

^{18}F -NaF PET/CT 冠状动脉斑块显像预测 冠心病患者预后的价值

宇雪¹ 李莉¹ 靳春荣² 洪钰¹ 宋佳林¹ 王波¹

王慧峰³ 司新成⁴ 师晓丽¹ 武志芳¹ 李思进¹

¹山西医科大学第一医院核医学科,太原 030001;²山西医科大学第一医院心内科,太原 030001;³山西医科大学附属太钢总医院心内科,太原 030008;⁴临汾市第四人民医院心内科,临汾 041000

通信作者:李莉, Email: meilipaomolili@126.com

【摘要】目的 探讨 ^{18}F -NaF PET/CT 冠状动脉斑块显像评估冠状动脉粥样硬化性心脏病 (CAD) 患者长期预后的临床价值。**方法** 选取 2015 年 9 月至 2022 年 10 月多中心临床已确诊的 54 例 CAD 患者 [男 37 例,女 17 例,年龄(57.2±9.8)岁] 进行回顾性队列研究。患者在 1 周内完成 ^{18}F -NaF PET/CT 及冠状动脉造影 (CAG) 检查, PET/CT 显像均在山西医科大学第一医院进行。随访患者治疗后主要心血管不良事件 (MACE)。建立 ROC 曲线, 获得 SUV_{\max} 及冠状动脉主要分支所有病灶处 SUV_{\max} 累积值 (S- SUV_{\max}) 预测 MACE 的最佳阈值, 采用 Cox 比例风险模型和 Kaplan-Meier 方法 (log-rank 检验) 分析 PET 参数对 MACE 的预测价值。组间代谢参数差异行 Mann-Whitney U 检验。**结果** 54 例患者中位随访时间为 6.0 (1.8, 6.6) 年, 13 例 (24.1%) 发生 MACE, 包括 7 例死亡、5 例心肌梗死、1 例严重心律失常。MACE 患者 S- SUV_{\max} 明显高于非 MACE 组 [2.64 (2.08, 4.49) 与 1.83 (0.95, 2.90); $Z = -2.04, P = 0.041$]; ROC 曲线示 S- SUV_{\max} 预测 MACE 的最佳阈值为 2.05 (AUC = 0.690); 多因素 Cox 分析示, S- SUV_{\max} 是 MACE 的强力预测因子 [风险比 (HR) = 2.434 (95% CI: 1.547 ~ 3.828), $P < 0.001$]。ROC 曲线示 SUV_{\max} 预测 MACE 的最佳阈值为 0.55 (AUC = 0.659), 单因素 Cox 分析示 SUV_{\max} 是预测 MACE 的因素 [HR = 10.192 (95% CI: 2.667 ~ 38.953), $P = 0.001$]。在 25 例不完全血运重建 (ICR) 患者中, Kaplan-Meier 分析示, ^{18}F -NaF 摄取阳性者 [单支中度狭窄 (狭窄 40% ~ 70%) 病变处 $\text{SUV}_{\max} \geq 0.55$] MACE 发生率明显高于 ^{18}F -NaF 摄取阴性者 (5/14 与 0/11; $\chi^2 = 6.07, P = 0.014$)。**结论** ^{18}F -NaF PET/CT 可作为 CAD 患者 MACE 的独立预测因子, 并可定量评估中度冠状动脉狭窄的远期进展情况; 未来其有望成为一种无创指导冠状动脉多支病变再血管化治疗决策的新方式。

【关键词】 冠状动脉疾病; 心肌血管重建术; 氟化钠; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X 线计算机

基金项目: 国家自然科学基金 (U22A6008)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240228-00074

Prognostic value of ^{18}F -NaF PET/CT coronary plaque imaging in patients with coronary heart disease

Yu Xue¹, Li Li¹, Jin Chunrong², Hong Yu¹, Song Jialin¹, Wang Bo¹, Wang Hui Feng³, Si Xincheng⁴, Shi Xiaoli¹, Wu Zhifang¹, Li Sijin¹

¹Department of Nuclear Medicine, First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China;

²Department of Cardiology, First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China;

³Department of Cardiology, Taigang General Hospital Affiliated to Shanxi Medical University, Taiyuan 030008, China; ⁴Department of Cardiology, Linfen Fourth People's Hospital, Linfen 041000, China

