

# $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 与 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 及多参数 MRI 在前列腺癌诊断中的对比研究

姜一逸<sup>1</sup> 刘芙蓉<sup>1</sup> 李波良<sup>1</sup> 王逸超<sup>1</sup> 金民山<sup>1</sup> 张俊<sup>1</sup> 戴慧<sup>2</sup>

<sup>1</sup>南京医科大学附属泰州人民医院核医学科,泰州 225300; <sup>2</sup>苏州大学附属第一医院放射科、苏州大学影像医学研究所,苏州 215006

通信作者:张俊, Email: dr.junzhang@njmu.edu.cn; 戴慧, Email: huizi198208@126.com

**【摘要】** 目的 比较  $^{18}\text{F}$ -前列腺特异膜抗原 (PSMA)-1007 PET/CT、 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 及多参数 MRI (mpMRI) 显像对前列腺癌的诊断效能。方法 回顾性分析 2021 年 4 月至 2022 年 9 月在南京医科大学附属泰州人民医院病理确诊为前列腺癌, 30 d 内完成  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT、 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 和 mpMRI 检查的 22 例患者 [(72.6±6.2) 岁] 资料, 收集其影像学参数: PSMA-SUV<sub>max</sub>、FDG-SUV<sub>max</sub>、最小表观弥散系数 (ADC<sub>min</sub>)、平均表观弥散系数 (ADC<sub>mean</sub>) 以及组合参数 PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>mean</sub>、FDG-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>、FDG-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>mean</sub>。分别按国际泌尿病理协会 (ISUP) 分级 (≤3 和 >3) 及血清总前列腺特异抗原 (TPSA; ≤20 和 >20 μg/L) 对患者进行分组, 比较各影像学参数的组间差异 (Mann-Whitney *U* 检验或两独立样本 *t* 检验), 采用 ROC 曲线分析各参数对不同级别前列腺癌的诊断能力。使用  $\chi^2$  检验及 ROC 曲线分析比较三者对前列腺癌原发灶、淋巴结和骨转移的检出率和诊断效能。结果 ISUP ≤3 (*n* = 6) 和 >3 (*n* = 16) 组患者间 PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>mean</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub> 差异均有统计学意义 (*z* 值: -2.65 ~ -2.36, *t* = 3.60, *P* 值: 0.002~0.018)。TPSA ≤20 μg/L (*n* = 5) 和 >20 μg/L (*n* = 17) 组患者各指标间差异均无统计学意义 (*z* 值: -1.76 ~ -1.45, *t* 值: -1.19 和 1.28, 均 *P* > 0.05)。PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub> 鉴别诊断高低级别前列腺癌的最佳阈值为 22.628×10<sup>3</sup>。基于患者研究,  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT、 $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT、mpMRI 对前列腺癌原发灶的检出率差异无统计学意义 ( $\chi^2 = 1.91, P = 0.767$ ); 三者对淋巴结、骨转移的检出率分别为 72.73% (16/22)、59.09% (13/22)、36.36% (8/22) 及 81.82% (18/22)、63.64% (14/22)、45.45% (10/22), 差异均有统计学意义 ( $\chi^2$  值: 6.03 和 6.29, *P* 值: 0.049 和 0.043)。 $^{18}\text{F}$ -PSMA PET/CT 较 mpMRI 上调了约 36.36% (8/22) 的 N 分期、40.91% (9/22) 的 M 分期。结论 PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub> 在鉴别诊断高低级别前列腺癌方面是有价值的参数。 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT 较  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT、mpMRI 能检出更多的前列腺癌淋巴结和骨转移灶且诊断效能更高, 推荐用于 NM 分期。

**【关键词】** 前列腺肿瘤; 前列腺特异膜抗原; 磁共振成像; 正电子发射断层显像术; 体层摄影术, X 线计算机; 氟脱氧葡萄糖 F18

**基金项目:** 国家自然科学基金 (81971573); 姑苏卫生青年拔尖人才项目 (GSWS2020019); 泰州市科技支撑计划 (TS202006)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20230320-00069

## Comparative study of $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007, $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT and mpMRI in the diagnosis of prostate cancer

Jiang Yiyi<sup>1</sup>, Liu Fucen<sup>1</sup>, Li Boliang<sup>1</sup>, Wang Yichao<sup>1</sup>, Jin Minshan<sup>1</sup>, Zhang Jun<sup>1</sup>, Dai Hui<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine, the Affiliated Taizhou People's Hospital of Nanjing Medical University, Taizhou 225300, China; <sup>2</sup>Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Soochow University; Institute of Medical Imaging, Soochow University, Suzhou 215006, China

Corresponding authors: Zhang Jun, Email: dr.junzhang@njmu.edu.cn; Dai Hui, Email: huizi198208@126.com

