·临床研究·

冠状动脉周围脂肪衰减指数对缺血性心力衰竭患者主要心血管不良事件的预测价值

木炳武，任心畅，温祺祺，陈霞敏，林伟，余捷

【摘要】目的　探讨冠状动脉周围脂肪衰减指数（FAI）在不同分型缺血性心力衰竭患者中的表现及对预后的评估价值。**方法**　回顾性纳入 2020 年 6 月至 2023 年 6 月于温州市人民医院诊断为心肌缺血导致的心力衰竭患者 197 例，根据入院左心室射血分数（LVEF）分为射血分数保留的心力衰竭（HFpEF）78 例，射血分数轻度降低的心力衰竭（HFmrEF）68 例，射血分数降低的心力衰竭（HFrEF）51 例。比较 3 组一般资料、血生化指标[N 末端-B 型脑利钠肽前体（NT-proBNP）、肌钙蛋白 I、肌酸激酶同工酶、高敏-C 反应蛋白、中性粒细胞与淋巴细胞比值、肿瘤坏死因子-α 和白细胞介素-6]、心脏超声参数[左心室舒张末内径和容积（LVEDd 和 LVEDV）、左心室收缩末内径和容积（LVESd 和 LVESV）]、FAI 值及主要心脏不良事件（MACEs）的差异。采用受试者工作特征（ROC）曲线预测 FAI 对预后的预测效能。**结果**　3 组心肌缺血类型、冠状动脉直径狭窄程度、LVEDV、LVESV、LVEF、NT-proBNP 水平以及 FAI 值差异均有统计学意义（均 $P < 0.05$）。FAI 值与 NT-proBNP 水平、冠状动脉直径狭窄程度、LVEDV 和 LVESV 均呈负相关（r=−0.519、−0.239、−0.241、−0.533，均 $P < 0.05$），与 LVEF 呈正相关（r=0.571，$P < 0.05$）。HFpEF 组 MACEs 发生率为 3.8%（3/78），HFmrEF 组为 5.9%（4/68），HFrEF 组为 17.6%（9/51）；HFrEF 组 MACEs 发生率高于 HFmrEF 组和 HFpEF 组（均 $P < 0.05$）。ROC 曲线显示，入院 FAI 值预测 HFpEF 患者 MACEs 发生的曲线下面积（*AUC*）为 0.764（95%*CI*：0.635 ～ 0.894，$P > 0.05$），预测 HFmrEF 患者 MACEs 发生的 *AUC* 为 0.832（95%*CI*：0.629 ～ 1.000，$P < 0.05$），预测 HFrEF 患者 MACEs 发生的 *AUC* 为 0.876（95%*CI*：0.767 ～ 0.985，$P < 0.05$）。**结论**　FAI 可作为一种新型、无创、敏感性指标用于预测不同分型缺血性心力衰竭患者的预后，对指导临床实践工作具有重要的价值。

【关键词】　冠状动脉周围 CT 脂肪衰减指数；心力衰竭；脂肪；不良事件
DOI:10.3969/j.issn.1671-0800.2026.01.005
【中图分类号】　R541.6　**【文献标志码】**　A　**【文章编号】**　1671-0800(2026)01-0020-04

心力衰竭（heart failure，HF）是各类心脏疾病的终末阶段，涵盖心脏结构与功能异常。根据左心室射血分数（left ventricular ejection fraction，LVEF）水平，HF 分为射血分数保留的 HF（heart failure with preserved ejection fraction，HFpEF）（LVEF≥ 50%）、射血分数轻度降低的 HF（heart failure with mildly reduced ejection fraction，HFmrEF）（40%～ 50%）以及射血分数降低的 HF（heart failure with reduced ejection fraction，HFrEF）（LVEF≤40%）[1]。但 LVEF 在疾病早期变化不敏感，往往在心脏结构和功能严重损伤时才出现异常，影响治疗效果和预后[2-3]。

冠状动脉周围脂肪（pericoronary adipose tissue，PCAT）在维持血管功能、炎症及脂质代谢中发挥重要作用[4]。PCAT 定量值在预测主要不良心血管事件（major adverse cardiovascular events，MACEs）方面较单独斑块特征更具效用[5]。冠状动脉周围脂肪衰减指数（pericoronary fat attenuation index，FAI）是基于 CT 的新型、无创影像学指标，可对冠状动脉周围血管的炎症进行可视化和量化评估[6]。本研究探究 FAI 在不同分型缺血性 HF 患者中的表现及对预后的评估价值，现报道如下。

