



· 论 著 ·

# $^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT在不同恶性肿瘤肺转移诊断中的对比研究

杨梓怡<sup>1,2,3,4,5</sup>, 顾丙新<sup>1,2,3,4,5</sup>, 许晓平<sup>1,2,3,4,5</sup>, 宋少莉<sup>1,2,3,4,5</sup>

1. 复旦大学附属肿瘤医院核医学科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032;
2. 复旦大学生物医学影像研究中心, 上海 200032;
3. 上海分子影像探针工程技术研究中心, 上海 200032;
4. 上海市质子重离子医院核医学科, 上海 201315;
5. 复旦大学核物理与离子束应用教育部重点实验室, 上海 200433

**[摘要]** 背景与目的:  $^{18}\text{F}$ -氟代脱氧葡萄糖 ( $^{18}\text{F}$ -flurodeoxyglucose,  $^{18}\text{F}$ -FDG) 正电子发射计算机断层成像 (positron emission tomography and computed tomography, PET/CT) 是诊断恶性肿瘤伴远处转移的常用方法, 但对肺部转移灶尤其是小病灶的检测仍不理想。 $^{68}\text{Ga}$ -成纤维细胞激活蛋白抑制剂 ( $^{68}\text{Ga}$ -labeled fibroblast activation protein inhibitors,  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI) 已被用于靶向成纤维细胞激活蛋白和肿瘤基质的可视化。 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT对大多数癌症的原发灶及其转移灶的诊断价值均高于 $^{18}\text{F}$ -FDG, 但至今尚未见到对恶性肿瘤肺部转移性病变的对比研究。因此, 本研究旨在探讨 $^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT对不同恶性肿瘤肺转移病变的诊断价值。方法: 回顾性分析复旦大学附属肿瘤医院2020年5月—2022年3月于1周内行 $^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT检查的20例恶性肿瘤肺转移患者的临床、病理学及影像学资料, 其中上皮源性恶性肿瘤 (癌) 11例, 间叶源性恶性肿瘤 (肉瘤) 9例。采用配对 $t$ 检验比较 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI和 $^{18}\text{F}$ -FDG的病灶最大标准摄取值 (maximum standard uptake value,  $\text{SUV}_{\text{max}}$ ) 和肿瘤与本底比值 (target-to-background ratio, TBR) 参数之间的差异; 采用线性相关性分析 $\text{SUV}_{\text{max}}$  和TBR与肺转移灶短径之间的相关性。结果: 20例患者共81个肺转移灶 (51个来自癌转移, 30个来自肉瘤转移),  $^{18}\text{F}$ -FDG检出阳性病灶72个,  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI检查阳性病灶70个。与 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI相比, 肺转移灶 $^{18}\text{F}$ -FDG摄取值更高, 尤其是癌来源的肺转移病灶 ( $P < 0.001$ )。线性相关性分析结果显示, 两种显像探针的半定量代谢参数值与肺转移病灶短径之间呈正相关 ( $P < 0.001$ )。结论:  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI在检测恶性肿瘤肺转移病变时并无明显优势, 尤其是在上皮组织来源的恶性肿瘤肺转移诊断中,  $^{18}\text{F}$ -FDG摄取值往往更高。

**[关键词]** 恶性肿瘤; 肺转移; 正电子发射计算机断层成像;  $^{18}\text{F}$ -氟代脱氧葡萄糖;  $^{68}\text{Ga}$ -成纤维细胞激活蛋白抑制剂  
中图分类号: R730.44 文献标志码: A DOI: 10.19401/j.cnki.1007-3639.2023.09.003

**Comparison of  $^{18}\text{F}$ -FDG and  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT in the diagnosis of lung metastasis in different malignant tumors** YANG Ziyi<sup>1,2,3,4,5</sup>, GU Bingxin<sup>1,2,3,4,5</sup>, XU Xiaoping<sup>1,2,3,4,5</sup>, SONG Shaoli<sup>1,2,3,4,5</sup> (1. Department of Nuclear Medicine, Fudan University Shanghai Cancer Center, Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2. Center for Biomedical Imaging, Fudan University, Shanghai 200032, China; 3. Shanghai Engineering Research Center of Molecular Imaging Probes, Shanghai 200032, China; 4. Department of Nuclear Medicine, Shanghai Proton and Heavy Ion Center, Shanghai 201315, China; 5. Key Laboratory of Nuclear Physics and Ion-beam Application (MOE), Fudan University, Shanghai 200433, China)

Correspondence to: SONG Shaoli, E-mail: shaoli-song@163.com.