Corresponding author: Li Li, Email: meilipaomolili@126.com

【Abstract】 Objective To investigate the clinical value of ^{18}F -NaF PET/CT coronary plaque imaging in evaluating the long-term prognosis of patients with coronary artery disease (CAD). **Methods** A retrospective cohort study was conducted among 54 patients (37 males and 17 females, aged (57.2±9.8) years) diagnosed with CAD from a multicenter study between September 2015 and October 2022. All patients underwent ^{18}F -NaF PET/CT and coronary angiography (CAG) within 1 week, and the PET/CT imaging was performed at the First Hospital of Shanxi Medical University. Major adverse cardiovascular events (MACE) were followed up. ROC curves were established to obtain the optimal thresholds of SUV_{\max} and accumulated SUV_{\max} of all lesions of main coronary artery branches (S- SUV_{\max}) for predicting MACE. Cox proportional risk model and Kaplan-Meier method (log-rank test) were used to analyze the predictive value

of PET parameters for MACE. Differences in metabolic parameters between 2 groups were compared by Mann-Whitney *U* test. **Results** The median follow-up time of the 54 patients was 6.0 (1.8, 6.6) years, and 13 (24.1%) patients developed MACE, including 7 deaths, 5 myocardial infarction and 1 severe arrhythmia. S-SUV_{max} in MACE group was significantly higher than that in the non-MACE group (2.64 (2.08, 4.49) vs 1.83 (0.95, 2.90); $Z = -2.04$, $P = 0.041$). ROC curve showed that the optimal threshold of S-SUV_{max} for MACE prediction was 2.05 (AUC = 0.690). Multivariate Cox analysis showed that S-SUV_{max} was a strong predictor of MACE (hazard ratio (HR) = 2.434 (95% CI: 1.547–3.828), $P < 0.001$). ROC curve showed that the optimal threshold of SUV_{max} to predict MACE was 0.55 (AUC = 0.659), and univariate Cox analysis showed that SUV_{max} was a factor to predict MACE (HR = 10.192 (95% CI: 2.667–38.953), $P = 0.001$). In 25 patients with incomplete revascularization (ICR), Kaplan-Meier analysis showed that the incidence of MACE in patients with positive ¹⁸F-NaF uptake (single medium stenosis (40%–70%) with SUV_{max} ≥ 0.55) was significantly higher than that in patients with negative ¹⁸F-NaF uptake (5/14 vs 0/11; $\chi^2 = 6.07$, $P = 0.014$). **Conclusions** ¹⁸F-NaF PET/CT can be used as an independent predictor of MACE in patients with CAD and can quantitatively assess the long-term progression of moderate coronary artery stenosis. In the future, it is expected to be a new non-invasive way to guide the revascularization treatment decision of multi-vessel CAD.

【Key words】 Coronary artery disease; Myocardial revascularization; Sodium fluoride; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed

Fund program: National Natural Science Foundation of China (U22A6008)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240228-00074

斑块进展、破裂及侵蚀是导致冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病; coronary artery disease, CAD)患者不良预后的重要原因^[1]。相关数据显示,经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary artery intervention, PCI)患者中 85.40% 表现为冠状动脉多支血管病变,同时存在梗死相关的“罪犯血管”与引发心肌缺血的非“罪犯血管”;在 ST 段抬高型心肌梗死(ST-segment elevation myocardial infarction, STEMI)患者中多支病变也高达 40%,且多支病变患者死亡率更高、预后更差^[2-3]。然而,文献报道主要依据冠状动脉造影(coronary angiography, CAG)及临床指导的完全血运重建(complete revascularization, CR)术无法获得最佳预后^[4],其原因可能是 CAG 无法真正识别易损冠状动脉斑块的组织学特征^[5]。临床迫切需要寻找新的分子影像学技术指导多支病变 CAD 患者的再血管化治疗决策,继而改善预后。¹⁸F-NaF PET/CT 显像可靶向微钙化识别并量化斑块的易损性^[6-8],但其在预测多支病变 CAD 患者预后方面的价值尚不明确。本研究旨在探讨¹⁸F-NaF PET/CT 在预测多支病变 CAD 患者预后中的价值,以及能否为再血管化治疗决策提供新方法,进而早期评估及改善 CAD 患者的临床预后。

资料与方法

1. 一般资料。本研究为回顾性队列研究。纳入 2015 年 9 月至 2022 年 10 月山西医科大学第一医院、山西医科大学附属太钢总医院、山西省临汾市第四人民医院心内科的临床已确诊 CAD 患者。纳入标准:(1)患者在 1 周内完成 CAG、¹⁸F-NaF PET/CT 检查(PET/CT 显像在山西医科大学第一医院完

