

冠状动脉周围脂肪组织参数在评估冠状动脉狭窄程度中的价值

王海宇¹ 单裕清¹ 王超¹ 穆乃文¹ 王耿¹ 侯志辉²

(1. 日照市人民医院医学影像科, 山东 日照 276800; 2. 中国医学科学院 北京协和医学院 国家心血管病中心阜外医院放射影像科, 北京 100037)

【摘要】目的 探讨冠状动脉周围脂肪组织(PCAT)参数在评估冠心病严重程度上的应用价值。**方法** 回顾性分析中国医学科学院阜外医院和日照市人民医院 2022 年 3 月—2024 年 8 月行冠状动脉 CT 血管成像及冠状动脉造影的患者 290 例,根据冠状动脉造影结果分为冠心病组($n=164$)与非冠心病组($n=126$),对两组临床资料、检验指标、PCAT 参数进行统计学分析。多因素 logistic 回归分析筛选独立危险因素,构建列线图预测模型,绘制受试者操作特征曲线评估模型的区分度。采用限制性立方样条模型探讨冠状动脉周围脂肪衰减指数(FAI)与病变程度的关系。**结果** 两组间年龄、男性、糖尿病、N 末端脑钠肽前体、超敏 C 反应蛋白、右冠状动脉周围 FAI(RCA-FAI)、左前降支冠状动脉周围 FAI(LAD-FAI)、左回旋支冠状动脉周围 FAI(LCX-FAI)和左前降支 PCAT 体积(LAD-PCAT 体积)差异有统计学意义($P<0.05$)。多因素 logistic 回归提示年龄、男性、糖尿病、超敏 C 反应蛋白、RCA-FAI 是冠心病的独立危险因素($P<0.05$)。列线图预测模型显示 RCA-FAI 对冠心病的影响最大,曲线下面积为 0.931(95% CI 0.903~0.959)。限制性立方样条模型提示 RCA-FAI 与冠状动脉病变程度呈倒“L”型相关,Gensini 评分达 47.93 分后趋于平稳($P<0.001$)。**结论** RCA-FAI 是冠心病发生的预测因子,且对冠状动脉狭窄程度具有一定的预测作用。

【关键词】 冠状动脉 CT 血管成像;冠状动脉周围脂肪组织;脂肪衰减指数

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2025.05.020

The Value of Pericoronary Adipose Tissue in Assessing the Severity of Coronary Artery Stenosis

WANG Haiyu¹, SHAN Yuqing¹, WANG Chao¹, MU Naiwen¹, WANG Geng¹, HOU Zhihui²

(1. Department of Medical Imaging, People's Hospital of Rizhao, Rizhao 276800, Shandong, China; 2. Department of Radiology, Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Diseases, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China)

【Abstract】Objective To investigate the value of pericoronary adipose tissue (PCAT) related parameters in predicting the severity of coronary heart disease (CHD). **Methods** A retrospective analysis was performed on 290 patients who underwent coronary CT angiography and coronary angiography in Fuwai Hospital of Chinese Academy of Medical Sciences and People's Hospital of Rizhao from March 2022 to August 2024. According to the angiography results, the participants were divided into CHD group ($n=164$) and non-CHD group ($n=126$). Statistical analysis was conducted on two groups of clinical data, laboratory indicators and PCAT parameters. Multivariate logistic regression analysis was conducted to screen out independent risk factors for predicting CHD, which were used to construct a nomogram to predict the occurrence of CHD. The receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to evaluate the differentiation of the models. Restricted cubic spline (RCS) was used to investigate the relationship between fat attenuation index (FAI) around the coronary artery and the degree of coronary artery disease. **Results** There were statistically significant differences between the two groups in terms of age, males, diabetes, N-terminal pro-brain natriuretic peptide, high-sensitivity C-reactive protein, FAI on the right coronary artery (RCA-FAI), FAI on the left anterior descending artery (LAD-FAI), FAI on the left circumflex (LCX-FAI) and LAD-PCAT volume ($P<0.05$). Multiple logistic regression suggested that age, male, diabetes, high-sensitivity C-reactive protein, RCA-FAI were independent risk factors for CHD ($P<0.05$). The nomogram prediction model indicated that RCA-FAI had the greatest impact on CHD, with an area under the curve of 0.931 (95% CI 0.903~0.959). RCS indicated that the RCA-FAI had an inverted L-shaped correlation with the severity of coronary artery lesions. After Gensini score reached 47.93, the trend tended to be stabilized ($P<0.001$). **Conclusion** RCA-FAI is an independent risk factor for CHD and exhibits a certain predictive ability regarding the severity of coronary artery stenosis.