1　资料与方法

1.1　一般资料　回顾性纳入 2020 年 6 月至 2023 年 6 月温州市人民医院收治的缺血性 HF 患者 197 例，其中男 109 例，女 88 例；年龄 44 ～ 83 岁，平均（62.3±6.2）岁。根据入院 LVEF 水平将患者分为

基金项目：　温州市基础性医疗卫生科技项目（Y20240852）
作者单位：　325000 温州，温州市人民医院
通信作者：　木炳武，Email：328787358@qq.com

HFpEF 组 78 例，HFmrEF 组 68 例，HFrEF 组 51 例。本研究获得温州市人民医院伦理委员会审批（伦理批号：KY-2024-208），免除知情同意。

纳入标准：（1）年龄＞ 18 岁；（2）符合心肌缺血和 HF 的诊断标准[7]；（3）顺利完成冠状动脉 CTA 检查和 FAI 值的测量，且结果可靠；（4）临床和随访资料完整。排除标准：（1）非心肌缺血导致的 HF；（2）急性 HF、严重肺肝肾等功能障碍，恶性肿瘤；（3）重症感染、自身免疫性疾病；（4）近期大手术、妊娠、哺乳期女性；（5）HF 复发，已经接受标准的抗 HF 等药物治疗。

1.2　方法

1.2.1　FAI 测量　采用德国 Siemens 双源 CT（SOMATOM Definition Flash），扫描层厚为 0.75 mm，管电压为 120 kV。控制心率＜ 80 次/min，指导患者进行呼吸训练，应用非离子型碘海醇（美国 GE 公司，国药准字：H20000599，批号：15863599，规格：350 mg/ml，100 ml/瓶）50 ml 经外周静脉团注法输入，然后注射等量 0.9%氯化钠注射液稀释，注射速度为 4.5 ml/s。根据对比剂示踪法，监测主动脉根部 CT 值至 100 HU 时，延迟 5 s 扫描，根据患者的心率和呼吸调整扫描时间。完成后将初始图像传输至后处理工作站，自动重建最佳舒张、收缩期图像，若伪影过重可重建不同心动周期的期相，直至图像质量达到诊断及测量要求。

由 2 名 5 年以上工作经验的影像学医师进行测量，采用血管周围脂肪分析软件（中国北京数坤科技有限公司），根据 CTA 图像上显示狭窄最严重的血管进行 FAI 测量。FAI 的径向测量范围为血管外壁向外侧扩血管直径的 1 倍，纵向测量范围为左前降支与左回旋支的近段（自起始部至 4 cm 处），以及右冠状动脉近端（1 ～ 5 cm）。脂肪密度窗口设置为－190 ～－30 HU，见图 1。

1.2.2　观察指标　（1）一般资料：包括性别、年龄、体质量指数、吸烟、高血压、糖尿病、高脂血症、心肌缺血类型和冠状动脉直径狭窄程度等。（2）血生化指标：包括 N 末端-B 型脑利钠肽前体（N-terminal-B type brain natriuretic peptide precursor，NT-proBNP）、肌钙蛋白 I（troponin I，cTnI）、肌酸激酶同工酶（creatine kinase isoenzyme，CK-MB）、高敏-C 反应蛋白（high-sensitivity C-reactive protein，hs-CRP）、中性粒细胞与淋巴细胞比值（neutrophil to lymphocyte ratio，NLR）、肿瘤坏死因子（tumor necrosis factor，TNF）-α 和白细胞介素（interleukin，IL）-6，采用德国罗氏全自动生化分析仪及配套试剂进行检测。（3）心脏超声参数：包括左心室舒张末内径（left ventricular end diastolic diameter，LVEDd）、左心室舒张末容积（left ventricular end diastolic volume，LVEDV）、左心室收缩末内径（left ventricular end diastolic diameter，LVESd）和左心室收缩末容积（left ventricular end diastolic volume，LVESV），计算 LVEF。（4）FAI 值。

1.2.3　MACEs　采用电话或者门诊复查的方式进行随访。随访截止 2024 年 1 月，记录再发 HF、心肌梗死、恶性心律失常、脑卒中及死亡等情况。

1.3　统计方法　采用 SPSS 20.0 统计软件进行数据处理，正态分布计量资料以均数±标准差表示，多间比较采用单因素方差分析，多重比较采用 LSD-*t* 法检验；非正态分布计量资料以中位数和四分位表示，组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验；计数资料以例数（%）表示，组间比较用 χ^2 检验；相关性分析采用 Spearman 检验分析；效能分析采用受试者工作特征（ROC）曲线，并计算曲线下面积（*AUC*）、敏感度和特异度。$P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　3 组一般资料比较　3 组心肌缺血类型、冠状动脉直径狭窄程度差异均有统计学意义（均 $P < 0.05$），其中 HFrEF 组患者心肌梗死明显较多，冠状动脉直径狭窄百分比显著较高，见表 1。

