

FAP 显像在心血管疾病介入治疗中的研究进展

曾振宇¹ 杨亲亲² 杨木欢¹ 郭志福¹ 左长京² 程超² 刘夙璇¹

¹海军军医大学第一附属医院心内科, 上海 200433; ²海军军医大学第一附属医院核医学科, 上海 200433

通信作者: 刘夙璇, Email: suxuan.liu@qq.com

【摘要】 介入技术作为多种心血管疾病的一线治疗手段, 显著改善了患者的症状与预后。然而, 早期精确诊断与个体化治疗仍面临诸多挑战。成纤维细胞激活蛋白抑制剂 (FAP) 显像作为一种新兴分子影像技术, 能从分子影像层面无创、动态显示心肌纤维化的发生发展, 对心血管疾病的早期诊断和预后评估具有独特优势。该文系统阐述 FAP 显像在急性心肌梗死、心律失常及结构性心脏病介入治疗中的研究进展, 并深入探讨其在心血管疾病介入治疗中的指导意义和发展前景。

【关键词】 心血管疾病; 正电子发射断层摄影术; 放射性核素显像; 膜蛋白质类; 发展趋势; FAP

基金项目: 国家自然科学基金 (82370385); 上海市卫生健康委员会新兴交叉领域研究专项 (2022JC004)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250616-00192

Research progress of FAP imaging in interventional therapy for cardiovascular diseases

Zeng Zhenyu¹, Yang Qinqin², Yang Muhuan¹, Guo Zhifu¹, Zuo Changjing², Cheng Chao², Liu Suxuan¹

¹Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital (Changhai Hospital) of Naval Medical University, Shanghai 200433, China; ²Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital (Changhai Hospital) of Naval Medical University, Shanghai 200433, China

Corresponding author: Liu Suxuan, Email: suxuan.liu@qq.com

【Abstract】 Interventional techniques, established as the first-line therapy for various cardiovascular diseases, have markedly improved patients' symptoms and prognosis. However, challenges remain in early precise diagnosis and individualized treatment strategies. Fibroblast activation protein inhibitor (FAP) imaging, an emerging molecular imaging technique, enables non-invasive and dynamic visualization of the occurrence and progression of myocardial fibrosis at the molecular level. It offers distinct advantages for early diagnosis and prognostic evaluation of cardiovascular diseases. This article systematically reviews the research progress of FAP imaging in the interventional management of acute myocardial infarction, arrhythmia, and structural heart disease, while further exploring its guiding significance and future prospects in cardiovascular interventions.

【Key words】 Cardiovascular diseases; Positron-emission tomography; Radionuclide imaging; Membrane proteins; Trends; FAP

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82370385); Shanghai Municipal Health Commission Emerging Interdisciplinary Research Project (2022JC004)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250616-00192

心血管疾病是全球范围内导致死亡的主要原因之一。心肌纤维化是心血管疾病终末期的共同病理生理改变, 实现心肌纤维化的准确诊断, 对于开展抗心肌纤维化治疗、降低心血管疾病死亡率具有重要意义。目前心肌纤维化影像学诊断主要依赖于心脏 MR (cardiac MR, CMR), 但通过测量 T₁ mapping、细胞外容积和钆延迟增强 (late gadolinium enhancement, LGE) 成像仅能间接识别中晚期心肌纤维化^[1]。

成纤维细胞激活蛋白 (fibroblast activation protein, FAP) 是一种与基质重塑相关的跨膜丝氨酸蛋白酶, 在活化的成纤维细胞表面表达, 是早期纤维化的特异性标志物^[2]。⁶⁸Ga 或 ¹⁸F 等放射性核素标记的 FAP 抑制剂 (FAP inhibitor, FAPI) 通过靶向结合活化成纤维细胞表面的 FAP, 可在 PET/CT、PET/MR 或 SPECT 中无创、动态显示纤维化的发生发展过