【Keywords】 Coronary artery computed tomography angiography; Pericoronary adipose tissue; Fat attenuation index

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(81801696)

通信作者:侯志辉, E-mail: konglingyihui@126.com

中国心血管疾病已跃居为居民总死亡原因的首位^[1]。欧洲心脏病学会在慢性冠状动脉综合征 (chronic coronary syndrome, CCS) 的指南中已明确指出冠状动脉 CT 血管成像 (coronary artery computed tomography angiography, CCTA) 可作为诊断冠心病的一线检查^[2], 且在冠状动脉病变中的应用也越来越广泛^[3-4]。CCTA 可量化冠状动脉斑块的长度、成分、负荷等信息, 其准确性也在很多以腔内成像技术为标准的研究中被证实^[5]。冠状动脉周围脂肪组织 (pericoronary adipose tissue, PCAT) 通过旁分泌细胞因子机制调节炎症微环境, 阻止前脂肪细胞分化为成熟的脂肪细胞, 影响冠状动脉粥样硬化的进程^[6]。冠状动脉周围脂肪衰减指数 (fat attenuation index, FAI) 作为从常规 CCTA 中测量得到的一种新型成像标志物, 通过捕获冠状动脉管壁周围的 PCAT 衰减变化来反映局部冠状动脉炎症^[7]。然而, 冠状动脉周围 FAI 是否可通过定量分析评估局部冠状动脉炎症来预测冠状动脉狭窄程度的效果仍不得而知。本研究旨在验证冠状动脉周围 FAI 与冠状动脉病变程度的相关性, 从而识别出可能受益于额外抗炎治疗的高危病变, 为临床诊断、治疗方案制定提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2022 年 3 月—2024 年 8 月中国医学科学院阜外医院和日照市人民医院收治的 328 例因“胸闷胸痛”来院的, 排除急性心肌梗死 38 例后, 共纳入 290 例, 根据造影结果分为冠心病组 ($n = 164$) 与非冠心病组 ($n = 126$)。全部患者均于 1 个月内分别接受 CCTA 以及冠状动脉造影检查, 两次检查间隔 (7.56 ± 4.26) d。排除标准: (1) 图像因伪影影响评估受限; (2) 曾行心脏起搏器、支架植入或者人工瓣膜置换等; (3) 冠状动脉近段 50 mm 内存在肌桥; (4) 合并血管发育异常、严重心律失常、先天性心脏病等; (5) 患有如急性肺栓塞、慢性阻塞性肺疾病、关节炎、肿瘤、自身免疫性疾病等。

1.2 仪器与方法

1.2.1 基本资料

通过电子病历及电话随访收集受试者的性别、年龄、体重指数、吸烟史、高血压史、糖尿病史、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、甘油三酯 (triglyceride, TG)、糖化血红蛋白 (glycated hemoglobin, HbA1C)、N 末端脑钠肽前体 (N-terminal pro-brain natriuretic peptide, NT-proBNP)、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)、超敏 C 反

应蛋白 (high-sensitivity C reactive protein, hs-CRP) 等基本信息并记录整理。

1.2.2 CCTA 扫描

使用双源 CT (SIEMENS SOMATOM Definition Flash) 进行扫描。扫描前均进行呼吸训练, 经肘静脉 ($4 \sim 5$ mL/s) 高压注射 60~70 mL 对比剂 (优维显, 拜耳医疗), 监测升主动脉根部, 达到阈值时触发前瞻性心电门控扫描。扫描气管隆突下 1 cm 至心底层面, 管电压 100 kV, 准直 $128 \text{ mm} \times 0.625 \text{ mm}$, 采集 30%~75% R-R 间期图像。整个 CCTA 检查均符合心血管计算机断层扫描学会指南要求^[8]。