2.2　3 组超声、血生化及 FAI 值比较　3 组 LVEDV、LVESV、LVEF、NT-proBNP 水平以及 FAI 值差异均

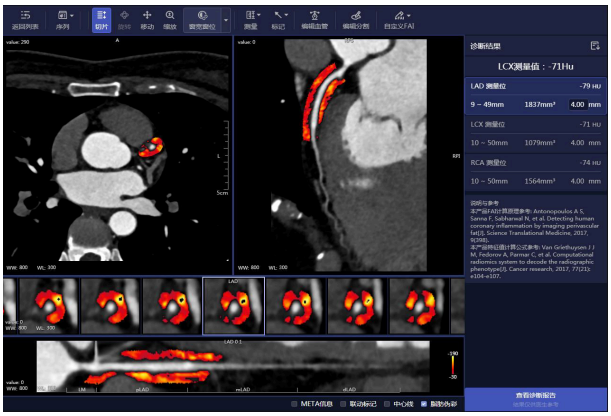


图 1　冠状动脉周围脂肪衰减指数测量图

有统计学意义（均 $P < 0.05$），其中 HFrEF 组患者 LVEDV、LVESV 和 NT-proBNP 水平升高，而 LVEF 和 FAI 值降低，见表 2。

2.3　相关性分析　FAI 值与 NT-proBNP 水平、冠状动脉直径狭窄程度、LVEDV 和 LVESV 呈负相关（r=−0.519、−0.239、−0.241、−0.533，均 $P < 0.05$），与 LVEF 呈正相关（r=0.571，$P < 0.05$）。

2.4　3 组 MACEs 发生率比较　HFrEF 组患者 MACEs 发生率均高于 HFmrEF 组和 HFpEF 组（χ^2=4.14、6.96，均 $P < 0.05$），HFmrEF 组与 HFpEF 组差异无统计学意义（χ^2=0.33，$P > 0.05$），见表 3。

2.5　入院 FAI 值预测 HF 患者 MACEs 发生的效能　ROC 曲线显示，入院 FAI 值预测 HFpEF 患者 MACEs 发生的 AUC 为 0.764，预测 HFmrEF 患者 MACEs 发生的 AUC 为 0.832，预测 HFrEF 患者 MACEs 发生的 AUC 为 0.876，见封三图 2。

3　讨论

FAI 反映了脂肪组织的炎症与代谢活性，其升高与冠状动脉炎症、斑块不稳定性及 MACEs 风险增加密切相关 [8-10]。PCAT 通过分泌多种炎症因子，创造局部及全身的促炎微环境，从而加剧动脉粥样硬化、内皮功能障碍及心肌重构[9-10]。值得注意的是，PCAT 的炎症状态与循环传统生物标志物无关，这表明 FAI 能提供局部炎症信息[9]。此外，FAI 在系统性血管炎（如大动脉炎、川崎病）及冠状动脉非梗阻性

表 1　3 组心力衰竭患者一般资料比较

项目		HFpEF 组（n=78）	HFmrEF 组（n=68）	HFrEF 组（n=51）	χ^2（F）值	P 值
随访时间（月）		19.6±11.2	18.3±12.0	20.1±11.1	（0.40）	＞0.05
性别（男/女，例）		40/38	39/29	30/21	0.88	＞0.05
年龄（岁）		62.9±5.5	61.7±6.5	63.1±5.3	（1.12）	＞0.05
体质量指数（kg/m²）		26.0±2.4	25.3±2.1	25.4±2.2	（2.05）	＞0.05
吸烟[例（%）]		22（28.2）	20（29.4）	17（33.3）	0.40	＞0.05
高血压[例（%）]		32（41.0）	30（44.1）	24（47.1）	0.46	＞0.05
糖尿病[例（%）]		20（25.6）	17（25.0）	13（25.5）	0.01	＞0.05
高脂血症[例（%）]		10（12.8）	7（10.3）	6（11.8）	0.22	＞0.05
心肌缺血类型[例（%）]	稳定性心绞痛	36（46.2）	19（28.0）	9（17.6）	17.75	＜0.05
	不稳定性心绞痛	26（33.3）	20（29.4）	16（31.4）		
	心肌梗死	16（20.5）	29（42.6）	26（51.0）		
冠状动脉直径狭窄程度（%）		70.3±12.8	77.3±13.7[a]	83.9±14.6[ab]	（15.81）	＜0.05