**[Abstract]** **Background and purpose:**  $^{18}\text{F}$ -flurodeoxyglucose ( $^{18}\text{F}$ -FDG) positron emission tomography and computed tomography (PET/CT) is a common method for the diagnosis of malignant tumors with distant metastases. However the detection of lung metastases, especially small lesions, is still unsatisfactory.  $^{68}\text{Ga}$ -labeled fibroblast activation protein inhibitors ( $^{68}\text{Ga}$ -FAPI) have been used to target fibroblast activating proteins and visualize tumor stroma. The diagnostic value of  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT is higher than that of  $^{18}\text{F}$ -FDG in the primary sites and metastases of most cancers, but no comparative study has been seen in lung

**基金项目:** 上海市抗癌协会“翱翔”计划 (HYXH2021004); 浦东新区科技发展基金 (PKL2020-Y55)。

第一作者: 杨梓怡 (ORCID: 0000-0002-8947-2623), 住院医师。

通信作者: 宋少莉 (ORCID: 0000-0003-2544-7522), 主任医师, E-mail: shaoli-song@163.com。

metastases of malignant tumors. Therefore, this study aimed to investigate the diagnostic value of  $^{18}\text{F}$ -FDG and  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT in different malignant lung metastases. **Methods:** The clinical, pathological and imaging data of 20 patients with lung metastasis who underwent  $^{18}\text{F}$ -FDG and  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT examination within one week in Fudan University Shanghai Cancer Center from May 2020 to March 2022 were retrospectively analyzed. Among them, 11 cases were epithelial malignant tumors (carcinoma), and 9 cases were mesophyll malignant tumors (sarcoma). The semi-quantitative metabolic parameters including maximum standard uptake value ( $\text{SUV}_{\text{max}}$ ) and target-to-background ratio (TBR) of  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI and  $^{18}\text{F}$ -FDG were compared by paired t test. The linear correlation between  $\text{SUV}_{\text{max}}$  and TBR and the short diameter of lung metastasis were analyzed. **Results:** A total of 81 lung metastases (51 carcinomas and 30 sarcomas) were detected in 20 patients, 72 positive lesions were detected by  $^{18}\text{F}$ -FDG and 70 positive lesions by  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI. Compared with  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI,  $^{18}\text{F}$ -FDG uptake was higher in lung metastases, especially those of carcinoma ( $P < 0.001$ ). The results of linear correlation analysis showed that the semi-quantitative metabolic parameters of the two imaging probes were positively correlated with the short diameter of lung metastases ( $P < 0.001$ ). **Conclusion:**  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI has no obvious advantage in the detection of lung metastases from malignant tumors. Especially in the diagnosis of lung metastases from epithelial tissues, the uptake of  $^{18}\text{F}$ -FDG tends to be higher.

[ **Key words** ] Malignant tumor; Pulmonary metastasis; Positron emission tomography and computed tomography;  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose;  $^{68}\text{Ga}$ -labeled fibroblast activation protein inhibitors