1.2.3 冠状动脉造影检查

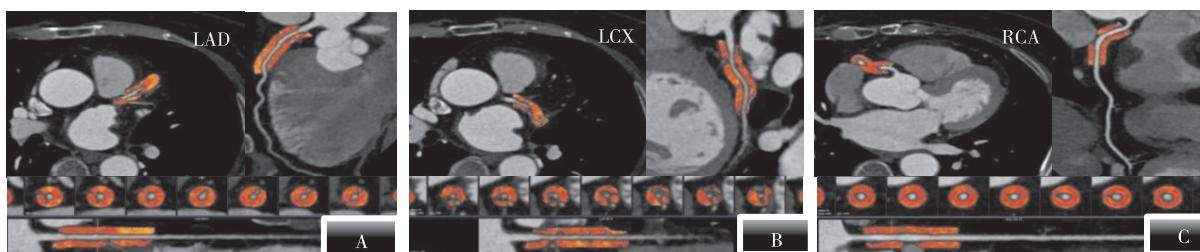
根据入院后的冠状动脉造影结果分组, 冠状动脉造影提示至少 1 支冠状动脉狭窄在 50% 以上者纳入试验。将造影结果进行 Gensini 评分^[9], 多病变节段评分相加得出总积分。

1.2.4 图像后处理及数据提取

CCTA 图像导入西门子后处理工作站 (Syngo. via client, 西门子医疗) 进行预分析, 选出最佳序列导入数坤后处理工作站 (Perivascular Fat Analysis Tool)。PCAT 阈值设置为 $-190 \sim -30$ HU; 测量范围: 对 3 支管腔周围 4 mm 外廓半径进行 PCAT 体积及 FAI 捕捉; 测量长度: 右冠状动脉 (right coronary artery, RCA) 近端 10~50 mm 处, 左前降支 (left anterior descending artery, LAD) 及左回旋支 (left circumflex, LCX) 起始处至以远 40 mm 处^[10]。血管中心线自动位于管腔内, 可手动校正中心线和外轮廓边界, 距血管外轮廓的径向距离设置为等于血管直径, 以获得 PCAT 体积及 FAI^[11]。如图 1 所示。

1.3 统计学方法

本研究数据采用 SPSS 25.0 及 R 语言 4.4.1 软件进行统计学分析。数据的正态分布由单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验评定。平均值 \pm 标准差记录正态分布的连续变量, t 检验进行组间比较。中位数及四分位数间距 [$M(Q_1, Q_3)$] 记录非正态分布的连续变量, 组间比较使用 Mann-Whitney U 检验。计数变量以数量及百分比 (%) 表示, 组间比较使用卡方检验。单因素 logistic 回归分析筛查能够判断冠心病的危险因素, 通过多因素 logistic 回归进行变量筛选并进行共线性分析, 使用 R 语言将多因素 logistic 回归分析所得的变量构建列线图临床预测模型, 采用 R 语言 4.4.1 软件的 rms 包绘制限制性立方样条 (restricted cubic spline, RCS) 模型, 探讨 RCA-FAI 与 Gensini 评分的非线性关系。双向 $P < 0.05$ 认为有统计学差异。



注:数坤智能分析软件获得感兴趣区域,测量 PCAT 体积和 FAI,并生成图像。患者为 45 岁女性。A 为 LAD 近端 0~40 mm,FAI=-83.00 HU,体积 1 447 mm³;B 为 LCX 近端 0~40 mm,FAI=-74.00 HU,体积 866 mm³;C 为 RCA 近端 10~50 mm,FAI=-76.00 HU,体积 1 821 mm³。

图 1 PCAT 参数获取

2 结果

2.1 临床特征及 PCAT 参数

本研究两组年龄、男性占比、糖尿病占比、NT-proBNP、hs-CRP 差异有统计学意义($P < 0.05$),而两组体重指数、吸烟、高血压、TC、TG、LDL-C、HDL-C、

HbA1C 间差异无统计学意义($P > 0.05$)。非冠心病组 RCA-FAI、LAD-FAI 及 LCX-FAI 均低于冠心病组($P < 0.01$);非冠心病组 LAD-PCAT 体积高于冠心病组,差异具有统计学意义($P < 0.05$);RCA-PCAT 体积、LCX-PCAT 体积差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 非冠心病组与冠心病组临床资料及 PCAT 参数($n=290$)