注：与 HFpEF 组比较，a$P < 0.05$；与 HFmrEF 组比较，b$P < 0.05$。HFpEF 为射血分数保留的心力衰竭，HFmrEF 为射血分数轻度降低的心力衰竭，HFrEF 为射血分数降低的心力衰竭

表 2　3 组心力衰竭患者超声、血生化及 FAI 值比较

项目	HFpEF 组（n=78）	HFmrEF 组（n=68）	HFrEF 组（n=51）	F（Z）值	P 值
LVEDd（mm）	54.2±3.8	54.5±3.6	54.2±3.7	0.13	＞0.05
LVESd（mm）	30.4±2.2	30.9±2.3	30.8±2.3	1.02	＞0.05
LVEDV（ml）	114.7（107.6，126.9）	119.3（107.4，132.5）	132.5（118.4，151.7）[ab]	（25.69）	＜0.05
LVESV（ml）	50.3（46.5，55.6）	65.6（58.5，73.6）[a]	85.8（75.7，98.8）[ab]	（136.29）	＜0.05
LVEF（%）	56.4±3.0	45.4±3.2[a]	35.2±3.2[ab]	737.12	＜0.05
NT-proBNP（pg/ml）	499.1（470.1，530.1）	585.8（536.9，642.6）[a]	846.4（788.0，911.2）[ab]	（139.21）	＜0.05
cTnI（ng/ml）	0.55±0.09	0.58±0.10	0.58±0.12	2.45	＞0.05
CK-MB（U/L）	45.3±4.7	46.9±4.6	46.9±5.6	2.54	＞0.05
hs-CRP（mg/L）	27.10（23.85，31.03）	27.85（24.45，31.45）	28.00（23.60，37.00）	（1.36）	＞0.05
NLR	3.39±0.24	3.40±0.27	3.45±0.27	0.73	＞0.05
TNF-α（mg/L）	16.1±2.7	17.0±3.4	16.5±2.9	1.82	＞0.05
IL-6（mg/L）	36.4±6.0	37.9±6.1	38.4±7.1	1.78	＞0.05
FAI（HU）	−49.9±4.5	−55.4±4.2[a]	−60.1±5.7[ab]	72.86	＜0.05

注：与 HFpEF 比较，a$P < 0.05$；与 HFmrEF 比较，b$P < 0.05$。HFpEF 为射血分数保留的心力衰竭，HFmrEF 为射血分数轻度降低的心力衰竭，HFrEF 为射血分数降低的心力衰竭，LVEDd 为左心室舒张末内径，LVESd 为左心室收缩末内径，LVEDV 为左心室舒张末容积，LVESV 为左心室收缩末容积，LVEF 为左心室射血分数，NT-proBNP 为 N 末端-B 型脑利钠肽前体，cTnI 为肌钙蛋白 I，CK-MB 为肌酸激酶同工酶，hs-CRP 为高敏-C 反应蛋白，NLR 为中性粒细胞与淋巴细胞比值，TNF-α为肿瘤坏死因子-α，IL-6 为白细胞介素-6，FAI 为冠状动脉周围脂肪衰减指数

表 3　3 组心力衰竭患者主要心脏不良事件（MACEs）发生情况

组别	例数	MACEs（例）	发生率（%）
HFpEF 组	78	3	3.8
HFmrEF 组	68	4	5.9
HFrEF 组	51	9	17.6

注：HFpEF 为射血分数保留的心力衰竭，HFmrEF 为射血分数轻度降低的心力衰竭，HFrEF 为射血分数降低的心力衰竭

心肌梗死等特殊人群中，也展现出揭示病因、评估疾病活动的潜力[11-13]。

本研究结果显示，HFrEF 患者的 FAI 值显著低于 HFmrEF 和 HFpEF 患者，与景梦园等[14]研究结果一致。本研究结果还显示，FAI 与 NT-proBNP 水平、冠状动脉直径狭窄程度、LVEDV 和 LVESV 呈负相关，与 LVEF 呈正相关。这提示 PCAT 的代谢与炎症状态、HF 的整体心肌损伤、心室重构进程紧密关联；且 FAI 可能成为一个评估 HF 病情严重程度的有效辅助指标。