成),后续进行随访;(2)均为冠状动脉多支病变者。排除存在其他活动性炎性疾病或 PET/CT 检查近期存在活动性感染者。

共选取 54 例,其中男 37 例,女 17 例,年龄(57.2±9.8)岁;包括 STEMI 13 例、不稳定心绞痛 34 例、慢性冠状动脉综合征 7 例。收集患者基本信息、心血管相关检验及检查资料。本研究经山西医科大学第一医院伦理委员会批准,批件号:[2021]伦审字(K-K238)号;患者签署知情同意书。

2. CAG 检查。常规采用 Judkins 法经右侧桡动脉或股动脉途径行 CAG,仪器为荷兰 Philips V-3000 心血管造影仪。采用目测直径法判断左冠状动脉主支(left main coronary artery, LMA)、左前降支(left anterior descending branch, LAD)、左回旋支(left circumflex branch, LCX)及右冠状动脉(right coronary artery, RCA)狭窄程度:病变狭窄处直径较其近心端正常管径减少的百分率,按单支血管狭窄程度分为冠状动脉轻度狭窄(狭窄<40%)、中度狭窄(狭窄 40%~70%)及重度狭窄(狭窄>70%)^[9]。

3. ¹⁸F-NaF PET/CT 显像及参数测算。¹⁸F-NaF 由日本 Sumitomo HM-10 回旋加速器生产。给予患者静脉注射¹⁸F-NaF(按体质量 5.55 MBq/kg),患者安静休息 60 min 后进行 PET/CT(美国 GE Lightspeed VCT 及 Discovery DMI PET/CT 仪)显像。首先进行低剂量 CT 扫描:电压 120 kV,电流 50 mA,层厚 5 mm,层距 5 mm;再进行 PET 扫描:三维模式静态扫描 10 min,矩阵为 128×128,扫描范围覆盖心脏;然后进行同机 CT 衰减校正、图像重建,获得横断面、冠状面、矢状面的 PET、CT 及融合图像。

由 2 位具有核医学诊断经验的医师分别使用 GE AW 4.7 工作站进行图像后处理,根据 CAG 提示在 LMA、LAD、LCX 及 RCA 手动勾画直径为 2 mm 的三维 ROI,记录 ROI 内 SUV_{max} 及 SUV_{mean} ,以主动脉-肺窗水平、肺动脉干水平、右心室水平的二维 ROI 内 SUV_{mean} 的平均值作为血池本底 SUV,计算最大靶/本底比值 (maximum target/background ratio, TBR_{max}),即 $TBR_{max} = \text{局部 ROI } SUV_{max} / \text{血池本底 } SUV_{mean}$ 。将冠状动脉主要分支所有病灶处 SUV_{max} 、 TBR_{max} 的累积值分别定义为 S- SUV_{max} 、S- TBR_{max} 。

4. 治疗指导。入组患者的治疗决策均由各中心血管专家团队在遵循本研究建立的多中心统一标准的基础上制定:根据指南 (临床表现及 CAG 结果)^[9] 确定血运重建术受益者,适当参考¹⁸F-NaF PET/CT 结果。治疗分 CR 和不完全血运重建 (incomplete revascularization, ICR):CR 为无论是否有临床症状或缺血证据,对所有“罪犯血管”(本次梗死相关血管)或合适的非“罪犯血管”(可能引发心肌缺血的非梗死相关血管)进行常规分期 PCI,否则为 ICR^[10]。接受 PCI 的患者在术后采取至少 1 年的双重抗血小板治疗,且对所有入组患者根据指南选择最佳药物治疗^[9]。

5. 随访。截至 2023 年 8 月 23 日,所有纳入患者完成了电话和 (或) 病历查阅随访。随访主要终点事件为主要心血管不良事件 (major adverse cardiovascular events, MACE),包括非致死性急性心肌梗死、严重心律失常、再次血运重建及全因死亡^[11]。

6. 统计学处理。采用 IBM SPSS 25.0 软件进行分析。符合正态分布的定量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用两独立样本 *t* 检验;不符合正态分布的定

量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,采用 Mann-Whitney *U* 检验比较组间差异;定性资料以频数 (百分比) 表示,采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法比较组间差异。采用 Cox 比例风险模型分析与 MACE 相关的¹⁸F-NaF 显像代谢参数;建立 ROC 曲线,获得 SUV_{max} 诊断单支血管病变的最佳阈值,以及 S- SUV_{max} 预测 MACE 的最佳阈值;采用 Kaplan-Meier 方法及 log-rank 检验进行生存分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 随访结果及临床基线特征。54 例患者中,CAG 判定重度狭窄 21 例、中度狭窄 9 例、轻度狭窄 3 例、同时存在中度和重度狭窄 21 例;18 例完成 CR,余 36 例进行 ICR。患者中位随访时间为 6.0 (1.8, 6.6) 年,有 13 例 (24.1%, 13/54) 发生 MACE,包括 7 例死亡、5 例心肌梗死、1 例严重心律失常。MACE 组与非 MACE 组基线心血管相关的临床变量差异均无统计学意义 (表 1)。