项目	非冠心病组($n=126$)	冠心病组($n=164$)	$t/Z/\chi^2$	P 值
年龄/岁	55.82±8.80	59.95±8.82	-3.955	<0.001
男性/[$n(\%)$]	68(53.97%)	108(65.85)	4.220	0.040
体重指数/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	23.80±3.13	23.99±2.82	-0.490	0.620
高血压/[$n(\%)$]	57(45.24%)	66(40.24%)	0.728	0.394
吸烟/[$n(\%)$]	34(26.98%)	56(34.15%)	1.710	0.190
糖尿病/[$n(\%)$]	12(9.52%)	32(19.51%)	4.963	0.026
TG/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.37(1.26~1.57)	1.42(1.27~1.53)	-0.938	0.348
LDL-C/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	3.17(3.11~3.41)	3.24(3.14~3.34)	-0.930	0.352
HDL-C/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	1.2(1.14~1.25)	1.18(1.12~1.25)	-1.695	0.090
TC/($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)	4.99(4.67~5.35)	5.1(4.68~5.35)	-0.480	0.635
HbA1C/(%)	5.64(5.52~5.75)	5.67(5.54~5.79)	-1.789	0.074
NT-proBNP/($\text{pg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	82.67(76.01~86.62)	84.04(78.43~88.33)	-2.118	0.034
hs-CRP/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0.78(0.71~0.86)	0.84(0.75~1.46)	-3.052	0.002
RCA-FAI/HU	-87.08±2.87	-79.71±3.98	11.857	0.001
LAD-FAI/HU	-85.3±2.89	-77.07±3.99	11.249	0.001
LCX-FAI/HU	-80.2±2.84	-72.86±4.00	13.186	<0.001
RCA-PCAT 体积/ mm^3	1 700.43±144.70	1 568.99±162.44	0.818	0.367
LAD-PCAT 体积/ mm^3	1 349.89±69.55	1 193.10±62.65	3.297	0.001
LCX-PCAT 体积/ mm^3	874.53±89.57	656.98±81.99	3.478	0.063

2.2 冠心病影响因素

以冠心病为因变量,临床资料、PCAT 参数为自变量,进行单因素 logistic 回归分析,其中年龄、男性、糖尿病、hs-CRP、RCA-FAI、LAD-FAI、LCX-FAI、LAD-PCAT 体积为冠心病的危险因素($P < 0.05$)。见表 2。挑选出组间比较有统计学意义且单因素 logistic 回归分析提示为高危因素的变量为自变量,以冠心病分组作为

因变量进行多因素 logistic 回归分析。事先对纳入的自变量进行共线性分析,结果提示 RCA-FAI、LAD-FAI、LCX-FAI、LAD-PCAT 体积间存在共线性,方差膨胀因子均 >5 。见表 3。采用逐步法对自变量进行筛选($P < 0.05$ 纳入),显示男性、年龄、糖尿病、hs-CRP 及 RCA-FAI 均为冠心病的独立危险因素($P < 0.05$)。见表 4。

表 2 冠心病影响因素的单因素二元 logistic 回归分析阳性结果 (n=290)

变量	B	SE	χ^2	OR	95% CI	P 值
年龄	0.06	0.01	17.41	1.06	1.03~1.09	<0.001
男性	-0.50	0.24	4.19	0.61	0.38~0.98	0.040
糖尿病	-0.80	0.36	4.79	0.45	0.22~0.92	0.030
hs-CRP	0.85	0.33	6.51	2.34	1.22~4.50	0.010
RCA-FAI	0.59	0.07	78.49	1.81	1.59~2.06	<0.001
LAD-FAI	0.65	0.07	75.48	1.91	1.65~2.21	<0.001
LCX-FAI	0.41	0.05	68.91	1.50	1.36~1.65	<0.001
LAD-PCAT 体积	-0.03	0.00	64.92	0.97	0.97~0.98	<0.001

2.3 列线图模型的建立

根据多因素二元 logistic 回归分析结果,基于 RCA-FAI、hs-CRP、性别、年龄、糖尿病建立冠心病风险预测列线图模型,显示 RCA-FAI 对冠心病的影响最大,性别对冠心病的影响最小。见图 2。

