

· 全身 PET 临床应用 ·

胃癌和胰腺癌患者⁶⁸Ga-FAPI-04 全身动态 PET/CT 摄取动力学及显像时间优化

陈若华 陈翘楚 王成 万良荣 李梁华 刘建军

上海交通大学医学院附属仁济医院核医学科, 上海 200127

通信作者: 刘建军, Email: nuclearj@163.com

【摘要】 目的 评估胃癌和胰腺癌患者⁶⁸Ga-成纤维细胞激活蛋白抑制剂 (FAPI)-04 在正常器官及病灶中的摄取动力学特征, 探讨最佳显像时间窗。**方法** 采用自身对照重复测量设计。回顾性纳入 2021 年 4 月至 2021 年 12 月期间于上海交通大学医学院附属仁济医院 4 例胃癌和 8 例胰腺癌患者, 男女各 6 例, 年龄(48.6±9.5)岁。患者均行⁶⁸Ga-FAPI-04 全身动态 PET/CT 显像, 注射后 0~60 min 行连续动态扫描。在 11 个正常器官及病灶(原发肿瘤、淋巴结转移灶、腹膜转移灶)上勾画 ROI, 获得时间-活度曲线(TAC), 计算 SUV 及病灶-本底比(LBR)。采用重复测量方差分析(Bonferroni 校正)比较不同时间点参数差异。**结果** 正常器官中, 降主动脉、脾、肾、甲状腺在注射后 10 min 内呈快速升高后快速下降趋势, 肝、腮腺、颌下腺和胰腺呈现快速升高后缓慢下降模式, 肺、骨骼及肌肉维持低水平摄取(SUV_{mean} 0.4~1.7)。病灶中, SUV_{mean} 在 10 min 内快速上升, 原发肿瘤 60 min 达 8.9±0.6, 明显高于 5 min (5.6±0.6) 及 10 min (7.0±0.7; $F=31.40, P<0.001$); 而 SUV_{max} 在各时间点差异均无统计学意义(F 值: 0.10~3.14, P 值: 0.676~0.960)。三类病灶 LBR_{mean} 和 LBR_{max} 在注射后 0~60 min 持续上升, 60 min 达峰值。**结论** ⁶⁸Ga-FAPI-04 在正常器官中呈现异质性的摄取与廓清模式, 而在胃癌和胰腺癌病灶中表现为快速且持续的高摄取。注射后 60 min 病灶 LBR_{mean} 和 LBR_{max} 达峰值, 可能是这 2 种肿瘤的最佳 PET/CT 显像时间窗。

【关键词】 胃肿瘤; 胰腺肿瘤; 喹啉类; 药代动力学; 全身成像; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X 线计算机; ⁶⁸Ga-FAPI

基金项目: 上海市科委探索者计划(25TS1412300)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20260409-00107

Dynamic uptake kinetics and imaging time optimization of ⁶⁸Ga-FAPI-04 total-body PET/CT in gastric and pancreatic cancer

Chen Ruohua, Chen Qiaochu, Wang Cheng, Wan Liangrong, Li Lianghua, Liu Jianjun

Department of Nuclear Medicine, Renji Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200127, China