肺转移病变是由原发于除肺部外的恶性肿瘤经淋巴结或血液转移所致, 对肺转移作出准确诊断可为治疗决策提供指导意见<sup>[1]</sup>。 $^{18}\text{F}$ -氟代脱氧葡萄糖 ( $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglucose,  $^{18}\text{F}$ -FDG) 正电子发射计算机断层成像 (positron emission tomography and computed tomography, PET/CT) 是诊断恶性肿瘤伴远处转移患者的一种有价值的成像方式<sup>[2]</sup>, 但对肺转移灶进行检测时有一定局限性。有研究<sup>[3]</sup>显示,  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT对肌肉骨骼肉瘤肺转移灶检测的灵敏度仅为68.3% (95% CI: 53.0%~80.4%), 对大于1.0 cm的病灶检出率也仅为76.5%。 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT对于胃癌患者肺转移的诊断特异度和准确度则分别为82.14%和87.64%<sup>[4]</sup>。成纤维细胞激活蛋白在癌症相关成纤维细胞中高表达, 是上皮肿瘤基质中的主要成分。 $^{68}\text{Ga}$ -成纤维细胞激活蛋白抑制剂 ( $^{68}\text{Ga}$ -labeled fibroblast activation protein inhibitors,  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI) 已被用于靶向成纤维细胞激活蛋白和肿瘤基质的可视化, 显示出良好的体内药代动力学和生物分布, 并清楚地显示原发性肿瘤及其转移灶<sup>[5-6]</sup>。 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT检测各种癌症的原发性和转移性病变的灵敏度均高于 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT<sup>[7-8]</sup>。因此, 本研究拟探讨 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI和 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT在肺转移灶中的诊断价值。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

回顾性分析2020年5月—2022年3月复旦大

学附属肿瘤医院收治的32例恶性肿瘤肺转移患者的临床资料。纳入标准: ① 病理学检查确诊为恶性肿瘤; ② 病理学检查或随访证实存在肺转移; ③ 1周内接受 $^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT检查。剔除未在1周内接受 $^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT检查的患者, 最终纳入20例患者进行下一步研究, 其中男性13例, 女性7例, 中位年龄58 (20~71) 岁。该研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

### 1.2 $^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI的合成及PET/CT图像采集

$^{18}\text{F}$ -FDG由复旦大学附属肿瘤医院核医学科制备并每日供应。FAPI-04前体 (DOTA-FAPI-04) 购自希施生物科技 (上海) 有限公司,  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI的制备过程参照Chen等<sup>[9]</sup>报道的方法。 $^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI的放射化学纯度均大于95%。患者于1周内进行 $^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT检查。 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT检查前禁食4~6 h, 且外周血糖低于10 mmol/L。 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT检查前无特殊要求。根据患者体重静脉注射3.7 MBq/kg  $^{18}\text{F}$ -FDG或1.8 MBq/kg  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI, 然后休息约1 h, 使用德国Siemens公司Biograph mCT Flow PET/CT采集图像。扫描范围为大腿上部至颅骨区域, 首先采用小剂量技术 (电压120 kV, 电流140 mA, 层厚5 mm) 获取CT扫描图像, 然后按2~3 min/床位进行PET扫描并采用高斯滤波迭代重建法进行重建。

### 1.3 PET/CT图像分析

$^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT图像由两名有

丰富肿瘤及核医学报告经验的医师独立阅片，意见有分歧时通过讨论达成一致。应用三维感兴趣区体积 (volume of interest, VOI) 测量代谢参数，包括病灶最大标准摄取值 (maximum standard uptake value,  $SUV_{max}$ ) 及周围正常组织平均标准摄取值 (mean standard uptake value,  $SUV_{mean}$ )；计算肿瘤与本底比值 (target-to-background ratio, TBR)，公式为  $TBR = \text{病灶 } SUV_{max} / \text{周围正常组织 } SUV_{mean}$ 。病灶TBR大于1定义为显像阳性。

### 1.4 统计学处理

使用SPSS 25.0软件对数据进行分析。采用配对  $t$  检验比较两种探针半定量代谢参数 ( $SUV_{max}$  和 TBR) 之间的差异；使用线性相关性分析两种探针半定量参数与肺转移病灶短径之间的关联性。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 患者一般资料

20例患者的平均体重指数 (body mass index, BMI) 为 23.74 (18.34~29.36)  $kg/m^2$ 。显像前确诊上皮源性恶性肿瘤 (癌) 11例，间叶源性恶性肿瘤 (肉瘤) 9例；既往接受过治疗 17例。

### 2.2 $^{18}F$ -FDG和 $^{68}Ga$ -FAPI PET/CT对肺转移灶诊断性能的比较

20例患者共81个肺转移病灶纳入分析，其中51个来自癌转移，30个来自肉瘤转移。与 $^{68}Ga$ -FAPI相比， $^{18}F$ -FDG PET/CT能够检测出