受试者操作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC 曲线) 显示曲线下面积 (area under the curve, AUC) 为 0.931 (95% CI 0.903 ~ 0.959), $P < 0.001$ 。Hosmer-Lemeshow 检验结果 $\chi^2 = 7.982 (P = 0.435)$, 提示模型的校准度较好。见图 3。

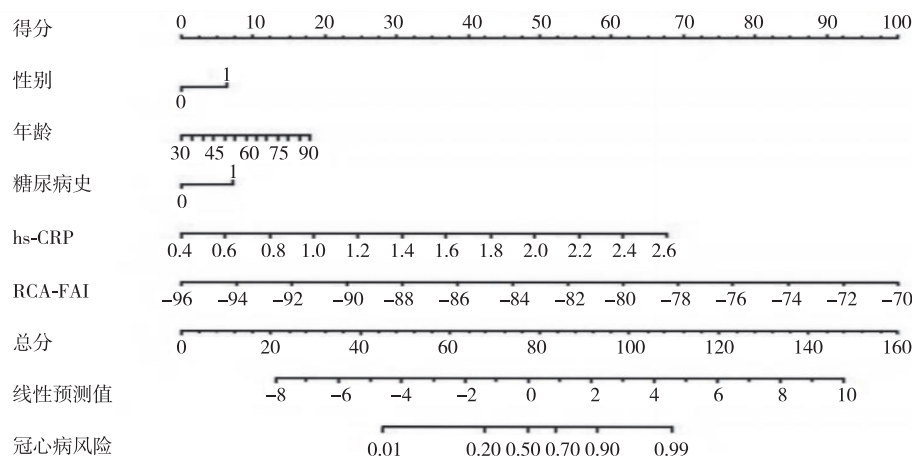
表 3 PCAT 参数的线性回归检验 (n=290)

变量	P 值	VIF
年龄	0.23	1.08
男性	<0.01	4.81
糖尿病	0.99	1.04
hs-CRP	0.01	1.09
RCA-FAI	<0.01	904.12
LAD-FAI	<0.01	509.62
LCX-FAI	<0.01	475.05
LAD-PCAT 体积	<0.01	35.44

注: VIF, 方差膨胀因子。

表 4 冠心病影响因素的多因素二元 logistic 回归分析 (n=290)

变量	B	SE	χ^2	OR	95% CI	P 值
年龄	0.04	0.02	3.92	1.05	1.00~1.09	<0.01
男性	0.96	0.43	4.93	2.62	1.12~6.13	0.04
糖尿病	1.20	0.57	4.38	3.30	1.08~10.12	0.03
hs-CRP	1.99	0.57	12.01	7.32	2.37~22.56	0.04
RCA-FAI	0.60	0.07	69.72	1.83	1.59~2.11	0.01



注: 列线图的构成分为 3 部分。(1) 用于模型构建的变量, 如性别 (1=男性, 0=女性)、年龄、糖尿病史 (1=有, 0=无)、hs-CRP 和 RCA-FAI, 变量右边对应的刻度线段代表该变量的可取值范围, 线段的长度表示该因素对结局事件的影响大小; (2) 变量对应的得分, 每个变量取值后对应图中最上方的分数, 所有分数加起来对应下方的总得分; (3) 预测事件的发生概率, 通过总得分对应图中最下方的冠心病风险, 代表患冠心病的概率。