Corresponding author: Liu Jianjun, Email: nuclearj@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the dynamic ⁶⁸Ga-fibroblast activation protein inhibitor (FAPI)-04 uptake characteristics in normal organs and lesions, and to explore the optimal imaging time window in patients with gastric and pancreatic cancer. **Methods** A self-controlled repeated-measures design was conducted. Twelve patients (4 with gastric cancer, 8 with pancreatic cancer; 6 males, 6 females; age (48.6±9.5) years) who underwent ⁶⁸Ga-FAPI-04 total-body dynamic PET/CT in Renji Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University between April 2021 and December 2021 were retrospectively included. Continuous dynamic scanning was performed for 0–60 min after injection of ⁶⁸Ga-FAPI-04. ROIs were manually drawn on 11 normal organs and lesions (primary tumors, lymph node metastases, and peritoneal metastases) to generate time-activity curves (TACs). SUV_{mean}, SUV_{max} and lesion-to-background ratio (LBR) were calculated. Comparisons among different time points were performed using repeated measures analysis of variance with Bonferroni correction. **Results** Normal organs such as the descending aorta, spleen, kidneys, thyroids showed a rapid increase followed by a rapid decrease within 10 min post-injection, and the liver, parotid glands, submandibular glands, and pancreas exhibited a pattern of rapid uptake followed by a slow decline, whereas lungs, bone, and muscle demonstrated persistently low uptake (SUV_{mean} 0.4–1.7). The SUV_{mean} of primary tumors, lymph node metastases, and peritoneal metastases increased rapidly within the first 10 min and then gradually plateaued. SUV_{mean} of primary tumors at 60 min post-injection (8.9±0.6) was significantly higher than that at 5 min (5.6±0.6) and 10 min (7.0±0.7; $F=31.40, P<0.001$). No significant differences were found in SUV_{max} across time points (F values: 0.10–3.14, P values: 0.676–0.960). The

LBR_{mean} and LBR_{max} of all 3 lesions types increased continuously from 0 to 60 min, reaching peak values at 60 min post-injection. **Conclusions** ⁶⁸Ga-FAPI-04 demonstrates heterogeneous uptake and clearance patterns across normal organs, contrasts by a rapid and persistent high uptake in gastric and pancreatic cancer lesions. With both LBR_{mean} and LBR_{max} peaking at 60 min post-injection, this time point might serve as the optimal PET/CT imaging time window for these malignancies.

【Key words】 Stomach neoplasms; Pancreatic neoplasms; Quinolines; Pharmacokinetics; Whole body imaging; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; ⁶⁸Ga-FAPI

Fund program: Shanghai Municipal Science and Technology Commission Explorer Program (25TS1412300)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20260409-00107

⁶⁸Ga-成纤维细胞激活蛋白抑制剂(fibroblast activation protein inhibitor, FAPI)PET/CT 在多种恶性肿瘤中的诊断灵敏度优于¹⁸F-FDG PET/CT^[1-5],但各中心采集时间差异显著^[1,6-8],制约了定量参数的标准化。传统短轴 PET 因轴向视野有限,单帧采集时间长达 5~20 min,无法解析显像剂的早期快速分布情况^[9]。全身 PET 凭借扩展轴向视野实现了高灵敏度的全身动态显像^[10-11]。本研究利用该技术,在胃癌和胰腺癌患者中系统评估正常器官与病灶的⁶⁸Ga-FAPI-04 的动力学特征,以期确定最佳显像时间窗,为 FAPI PET/CT 显像协议的规范化提供依据。

资料与方法

1.研究对象。本研究采用自身对照重复测量设计,经上海交通大学医学院附属仁济医院伦理委员会批准(2021-12-29)。回顾性纳入 2021 年 4 月至 2021 年 12 月期间在上海交通大学医学院附属仁济医院行⁶⁸Ga-FAPI-04 PET/CT 显像的 12 例肿瘤患者,男女各 6 例,年龄 38~61(48.6±9.5)岁;胰腺癌 8 例,胃癌 4 例。9 例显像用于初始分期,3 例显像用于术后随访。

纳入标准:(1)病理诊断为胃癌或胰腺癌;(2)年龄>18 岁;(3)有明确临床适应证需行肿瘤初始分期或术后随访评估;(4)临床病理特征及随访资料完整。排除标准:(1)合并其他恶性肿瘤;(2)伴严重的心、肝、肾功能不全或处于疾病终末期无法配合完成检查。

2.显像方案。(1)PET/CT 显像。⁶⁸Ga-FAPI-04 由本院核医学科合成,放化纯>95%。参照专家共识^[12],在足背静脉注射⁶⁸Ga-FAPI-04(122.1±22.2)MBq,注射后立即启动全身 PET/CT(uEXPLORER,上海联影医疗科技股份有限公司)动态 PET 扫描,采集时间 0~60 min。扫描方案:CT 透射扫描用于衰减校正,随后行连续动态 PET 采集。