2. ¹⁸F-NaF PET/CT 预测 CAD 患者预后的价值。MACE 组 S- SUV_{max} 高于非 MACE 组 [2.64 (2.08, 4.49) 与 1.83 (0.95, 2.90); $Z = -2.04, P = 0.041$], 而 2 组间 S- TBR_{max} (4.33 ± 1.57 与 3.32 ± 1.78; $t = -1.82, P = 0.074$)、 SUV_{max} [1.13 (0.63, 1.52) 与 0.62 (0.46, 1.02); $Z = -1.71, P = 0.087$] 差异无统计学意义。单因素 Cox 分析示, S- SUV_{max} [风险比 (hazard ratio, HR) = 1.856 (95% CI: 1.323 ~ 2.604), $P < 0.001$]、S- TBR_{max} [HR = 1.346 (95% CI: 1.044 ~ 1.736), $P = 0.022$]、 SUV_{max} [HR = 10.192 (95% CI: 2.667 ~ 38.953), $P = 0.001$] 是预测 MACE 的因素。多因素 Cox 分析示,

表 1 MACE 组与非 MACE 组冠状动脉粥样硬化性心脏病患者基线临床特征比较

组别	例数	年龄 (岁; $\bar{x} \pm s$)	女性 (例)	BMI [kg/m ² ; $M(Q_1, Q_3)$]	收缩压 (mmHg; $\bar{x} \pm s$)	舒张压 (mmHg; $\bar{x} \pm s$)	低密度脂蛋白 (mmol/L; $\bar{x} \pm s$)	高密度脂蛋白 (mmol/L; $\bar{x} \pm s$)	三酰甘油 [mmol/L; $M(Q_1, Q_3)$]	
MACE	13	60.6 ± 7.2	5	23.12 (22.10, 28.10)	142.54 ± 19.01	81.38 ± 14.00	2.40 ± 1.11	0.99 ± 0.31	1.41 (0.74, 1.97)	
非 MACE	41	56.1 ± 10.4	12	26.03 (23.45, 27.12)	134.63 ± 14.49	81.20 ± 11.64	2.69 ± 0.96	1.02 ± 0.23	1.60 (1.25, 2.38)	
检验值		-1.45 ^a	0.39	-1.05 ^b	-1.59 ^a	-0.05 ^a	0.92 ^a	0.43 ^a	-1.29 ^b	
<i>P</i> 值		0.153	0.534	0.293	0.119	0.961	0.362	0.668	0.199	
组别	总胆固醇 (mmol/L; $\bar{x} \pm s$)	超敏 C-反应蛋白 [mg/L; $M(Q_1, Q_3)$]	糖化血红蛋白 [%; $M(Q_1, Q_3)$]	吸烟史 (例)	糖尿病 (例)	高血压 (例)	既往 PCI/ CABG (例)	抗血小 板药 (例)	他汀类药 (例)	降压药 (例)
MACE	3.92 ± 1.47	5.55 (2.57, 6.80)	5.67 (4.75, 6.30)	6	6	10	0	8	8	9
非 MACE	4.38 ± 1.15	5.25 (2.97, 6.27)	5.40 (4.91, 6.48)	20	12	27	4	24	22	26
检验值	1.17 ^a	-0.47 ^b	-0.15 ^b	0.03	1.27	0.17	-	0.04	0.25	0.02
<i>P</i> 值	0.246	0.642	0.879	0.869	0.260	0.685	0.562	0.848	0.618	0.961

注: MACE 为主要心血管不良事件, BMI 为体质指数, PCI 为经皮冠状动脉介入治疗, CABG 为冠状动脉旁路移植术; ^a 为 *t* 值, ^b 为 *Z* 值, 余检验值为 χ^2 值, - 为 Fisher 确切概率法, 仅有 *P* 值; 1 mmHg = 0.133 kPa

仅 S-SUV_{max} 是预测 MACE 的因素[HR=2.434(95% CI: 1.547~3.828), P<0.001]。ROC 曲线示 S-SUV_{max} 预测 MACE 的最佳阈值为 2.05(AUC=0.690);Kaplan-Meier 分析示 S-SUV_{max} ≥2.05 的 CAD 患者 MACE 发生率明显高于 S-SUV_{max} <2.05 者[37.9%(11/29)与 8.0%(2/25);χ²=12.67, P<0.001;图 1、2]。