**【Abstract】 Objective** To compare the diagnostic efficacy of  $^{18}\text{F}$ -prostate specific membrane antigen (PSMA)-1007 PET/CT,  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT and multi-parameter MRI (mpMRI) in prostate cancer (PCa). **Methods** Retrospective analysis was conducted on data from 22 patients ((72.6±6.2) years) with pathologically confirmed PCa in the Affiliated Taizhou People's Hospital of Nanjing Medical University between April 2021 and September 2022. All patients underwent  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT,  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT, and mpMRI examination within 30 d, and the imaging parameters were collected, including PSMA-SUV<sub>max</sub>, FDG-SUV<sub>max</sub>, minimum apparent diffusion coefficient (ADC<sub>min</sub>), mean apparent diffusion coefficient

cient ( $ADC_{mean}$ ),  $PSMA-SUV_{max}/ADC_{min}$ ,  $PSMA-SUV_{max}/ADC_{mean}$ ,  $FDG-SUV_{max}/ADC_{min}$ ,  $FDG-SUV_{max}/ADC_{mean}$ . Patients were divided into groups based on the International Society of Urological Pathology (ISUP) grading ( $\leq 3$  vs  $>3$ ) and serum total prostate specific antigen (TPSA;  $\leq 20$   $\mu\text{g/L}$  vs  $>20$   $\mu\text{g/L}$ ), and differences of imaging parameters between groups were compared (Mann-Whitney  $U$  test or independent-sample  $t$  test). ROC curves were generated to evaluate the diagnostic ability of each parameter for different levels of PCa.  $\chi^2$  test and ROC curve analysis were used to compare the detection rate and diagnostic efficiency of three imaging methods for primary focus, lymph node metastasis, and bone metastasis in PCa. **Results** Differences were found between  $ISUP \leq 3$  ( $n=6$ ) and  $>3$  ( $n=16$ ) groups in  $PSMA-SUV_{max}/ADC_{min}$ ,  $PSMA-SUV_{max}/ADC_{mean}$ ,  $PSMA-SUV_{max}$ , and  $ADC_{min}$  ( $z$  values: from  $-2.65$  to  $-2.36$ ,  $t=3.60$ ,  $P$  values:  $0.002-0.018$ ). But there was no significant difference found between  $TPSA \leq 20$   $\mu\text{g/L}$  ( $n=5$ ) and  $>20$   $\mu\text{g/L}$  ( $n=17$ ) groups in all indices ( $z$  values: from  $-1.76$  to  $-1.45$ ,  $t$  values:  $-1.19$  and  $1.28$ , all  $P>0.05$ ). The optimal cut-off value for  $PSMA-SUV_{max}/ADC_{min}$  in differentiating high-grade and low-grade PCa was determined to be  $22.628 \times 10^3$ . In the patient-based analysis, no statistical difference was found in the detection rate of PCa primary tumors among  $^{18}\text{F-PSMA-1007}$  PET/CT,  $^{18}\text{F-FDG}$  PET/CT, and mpMRI ( $\chi^2=1.91$ ,  $P=0.767$ ). However, the detection rates of lymph node and bone metastasis among three imaging methods were significantly different (72.73% (16/22), 59.09% (13/22), 36.36% (8/22) and 81.82% (18/22), 63.64% (14/22), 45.45% (10/22);  $\chi^2$  values: 6.03, 6.29;  $P$  values: 0.049, 0.043).  $^{18}\text{F-PSMA-1007}$  PET/CT resulted in a 36.36% (8/22) increase in N stage and the 40.91% (9/22) increase in M stage compared to mpMRI. **Conclusions**  $PSMA-SUV_{max}/ADC_{min}$  is a valuable parameter for differentiating high-grade and low-grade PCa.  $^{18}\text{F-PSMA-1007}$  PET/CT demonstrates superior detection rate of PCa lymph node and bone metastasis compared to  $^{18}\text{F-FDG}$  PET/CT and mpMRI, and exhibits higher diagnostic efficiency, so it can be recommended for NM staging in patients with PCa.

**【Key words】** Prostatic neoplasms; Prostate-specific membrane antigen; Magnetic resonance imaging; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18

**Fund program:** National Natural Science Foundation of China (81971573); Suzhou Health Youth Top Talents Project (GSWS2020019); Science and Technology Support Program of Taizhou (TS202006)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230320-00069

前列腺癌在男性泌尿生殖系统恶性肿瘤中发病率居首位<sup>[1]</sup>。早期诊断并准确分期对前列腺癌后续治疗方案的制订尤为重要。多参数 MRI (multi-parameter MRI, mpMRI) 作为前列腺癌诊断的常规手段,广泛应用于诊断及术前定位<sup>[2]</sup>,而 $^{18}\text{F-FDG}$  PET/CT 在探测全身肿瘤病灶分布方面则具有一定优势,但这 2 种检查方法的灵敏度、特异性有限<sup>[3]</sup>。前列腺特异膜抗原 (prostate specific membrane antigen, PSMA) 是一种跨膜糖蛋白,在几乎所有类型的前列腺癌及转移灶中高表达<sup>[4]</sup>。 $^{18}\text{F-PSMA-1007}$  是一种 PSMA 小分子抑制剂,可用于观察前列腺癌细胞 PSMA 的表达情况<sup>[5]</sup>。本研究拟比较 $^{18}\text{F-PSMA-1007}$  PET/CT、 $^{18}\text{F-FDG}$  PET/CT 及 mpMRI 3 种检查方法在前列腺癌患者诊断和分期中的价值。