(2)帧设置与重建。动态数据按以下协议分帧:0~1 min,每 2 s 1 帧;1~2 min,每 5 s 1 帧;2~

3 min,每 10 s 1 帧;3~5 min,每 30 s 1 帧;5~30 min,每 60 s 1 帧;30~60 min,每 120 s 1 帧,共 92 帧。采用飞行时间+点扩散函数+列表模式有序子集最大期望值迭代法重建,矩阵 239×239×679,体素大小 2.85 mm³^[13]。

3.图像分析。将图像传输至工作站(uWS-MI R001;上海联影医疗科技股份有限公司)进行动态分析。由 2 位核医学科医师在正常器官与病灶上手勾画 ROI,分歧通过协商解决。正常器官 ROI 置于肝、脾、肾、肺、骨骼、肌肉、甲状腺、腮腺、颌下腺、胰腺及降主动脉;病灶 ROI 沿原发肿瘤、淋巴结转移灶及腹膜转移灶边缘勾画。

基于 ROI 计算 SUV_{max}及 SUV_{mean},进行半定量评估。以降主动脉 SUV_{mean}作为血池本底,计算病灶-本底比(lesion-to-background ratio, LBR)^[7]:LBR_{mean}=病灶 SUV_{mean}/降主动脉 SUV_{mean},LBR_{max}=病灶 SUV_{max}/降主动脉 SUV_{mean}。

4.统计学处理。采用 IBM SPSS Statistics 22.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的定量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。多时间点 SUV、LBR 的比较采用重复测量方差分析,多重比较采用 Bonferroni 校正。多重校正后以 $P < 0.005$ 为差异有统计学意义,余检验以 $P < 0.05$ 为阈值(双侧检验)。

结 果

1.正常器官摄取情况。不同器官呈现不同的摄取分布模式(表 1)。降主动脉、脾、肾和甲状腺在注射后 10 min 内快速达峰并洗脱,注射后 10~60 min 缓慢下降;肝、腮腺、颌下腺和胰腺呈快速摄取后缓慢下降模式;肺、骨骼和肌肉 SUV_{mean} 始终维持低水平,最高 SUV_{mean} 为 0.4~1.7。至 60 min,正常器官摄取均降至较低水平,最高 SUV_{mean} 为 0.1~2.4。各器官 SUV_{max} 时间-活度曲线(time-activity curve, TAC)见图 1。

2.病灶摄取情况。注射后 60 min 共检出 34 个摄取病灶,其中 9 个位于原发肿瘤,19 个位于淋巴结,

表 1 不同正常器官 SUV_{mean} 的摄取模式($\bar{x}\pm s$)

摄取模式	正常器官	注射后 SUV_{mean} 达峰时间(s)	SUV_{mean} 峰值	注射后 60 min 的 SUV_{mean}
0~10 min 快速升高并快速下降、10~60 min 缓慢下降	降主动脉	52.7±8.0	18.3±2.1	0.9±0.1
	脾	87.0±11.6	5.2±0.4	1.0±0.1
	肾	158.5±21.4	6.3±0.9	1.1±0.1
	甲状腺	97.1±14.1	5.9±0.9	1.2±0.1
快速升高并缓慢下降	肝	126.4±16.4	3.5±0.2	1.0±0.2
	腮腺	342.5±50.1	2.7±0.2	1.3±0.1
	颌下腺	237.9±28.9	4.8±0.3	1.5±0.1
	胰腺	165.5±54.9	6.5±1.4	2.4±0.8
持续低水平	肺	49.8±9.0	1.7±0.2	0.2±0.01
	骨骼	610.1±187.2	0.4±0.1	0.1±0.01
	肌肉	1 567.5±291.6	0.6±0.1	0.5±0.1