3. ¹⁸F-NaF PET/CT 预测 ICR 患者预后的价值。ROC 曲线示 SUV_{max} 预测 MACE 的最佳阈值为 0.55(AUC=0.659;图 3)。以单支冠状动脉中度狭窄病变处 SUV_{max}=0.55 为界值,将筛选出的 25 例 ICR 患者(重度狭窄病变均在基线显像后完成 PCI,而中度狭窄病变未进行再血管化治疗)分为¹⁸F-NaF 阳性(SUV_{max} ≥0.55)与¹⁸F-NaF 阴性(SUV_{max} <0.55)组, Kaplan-Meier 分析示¹⁸F-NaF 阳性组 MACE 发生率明显高于¹⁸F-NaF 阴性组(5/14 与 0/11, χ²=6.07, P=0.014;图 4、5)。

讨 论

¹⁸F-NaF PET/CT 以早期靶向微钙化来识别易

损斑块^[12-14],但其在评估 CAD 患者未来心血管事件方面的价值还没有定论,尤其其对冠状动脉多支病变 CAD 患者预后价值的相关报道鲜见。近年研究显示,基于¹⁸F-NaF 代谢评估的冠状动脉粥样硬化斑块活性可以预测部分心血管不良事件,如心源性死亡、心肌梗死^[15-17]。本研究随访截点为 MACE,研究结果显示,对于多支病变的 CAD 患者, S-SUV_{max} 将冠状动脉各主要分支斑块微钙化活动性叠加,能较仅体现单点病变局部斑块易损性的 SUV_{max} 更好地反映冠状动脉总体易损性,是 MACE 的强力预测因子[HR=2.434(95% CI: 1.547~3.828), P<0.001]。对多支病变 CAD 患者,¹⁸F-NaF PET/CT 显像参数 S-SUV_{max} 在预测未来心血管事件方面价值更大,可作为远期预后的独立预测因子。

研究显示,CR 可降低冠状动脉多支病变 STEMI 患者的 MACE 发生率^[18-20],美国心脏病学会指南也建议在可行的情况下对多支病变患者进行 CR 治疗^[9]。现阶段临床仍以 CAG 为确定冠状动脉解剖、