## 资料与方法

1. 研究对象。回顾性分析 2021 年 4 月至 2022 年 9 月在南京医科大学附属泰州人民医院经直肠前列腺活组织检查 (简称活检) 病理确诊为前列腺癌、30 d 内完成 $^{18}\text{F-PSMA-1007}$  PET/CT、 $^{18}\text{F-FDG}$  PET/CT 和 mpMRI 检查患者的临床资料,包括影像数据、Gleason 评分 (Gleason scores, GS)、国际泌尿病理协会 (International Society of Urological Pathology, ISUP) 分级、血清总前列腺特异抗原 (total prostate specific antigen,

TPSA) 等,排除信息不全或已行治疗的患者,最终纳入 22 例。22 例患者年龄 64~88 (72.6 $\pm$ 6.2) 岁,TPSA 190.96 (40.77, 726.86)  $\mu\text{g/L}$ , GS 8 (7, 9) 分,ISUP 分级 2 级 2 例、3 级 4 例、4 级 8 例、5 级 8 例。本研究通过泰州市人民医院临床研究伦理委员会审核 (批号:KY2021-017-01),患者均签署知情同意书。

2. PET/CT 显像。 $^{18}\text{F-FDG}$  购自江苏华益科技有限公司, $^{18}\text{F-PSMA-1007}$  通过自动合成模块 (Neptis RS, 比利时) 合成。患者按照试验方案完成 2 次检查前准备。经肘静脉注入显像剂,剂量为 3.70~5.55 MBq/kg (按患者体质量),90~120 min 后行 PET/CT (Biograph mCTs, 德国 Siemens 公司) 扫描,范围为颅顶至大腿上段,必要时增加四肢扫描。对采集图像进行常规衰减校正、图像重建和后期处理,后处理软件系统为 Syngo 2019。

3. mpMRI 检查。使用德国 Siemens 公司 Verio 3.0T MRI,采用腹部相控阵圈。MRI 扫描包括  $T_1$  加权成像 (weighted imaging, WI)、 $T_2$  WI 2 种常规成像序列,弥散 WI (diffusion WI, DWI) 和动态对比增强 (dynamic contrast enhancement, DCE)-MRI。扫描范围将前列腺及精囊腺全部包括在内,所有序列的角度、位置、层厚保持一致。

4. 图像分析。由 2 名高年资核医学科医师分析 $^{18}\text{F-PSMA-1007}$  及 $^{18}\text{F-FDG}$  PET/CT 图像,使用

ROI 分析肿瘤原发灶及转移灶的显像剂摄取,用 SUV 表示<sup>[6]</sup>;mpMRI 的图像分析由 2 名高年资 MRI 医师进行,参照文献<sup>[7]</sup>,将 MRI 图像上有异常信号的原发病灶区域定义为 ROI,测量 ROI 内的表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)[包括最小 ADC(minimum ADC, ADC<sub>min</sub>)及平均 ADC(mean ADC, ADC<sub>mean</sub>)]<sup>[8]</sup>。诊断意见不一致时,共同讨论达成一致。原发灶使用病理“金标准”进行评估;淋巴结及骨转移病灶的评估使用最有价值对照组进行最终诊断<sup>[9]</sup>。

5.统计学处理。采用 IBM SPSS 22.0 软件对数据进行统计学分析。符合正态分布的定量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示,不符合正态分布的定量资料用  $M(Q_1, Q_3)$  表示,采用两独立样本  $t$  检验或 Mann-Whitney  $U$  检验分析数据;定性资料以频数(百分比)表示,采用  $\chi^2$  检验及 Fisher 确切概率法分析数据。绘制 ROC 曲线,分析 PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>mean</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>、FDG-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>、FDG-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>mean</sub>、FDG-SUV<sub>max</sub>、ADC<sub>min</sub>、ADC<sub>mean</sub> 等指标对不同级别前列腺癌的诊断价值,不同 AUC 间的比较采用 Delong 检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

### 结 果

1.不同组别患者原发灶参数的比较(表 1)。以 ISUP  $\leq 3$  和 ISUP  $> 3$  分组,2 组患者间 PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>mean</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>、ADC<sub>min</sub> 的差异均有统计学意义( $z$  值:  $-2.65 \sim -2.36$ ,  $t = 3.60$ , 均  $P < 0.05$ ),余指标组间差异均无统计学意义( $z$  值:  $-1.62$  和  $-1.44$ ,  $t$  值:  $-1.92$  和  $1.72$ , 均  $P > 0.05$ )。以

TPSA  $\leq 20 \mu\text{g/L}$  和 TPSA  $> 20 \mu\text{g/L}$  分组,2 组患者各影像学参数指标差异均无统计学意义( $z$  值:  $-1.76 \sim -1.45$ ,  $t$  值:  $-1.19$  和  $1.28$ , 均  $P > 0.05$ )。