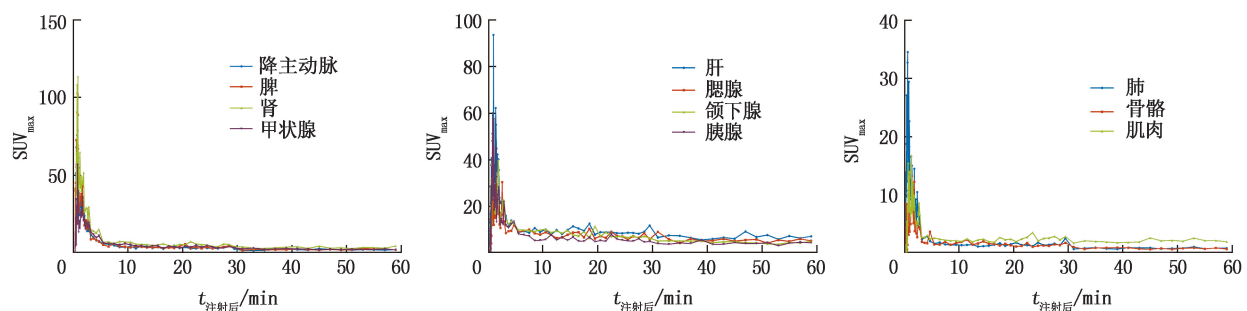


图 1 胃癌与胰腺癌患者注射 ^{68}Ga -成纤维细胞激活蛋白抑制剂(FAPI)-04 后 0~60 min 正常器官的 SUV_{max} 时间-活度(TAC)曲线 可见各正常器官 SUV_{max} TAC 曲线在最初 3 min 内呈快速增长和快速下降模式,在 3~60 min 呈缓慢下降模式

6 个位于腹膜。(1) SUV 结果(表 2)。原发肿瘤、淋巴结转移灶及腹膜转移灶均在注射后 10 min 内快速上升,随后增幅减小,表现为缓慢增加或相对稳定趋势(F 值:31.40、61.80、20.40,均 $P<0.001$)。与 60 min 相比,早期时间点(5、10 min)各类病灶 SUV_{mean} 均较低。如原发肿瘤在注射后 5 及 10 min 的 SUV_{mean} 明显低于 60 min(均 $P<0.001$)。与 SUV_{mean} 不同,各时间点不同类型病灶 SUV_{max} 差异均无统计学意义(F 值:0.10~3.14, P 值:0.676~0.960)。

(2) LBR 结果(表 2)。病灶 LBR_{mean} 与 LBR_{max} 在 0~60 min 内持续升高,60 min 达峰值(F 值:94.10 与 45.12,均 $P<0.001$)。与 60 min 相比,所有早期时间点的 LBR_{mean} 均较低。例如,原发肿瘤在注射后 5、10、20 及 40 min 的 LBR_{mean} 均低于 60 min(均 $P<0.001$);淋巴结转移灶及腹膜转移灶亦呈一致趋势(F 值:41.82 与 261.14,均 $P<0.001$)。三者 LBR_{max} 呈相似模式(F 值:38.72~94.73,均 $P<0.001$),但腹膜转移灶 LBR 增幅更显著,其在 5 min 时基线值低($P<0.001$),随时间延长快速攀升,提示腹膜转移灶对显像时间窗的依赖性更强。

讨 论

^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT 在多种实体瘤中显示出良好的诊断价值。本课题组在前期研究中,对胃癌和胰腺癌患者的 ^{68}Ga -FAPI-04 PET 动力学参数模型进行了系统评估^[14],但尚未对 ^{68}Ga -FAPI-04 在正常器官及病灶中的动态摄取特征进行阐述,限制了对最佳显像时间窗和定量诊断标准的优化。本研究采用全身动态 PET/CT 技术,定量分析胃癌和胰腺癌患者正常器官与病灶的 ^{68}Ga -FAPI-04 动态摄取规律,并探讨其临床意义。

既往研究尝试时间分段采集,但主要采用有限时间点或较长帧间隔的采集模式,虽能反映显像剂的大致分布趋势^[15],但时间分辨率不足,难以精确刻画显像剂在血流及组织间的快速转运过程。而多数研究仅针对单一肿瘤类型或正常器官进行分析,缺乏对全身动力学特征的系统性评估^[9]。本研究采用高时间分辨率动态采集方案(注射后早期 2 s/帧,0~60 min 连续动态扫描),在完整构建正常器官与病灶 TAC 的基础上,结合 LBR 的动态演变规律,从全身动力学角度优化 FAPI PET/CT 的显像时间窗。