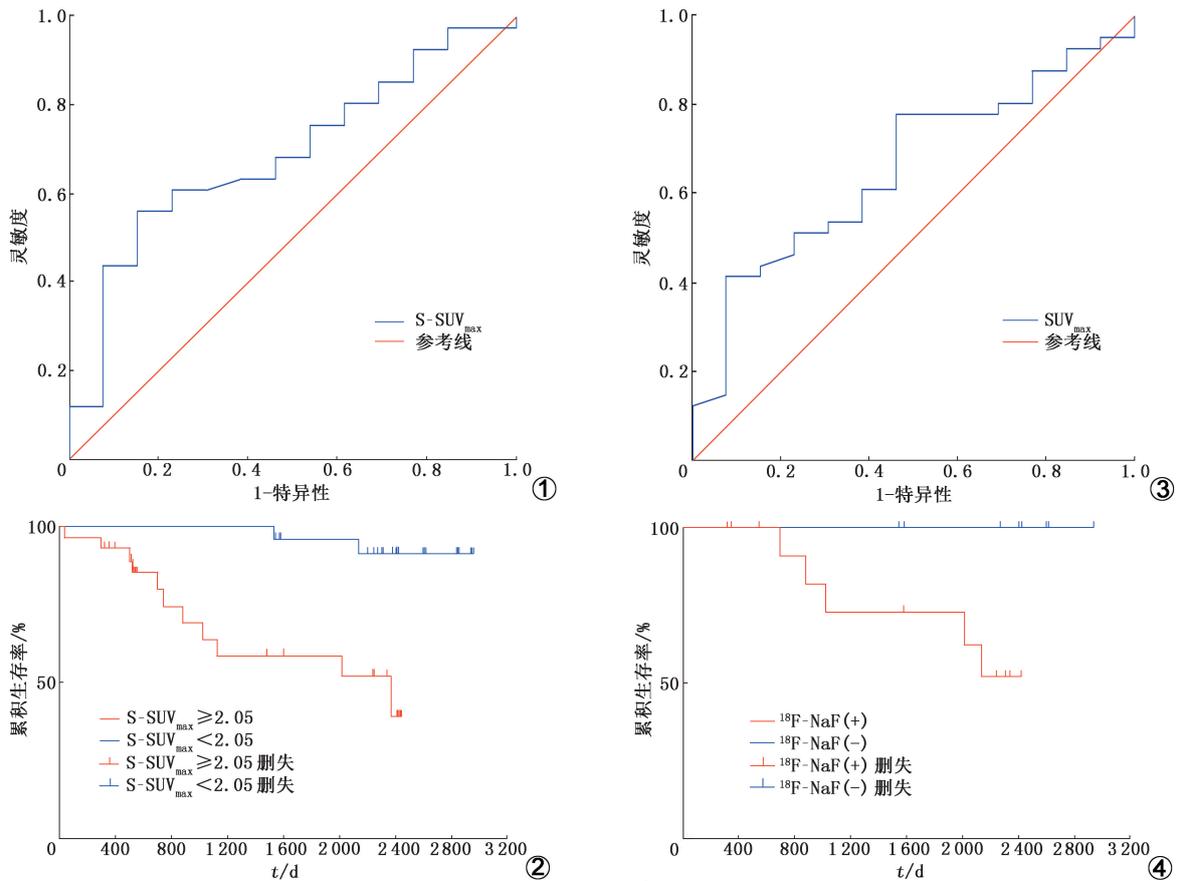


图 1 ¹⁸F-NaF PET/CT 显像冠状动脉主要分支所有病灶处 SUV_{max} 的累积值(S-SUV_{max})预测 54 例冠状动脉粥样硬化性心脏病(CAD)患者主要心血管不良事件(MACE)的 ROC 曲线 图 2 S-SUV_{max} ≥2.05(n=29)与<2.05(n=25)组 CAD 患者的累积生存率 图 3 ¹⁸F-NaF PET/CT 显像 SUV_{max} 预测 54 例 CAD 患者 MACE 的 ROC 曲线 图 4 ¹⁸F-NaF 阳性组(n=14)与阴性组(n=11)不完全血运重建(ICR)患者的累积生存率

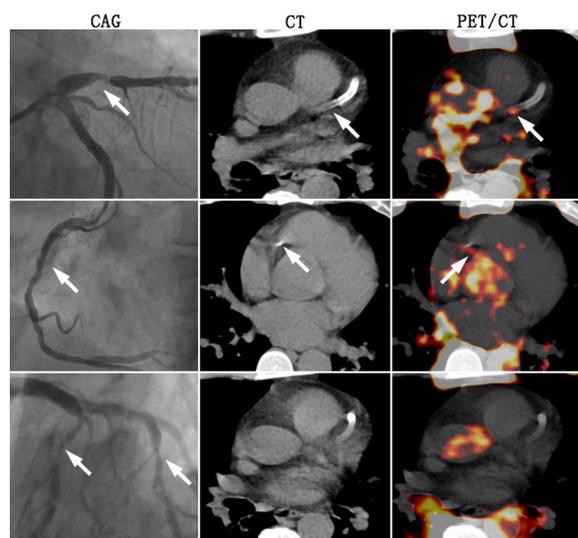


图5 不完全血运重建(ICR)患者影像学检查图(箭头示病变处)。患者1(第1、2排),男,58岁,冠状动脉造影(CAG)示左前降支(LAD)近段90%狭窄,右冠状动脉(RCA)近段40%狭窄;CT示LAD植入支架1枚,RCA近段点状钙化;PET/CT示LAD近段及RCA近段均存在 $^{18}\text{F-NaF}$ 高摄取。该患者基线PET/CT显像后5年半死亡。患者2(第3排),男,61岁,CAG示LAD近段90%狭窄、中段80%狭窄,左回旋支(LCX)近段60%狭窄;CT示LAD植入支架1枚;PET/CT示LCX近段未出现 $^{18}\text{F-NaF}$ 高摄取,至随访截止时该患者未发生主要心血管不良事件(MACE)

狭窄程度的首选方法,但仅靠CAG解剖学参数对多支病变患者再血管化治疗决策的制定并不足够。继CR理念提出后,功能学影像参数渐受青睐。有研究提出对于稳定型CAD患者,血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)引导的PCI与单独药物治疗相比更能改善预后,且在多支病变患者中,FFR引导的CR者未来心血管事件风险更低^[21-22]。本研究在多支病变CAD患者中筛选出25例ICR患者,每例患者的重度狭窄病变均在基线显像后完成PCI,而中度狭窄病变均未进行再血管化治疗,这种筛选方式可以保证以患者中度狭窄病变处 $^{18}\text{F-NaF}$ 摄取分组的阳性与阴性组间具有可比性。在该25例中,超1/2的中度冠脉狭窄病变表现为 $^{18}\text{F-NaF}$ 摄取阳性($\text{SUV}_{\text{max}} \geq 0.55$),且该人群远期MACE发生率高于 $^{18}\text{F-NaF}$ 摄取阴性者。此研究结果提示 $^{18}\text{F-NaF}$ PET/CT代谢参数可定量评估中度狭窄病变的远期进展情况,其在冠状动脉多支病变患者再血管化治疗指导方面具有潜能。