更多的肺转移灶 [86.42% (70/81) vs 88.89% (72/81)]。不同瘤种 $^{18}F$ -FDG和 $^{68}Ga$ -FAPI PET/CT半定量参数的比较如图1和表1所示。多形性脂肪肉瘤肺转移病灶具有最高的FDG- $SUV_{max}$ 和FAPI- $SUV_{max}$  (分别为  $8.98 \pm 1.28$  和  $10.86 \pm 3.02$ )。对于所有瘤种肺转移病灶的诊断， $^{18}F$ -FDG显著优于 $^{68}Ga$ -FAPI ( $SUV_{max}$ :  $3.47 \pm 0.35$  vs  $2.71 \pm 0.50$ ,  $P < 0.046$ ; TBR:  $7.09 \pm 0.75$  vs  $4.51 \pm 0.63$ ,  $P < 0.001$ )。其中，对于上皮组织来源肺转移病灶的诊断， $^{18}F$ -FDG明显优于 $^{68}Ga$ -FAPI ( $P$ 均  $< 0.001$ )，而对于间叶组织来源肺转移病灶，两种探针的诊断性能差异无统计学意义 ( $P$ 均  $> 0.05$ )。在胸部区域肺转移灶中， $^{18}F$ -FDG比 $^{68}Ga$ -FAPI具有更好的TBR ( $7.09 \pm 0.75$  vs  $4.51 \pm 0.63$ ,  $P < 0.001$ )。线性相关分析结果显示，肺转移病灶 $^{18}F$ -FDG和 $^{68}Ga$ -FAPI PET/CT的 $SUV_{max}$ 和TBR与短径均呈正相关 ( $R^2$ 均  $\geq 0.50$ ,  $r$ 均  $> 0.70$ ,  $P$ 均  $< 0.001$ , 图2)。

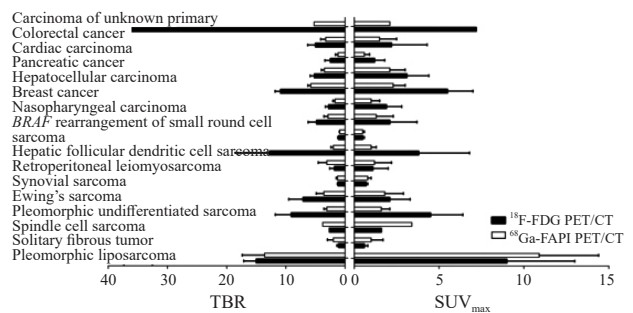


图1 不同种类恶性肿瘤肺转移病灶 $^{18}F$ -FDG和 $^{68}Ga$ -FAPI PET/CT半定量参数  
Fig. 1  $^{18}F$ -FDG and  $^{68}Ga$ -FAPI PET/CT semi-quantitative parameters in lung metastases of different types of malignant tumors

表1 不同种类恶性肿瘤肺转移病灶 $^{18}F$ -FDG和 $^{68}Ga$ -FAPI PET/CT半定量参数的比较

Tab. 1 Comparison of  $^{18}F$ -FDG and  $^{68}Ga$ -FAPI PET/CT semi-quantitative parameters in lung metastases of different malignant tumors types [ mean (range) ]

Tumor	Lung metastases		$^{18}F$ -FDG			$^{68}Ga$ -FAPI			$P^1$ value	$P^2$ value
	Amount $n$	Diameter/cm	Positive lesions $n$	$SUV_{max}$	TBR	Positive lesions $n$	$SUV_{max}$	TBR		
Carcinomas	51	0.82 ± 0.06 (0.30-2.20)	48	3.03 ± 0.30 (0.40-8.20)	6.46 ± 0.85 (0.80-36.00)	45	1.69 ± 0.13 (0.40-4.10)	3.58 ± 0.34 (0.67-13.67)	<0.001	<0.001
Sarcomas	30	1.09 ± 0.18 (0.30-5.40)	24	4.22 ± 0.80 (0.40-16.80)	8.16 ± 1.41 (0.83-27.17)	25	4.44 ± 1.29 (0.50-33.40)	6.09 ± 1.58 (0.83-41.75)	0.817	0.144
Total	81	0.92 ± 0.08 (0.30-5.40)	72	3.47 ± 0.35 (0.40-16.80)	7.09 ± 0.75 (0.80-36.00)	70	2.71 ± 0.50 (0.40-33.40)	4.51 ± 0.63 (0.67-41.75)	<0.046	<0.001