表 2 不同类型病灶注射 ^{68}Ga -FAPI-04 后不同时间点摄取情况($\bar{x}\pm s$)

病灶	数量(个)	注射后时间(min)	SUV _{mean}	SUV _{max}	LBR _{mean}	LBR _{max}
原发肿瘤	9	5	5.6±0.6	21.3±3.3	1.4±0.2	5.4±0.9
		10	7.0±0.7	22.1±3.9	3.3±0.4	10.4±1.8
		20	8.1±0.7	24.2±3.7	6.6±0.8	19.9±3.3
		40	8.6±0.6	21.7±2.6	9.7±1.1	24.5±3.4
		60	8.9±0.6	23.1±2.7	10.7±1.0	28.1±3.9
淋巴结转移灶	19	5	4.1±0.5	11.4±2.0	1.0±0.2	2.8±0.5
		10	4.6±0.6	11.2±1.8	2.0±0.3	5.0±0.9
		20	5.1±0.7	12.8±2.2	3.7±0.7	9.6±2.0
		40	5.3±0.6	12.4±1.9	5.4±0.9	12.9±2.7
		60	5.3±0.6	12.7±1.7	5.9±0.9	14.2±2.6
腹膜转移灶	6	5	1.0±0.1	9.9±0.9	0.9±0.1	2.6±0.2
		10	1.4±0.1	10.9±0.9	2.2±0.1	5.1±0.6
		20	1.5±0.1	12.4±0.9	4.2±0.3	9.7±0.7
		40	1.5±0.1	10.6±0.8	5.8±0.3	12.2±0.9
		60	1.4±0.1	13.7±0.5	7.4±0.4	16.3±0.6

注:FAPI 为成纤维细胞激活蛋白抑制剂,LBR 为病灶-本底比,LBR_{mean} = 病灶 SUV_{mean}/降主动脉 SUV_{mean},LBR_{max} = 病灶 SUV_{max}/降主动脉 SUV_{mean}

与既往研究相比,本研究不仅提升了早期相的时间分辨率,更实现了对正常器官与不同类型病灶的同步定量分析。

Giesel 等^[15]在转移性乳腺癌中观察到 ^{68}Ga -FAPI-04 于注射后 10 min 即呈现快速摄取,提示早期显像的可行性;然而,该研究仅比较了注射后 10 与 60 min 2 个时间点的诊断效能,未能刻画完整的动态演变过程。Wang 等^[9]采用短轴 PET/CT 评估原发肺癌的摄取动力学,发现 LBR 在注射后 44 min 时高于 4、12 及 21 min 的结果,但受限于短轴 PET 的有限轴向视野,高时间分辨率动态采集难以实现^[16-17]。鉴于 ^{68}Ga -FAPI-04 的病理性与生理性摄取在注射后 0~60 min 内发生迅速变化,短轴 PET/CT 无法捕捉其连续动态特征。本研究利用全身动态 PET 技术,在更密集的时间采样框架下验证了上述发现,并进一步拓展至全身正常器官与多种病灶类型的同步评估。

本研究显示,原发灶、淋巴结转移灶及腹膜转移灶的 SUV_{mean} 在注射后最初 10 min 内呈快速增长,随后于 10~60 min 进入缓慢增长或平台期。值得注意的是,原发肿瘤与淋巴结转移灶的 SUV_{max} 在注射后 5、10、20、40 及 60 min 各时间点间差异均无统计学意义,验证了 Giesel 等^[15]关于病灶 SUV_{max} 在注射后 10 与 60 min 间无明显差异的发现,且本研究时间点更多。

除病灶绝对摄取外,显像时间优化还应考虑本底摄取的动态变化。降主动脉(血池本底)SUV_{mean} 在最初 10 min 内呈快速增长-快速下降模式,随后

于 10~60 min 缓慢下降。相应地,原发肿瘤、淋巴结转移灶及腹膜转移灶的 LBR_{mean} 和 LBR_{max} 在 0~60 min 内持续上升,并于注射后 60 min 达峰值。综合病灶最高 LBR_{mean} 与最低本底摄取,注射后 60 min 可能是胰腺癌和胃癌 ^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT 的最佳显像时间。