综上,本研究表明 $^{18}\text{F-NaF}$ PET/CT冠状动脉总体代谢参数 $\text{S-SUV}_{\text{max}}$ 可作为MACE的独立预测因子来评估CAD患者远期预后, $^{18}\text{F-NaF}$ PET/CT有望

成为基于斑块危险分层的无创指导冠状动脉多支病变再血管化治疗决策的新方式。此外,本研究虽为小样本研究,但其为多中心、长时程队列研究,且纳入的研究对象基线特征一致性较好,使得研究结果具有一定的指导价值,不过仍需多中心大样本研究来验证。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 宇雪:研究实施、统计学分析、论文撰写;李莉:研究设计及指导、论文修改、经费支持;靳春荣、洪钰、宋佳林、王波、王慧峰、司新成、师晓丽:研究实施;武志芳、李思进:研究指导、经费支持

参 考 文 献

- [1] Ferraro RA, van Rosendaal AR, Lu Y, et al. Non-obstructive high-risk plaques increase the risk of future culprit lesions comparable to obstructive plaques without high-risk features: the ICONIC study[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(9): 973-980. DOI:10.1093/ehjci/jeaa048.
- [2] Mancini GB, Hartigan PM, Bates ER, et al. Prognostic importance of coronary anatomy and left ventricular ejection fraction despite optimal therapy: assessment of residual risk in the Clinical Outcomes Utilizing Revascularization and Aggressive Drug Evaluation Trial [J]. *Am Heart J*, 2013, 166(3): 481-487. DOI:10.1016/j.ahj.2013.07.007.
- [3] Park DW, Clare RM, Schulte PJ, et al. Extent, location, and clinical significance of non-infarct-related coronary artery disease among patients with ST-elevation myocardial infarction[J]. *JAMA*, 2014, 312(19): 2019-2027. DOI:10.1001/jama.2014.15095.
- [4] Lansky AJ, Ng VG, Maehara A, et al. Gender and the extent of coronary atherosclerosis, plaque composition, and clinical outcomes in acute coronary syndromes[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2012, 5(3 Suppl): S62-S72. DOI:10.1016/j.jcmg.2012.02.003.
- [5] Bom MJ, van der Heijden DJ, Kedhi E, et al. Early detection and treatment of the vulnerable coronary plaque: can we prevent acute coronary syndromes? [J]. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(5): e005973. DOI:10.1161/CIRCIMAGING.116.005973.
- [6] Dietz M, Chironi G, Faraggi M. Reduced ^{18}F -sodium fluoride activity in coronary plaques after statin therapy[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(8): e133. DOI:10.1093/ehjci/jeab016.
- [7] Li L, Li X, Jia Y, et al. Sodium-fluoride PET-CT for the non-invasive evaluation of coronary plaques in symptomatic patients with coronary artery disease: a cross-correlation study with intravascular ultrasound[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2018, 45(12): 2181-2189. DOI:10.1007/s00259-018-4122-0.
- [8] 刘纯宝,兰晓莉,张永学.分子影像探测动脉粥样硬化易损斑块的靶点研究进展[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2016, 36(6): 560-564. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.06.022. Liu CB, Lan XL, Zhang YX. Targets of molecular imaging for detection of atherosclerosis vulnerable plaques [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2016, 36(6): 560-564. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2016.06.022.
- [9] Lawton JS, Tamis-Holland JE, Bangalore S, et al. 2021 ACC/AHA/SCAI guideline for coronary artery revascularization: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines [J]. *Circulation*, 2022, 145(3): e18-e114. DOI:10.1161/CIR.0000000000001038.