程^[3], 已在急性心肌梗死 (acute myocardial infarction, AMI)、心力衰竭等心血管疾病的早期纤维化诊断中发挥重要作用^[4-5]。近年来, 心血管疾病介入治疗技术迅速发展, 已成为心血管疾病的一线治疗手段。本文对近年来 FAP 显像在心血管疾病介入治疗中的应用进展进行综述, 并展望其未来发展前景。

一、FAP 显像在 AMI 介入治疗中的应用

FAP 显像在心血管领域最早应用于 AMI。AMI 是由于冠状动脉急性、持续性闭塞引起的心肌缺血坏死, 起病急、进展迅速, 并发症多且死亡率高。临床上, 根据心电图表现将 AMI 分为 ST 段抬高型心肌梗死 (ST-segment elevation myocardial infarction, STEMI) 和非 ST 段抬高型心肌梗死 (non-STEMI, NSTEMI) 2 种。心肌细胞坏死后, 局部免疫炎症反应

促使心肌成纤维细胞分化为高表达 FAP 的活化成纤维细胞,这些细胞合成大量细胞外基质蛋白,形成修复性瘢痕^[6]。在心肌梗死早期,这一过程有利于保持心脏结构完整,但过度纤维化会导致心脏功能障碍,进而引发心室重构及心力衰竭,是心肌梗死患者预后不良的重要因素^[7]。Varasteh 等^[8]应用⁶⁸Ga-FAPI 对前降支结扎的 AMI 大鼠进行观察,发现 FAPI 可以显示心肌梗死后修复性纤维化过程,且心肌 FAPI 的摄取在梗死后第 6 天达到峰值。在动物实验基础上,FAPI 在 AMI 中的临床研究逐步开展。

经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)是治疗 STEMI 的重要手段。早期 PCI 血运重建能显著改善 STEMI 患者预后,然而即使在 PCI 成功后,仍有 20%~30% 的心肌梗死患者出现心室重构。Diekmann 等^[9]对 12 例 STEMI 患者在 PCI 术后 6~11 d 行 CMR、SPECT 及 FAPI PET 检查,结果显示,心肌 FAPI 的表达范围显著大于灌注缺损区域和 LGE 区域,表明除梗死核心区的修复性纤维化外,心肌成纤维细胞活化在非梗死心肌的反应性纤维化中同样发挥作用。Xie 等^[10]比较了 14 例 STEMI 患者 PCI 术后 FAPI 显像与 CMR 参数,发现梗死边缘区的 FAPI 摄取高于梗死核心的微血管阻塞区域;此外,心肌基线 FAPI 摄取强度与 CMR 随访[梗死后(84±4) d]测得的左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)呈负相关。Zhang 等^[11]对 26 例行 PCI 的 STEMI 患者开展基线和 12 个月随访的 FAPI PET/MR 检查,结果显示,与基线临床资料、CMR 和心功能指标相比,基线 FAPI 水平对患者晚期心室重构的预

测能力更佳。除 PET 显像外,⁹⁹Tc^m-联胍尼克酰胺-FAPI-04(hydrazinonicotinamide-FAPI-04, HFAPI) SPECT 显像同样显示 AMI 后患者在梗死区外存在 FAP 摄取升高,且升高水平与 LVEF 呈负相关^[12]。综上所述,FAPI 显像不仅能显示梗死区域,还能揭示梗死边缘区的成纤维细胞活化过程和纤维化范围,这有助于更好地对心肌梗死 PCI 术后患者进行危险分层、量化 AMI 后可挽救的心肌范围、判断抗纤维化治疗时机及评估预后,进而改善心肌梗死患者临床结局。近 5 年 FAPI 显像在 AMI 患者 PCI 术后的相关临床应用汇总见表 1。