The short diameter and PET semi-quantitative parameter data are presented in the form of average standard error (minimum value-maximum value).  $P^1$ : The statistical difference between the  $SUV_{max}$  values of the two probes;  $P^2$ : The statistical difference between the TBR values of the two probes.

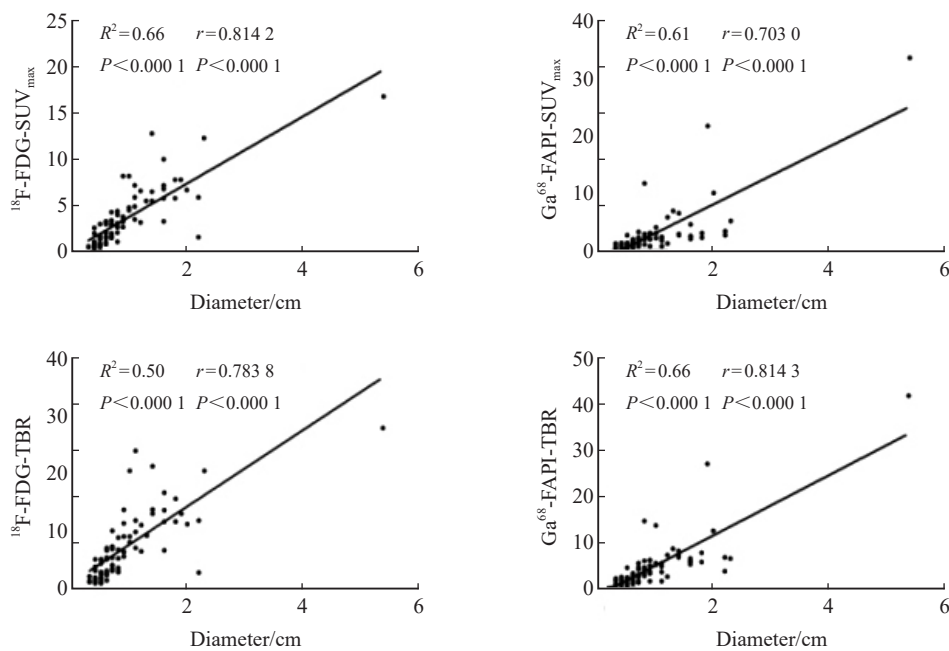


图2 肺转移病灶短径与 $^{18}\text{F}$ -FDG和 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT半定量参数值的相关性

Fig. 2 Correlation between the short diameter of lung metastases and  $^{18}\text{F}$ -FDG and  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT semi-quantitative parameters

### 3 讨 论

靶向成纤维细胞活化蛋白作为一种新的肿瘤基质可视化诊断方法, $^{68}\text{Ga}$ -FAPI有望成为 $^{18}\text{F}$ -FDG在检测癌症病变方面的有效替代品。 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT对各种类型癌症患者的原发病灶和转移灶尤其是对肝转移、腹膜癌、脑肿瘤的鉴别诊断效果均优于 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT<sup>[9]</sup>。有研究<sup>[10]</sup>发现, $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT对胃肠道恶性肿瘤原发灶和转移灶的诊断效能优于 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT,在大多数原发性和转移性病变中具有更高的示踪剂摄取。但目前关于两种示踪剂对恶性肿瘤肺转移灶诊断性能的比较研究较少。