2.原发灶各参数对前列腺癌分级诊断的价值。以 ISUP  $\leq 3$  和  $> 3$  分组,对 FDG-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>、FDG-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>mean</sub>、FDG-SUV<sub>max</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>mean</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>、ADC<sub>min</sub>、ADC<sub>mean</sub> 进行 ROC 曲线分析,AUC 分别为 0.781、0.729、0.703、0.875、0.844、0.833、0.089、0.313。FDG-SUV<sub>max</sub> 相关指标中,FDG-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub> 对高低级别前列腺癌鉴别诊断价值最高,以  $7.841 \times 10^3$  为阈值时,灵敏度为 14/16、特异性为 4/6。PSMA-SUV<sub>max</sub> 相关指标中,PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub> 鉴别诊断价值最高,以  $22.628 \times 10^3$  为阈值时,灵敏度为 15/16、特异性为 5/6,均高于 FDG-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>。

3.不同方法对患者和病灶的检出结果。(1)基于患者(表 2)。<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT、mpMRI 对 22 例前列腺癌患者原发灶的检出率差异无统计学意义( $\chi^2 = 1.91$ ,  $P = 0.767$ ),对淋巴结、骨转移的检出率差异有统计学意义( $\chi^2$  值: 6.03 和 6.29,  $P$  值: 0.049 和 0.043)。另外,<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 发现脑转移 1 例。不同前列腺癌患者同一层面转移灶的 3 种检查对比图见图 1。

(2)基于病灶(表 3)。22 例患者有淋巴结转移灶 291 处、骨转移灶 31 处(有 7 例全身多发骨转移的患者因骨转移病灶数量过多未纳入计算)。在 mpMRI 检查视野内,<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT、mpMRI 对淋巴结转移灶的检出率差异有统计学意

表 1 不同组别前列腺癌患者原发灶参数的比较[ $M(Q_1, Q_3)$  或  $\bar{x} \pm s$ ]

| 组别                           | 例数 | PSMA-SUV <sub>max</sub> /ADC <sub>min</sub> | PSMA-SUV <sub>max</sub> /ADC <sub>mean</sub> | PSMA-SUV <sub>max</sub>                    | ADC <sub>min</sub>                      |
|------------------------------|----|---|--|--|---|
| ISUP $\leq 3$                | 6  | 71.18 (18.92, 71.18)                        | 63.57 (16.38, 63.57)                         | 41.00 (10.36, 41.00)                       | 0.67 $\pm$ 0.14                         |
| ISUP $> 3$                   | 16 | 101.56 (61.99, 185.74)                      | 71.07 (63.57, 155.14)                        | 45.70 (20.40, 93.20)                       | 0.48 $\pm$ 0.11                         |
| TPSA $\leq 20 \mu\text{g/L}$ | 5  | 19.00 (15.91, 39.95)                        | 16.38 (11.39, 32.26)                         | 13.00 (8.85, 21.55)                        | 0.60 $\pm$ 0.19                         |
| TPSA $> 20 \mu\text{g/L}$    | 17 | 61.99 (26.28, 91.21)                        | 34.44 (22.90, 67.32)                         | 20.40 (14.85, 43.35)                       | 0.51 $\pm$ 0.13                         |
| 检验值                          |    | -2.65 <sup>a</sup> , -1.76 <sup>b</sup>     | -2.43 <sup>a</sup> , -1.68 <sup>b</sup>      | -2.36 <sup>a</sup> , -1.53 <sup>b</sup>    | 3.60 <sup>ac</sup> , 1.28 <sup>bc</sup> |
| $P$ 值                        |    | 0.008 <sup>a</sup> , 0.078 <sup>b</sup>     | 0.015 <sup>a</sup> , 0.092 <sup>b</sup>      | 0.018 <sup>a</sup> , 0.127 <sup>b</sup>    | 0.002 <sup>a</sup> , 0.214 <sup>b</sup> |
| 组别                           | 例数 | FDG-SUV <sub>max</sub> /ADC <sub>mean</sub> | FDG-SUV <sub>max</sub>                       | FDG-SUV <sub>max</sub> /ADC <sub>min</sub> | ADC <sub>mean</sub>                     |
| ISUP $\leq 3$                | 6  | 5.80 (3.61, 13.58)                          | 3.70 (3.25, 9.13)                            | 9.11 $\pm$ 6.69                            | 0.77 $\pm$ 0.20                         |
| ISUP $> 3$                   | 16 | 11.24 (7.53, 15.80)                         | 7.35 (4.85, 8.35)                            | 17.44 $\pm$ 9.76                           | 0.63 $\pm$ 0.06                         |
| TPSA $\leq 20 \mu\text{g/L}$ | 5  | 5.88 (3.37, 16.45)                          | 3.70 (2.80, 10.95)                           | 10.71 $\pm$ 9.51                           | 0.66 (0.64, 0.90)                       |
| TPSA $> 20 \mu\text{g/L}$    | 17 | 11.52 (7.55, 15.10)                         | 7.20 (4.80, 8.30)                            | 16.48 $\pm$ 9.57                           | 0.64 (0.62, 0.67)                       |
| 检验值                          |    | -1.62 <sup>a</sup> , -1.45 <sup>b</sup>     | -1.44 <sup>a</sup> , -1.49 <sup>b</sup>      | -1.92 <sup>ac</sup> , -1.19 <sup>bc</sup>  | 1.72 <sup>ac</sup> , -1.53 <sup>b</sup> |
| $P$ 值                        |    | 0.105 <sup>a</sup> , 0.147 <sup>b</sup>     | 0.150 <sup>a</sup> , 0.136 <sup>b</sup>      | 0.070 <sup>a</sup> , 0.250 <sup>b</sup>    | 0.142 <sup>a</sup> , 0.127 <sup>b</sup> |