图 2 冠心病风险列线图预测模型

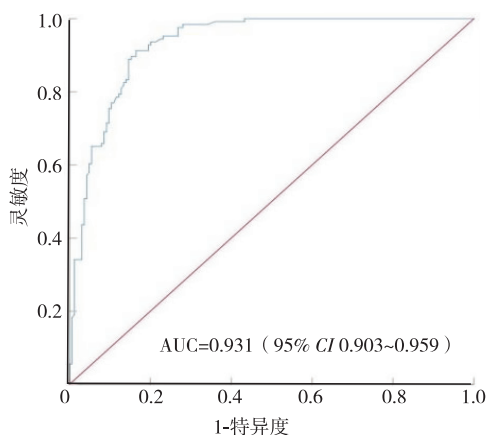


图3 列线图模型预测冠心病的 ROC 曲线

2.4 RCA-FAI 与 Gensini 评分的相关性

将 Gensini 评分与 RCA-FAI 进行 RCS 模型拟合, 绘制包含 3 个节点的 RCS, 显示 RCA-FAI 与冠状动脉病变程度的关系并不是呈完全线性关系, 结果呈倒“L”型, 随着 Gensini 评分的增加, RCA-FAI 逐渐升高, 至 Gensini 评分 47.93 分左右后趋于平稳 ($F_{3, 286} = 8.5$, $P < 0.001$)。见图 4。

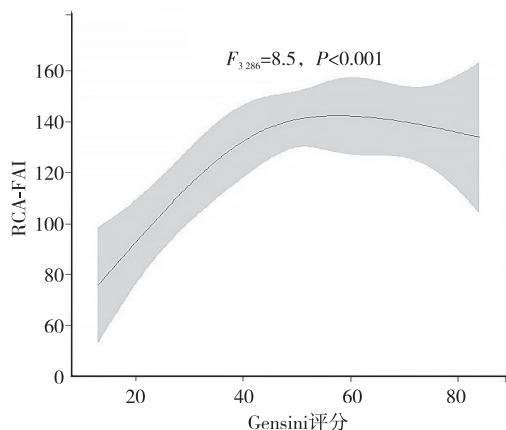


图4 RCA-FAI 与 Gensini 评分的 RCS

3 讨论

一直以来, 冠状动脉疾病 (coronary artery disease, CAD) 的患病率及死亡率呈上升趋势^[12], 且 CAD 的严重程度跟年龄密切相关^[13], 男性 CAD 的发病率高于女性^[14], 与本研究结果相吻合。Gensini 评分系统^[9]可用数字简便、直观地表示狭窄程度, 在评估冠心病患者病情有较好的实用价值^[15]。CCTA 是一种可评估冠状动脉病变的无创检查, 欧洲心脏病学会对 CCS 的指南中已明确指出 CCTA 可作为诊断冠心病的一线检查, 判断冠心病的准确性已被充分证实。

心外膜脂肪体积近年来已逐渐成为预测冠心病风险新的风向标, 心外膜脂肪内的脂肪细胞通过分泌保护因子、促进代谢、减轻炎症发挥抗粥样硬化作用^[16-17]。FAI 作为从常规 CCTA 中测量得到的一种新型成像标志物, 可通过捕获发炎冠状动脉壁周围脂肪

的衰减变化反映局部冠状动脉炎症程度。PCAT 体积和 FAI 作为非侵入性定量测量冠状动脉炎症的一种途径, 可提高 CCTA 的心脏风险预测和再分层能力^[18]。虽然大量证据^[19]表明, 冠状动脉周围 FAI 与斑块负荷的进展有关, 还可用于识别急性冠状动脉综合征患者的罪犯病变。但通过 FAI 定量评估局部冠状动脉炎症来预测冠状动脉狭窄程度的效果仍不得而知。考虑到 RCA 近端测量的 FAI 与 LAD 和 LCX 近端测量的 FAI 密切相关, 并且与其他冠状动脉相比, RCA 分支较少、周围脂肪组织较多, 容易测量, 所以目前研究更多使用 RCA 周围的 FAI^[20]。基于此, 本研究在 CCTA 图像上测得 PCAT 参数, 深度剖析 PCAT 体积及 FAI 对冠状动脉病变程度的预测价值。研究结果显示非冠心病组 PCAT 体积高于冠心病组, 且两组间只有 LAD-PCAT 体积有统计学意义, 这可能是由于冠状动脉病变时 PCAT 发生病理性重塑, 导致现有的脂肪细胞萎缩、变性, 同时由于血供不足, 脂肪细胞可能缺氧, 并最终导致功能障碍和凋亡^[21]。虽然与李雁鸣等^[22]研究结果相反, 这可能与样本量较小有关, 数据存在偏差, 本课题团队也在继续扩大样本量, 多数据综合评估。