本研究显示, $^{68}\text{Ga}$ -FAPI对识别肺转移病变的灵敏度低于 $^{18}\text{F}$ -FDG [86.42% (70/81) vs 88.89% (72/81)]。对于所有瘤种肺转移灶的诊断, $^{18}\text{F}$ -FDG显著优于 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI ( $3.47 \pm 0.35$  vs  $2.71 \pm 0.50$ ,  $P < 0.046$ ; TBR:  $7.09 \pm 0.75$  vs  $4.51 \pm 0.63$ ,  $P < 0.001$ )。值得注意的是, $^{18}\text{F}$ -FDG在上皮源性肺转移灶中的摄取量远高于 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI ( $P < 0.001$ ),但在间叶源性肺转移灶中, $^{18}\text{F}$ -FDG与 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI的摄取量差异无统计

学意义 ( $P > 0.05$ )。上述结果表明 $^{18}\text{F}$ -FDG对癌来源肺转移灶的诊断性能优于 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI,但 $^{18}\text{F}$ -FDG对肉瘤来源肺转移灶的诊断性能无明显优势。

有学者团队<sup>[11]</sup>使用4T1乳腺癌肺转移小鼠模型比较了 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI与 $^{18}\text{F}$ -FDG的检测性能,结果显示, $^{68}\text{Ga}$ -FAPI在第5周的肺转移灶检测率高于 $^{18}\text{F}$ -FDG,而在第6周低于 $^{18}\text{F}$ -FDG。在转移的早期,成纤维细胞活化蛋白的高表达可能有助于形成转移微环境,为转移奠定基础。随着肿瘤转移的发展,微环境的含量和成纤维细胞活化蛋白的表达可能发生显著变化。在肺转移进展到一定阶段后,成纤维细胞活化蛋白表达下降,转移病灶主要由肿瘤细胞组成。如本研究结果所示,肺转移灶表现出较高的 $^{18}\text{F}$ -FDG摄取和相对较低的 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI摄取。另外有研究<sup>[12]</sup>结果显示, $^{68}\text{Ga}$ -FAPI有等于甚至更优于 $^{18}\text{F}$ -FDG的TBR,但并不更具有肿瘤特异性。而本研究结果显示, $^{18}\text{F}$ -FDG比 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI在胸部区域肺转移灶中具有更好的TBR ( $7.09 \pm 0.75$  vs  $4.51 \pm 0.63$ ,  $P < 0.001$ ),这与目前的一些研究<sup>[13]</sup>结果不太一致。分析原因可能是肺部有着比其他部位更多的血流供应,并且其自身的血供亦有差异,从而

造成肺部本底对于示踪剂的摄取量与其他部位不同。此外,本研究还表明, $^{68}\text{Ga}$ -FAPI与 $^{18}\text{F}$ -FDG的 $\text{SUV}_{\text{max}}$ 和TBR均与肺转移灶短径显著相关( $P<0.001$ );这与既往研究<sup>[14-15]</sup>证实的肿瘤大小与 $^{18}\text{F}$ -FDG摄取量呈正相关的结果一致。 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI可能在转移灶形成早期的检测率比 $^{18}\text{F}$ -FDG更占优势;随着病灶进展和肿瘤细胞的增多, $^{18}\text{F}$ -FDG则显示出更高的灵敏度及诊断效能。并且病灶越大,成纤维细胞激活蛋白表达及肿瘤细胞越多, $^{68}\text{Ga}$ -FAPI及 $^{18}\text{F}$ -FDG的病灶检出率也随之升高。

本研究也存在一定局限性:首先,作为回顾性分析可能存在数据偏倚,今后需要继续扩大样本量进行更全面的分析以验证目前的研究结果;其次,因入组患者的治疗情况不同造成个体间显像基线存在差异,但同一例患者进行 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI与 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT的基线一致,可以降低对两者诊断肺转移灶的效能进行比较产生的误差。

综上所述, $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT检测恶性肿瘤肺转移病变对比 $^{18}\text{F}$ -FDG并无明显优势,在大多数肺转移病变尤其是上皮组织来源恶性肿瘤肺转移灶中具有更低的示踪剂摄取。但与 $^{18}\text{F}$ -FDG相比, $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT在检查之前不需要禁食且不受血糖水平影响,这可以增加患者的舒适度。未来会对更多患者进行研究,以提供更全面的关于 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT检测胸部区域肺转移灶的诊断价值。