本研究同时系统描绘了全身正常器官的摄取动力学。与 Wang 等^[9]采用的 5 min 帧间隔不同,本研究的高时间分辨率采集可精确区分早期相的快速分布特征:降主动脉、脾、肾及甲状腺初始 10 min 呈快速增长-快速下降模式;肝、腮腺、颌下腺及胰腺呈快速上升-缓慢下降模式;肺、骨骼及肌肉则持续低水平摄取。正常器官 SUV_{max} TAC 在最初 3 min 内的快速达峰与清除,与降主动脉血流灌注趋势一致。鉴于 FAPI 在多种恶性肿瘤中均有表达^[18-19],正常器官摄取动力学的系统性建立不仅可为其他肿瘤类型的显像时间优化提供参照,还可辅助选择不同显像时间点的正常参考器官,提升定量分析的准确性。

本研究存在以下局限性。首先,60 min 全身动态采集方案增加了患者配合难度与扫描时间,导致样本量受限,且回顾性设计可能引入选择偏倚,本研究结果有待大样本前瞻性研究进一步验证。其次,仅纳入胃癌和胰腺癌患者,最佳显像时间是否适用于其他类型 FAPI 阳性肿瘤尚不明确。第三,未设置健康志愿者对照组,肿瘤负荷对正常器官摄取的潜在影响无法排除,需结合健康人群的动态研究加以验证。最后,样本量限制未行性别及肿瘤类型分层分析,胰腺癌与胃癌的动力学差异有待扩大样本

后探讨。

综上,全身动态 PET/CT 的定量分析显示,在胃癌和胰腺癌患者中,注射 ^{68}Ga -FAPI-04 后 60 min 时病灶 LBR_{mean} 与 LBR_{max} 达峰值。注射后 60 min 可能是这 2 种肿瘤 ^{68}Ga -FAPI-04 PET/CT 的最佳显像时间窗。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 陈若华:研究实施、论文撰写;陈翹楚:研究实施;王成:支持性贡献;万良荣、李梁华:统计学分析;刘建军:统计学分析、支持性贡献、论文修改