与 STEMI 的单支血管急性完全闭塞不同,NSTEMI 常表现为多支血管重度狭窄,冠状动脉造影或心电图有时难以明确罪犯血管,给手术方案的选择带来一定困难。笔者团队前期开展的急性冠状动脉综合征合并疑似胃肠道肿瘤患者的 FAPI 研究证实,可以通过 FAPI 显像观察心肌损伤部位辅助判断 NSTEMI 发病的罪犯血管,为多支病变 NSTEMI 患者的介入治疗策略提供重要信息^[17]。同时,FAPI 在肿瘤和心肌梗死中均具有出色的分子显像效果,在冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)合并肿瘤患者的诊疗中可同时检测心血管疾病和肿瘤^[20],在全面评估心肌损伤范围和程度的同时,判断肿瘤进行有创操作或手术的必要性,以及 PCI 急性期停用抗血小板药物的潜在风险等。随着 FAPI 显像近年在肿瘤和心血管领域应用的不断深入,其在 AMI 合并肿瘤患者的诊疗指导、危险分层和预后评估等方面,有望发挥“1+1>2”的重要作用。

二、FAPI 显像在心律失常介入治疗中的应用

随着人口老龄化进程的加速,心房颤动(atrial fibrilla-

表 1 近 5 年 FAPI 显像在 AMI 患者 PCI 术后的临床应用文献汇总

年份	检测时间(AMI 后)	例数	显像剂	摄取主要结论	参考文献
2021	6~11 d	12	⁶⁸ Ga-FAPI-46	CMR 定位的梗死区域 FAPI 摄取显著增强,且范围超过 SPECT 定义的灌注缺损范围和 CMR 定义的 LGE 梗死范围	[9] ^a
2021	(18±20.6) d	10	⁶⁸ Ga-FAPI-04	示踪剂摄取与冠状动脉造影证实病变范围吻合,成纤维细胞激活体积与左心室功能呈负相关	[13]
2022	1 个月	1	⁶⁸ Ga-FAPI-04	FAPI PET/MR 既能检测心肌中的活化成纤维细胞,也能展示心脏结构、功能及组织灌注、组织学特征	[14] ^b
2022	6 d	5	⁶⁸ Ga-FAPI-04	示踪剂摄取范围与罪犯血管支配区域匹配,CMR 检测正常心肌和陈旧性心肌梗死瘢痕处无 FAPI 摄取	[15] ^b
2022	(6±2) d	28	Al ¹⁸ F-NOTA-FAPI	FAPI 摄取超过 CMR 定义范围,且 FAPI 摄取强度与随访的左心室射血分数呈负相关	[10]
2022	11 d	35	⁶⁸ Ga-FAPI-46	FAPI 表达上调面积大于 SPECT 灌注缺损范围和 LGE 梗死范围,FAPI 信号与 CMR 定义的局部组织信号不匹配,FAP 体积可预测心室功能预后情况	[16]
2023	3~8 d 及术后 1 年	26	⁶⁸ Ga-DOTA-FAPI-04	与基线时的临床信息、CMR 和心功能指标相比,基线 FAPI 摄取体积能更好地预测晚期心室重构	[11]
2023	1 周内	12	⁶⁸ Ga-FAPI-04	FAPI 显像能同时评估心肌受损情况及检测肿瘤,指导疑似胃肠道恶性肿瘤的急性冠状动脉综合征患者侵入性检查时机	[17]
2024	(30.9±22) d	11	⁶⁸ Ga-FAPI-46	成纤维细胞活化体积显著超过 CMR 梗死面积,缺血后心肌中有持续的成纤维细胞激活,心肌梗死数月(512 d)仍可检测到心肌重塑	[18]
2024	(5±2) d、 (438±53) d	58	⁹⁹ Tc ^m -HFAPI	基线 ⁹⁹ Tc ^m -HFAPI 活性与生物标志物(BNP、WBC、LDH、肌钙蛋白)显著相关,与左心室功能呈负相关	[12]
2025	1、2、4 和 12 周	79	⁶⁸ Ga-FAPI-46	心肌成纤维细胞活化在急性心肌梗死后 1 周达到峰值,在梗死区域之外同样存在;这一过程可以持续数年,并与左心室重构相关	[19]