**利益冲突声明:**所有作者均声明不存在利益冲突。

## [参 考 文 献]

- [1] 张建波,宋魏,王媛媛,等.肺转移性肿瘤113例临床病理学观察[J].心肺血管病杂志,2017,36(12):979-982,987. ZHANG J, SONG W, WANG Y, et al. Clinical and pathological analysis of 113 cases of lung metastatic tumors [J]. J Cardiovasc Pulm Dis, 2017, 36(12): 979-982, 987.
- [2] ROHREN E M, TURKINGTON T G, COLEMAN R E. Clinical applications of PET in oncology [J]. Radiology, 2004, 231(2): 305-332.
- [3] IAGARU A, CHAWLA S, MENENDEZ L, et al.  $^{18}\text{F}$ -FDG PET and PET/CT for detection of pulmonary metastases from musculoskeletal sarcomas [J]. Nucl Med Commun, 2006, 27(10): 795-802.

- [4] 魏昊,兰晓莉,廖珊珊,等. $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT显像评价胃癌肺转移[J].华中科技大学学报(医学版),2016,45(2):141-144. WEI H, LAN X, LIAO S, et al. Evaluation of lung metastasis in gastric cancer with  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT imaging [J]. Acta Med Univ Sci Technol Huazhong, 2016, 45(2): 141-144.
- [5] HATHI D K, JONES E F.  $^{68}\text{Ga}$  FAPI PET/CT: tracer uptake in 28 different kinds of cancer [J]. Radiol Imaging Cancer, 2019, 1(1): e194003.
- [6] LINDNER T, LOKTEV A, ALTMANN A, et al. Development of quinoline-based theranostic ligands for the targeting of fibroblast activation protein [J]. J Nucl Med, 2018, 59(9): 1415-1422.
- [7] CHEN H, ZHAO L, RUAN D, et al. Usefulness of [ $^{68}\text{Ga}$ ] Ga-DOTA-FAPI-04 PET/CT in patients presenting with inconclusive [ $^{18}\text{F}$ ] FDG PET/CT findings [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(1): 73-86.
- [8] KOERBER S A, STAUDINGER F, KRATOCHWIL C, et al. The role of  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI PET/CT for patients with malignancies of the lower gastrointestinal tract: first clinical experience [J]. J Nucl Med, 2020, 61(9): 1331-1336.
- [9] CHEN H J, PANG Y Z, WU J X, et al. Comparison of [ $^{68}\text{Ga}$ ] Ga-DOTA-FAPI-04 and [ $^{18}\text{F}$ ] FDG PET/CT for the diagnosis of primary and metastatic lesions in patients with various types of cancer [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 47(8): 1820-1832.
- [10] PANG Y Z, ZHAO L, LUO Z M, et al. Comparison of  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI and  $^{18}\text{F}$ -FDG uptake in gastric, duodenal, and colorectal cancers [J]. Radiology, 2021, 298(2): 393-402.
- [11] DING F, HUANG C, LIANG C, et al.  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 vs  $^{18}\text{F}$ -FDG in a longitudinal preclinical PET imaging of metastatic breast cancer [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 49(1): 290-300.
- [12] GIESEL F L, KRATOCHWIL C, LINDNER T, et al.  $^{68}\text{Ga}$ -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.
- [13] 谢昭娟,全志永,赵小虎,等.胰腺癌摄取 $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04的PDX动物模型及临床PET/CT显像研究[J].中华核医学与分子影像杂志,2021,41(12):722-726. XIE Z, QUAN Y, ZHAO X, et al. Uptake of  $^{68}\text{Ga}$ -FAPI-04 in pancreatic cancer-PDX animal model and its clinical PET/CT imaging [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 41(12): 722-726.
- [14] CHEN R H, ZHOU X, LIU J J, et al. Relationship between  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT findings and HER2 expression in gastric cancer [J]. J Nucl Med, 2016, 57(7): 1040-1044.
- [15] YANG Z, LIU S, SUN Y, et al.  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT metabolic parameters and HER2 expression in colorectal cancer [J]. Neoplasma, 2021, 68(4): 875-881.

(收稿日期:2023-05-30 修回日期:2023-09-05)