注:<sup>a</sup>为国际泌尿病理协会(ISUP)组间比较,<sup>b</sup>总前列腺特异抗原(TPSA)组间比较,<sup>c</sup>为  $t$  值,余检验值为  $z$  值;ADC<sub>mean</sub> 为平均表观弥散系数,ADC<sub>min</sub> 为最小表观弥散系数,PSMA 为前列腺特异膜抗原

表 2 不同显像方式对 22 例前列腺癌患者的检出情况比较

| 显像方式                             | 例数 | 原发灶            | 淋巴结转移          | 骨转移            |
|----------------------------------|----|----------------|----------------|----------------|
| <sup>18</sup> F-PSMA-1007 PET/CT | 22 | 100% (22/22)   | 72.73% (16/22) | 81.82% (18/22) |
| <sup>18</sup> F-FDG PET/CT       | 22 | 95.45% (21/22) | 59.09% (13/22) | 63.64% (14/22) |
| mpMRI                            | 22 | 90.91% (20/22) | 36.36% (8/22)  | 45.45% (10/22) |
| $\chi^2$ 值                       |    | 1.91           | 6.03           | 6.29           |
| P 值                              |    | 0.767          | 0.049          | 0.043          |

注:mpMRI 为多参数 MRI,PSMA 为前列腺特异膜抗原;括号中为例数比

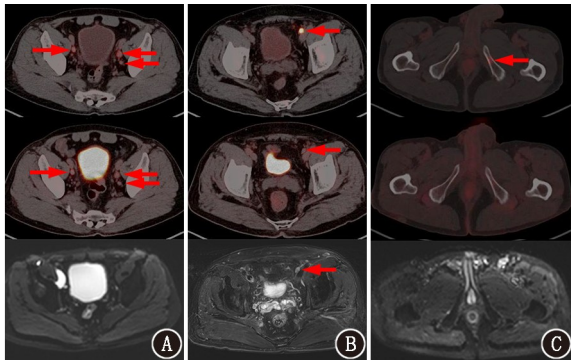


图 1 不同前列腺癌患者的影像学检查图像[从上到下分别为<sup>18</sup>F-前列腺特异膜抗原(PSMA)-1007、<sup>18</sup>F-FDG 和多参数 MRI(mpMRI) T<sub>2</sub>]。A.患者 1,66 岁,盆腔转移淋巴结摄取<sup>18</sup>F-PSMA-1007 和<sup>18</sup>F-FDG(箭头示),但 mpMRI 未见明显异常信号灶;B.患者 2,72 岁,左侧髂血管旁转移淋巴结高度摄取<sup>18</sup>F-PSMA-1007,但几乎不摄取<sup>18</sup>F-FDG,mpMRI T<sub>2</sub> 加权成像(WI)仅表现为轻度增高信号(箭头示);C.患者 3,72 岁,左侧耻骨转移灶摄取<sup>18</sup>F-PSMA-1007(箭头示),而<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 及 mpMRI 均未显示异常

义( $\chi^2 = 200.50, P < 0.001$ ),但对骨转移的检出率差异无统计学意义( $P = 0.321$ );在 mpMRI 检查视野外,<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 和<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 的淋巴结、骨转移灶检出率差异均有统计学意义( $\chi^2$  值:47.92 和 21.00,均  $P < 0.001$ )。

(3)三者对淋巴结和骨转移的诊断效能(表 4)。ROC 曲线分析结果示,在 mpMRI 视野内诊断淋巴结转移时,<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 与<sup>18</sup>F-FDG PET/CT( $z = 7.84, P < 0.001$ )、<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 与 mpMRI( $z = 11.92, P < 0.001$ )、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 与 mpMRI( $z = 3.19, P = 0.001$ ) AUC 比较差异均有统计学意义;三者诊断骨转移时,<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 的 AUC 均高于 mpMRI( $z$  值:5.37 和 2.42, $P$  值: $< 0.001$  和 0.015),但这两者比较差异无统计学意义( $z = 1.64, P = 0.101$ )。在全身视野内,<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 诊断淋巴结转移与骨转移的 AUC 差异均有统计学意义( $z$  值:8.53 和 5.74,均  $P < 0.001$ )。

(4)三者对患者 NM 分期的比较。<sup>18</sup>F-PSMA-

1007 PET/CT 较 mpMRI 上调了约 36.36% (8/22) 的 N 分期、40.91% (9/22) 的 M 分期;<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 较 mpMRI 上调了 22.73% (5/22) 的 N 分期、18.18% (4/22) 的 M 分期;<sup>18</sup>F-PSMA PET/CT 较<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 上调了约 13.64% (3/22) 的 N 分期、27.27% (6/22) 的 M 分期。