注:FAPI 为成纤维细胞激活蛋白抑制剂,AMI 为急性心肌梗死,PCI 为经皮冠状动脉介入治疗,NOTA 为 1,4,7-三氮杂环壬烷-1,4,7-三乙酸,DOTA 为 1,4,7,10-四氮杂环十二烷-1,4,7,10-四乙酸,HFAPI 为联胍尼克酰胺-FAPI-04,CMR 为心脏 MR,LGE 为钆延迟增强,BNP 为 B 型利钠肽,LDH 为乳酸脱氢酶;^a为简讯(快报),^b为病例报告,余为论著

tion, AF)的疾病负担呈现上升趋势,显著增加了卒中、心力衰竭、痴呆甚至死亡的风险^[21]。在 AF 的发生和发展中,心房纤维化起着至关重要的作用。Li 等^[22]分别对左心耳起搏构建的 AF 比格犬模型及临床 AF 患者进行¹⁸F-FAPI PET/CT 显像,结果显示,AF 动物模型及 AF 患者的心房 FAPI 摄取均显著增加,而健康犬和健康对照者则未见心房 FAPI 摄取。Zhang 等^[23]发现,心房¹⁸F-FAPI 摄取阳性区域的活组织检查纤维化沉积更明显,持续性 AF 及永久性 AF 患者左心房后壁的纤维化阳性率明显高于阵发性 AF 患者和健康人群,表明 FAPI PET 显像是评估 AF 心房心肌纤维化进程的有效手段。经导管环肺静脉隔离(pulmonary vein isolation, PVI)是 AF 介入治疗的基石,能够显著减少 AF 的发作。目前一线的 PVI 介入治疗手段是射频消融术(radiofrequency ablation, RFA),主要通过导管将射频电流传导至心肌,利用热效应使肺静脉周边心肌组织坏死,从而阻断异常电活动的传导。冷冻球囊消融(cryoballoon ablation, CBA)是 AF 介入治疗的新方法,其将装有液氮的球囊导管送至靶肺静脉消融部位,通过制冷剂吸收热量降低心肌局部温度,使局部组织坏死。Kupusovic 等^[24]采用⁶⁸Ga-FAPI PET/CT 对 AF 患者 PVI 术后进行研究,发现 PVI 术后患者的 FAPI 摄取明显增加,且 CBA 组相较于 RFA 组术后对 FAPI 的摄取更高。FAPI 分子显像进一步证实,基于“冰”原理的 CBA 术后心肌损伤程度高于基于“火”原理的 RFA。

近年新出现的脉冲电场消融(pulsed field ablation, PFA)则是利用“电”原理达到治疗 AF 的目的。PFA 主要利用短时、高振幅的电脉冲释放消融能量来实现 PVI,具有独特的非热性和组织选择性,对血管、神经、食管等邻近组织的损伤极小^[25]。在既往的研究中,PFA 组在术后 1 年的 AF 复发率与 CBA 组差异没有统计学意义^[26];Kupusovic 等^[27]比较了 PFA 术后[第(22.9±13.4)天]和 CBA 术后[第(24.9±14.3)天]AF 患者的⁶⁸Ga-FAPI 摄取情况,结果显示与 CBA 相比,PFA 所致的成纤维化细胞活化水平更低,从而证实了 PFA 具有较高的组织选择性和安全性。

综上,FAPI PET 显像从分子影像层面证实了基于“火”“冰”和“电”原理的 3 种 PVI 术式对 AF 患者心房心肌纤维化程度的影响存在显著不同。与 CBA 相比,PFA 的组织损伤和并发症更少,是一种有效且更安全的 PVI 方式。目前尚无 PFA 与 RFA 之间的 FAPI 对比研究,有待临床进一步开展。随着 FAPI PET 显像图像对比度和靶本比的不断提高,未来有望通过检测心房 FAPI 摄取强度,更好地评估心房心肌组织纤维化程度、AF 介入手术的心肌损伤程度,发现消融区域中的间隙等,从而更加深入地理解 AF 的发病机制、指导 PVI 手术安全有效进行,并优化对 AF 患者介入手术的预后判断。