参 考 文 献

- [1] Treglia G, Muoio B, Roustaei H, et al. Head-to-head comparison of fibroblast activation protein inhibitors (FAPI) radiotracers versus [^{18}F]F-FDG in oncology: a systematic review[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(20): 11192. DOI:10.3390/ijms222011192.
- [2] Kuten J, Levine C, Shamni O, et al. Head-to-head comparison of [^{68}Ga]Ga-FAPI-04 and [^{18}F]F-FDG PET/CT in evaluating the extent of disease in gastric adenocarcinoma[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49(2): 743-750. DOI: 10.1007/s00259-021-05494-x.
- [3] Giesel FL, Kratochwil C, Schlittenhardt J, et al. Head-to-head intra-individual comparison of biodistribution and tumor uptake of ^{68}Ga -FAPI and ^{18}F -FDG PET/CT in cancer patients[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(13): 4377-4385. DOI: 10.1007/s00259-021-05307-1.
- [4] Qin C, Liu F, Huang J, et al. A head-to-head comparison of ^{68}Ga -DOTA-FAPI-04 and ^{18}F -FDG PET/MR in patients with nasopharyngeal carcinoma: a prospective study[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(10): 3228-3237. DOI:10.1007/s00259-021-05255-w.
- [5] Pang Y, Zhao L, Luo Z, et al. Comparison of ^{68}Ga -FAPI and ^{18}F -FDG uptake in gastric, duodenal, and colorectal cancers[J]. *Radiology*, 2021, 298(2): 393-402. DOI: 10.1148/radiol.2020203275.
- [6] Zhao L, Pang Y, Zheng H, et al. Clinical utility of [^{68}Ga]Ga-labeled fibroblast activation protein inhibitor (FAPI) positron emission tomography/computed tomography for primary staging and recurrence detection in nasopharyngeal carcinoma[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(11): 3606-3617. DOI: 10.1007/s00259-021-05336-w.
- [7] Qin C, Shao F, Gai Y, et al. ^{68}Ga -DOTA-FAPI-04 PET/MR in the evaluation of gastric carcinomas: comparison with ^{18}F -FDG PET/CT[J]. *J Nucl Med*, 2022, 63(1): 81-88. DOI:10.2967/jnumed.120.258467.
- [8] Shi X, Xing H, Yang X, et al. Comparison of PET imaging of activated fibroblasts and ^{18}F -FDG for diagnosis of primary hepatic tumours: a prospective pilot study[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(5): 1593-1603. DOI: 10.1007/s00259-020-05070-9.
- [9] Wang S, Zhou X, Xu X, et al. Dynamic PET/CT imaging of ^{68}Ga -FAPI-04 in Chinese subjects[J]. *Front Oncol*, 2021, 11: 651005. DOI:10.3389/fonc.2021.651005.
- [10] Badawi RD, Shi H, Hu P, et al. First human imaging studies with the EXPLORER total-body PET scanner[J]. *J Nucl Med*, 2019, 60(3): 299-303. DOI:10.2967/jnumed.119.226498.
- [11] 杨润君,陈雪琪,余浩军,等.全身 PET/CT 1 min 采集图像与常规 PET/CT 图像质量比较:自身对照研究[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(1): 12-15. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20221027-00322.
- Yang RJ, Chen XQ, Yu HJ, et al. Comparison of the image quality between total-body PET/CT with 1 min acquisition and conventional PET/CT: a self-control study[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(1): 12-15. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20221027-00322.
- [12] Yu H, Gu Y, Fan W, et al. Expert consensus on oncological [^{18}F]FDG total-body PET/CT imaging (version 1) [J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(1): 615-626. DOI:10.1007/s00330-022-08960-8.
- [13] Zhang X, Xie Z, Berg E, et al. Total-body dynamic reconstruction and parametric imaging on the uEXPLORER [J]. *J Nucl Med*, 2020, 61(2): 285-291. DOI:10.2967/jnumed.119.230565.
- [14] Chen R, Yang X, Ng YL, et al. First total-body kinetic modeling and parametric imaging of dynamic ^{68}Ga -FAPI-04 PET in pancreatic and gastric cancer[J]. *J Nucl Med*, 2023, 64(6): 960-967. DOI:10.2967/jnumed.122.264988.
- [15] Giesel FL, Kratochwil C, Lindner T, et al. ^{68}Ga -FAPI PET/CT: biodistribution and preliminary dosimetry estimate of 2 DOTA-containing FAP-targeting agents in patients with various cancers[J]. *J Nucl Med*, 2019, 60(3): 386-392. DOI: 10.2967/jnumed.118.215913.
- [16] Fujimura Y, Kimura Y, Siméon FG, et al. Biodistribution and radiation dosimetry in humans of a new PET ligand, ^{18}F -PBR06, to image translocator protein (18 kDa) [J]. *J Nucl Med*, 2010, 51(1): 145-149. DOI:10.2967/jnumed.109.068064.
- [17] Rahmim A, Lodge MA, Karakatsanis NA, et al. Dynamic whole-body PET imaging: principles, potentials and applications[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2019, 46(2): 501-518. DOI:10.1007/s00259-018-4153-6.
- [18] Kratochwil C, Flechsig P, Lindner T, et al. ^{68}Ga -FAPI PET/CT: tracer uptake in 28 different kinds of cancer [J]. *J Nucl Med*, 2019, 60(6): 801-805. DOI:10.2967/jnumed.119.227967.
- [19] 陈若华,黄钢,刘建军. FAPI PET 分子影像:微环境重编程可视化开拓肿瘤生物学研究新视野[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2025, 45(12): 705-707. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20251117-00408.
- Chen RH, Huang G, Liu JJ. FAPI PET imaging: visualizing microenvironment reprogramming opens new horizons in tumor biology research[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 45(12): 705-707. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20251117-00408.

(收稿日期:2026-04-09)