### 讨 论

在影像学检查中,mpMRI 空间分辨力优异,对于探测前列腺癌局部病灶及局部转移具有较高价值,但对于远处转移且具有异质性的病灶诊断效能有限<sup>[10]</sup>。<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 可以探测全身肿瘤病灶分布,但难以鉴别前列腺炎、结核、脓肿等良性病变。新型放射性药物<sup>18</sup>F-PSMA-1007 可特异性诊断前列腺癌,较<sup>68</sup>Ga-PSMA 半衰期更长、图像分辨率更高、膀胱放射性活度更低<sup>[11]</sup>。与 PSMA-11、PSMA-617 等药物主要从肾脏排泄不同,PSMA-1007 由肝胆通道排泄,对前列腺和输尿管区域以及盆腔转移淋巴结的显示更有优势<sup>[5]</sup>。基于既往研究,一些 mpMRI 图像上呈现假阴性的病灶,PSMA PET/CT 可探测为阳性,反之亦然,提示这 2 种检查可能存在优势互补<sup>[12-13]</sup>。本研究比较了<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 及 mpMRI 3 种检查方法在前列腺癌诊断中的价值。

在 PET/CT 和 mpMRI 检查中,SUV<sub>max</sub> 及 ADC 是重要的半定量参数。典型的前列腺癌病灶在<sup>18</sup>F-PSMA PET/CT、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 显像中表现为浓聚灶,而在 mpMRI 检查 ADC 图上呈现出低信号影。李孝媛等<sup>[14]</sup>的研究显示,对于相同的前列腺癌病灶,SUV<sub>max</sub> 与前列腺特异抗原呈正相关,ADC 与前列腺特异抗原呈负相关。赵强等<sup>[15]</sup>的研究显示,PSMA-SUV<sub>max</sub> 与 ISUP 分级呈正相关;王森等<sup>[16]</sup>的研究显示,ADC 与 ISUP 分级呈负相关。本研究显示,以 ISUP  $\leq 3$  和  $> 3$  分组时,PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>mean</sub>、PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub> 组间差异均有统计学意义( $z$  值:-2.65 ~ -2.36, $t = 3.60, P$  值:

表 3 不同显像方式对 22 例前列腺癌患者转移病灶的检出情况比较

| 显像方式                             | mpMRI 视野内        |       | mpMRI 视野外        |               |
|----------------------------------|------------------|-------|------------------|---------------|
|                                  | 淋巴结转移            | 骨转移   | 淋巴结转移            | 骨转移           |
| <sup>18</sup> F-PSMA-1007 PET/CT | 100% (149/149)   | 10/10 | 100% (142/142)   | 100% (21/21)  |
| <sup>18</sup> F-FDG PET/CT       | 70.47% (105/149) | 8/10  | 71.13% (101/142) | 33.33% (7/21) |
| mpMRI                            | 22.15% (33/149)  | 7/10  | -                | -             |
| $\chi^2$ 值                       | 200.50           | -     | 47.92            | 21.00         |
| <i>P</i> 值                       | <0.001           | 0.321 | <0.001           | <0.001        |

注: -指 Fisher 确切概率法无 $\chi^2$  值或多参数 MRI(mpMRI) 视野外无 mpMRI 数据;PSMA 为前列腺特异膜抗原

表 4 不同显像方式在不同视野下对 22 例前列腺癌患者淋巴结和骨转移的 ROC 曲线分析结果

| 显像方式                             | mpMRI 视野 |             |       |             | 全身视野  |             |       |             |
|----------------------------------|----------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
|                                  | 淋巴结转移    |             | 骨转移   |             | 淋巴结转移 |             | 骨转移   |             |
|                                  | AUC      | 95% CI      | AUC   | 95% CI      | AUC   | 95% CI      | AUC   | 95% CI      |
| <sup>18</sup> F-PSMA-1007 PET/CT | 0.984    | 0.956~0.996 | 0.989 | 0.916~1.000 | 0.984 | 0.964~0.994 | 0.989 | 0.933~1.000 |
| <sup>18</sup> F-FDG PET/CT       | 0.729    | 0.664~0.788 | 0.878 | 0.763~0.950 | 0.731 | 0.681~0.777 | 0.720 | 0.606~0.817 |
| mpMRI                            | 0.529    | 0.459~0.598 | 0.541 | 0.403~0.675 | -     | -           | -     | -           |

注: -指全身视野时未对 mpMRI 数据进行统计

0.002~0.018), 提示上述参数对病理分级具有一定的预测价值。

本研究以 ISUP 3 级为界, 将患者分为高、低级别组, PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub> 鉴别诊断高低级别前列腺癌的最佳阈值为  $22.628 \times 10^3$ , 灵敏度为 15/16、特异性为 5/6, 较 FDG-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub> 更佳。可能是由于部分早期前列腺癌糖代谢有限, <sup>18</sup>F-FDG 摄取不高所致。