本研究结果显示，HFrEF 患者的 MACEs 发生率最高，而入院时的 FAI 值对于预测 HFmrEF 和 HFrEF 患者 MACEs 的发生表现出良好的效能（AUC=0.832、0.876，均 $P < 0.05$），与 Ichikawa[15]、张润知[16]及李琰[17]等研究者的结果一致。这提示 FAI 在预测心血管事件和关联心功能指标方面的稳健性，为临床早期识别高危 HF 患者，实施强化干预提供了重要的时间窗口和决策依据。

综上所述，FAI 可作为一种新型、无创、敏感性指标用于预测不同分型缺血性 HF 患者的随访预后，且可用于预测 MACEs 的发生，尤其是 HFmrEF 和 HFrEF 患者，对指导临床实践工作有重要的价值。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　木炳武：实验操作，论文撰写；任心畅，温祺祺，陈霞敏：数据整理，统计学分析；林伟，余捷：研究指导，论文修改，经费支持

参　考　文　献

[1] 中华医学会心血管病学分会心力衰竭学组, 中国医师协会心力衰竭专业委员会,中华心血管病杂志编辑委员会. 中国心力衰竭诊断和治疗指南 2018[J]. 中华心血管病杂志,2018,46(10):760-789.

[2] 马兰虎,武锋超,蓝庆肃,等.射血分数改善的心力衰竭研究进展[J].中国循证心血管医学杂志,2022,14(12):1527-1529.

[3] 李莹莹,王华,杨杰孚.目前对射血分数中间值的心力衰竭的认识[J].中国循环杂志,2022,37(7):748-752.

[4] Napoli G, Pergola V, Basile P, et al. Epicardial and pericoronary adipose tissue, coronary inflammation, and acute coronary syndromes[J]. J Clin Med, 2023, 12(23): 7212.

[5] 黄樱琳,黄琛慧,刘彪.冠状动脉周围脂肪与心血管疾病的研究进展[J].现代医用影像学,2023,32(7):1256-1260.

[6] Nakajima A, Sugiyama T, Araki M, et al. Plaque rupture, compared with plaque erosion, is associated with a higher level of pancoronary inflammation[J]. JACC Cardiovasc Imag, 2022, 15(5): 828-839.

[7] 国家心血管病中心, 国家心血管病专家委员会心力衰竭专业委员会,中国医师协会心力衰竭专业委员会,等. 国家心力衰竭指南 2023(精简版)[J]. 中国循环杂志,2023,38(12):1207-1238.

[8] Mancio J, Azevedo D, Saraiva F, et al. Epicardial adipose tissue volume assessed by computed tomography and coronary artery disease: A systematic review and meta-analysis[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2018, 19(5): 490-497.

[9] Tzolos E, Williams M C, Mcelhinney P, et al. Pericoronary adipose tissue attenuation, low-attenuation plaque burden, and 5-year risk of myocardial infarction[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(6): 1078-1088.

[10] Araki M, Sugiyama T, Nakajima A, et al. Level of vascular inflammation is higher in acute coronary syndromes compared with chronic coronary disease[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2022, 15(11): e014191.

[11] Shi H, Wu H P, Winkler M A, et al. Perivascular adipose tissue in autoimmune rheumatic diseases[J]. Pharmacol Res, 2022, 182:106354.

[12] Wall C, Huang Y, Le E P V, et al. Pericoronary and periaortic adipose tissue density are associated with inflammatory disease activity in Takayasu arteritis and atherosclerosis[J]. Eur Heart J Open, 2021, 1(2): oeab019.

[13] Cai X T, Zhu Q, Wu T, et al. Association of circulating resistin and adiponectin levels with Kawasaki disease: A meta-analysis[J].Exp Ther Med, 2020, 19(2): 1033-1041.

[14] 景梦园,孙建清,周青,等.冠状动脉周围脂肪组织在不同斑块类型中的差异[J].中国医学影像学杂志,2023,31(4):344-348.

[15] Ichikawa K, Miyoshi T, Osawa K, et al. High pericoronary adipose tissue attenuation on computed tomography angiography predicts cardiovascular events in patients with type 2 diabetes mellitus: Post-hoc analysis from a prospective cohort study[J]. Cardiovasc Diabetol, 2022, 21(1): 44.

[16] 张润知,顾慧,李亚妮,等.449 例患者冠状动脉周围脂肪衰减指数与 CT 高危斑块及狭窄程度的关联[J]. 山东大学学报（医学版）,2023,61(1):27-31.

[17] 李琰,郭洋洋,赵森,等.CT 评估老年缺血性心肌病心衰患者 EAT、PCAT 水平变化及与血清 NT-proBNP、Gal-3 表达的相关性[J].中国医学工程,2023,31(10):19-23.

收稿日期：2025-09-16

（本文编辑：孙海儿）