本研究结果显示男性、年龄、糖尿病史、hs-CRP 均无法对冠状动脉粥样硬化斑块炎症进行定量评估, 虽然 hs-CRP 是能反映炎症的血液循环指标, 但缺乏一定的特异性。随后的列线图预测模型结果显示, 反应冠状动脉炎症生物学指标的 RCA-FAI 是最有可能提示冠心病高风险的因素, 这可能有利于早期尤其是在冠状动脉血管壁出现结构性变化之前, 识别出存在潜在风险的患者, 进行更加积极的干预措施。

有趣的是, 本研究中 RCS 分析提示, RCA-FAI 与冠状动脉病变严重程度之间呈倒“L”型的非线性关系, RCA-FAI 在 Gensini 评分 ≤ 47.93 时呈正相关, 而在 Gensini 评分 > 47.93 后逐渐趋于平稳。这可能是由于冠状动脉管壁与 PCAT 之间存在双向调节关系, 正常情况下 PCAT 分泌的细胞因子可调节冠状动脉炎症, 起到抗炎抗氧化作用, 但在炎症状态下, PCAT 分泌的脂肪细胞因子和促炎介质通过旁分泌作用于血管壁, 因血管炎症引起 PCAT 形态改变, 并影响斑块的稳定性^[23-24], 推测随着冠状动脉狭窄程度加重而加重心肌缺血严重程度, PCAT 会发生代偿性扩张和病理性重塑, 导致现有的脂肪细胞缺氧、萎缩、变性, 最终导致功能障碍和凋亡, 使 FAI 升高^[21], 这可能是 RCA-FAI 在冠状动脉轻中度病变中随着病变严重程度加重而逐渐升高的原因。然而, 目前关于 RCA-FAI 与冠状动脉病变之间的关系及 Gensini 评分持续增加

后 RCA-FAI 却趋于平稳的机制仍不确定,本研究也是首次提出 RCA-FAI 与冠状动脉病变严重程度之间的关系。本研究排除了急性冠脉综合征患者,避免了急性冠脉综合征发生时所导致的急性冠状动脉栓塞,管壁周围水肿对 PCAT 参数的不利影响;与此同时患者呼吸不均、心律不齐等多种因素会造成冠状动脉图像质量降低,影响 PCAT 参数的准确性,即使已经尽力避免了混杂因素,也可能存在未知和复杂的混杂因素,未来需要更完善的基础和临床研究。

综上所述,男性、年龄、糖尿病史、hs-CRP 均为稳定性冠心病患者病变严重程度的独立判断因子,这些判断因子组成的模型提高了基线模型对 RCA-FAI 判断冠心病患者严重程度的诊断能力,RCA-FAI 与轻中度冠状动脉病变严重程度相关,对冠状动脉狭窄程度具有一定的预测作用,可作为临床行冠状动脉造影检查前的预测性检查,从而早期识别冠心病患者,减少不必要的侵入性检查操作。