三、FAPI 显像在结构性心脏病介入治疗中的应用

心脏瓣膜病(valvular heart disease, VHD)引起的左心室压力和(或)容量超负荷可诱发不良心肌重塑(如心肌纤维化),而心肌纤维化在 VHD 病程进展中发挥关键作用,并与瓣膜置换术的手术疗效和预后密切相关。虽然瓣膜置换术能有效缓解心脏超负荷,但部分患者仍会出现持续性或进行性的左心功能障碍^[28]。笔者团队前期构建腹主动脉缩窄

(abdominal aortic constriction, AAC)心力衰竭大鼠模型模拟临床主动脉瓣狭窄(aortic stenosis, AS)的病理过程,⁶⁸Ga-FAPI-04 PET/CT 显像显示,AAC 后 2~8 周心脏 FAPI 摄取逐渐增加,且早期摄取强度与大鼠远期心功能恶化程度密切相关^[29]。

Wang 等^[30]对 31 例接受瓣膜置换术的患者行⁹⁹Tc^m-FAPI SPECT/CT 和超声心动图随访,其中 9 例术后实现完全心脏逆重构,多变量回归分析显示基线 FAPI 摄取强度与术后心脏逆重构显著相关。2023 年一项研究纳入 23 例 AS 患者^[31],在经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)前 1~3 d 进行⁶⁸Ga-FAPI PET、CMR 和超声检查,以无心脏病史的肿瘤患者为对照组,结果显示 AS 患者心肌 FAPI 摄取体积显著高于对照组,且与心力衰竭标志物 N 末端 B 型利钠肽原的表达水平呈正相关,但与 CMR 参数没有相关性。FAPI PET 显像可作为评估 AS 心力衰竭严重程度的分子影像工具,术前心肌较高的 FAPI 摄取与术后 LVEF 改善密切相关。笔者推测,FAPI 高摄取不仅反映心力衰竭严重程度,也表明心肌中存在活化的成纤维细胞,而非无活性的瘢痕组织。这提示,FAPI 显像对于筛选适合 TAVR 或外科手术的 AS 患者可能具有重要的临床指导价值。

二尖瓣反流的常见病因包括冠心病导致的缺血性心脏病及瓣膜退行性改变。由于二者均高发于老年人群^[32],病因判断存在困难。Chen 等^[33]比较分析了冠心病与退行性二尖瓣反流患者的¹⁸F-FAPI 摄取范围,发现两者在左心室 FAPI 摄取分布有明显不同的模式:冠心病患者 FAPI 往往分布于心肌缺血区域,而退行性病变患者的 FAPI 高摄取位于瓣环及乳头肌位置,且基底间隔或者基底下段的 FAPI 摄取与二尖瓣功能呈正相关。这一发现有助于明确二尖瓣反流的病因,帮助临床医师选择更合适的治疗方案。

四、小结与展望

FAPI 显像作为一种新兴分子影像技术,能够更精准地定量和定位心肌纤维化,有望为急性心肌梗死、心律失常和结构性心脏病介入治疗的患者选择、疗效评估和预后判断提供重要的影像学依据。随着介入心脏病学近年的快速发展,FAPI 显像多个领域的应用还有待进一步探索:二尖瓣和三尖瓣介入治疗、室性心律失常 RFA、心力衰竭心脏再同步化治疗等。心血管介入医师与核医学科医师需加强学科交叉合作,共同探索 FAPI 显像在更多心血管疾病中的应用,更好地为心血管疾病患者的诊疗和预后判断提供分子影像依据。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 曾振宇:文献检索、论文撰写;杨亲亲、杨木欢:文献检索、论文修改;郭志福、左长京、程超:研究指导;刘凤璇:研究指导、经费支持

参 考 文 献

- [1] 韩佳莉,李莉,武萍,等. FAPI 核素显像在心血管疾病中的研究进展[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2024, 44(4): 244-248. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20221205-00364.
- Han JL, Li L, Wu P, et al. Research progress of FAPI radionuclide imaging in cardiovascular diseases[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2024, 44(4): 244-248. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20221205-00364.

