赵宗磊, 杜松, 等. 冠状动脉CT血管造影在提高中低危非ST段抬高型心肌梗死患者冠状动脉造影阳性率中的作用[J]. 中华医学杂志, 2020(41): 3255-3260.
- [3] 胡春洪, 张龙江, 陈灿. 人工智能在冠状动脉CT成像中的应用及展望[J]. 中华放射学杂志, 2023, 57(5): 453-456.
- [4] Mehta CR, Naem A, Patel Y. Cardiac computed tomography angiography in CAD risk stratification and revascularization planning[J]. Diagnostics, 2023; 13(18): 2902.
- [5] Raja J, Seitz M P, Yedlapati N, et al. Can computed fractional flow reserve coronary CT angiography (FFRCT) offer an accurate noninvasive comparison to invasive coronary angiography (ICA)? "The Noninvasive CATH," A Comprehensive Review[J]. Curr Probl Cardiol, 2021, 46(3): 100642.
- [6] Patel M R, Norgaard B L, Fairbairn T A, et al. 1-year impact on medical practice and clinical outcomes of FFR(CT): the ADVANCE registry[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2020, 13(1 Pt 1): 97-105.
- [7] Norgaard B L, Terkelsen C J, Mathiassen O N, et al. Coronary CT angiographic and flow reserve-guided management of patients with stable ischemic heart disease[J]. J Am Coll Cardiol, 2018, 72(18): 2123-2134.
- [8] Ihdahid A R, Norgaard B L, Gaur S, et al. Prognostic value and risk continuum of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary CT angiography[J]. Radiology, 2019, 292(2): 343-351.
- [9] 周茜洋, 唐春香, 张龙江, 等. 冠状动脉周围脂肪影像学的研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(3): 320-323.
- [10] Zhang WZ, Li PL, Gao Y, et al. Relationships between the coronary fat attenuation index for patients with heart-related disease measured automatically on coronary computed tomography angiography and coronary adverse events and degree of coronary stenosis[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13(12): 8218-8229.
- [11] Zhao N, Gao Y, Xu B, et al. CT-FFR vs a model of combined plaque characteristics for identifying ischemia: results from CT-FFR CHINA trial[J]. Eur J Radiol, 2021, 138: 109634.
- [12] Hoshino M, Yang S, Sugiyama T, et al. Peri-coronary inflammation is associated with findings on coronary computed tomography angiography and fractional flow reserve[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2020, 14(6): 483-489.
- [13] Ma S, Chen X, Ma Y, et al. Lesion-specific peri-coronary fat attenuation index is associated with functional myocardial ischemia defined by abnormal fractional flow reserve[J]. Front Cardiovasc Med, 2021, 8: 755295.
- [14] Halliburton S S, Abbara S, Chen M Y, et al. SCCT guidelines on radiation dose and dose-optimization strategies in cardiovascular CT[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2011, 5(4): 198-224.
- [15] 史东星, 王道清, 张卉, 等. CCTA技术下斑块定量分析预测冠心病患者斑块进展的价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(2): 73-75.
- [16] Yu M, Dai X, Deng J, et al. Diagnostic performance of perivascular fat attenuation index to predict hemodynamic significance of coronary stenosis: a preliminary coronary computed tomography angiography study[J]. Eur Radiol, 2020, 30(2): 673-681.
- [17] Yan H, Zhao N, Geng W, et al. Pericoronary fat attenuation index and coronary plaque quantified from coronary computed tomography angiography identify ischemia-causing lesions[J]. International Journal of Cardiology, 2022, 357: 8-13.
- [18] Shaw L J, Blankstein R, Bax J J, et al. Society of Cardiovascular Computed Tomography / North American Society of Cardiovascular Imaging - expert consensus document on coronary ct imaging of atherosclerotic plaque[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2021, 15(2): 93-109.
- [19] Milanese G, Silva M, Ledda R E, et al. Validity of epicardial fat volume as biomarker of coronary artery disease in symptomatic individuals: Results from the ALTER-BIO registry[J]. Int J Cardiol, 2020, 314: 20-24.
- [20] Beecy A, Hartaigh B O, Schulman-Marcus J, et al. Association between epicardial fat volume and fractional flow reserve: an analysis of the deterioration of fractional flow reserve (DeFACTO) study[J]. Clin Imaging, 2018, 51: 30-34.
- [21] Zhou J, Chen Y, Zhang Y, et al. Epicardial fat volume improves the prediction of obstructive coronary artery disease above traditional risk factors and coronary calcium score[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2019, 12(1): e8002.
- [22] Romijn M A, Danad I, Bakkum M J, et al. Incremental diagnostic value of epicardial adipose tissue for the detection of functionally relevant coronary artery disease[J]. Atherosclerosis, 2015, 242(1): 161-166.

(收稿日期: 2024-10-12)

(校对编辑: 姚丽娜)