- [10] Oqab Z, Kunadian V, Wood DA, et al. Complete revascularization versus culprit-lesion-only PCI in STEMI patients with diabetes and multivessel coronary artery disease; results from the COMPLETE trial[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2023, 16(9): e012867. DOI: 10.1161/CIRCINTERVENTIONS.122.012867.
- [11] Visseren F, Mach F, Smulders YM, et al. 2021 ESC guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice[J]. *G Ital Cardiol (Rome)*, 2022, 23(6 Suppl 1): e3-e115. DOI:10.1714/3808.37926.
- [12] Høiland-Carlsen PF, Sturek M, Alavi A, et al. Atherosclerosis imaging with ¹⁸F-sodium fluoride PET: state-of-the-art review[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 47(6): 1538-1551. DOI:10.1007/s00259-019-04603-1.
- [13] Fletcher AJ, Lembo M, Kwiecinski J, et al. Quantifying microcalcification activity in the thoracic aorta[J]. *J Nucl Cardiol*, 2022, 29(3): 1372-1385. DOI:10.1007/s12350-020-02458-w.
- [14] Kwiecinski J, Tzolos E, Meah MN, et al. Machine learning with ¹⁸F-sodium fluoride PET and quantitative plaque analysis on CT angiography for the future risk of myocardial infarction[J]. *J Nucl Med*, 2022, 63(1): 158-165. DOI:10.2967/jnumed.121.262283.
- [15] Moss A, Daghm M, Tzolos E, et al. Coronary atherosclerotic plaque activity and future coronary events[J]. *JAMA Cardiol*, 2023, 8(8): 755-764. DOI:10.1001/jamacardio.2023.1729.
- [16] Kwiecinski J, Tzolos E, Adamson PD, et al. Coronary ¹⁸F-sodium fluoride uptake predicts outcomes in patients with coronary artery disease[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(24): 3061-3074. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.04.046.
- [17] Fletcher AJ, Tew YY, Tzolos E, et al. Thoracic aortic ¹⁸F-sodium fluoride activity and ischemic stroke in patients with established cardiovascular disease[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2022, 15(7): 1274-1288. DOI:10.1016/j.jcmg.2021.12.013.
- [18] Bossard M, Mehta SR. Complete or incomplete revascularization for ST-segment elevation myocardial infarction: the PRAMI trial to COMPLETE[J]. *Interv Cardiol Clin*, 2020, 9(4): 433-440. DOI:10.1016/j.iccl.2020.06.001.
- [19] Mehta SR, Wang J, Wood DA, et al. Complete revascularization vs culprit lesion-only percutaneous coronary intervention for angina-related quality of life in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: results from the COMPLETE randomized clinical trial[J]. *JAMA Cardiol*, 2022, 7(11): 1091-1099. DOI:10.1001/jamacardio.2022.3032.
- [20] Wood DA, Cairns JA, Wang J, et al. Timing of staged nonculprit artery revascularization in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: COMPLETE trial[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74(22): 2713-2723. DOI:10.1016/j.jacc.2019.09.051.
- [21] Xaplanteris P, Fournier S, Pijls N, et al. Five-year outcomes with PCI guided by fractional flow reserve[J]. *N Engl J Med*, 2018, 379(3): 250-259. DOI:10.1056/NEJMoa1803538.
- [22] Wang LJ, Han S, Zhang XH, et al. Fractional flow reserve-guided complete revascularization versus culprit-only revascularization in acute ST-segment elevation myocardial infarction and multi-vessel disease patients: a meta-analysis and systematic review[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2019, 19(1): 49. DOI:10.1186/s12872-019-1022-6.

(收稿日期:2024-02-28)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

2025 年本刊可直接用缩写的常用词汇

ATP(adenosine-triphosphate),三磷酸腺苷

AUC(area under curve),曲线下面积

CI(confidence interval),可信区间

CT(computed tomography),计算机断层摄影术

CV(coefficient of variation),变异系数

DNA(deoxyribonucleic acid),脱氧核糖核酸

FDG(fluorodeoxyglucose),脱氧葡萄糖

HAV(hepatitis A virus),甲型肝炎病毒

Hb(hemoglobin),血红蛋白

HBsAg(hepatitis B surface antigen),乙型肝炎表面抗原

HBV(hepatitis B virus),乙型肝炎病毒

HCV(hepatitis C virus),丙型肝炎病毒

MRI(magnetic resonance imaging),磁共振成像

PBS(phosphate buffered solution),磷酸盐缓冲液

PCR(polymerase chain reaction),聚合酶链反应

PET(positron emission tomography),正电子发射断层摄影术

PLT(platelet count),血小板计数

RBC(red blood cells),红细胞

RNA(ribonucleic acid),核糖核酸

ROC(receiver operating characteristic),受试者工作特征

ROI(region of interest),感兴趣区

SPECT(single photon emission computed tomography),单光子发射计算机断层摄影术

SUV(standardized uptake value),标准摄取值

SUV_{max}(maximum standardized uptake value),最大标准摄取值SUV_{mean}(mean standardized uptake value),平均标准摄取值

WBC(white blood cells),白细胞

WHO(World Health Organization),世界卫生组织

本刊编辑部