- [2] Aghajanian H, Kimura T, Rurik JG, et al. Targeting cardiac fibrosis with engineered T cells[J]. *Nature*, 2019, 573(7774): 430-433. DOI:10.1038/s41586-019-1546-z.
- [3] 古宇帆,汪蕾,方伟.放射性核素标记成纤维细胞激活蛋白抑制剂 PET 显像应用于心脏疾病的研究进展[J].中华核医学与分子影像杂志, 2023, 43(5): 308-311. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220105-00002.
- Gu YF, Wang L, Fang W. Research progress of radionuclide labeled fibroblast activation protein inhibitors PET imaging in cardiac diseases[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2023, 43(5): 308-311. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220105-00002.
- [4] Mayola MF, Thackeray JT. The potential of fibroblast activation protein-targeted imaging as a biomarker of cardiac remodeling and injury[J]. *Curr Cardiol Rep*, 2023, 25(6): 515-523. DOI:10.1007/s11886-023-01869-8.
- [5] Barison A, Timoteo AT, Liga R, et al. Cardiovascular imaging research and innovation in 2023[J]. *Eur Heart J Imaging Methods Pract*, 2024, 2(1): qyae029. DOI:10.1093/ehjimp/qyae029.
- [6] Tillmanns J, Weiglein JM, Neuser J, et al. Circulating soluble fibroblast activation protein (FAP) levels are independent of cardiac and extra-cardiac FAP expression determined by targeted molecular imaging in patients with myocardial FAP activation[J]. *Int J Cardiol*, 2024, 406: 132044. DOI:10.1016/j.ijcard.2024.132044.
- [7] Mastoor Y, Murphy E, Roman B. Mechanisms of postischemic cardiac death and protection following myocardial injury[J]. *J Clin Invest*, 2025, 135(1): e184134. DOI:10.1172/JCI184134.
- [8] Varasteh Z, Mohanta S, Robu S, et al. Molecular imaging of fibroblast activity after myocardial infarction using a ^{68}Ga -labeled fibroblast activation protein inhibitor, FAPI-04[J]. *J Nucl Med*, 2019, 60(12): 1743-1749. DOI:10.2967/jnumed.119.226993.
- [9] Diekmann J, Koenig T, Zwadlo C, et al. Molecular imaging identifies fibroblast activation beyond the infarct region after acute myocardial infarction[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2021, 77(14): 1835-1837. DOI:10.1016/j.jacc.2021.02.019.
- [10] Xie B, Wang J, Xi XY, et al. Fibroblast activation protein imaging in reperfused ST-elevation myocardial infarction: comparison with cardiac magnetic resonance imaging[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49(8): 2786-2797. DOI: 10.1007/s00259-021-05674-9.
- [11] Zhang M, Quan W, Zhu T, et al. [^{68}Ga] Ga-DOTA-FAPI-04 PET/MR in patients with acute myocardial infarction: potential role of predicting left ventricular remodeling[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2023, 50(3): 839-848. DOI: 10.1007/s00259-022-06015-0.
- [12] Hua C, Xi XY, Zhang Y, et al. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HFAPI SPECT imaging predicts left ventricular remodeling after acute myocardial infarction[J]. *J Nucl Cardiol*, 2024, 38: 101910. DOI:10.1016/j.nuclcard.2024.101910.
- [13] Kessler L, Kupusovic J, Ferdinandus J, et al. Visualization of fibroblast activation after myocardial infarction using ^{68}Ga -FAPI PET[J]. *Clin Nucl Med*, 2021, 46(10): 807-813. DOI: 10.1097/RLU.0000000000003745.
- [14] Yuan T, Wang X. ^{68}Ga -FAPI PET/MRI in coronary heart disease[J]. *J Nucl Cardiol*, 2022, 29(6): 3608-3610. DOI: 10.1007/s12350-021-02667-x.
- [15] Notohamiprodjo S, Nekolla SG, Robu S, et al. Imaging of cardiac fibroblast activation in a patient after acute myocardial infarction using ^{68}Ga -FAPI-04[J]. *J Nucl Cardiol*, 2022, 29(5): 2254-2261. DOI:10.1007/s12350-021-02603-z.
- [16] Diekmann J, Koenig T, Thackeray JT, et al. Cardiac fibroblast activation in patients early after acute myocardial infarction: integration with MR tissue characterization and subsequent functional outcome[J]. *J Nucl Med*, 2022, 63(9): 1415-1423. DOI:10.2967/jnumed.121.263555.
- [17] Ying M, Yang Q, Xu X, et al. Value of [^{68}Ga] Ga-FAPI-04 PET imaging in acute coronary syndrome complicated by suspected gastrointestinal malignancies[J]. *VIEW*, 2023, 4(5): 20230018. DOI:10.1002/VIW.20230018.
- [18] Kupusovic J, Kessler L, Kazek S, et al. Delayed ^{68}Ga -FAPI-46 PET/MR imaging confirms ongoing fibroblast activation in patients after acute myocardial infarction[J]. *Int J Cardiol Heart Vasc*, 2024, 50: 101340. DOI:10.1016/j.ijcha.2024.101340.
- [19] Barton AK, Craig NJ, Loganath K, et al. Myocardial fibroblast activation after acute myocardial infarction: a positron emission tomography and magnetic resonance study[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2025, 85(6): 578-591. DOI:10.1016/j.jacc.2024.10.103.
- [20] 尹凤,赵军. FAPI PET 新视角:在心血管疾病中的应用进展[J].中华核医学与分子影像杂志, 2024, 44(11): 693-696. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240303-00084.
- Yin F, Zhao J. New perspectives on FAPI PET: advances in cardiovascular disease[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(11): 693-696. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240303-00084.
- [21] Xia L, Lu Y, Liu Y, et al. Trends and disparities in the global burden of atrial fibrillation and flutter in early-onset and older-age populations[J]. *Europace*, 2025, 27(9): euaf186. DOI:10.1093/europace/eaaf186.
- [22] Li L, Gao J, Chen BX, et al. Fibroblast activation protein imaging in atrial fibrillation: a proof-of-concept study[J]. *J Nucl Cardiol*, 2023, 30(6): 2712-2720. DOI:10.1007/s12350-023-03352-x.
- [23] Zhang Y, Chen Y, Guo J, et al. From paroxysmal to persistent atrial fibrillation: progressive fibrosis of the left atrial posterior wall[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2025, 18(10): 1131-1144. DOI: 10.1016/j.jcmg.2025.03.013.
- [24] Kupusovic J, Kessler L, Nekolla SG, et al. Visualization of thermal damage using ^{68}Ga -FAPI-PET/CT after pulmonary vein isolation[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49(5): 1553-1559. DOI:10.1007/s00259-021-05612-9.
- [25] Chen S, Narayan SM, Boveda S, et al. 2025 international expert practical guide on the use of the pentaspline pulsed field ablation system in atrial fibrillation ablation procedures[J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2025, 18(8): e013977. DOI:10.1161/CIRCEP.125.013977.
- [26] Pannone L, Doundoulakis I, Della Rocca DG, et al. Pentaspline catheter or cryoballoon for pulmonary vein plus posterior wall isolation in persistent atrial fibrillation: 1-year outcomes[J]. *Heart Rhythm*, 2025, 22(11): 2828-2835. DOI:10.1016/j.hrthm.2024.12.020.
- [27] Kupusovic J, Kessler L, Bruns F, et al. Visualization of fibroblast activation using ^{68}Ga -FAPI PET/CT after pulmonary vein isolation with pulsed field compared with cryoballoon ablation[J]. *J Nucl Cardiol*, 2023, 30(5): 2018-2028. DOI: 10.1007/s12350-023-03220-8.
- [28] Lee G, Chikwe J, Milojevic M, et al. ESC/EACTS vs. ACC/AHA guidelines for the management of severe aortic stenosis[J]. *Eur Heart J*, 2023, 44(10): 796-812. DOI: 10.1093/eurheartj/ehac803.