本研究发现, <sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT、mpMRI 对前列腺癌原发灶的检出率相似, 但对淋巴结转移和骨转移的检出率差异有统计学意义( $\chi^2$  值: 6.03 和 6.29, *P* 值: 0.049 和 0.043)。在基于病灶的研究中, <sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 对淋巴结转移、骨转移的诊断效能均高于 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT 和 mpMRI (*z* 值: 5.37~11.92, 均 *P*<0.05), 与既往研究相似<sup>[17-18]</sup>。在与 mpMRI 相同视野内, 基于患者与病灶分析, PET/CT 均较 mpMRI 发现了更多淋巴结和骨转移病灶。在淋巴结转移及骨转移诊断方面, <sup>18</sup>F-PSMA-1007 较 <sup>18</sup>F-FDG 诊断效能更高。总体来讲, <sup>18</sup>F-PSMA PET/CT、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT、mpMRI 对淋巴结转移和骨转移的诊断效能依次递减, ROC 曲线分析亦证实了这一点。此外, 本研究 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 检出 1 例患者有脑转移灶, 而 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT 未发现, 这可能是由于 <sup>18</sup>F-FDG 在颅内葡萄糖代谢高, 颅内病灶容易被掩盖, 而 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 在颅内几乎无生理性摄取, 更易于发现颅内病灶<sup>[19]</sup>。

对前列腺癌患者进行准确分期, 有助于临床制定治疗决策、判断预后, 而传统 mpMRI 并不能满足临床对前列腺癌分期的需求。Malaspina 等<sup>[6]</sup> 认为, <sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 在分期方面明显优于 mpMRI。本研究显示, <sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 在分期方面的优势明显高于 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT 及 mpMRI, 较 mpMRI 上调了约 36.36% (8/22) 的 N 分期、40.91% (9/22) 的 M 分期, 可能会改变近一半前列腺癌患者的管理策略。

本研究有一定局限性: 穿刺获得的病理分级可能与实际分级存在偏倚; 对于 MRI 视野以外的转移灶, 只对比了 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 及 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT, 后期可纳入 MRI 类 PET 显像 (MR 全身 DWI), 对远处淋巴结及骨转移灶进行更详细的分析对比; 尽管进行了基于病灶的研究, 但病例数仍较小, 结论还需更大样本量的研究来验证。总之, <sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT、<sup>18</sup>F-FDG PET/CT 及 mpMRI 在前列腺癌诊断中均具有一定的价值。PSMA-SUV<sub>max</sub>/ADC<sub>min</sub> 在鉴别诊断高低级别前列腺癌方面是有价值的参数。<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 较 <sup>18</sup>F-FDG PET/CT、mpMRI 能检出更多的转移灶, 诊断效能更高, 分期更准确。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 姜一逸: 研究实施、论文撰写、统计学分析; 刘芙蓉、李波良、王逸超、金民山: 数据采集和整理; 张俊、戴慧: 研究指导、论文修改、经费支持