参 考 文 献

- [1] 中国心血管健康与疾病报告编写组,胡盛寿. 中国心血管健康与疾病报告 2020 概要[J]. 中国循环杂志,2021,36(6):521-545.
- [2] Knuuti J,Wijns W,Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(3): 407-477.
- [3] 李苏豫,唐春香,张龙江. 冠状动脉 CT 血管成像评估易损斑块新进展[J]. 中华放射学杂志,2022,56(3):330-334.
- [4] 高扬,吕滨. 冠状动脉 CT 血管成像最新临床应用推荐及诊断规范[J]. 中华放射学杂志,2022,56(10):1160-1164.
- [5] Cap M, Ramasamy A, Parasa R, et al. Efficacy of human experts and an automated segmentation algorithm in quantifying disease pathology in coronary computed tomography angiography: a head-to-head comparison with intravascular ultrasound imaging[J]. *Cardiovasc Comput*, 2023, 18(2): 142-153.
- [6] Antonopoulos AS, Margaritis M, Coutinho P, et al. Adiponectin as a link between type 2 diabetes and vascular NADPH oxidase activity in the human arterial wall: the regulatory role of perivascular adipose tissue [J]. *Diabetes*, 2014, 64(6): 2207-2219.
- [7] Antoniadou C, Shirodaria C. Detecting coronary inflammation with perivascular fat attenuation imaging: making sense from perivascular attenuation maps [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(10): 2011-2014.
- [8] Abbara S, Blanke P, Maroules CD, et al. SCCT guidelines for the performance and acquisition of coronary computed tomographic angiography: a report of the society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee: Endorsed by the North American Society for Cardiovascular Imaging [J]. *Cardiovasc Comput*, 2016, 10(6): 435-449.
- [9] Sabadi D, Peric L, Savic V, et al. Fatal case of West Nile encephalitis associated with acute anteroseptal ST elevation myocardial infarction (STEMI): a case report [J]. *New Microbiol*, 2019, 43(1): 51-53.
- [10] Yuvaraj J, Cheng K, Lin A, et al. The emerging role of CT-based imaging in adipose tissue and coronary inflammation [J]. *Cells*, 2021, 10(5): 1196.
- [11] Lin A, Nerlekar N, Yuvaraj J, et al. Pericoronary adipose tissue computed tomography attenuation distinguishes different stages of coronary artery disease: a cross-sectional study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(3): 298-306.
- [12] Lu ZF, Yin WH, Schoepf UJ, et al. Prediction value of pericoronary fat attenuation index for coronary in-stent restenosis [J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(8): 4950-4959.
- [13] Nakazato R, Arsanjani R, Achenbach S, et al. Age-related risk of major adverse cardiac event risk and coronary artery disease extent and severity by coronary CT angiography: results from 15187 patients from the International Multisite CONFIRM Study [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2014, 15(5): 586-594.
- [14] Schulman-Marcus J, Hartaigh Bó, Gransar H, et al. Sex-specific associations between coronary artery plaque extent and risk of major adverse cardiovascular events: the CONFIRM Long-Term Registry [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(4): 364-372.
- [15] Mohammadi R, Khodakarim S, Alipour A, et al. Association between air temperature and acute myocardial infarction hospitalizations in Tehran, Iran: a time-stratified case-crossover [J]. *Int J Occup Environ Med*, 2017, 8(3): 143-152.
- [16] 王志强,李如雪,周新浪. 高血压合并冠状动脉粥样硬化性心脏病患者心外膜脂肪体积与冠状动脉病变和血管重构的相关性[J]. 中华高血压杂志, 2021, 29(1): 77-80.
- [17] Honold S, Wildauer M, Beyer C, et al. Reciprocal communication of pericoronary adipose tissue and coronary atherogenesis [J]. *Eur J Radiol*, 2021, 136: 109531.
- [18] Padro T, Manfrini O, Bugiardini R, et al. ESC Working Group on Coronary Pathophysiology and Microcirculation position paper on 'coronary microvascular dysfunction in cardiovascular disease' [J]. *Cardiovasc Res*, 2020, 116(4): 741-755.
- [19] Goeller M, Tamarappoo BK, Kwan AC, et al. Relationship between changes in pericoronary adipose tissue attenuation and coronary plaque burden quantified from coronary computed tomography angiography [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2019, 20(6): 636-643.
- [20] Oikonomou EK, Marwan M, Desai MY, et al. Non-invasive detection of coronary inflammation using computed tomography and prediction of residual cardiovascular risk (the CRISP CT study): a post-hoc analysis of prospective outcome data [J]. *Lancet*, 2018, 392(10151): 929-939.
- [21] Lin A, Dey D, Wong DTL, et al. Perivascular adipose tissue and coronary atherosclerosis: from biology to imaging phenotyping [J]. *Curr Atheroscler Rep*, 2019, 21(12): 47.
- [22] 李雁鸣,沈成兴,申镔. 心外膜脂肪组织与心血管疾病的研究进展[J]. 中华心血管病杂志, 2022, 50(7): 723-727.
- [23] Antonopoulos AS, Sanna F, Sabharwal N, et al. Detecting human coronary inflammation by imaging perivascular fat [J]. *Sci Transl Med*, 2017, 9(398): eaal2658.
- [24] Goeller M, Achenbach S, Cadet S, et al. Persistent epicardial adipose tissue accumulation is associated with coronary plaque vulnerability and future acute coronary syndrome in non-obese subjects with coronary artery disease [J]. *Atherosclerosis*, 2014, 237(1): 353-360.

收稿日期:2024-11-18