- [29] Wang G, Yang Q, Wu S, et al. Molecular imaging of fibroblast activity in pressure overload heart failure using [^{68}Ga] Ga-FAPI-04 PET/CT[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 50(2): 465-474. DOI:10.1007/s00259-022-05984-6.
- [30] Wang K, Song M, Li H, et al. Predicting reverse remodeling following valve replacement in patients with valvular heart disease: a longitudinal $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -FAPI SPECT/CT imaging study[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2025, 52(13): 5050-5059. DOI:10.1007/s00259-025-07406-9.
- [31] Diekmann J, Neuser J, Röhrich M, et al. Molecular imaging of myocardial fibroblast activation in patients with advanced aortic stenosis before transcatheter aortic valve replacement: a pilot study[J]. J Nucl Med, 2023, 64(8): 1279-1286. DOI:10.2967/jnumed.122.265147.
- [32] Dhont S, van den Acker G, van Loon T, et al. Mitral regurgitation in heart failure with preserved ejection fraction: the interplay of valve, ventricle, and atrium[J]. Eur J Heart Fail, 2024, 26(4): 974-983. DOI:10.1002/ehf.3231.
- [33] Chen Y, Guo J, Zhang Y, et al. Simultaneous ^{18}F -labeled AIF-FAPI PET/MR images targeting the myocardial fibrosis in coronary artery disease and degenerative mitral valve regurgitant participants with left ventricular mechanical dyssynchrony[J]. Clinics (Sao Paulo), 2025, 80: 100624. DOI:10.1016/j.clinsp.2025.100624.
- (收稿日期:2025-06-16)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