## 参 考 文 献

[1] 李星, 曾晓勇. 中国前列腺癌流行病学研究进展 [J]. 肿瘤防治

- 研究, 2021, 48(1): 98-102. DOI: 10.3971/j.issn.1000-8578.2021.20.0370.
- Li X, Zeng XY. Advances in epidemiology of prostate cancer in China[J]. *Cancer Res Prev Treat*, 2021, 48(1): 98-102. DOI: 10.3971/j.issn.1000-8578.2021.20.0370.
- [2] Hugosson J, Månsson M, Wallström J, et al. Prostate cancer screening with PSA and MRI followed by targeted biopsy only[J]. *N Engl J Med*, 2022, 387(23): 2126-2137. DOI:10.1056/NEJMoa2209454.
- [3] Fourquet A, Rosenberg A, Mena E, et al. A comparison of  $^{18}\text{F}$ -DCFPyL,  $^{18}\text{F}$ -NaF, and  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT in a prospective cohort of men with metastatic prostate cancer[J]. *J Nucl Med*, 2022, 63(5): 735-741. DOI:10.2967/jnumed.121.262371.
- [4] Pianou NK, Stavrou PZ, Vlontzou E, et al. More advantages in detecting bone and soft tissue metastases from prostate cancer using  $^{18}\text{F}$ -PSMA PET/CT[J]. *Hell J Nucl Med*, 2019, 22(1): 6-9. DOI: 10.1967/s002449910952.
- [5] 周文瑶, 张俊. 前列腺癌 PSMA PET 显像剂研究进展[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2020, 40(12): 755-760. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20191202-00284.
- Zhou WY, Zhang J. Research progress of PSMA PET tracers for prostate cancer[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 40(12): 755-760. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20191202-00284.
- [6] Malaspina S, Anttinen M, Taimen P, et al. Prospective comparison of  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT, whole-body MRI and CT in primary nodal staging of unfavourable intermediate- and high-risk prostate cancer[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(9): 2951-2959. DOI:10.1007/s00259-021-05296-1.
- [7] 中华放射学杂志前列腺疾病诊疗工作组, 中华放射学杂志编辑委员会. 前列腺癌 MRI 检查和诊断共识(第二版)[J]. *中华放射学杂志*, 2018, 52(10): 743-750. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2018.10.005.
- Chinese Journal of Radiology Diagnosis and Treatment Group of Prostate Diseases, Editorial Board of Chinese Journal of Radiology. China guideline on technical specification and diagnostic reporting of prostate MRI (version 2)[J]. *Chin J Radiol*, 2018, 52(10): 743-750. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2018.10.005.
- [8] Arslan A, Karaarslan E, Güner AL, et al. Comparing the diagnostic performance of multiparametric prostate MRI versus  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA PET-CT in the evaluation lymph node involvement and extraprostatic extension[J]. *Acad Radiol*, 2022, 29(5): 698-704. DOI: 10.1016/j.acra.2020.07.011.
- [9] Dyrberg E, Hendel HW, Huynh T, et al.  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-PET/CT in comparison with  $^{18}\text{F}$ -fluoride-PET/CT and whole-body MRI for the detection of bone metastases in patients with prostate cancer: a prospective diagnostic accuracy study[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(3): 1221-1230. DOI:10.1007/s00330-018-5682-x.
- [10] Farolfi A, Calderoni L, Mattana F, et al. Current and emerging clinical applications of PSMA PET diagnostic imaging for prostate cancer[J]. *J Nucl Med*, 2021, 62(5): 596-604. DOI:10.2967/jnumed.120.257238.
- [11] Kuten J, Fahoum I, Savin Z, et al. Head-to-head comparison of  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 with  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT in staging prostate cancer using histopathology and immunohistochemical analysis as a reference standard[J]. *J Nucl Med*, 2020, 61(4): 527-532. DOI:10.2967/jnumed.119.234187.
- [12] Burger IA, Müller J, Donati OF, et al.  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 PET/MR detects local recurrence occult on mpMRI in prostate cancer patients after HIFU[J]. *J Nucl Med*, 2019, 60(8): 1118-1123. DOI:10.2967/jnumed.118.221564.
- [13] Emmett L, Buteau J, Papa N, et al. The additive diagnostic value of prostate-specific membrane antigen positron emission tomography computed tomography to multiparametric magnetic resonance imaging triage in the diagnosis of prostate cancer (PRIMARY): a prospective multicentre study[J]. *Eur Urol*, 2021, 80(6): 682-689. DOI:10.1016/j.eururo.2021.08.002.
- [14] 李孝媛, 李如帅, 尤琴琴, 等.  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 PET/MR 多参数成像对初诊前列腺癌的诊断[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2021, 41(2): 98-103. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20191125-00271.
- Li XY, Li RS, You QQ, et al.  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 PET/MR multiparameter imaging in the diagnosis of naive prostate cancer[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 41(2): 98-103. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20191125-00271.
- [15] 赵强, 刘辰, 刘佳, 等.  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA PET-CT 检查中  $\text{SUV}_{\text{max}}$  与前列腺癌患者临床病理特点的相关性分析[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2020, 41(1): 13-18. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1000-6702.2020.01.003.
- Zhao Q, Liu C, Liu J, et al. The relationship between  $\text{SUV}_{\text{max}}$  on preoperative  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA PET-CT and the clinicopathological characteristics in patients treated with radical prostatectomy[J]. *Chin J Urol*, 2020, 41(1): 13-18. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1000-6702.2020.01.003.
- [16] 王森, 侯惠民, 王莹, 等.  $^{18}\text{F}$ -PSMA PET/CT 联合多参数磁共振对前列腺癌分级的诊断价值[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2022, 43(2): 116-121. DOI: 10.3760/cma.j.cn112330-20210828-00456.
- Wang M, Hou HM, Wang X, et al. Diagnostic value of  $^{18}\text{F}$ -prostate specific membrane antigen PET/CT combined with multiparametric-MRI in identifying the grade group of prostate cancer[J]. *Chin J Urol*, 2022, 43(2): 116-121. DOI: 10.3760/cma.j.cn112330-20210828-00456.
- [17] Sprute K, Kramer V, Koerber SA, et al. Diagnostic accuracy of  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT imaging for lymph node staging of prostate carcinoma in primary and biochemical recurrence[J]. *J Nucl Med*, 2021, 62(2): 208-213. DOI:10.2967/jnumed.120.246363.
- [18] 邹思娟, 宋双, 陈利星, 等.  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-617 PET/CT 与 MRI 对中高前列腺癌诊断和分期的对比[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2020, 40(12): 710-715. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200616-00233.
- Zou SJ, Song S, Chen LX, et al. Comparison of  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-617 and MRI in diagnosis and staging of primary prostate cancer[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 40(12): 710-715. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200616-00233.
- [19] Ballal S, Yadav MP, Moon ES, et al. Biodistribution, pharmacokinetics, dosimetry of [ $^{68}\text{Ga}$ ]Ga-DOTA.SA.FAPi, and the head-to-head comparison with [ $^{18}\text{F}$ ]F-FDG PET/CT in patients with various cancers[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(6): 1915-1931. DOI:10.1007/s00259-020-05132-y.

(收稿日期:2023-03-20)