关于论文作者单位名称的书写要求

作者单位名称(具体到科室)、城市名及邮政编码列于作者姓名下方,并注明通信作者姓名及 Email 地址。数位作者分属不同单位时,在作者姓名后用左上角码按单位顺序编号,同时在作者单位前按序编号,以便作者与作者单位通过编号对应。所有作者来自相同单位或文章仅有 1 位作者,无需标注数字角码。作者单位需著录全称,同一单位的不同科室分别著录全称,不做缩略处理。原则上 1 位作者仅能著录 1 个单位(著录个人隶属的行政机构,如果作者隶属的行政机构与完成课题选题、研究方案设计、进行研究工作和提供研究条件的机构不一致,或作者隶属不同机构时,以提供研究条件和完成研究工作的机构为作者单位);确需标注多个单位的,需要在《中华医学会系列杂志论文投稿介绍信》加盖所有著录单位的公章(所有公章盖在同一张纸上),且第一作者单位应为资料来源单位。作者单位变动或作者中有研究生、进修医师等情况,均需在作者单位下方另行著录。

本刊有关文章涉及课题基金项目的标注要求

论文所涉及的课题如取得国家或部、省级以上基金或属攻关项目,应列出(双语著录),如“基金项目:国家自然科学基金(30271269,81273264);国家重点研发计划(2020YFC2008200)”及“Fund program: National Natural Science Foundation of China(39570835)”。中英文基金项目分别置于中文关键词、英文 Key words 下方。获得基金资助产出的文章作者需提供印有基金项目名称和项目编号的证明类文件复印件。

本刊编辑部