

## ◆ 实验研究

## Optimizing automated synthesis of $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 and applied in PET/CT imaging for detecting lymph node metastasis of prostate cancer

LI Ning<sup>1</sup>, LIAO Hai<sup>1</sup>, MU Xingyu<sup>2</sup>, QIU Wenming<sup>1</sup>, GAN Meishe<sup>1</sup>,  
YANG Zhi<sup>1</sup>, XIAO Guoyou<sup>1</sup>, HE Zhengzhong<sup>1\*</sup>

(1. Department of Nuclear Medicine, Guangxi Medical University Cancer Hospital, Nanning 530021, China;

2. Department of Nuclear Medicine, Affiliated Hospital of Guilin Medical University, Guilin 541001, China)

**[Abstract]** **Objective** To optimize automated synthesis of  $^{18}\text{F}$ -prostate specific membrane antigen (PSMA)-1007, and to explore its value in PET/CT imaging of lymph node metastasis of prostate cancer (PCa). **Methods** Based on CFN-MPS-200 automatic synthesis module,  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 was automatically synthesized using a one-step labeling method to optimize its labeling conditions and conducting quality analysis on the product. Then  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT imaging was performed in 13 PCa patients. Taken postoperative immunohistochemistry results as standards, its sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value (PPV) and negative predictive value (NPV) for detecting lymph node metastasis were calculated. **Results** The optimized total synthesis time was shortened to 37 min, with radiochemical yield of  $(44.82 \pm 4.64)\%$  (without decay correction,  $n=3$ ), radioactive activity of  $(19.74 \pm 2.81)$  GBq, a radiochemical purity of  $>99.50\%$ , ethanol residue of  $(7.43 \pm 1.55)\%$  (V/V) and radionuclide purity of  $>99.33\%$ , all met the standard requirements.  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT imaging exhibited excellent image quality and low renal excretion properties, also remarkable efficacy, with sensitivity, specificity, accuracy, PPV and NPV for detecting lymph node metastasis of 84.62%, 97.58%, 96.63%, 73.33% and 98.77%, respectively. **Conclusion** Based on CFN-MPS-200 synthesis module, high activity synthesis of  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 could be achieved, with simple and stable synthesis process and high radiochemical purity production.  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 exhibited excellent performance in PET/CT imaging of PCa lymph node metastasis.

**[Keywords]** prostatic neoplasms; prostate-specific antigen; positron-emission tomography and computed tomography;  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2026.01.006

## 优化自动化合成 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 用于 PET/CT 显像检出前列腺癌淋巴结转移

李 宁<sup>1</sup>, 廖 海<sup>1</sup>, 牟兴宇<sup>2</sup>, 丘文明<sup>1</sup>, 甘美舍<sup>1</sup>, 杨 志<sup>1</sup>, 肖国有<sup>1</sup>, 何正中<sup>1\*</sup>

(1. 广西医科大学附属肿瘤医院核医学科, 广西南宁 530021; 2. 桂林医学院附属医院核医学科, 广西桂林 541001)

**[摘要]** **目的** 优化自动化合成 $^{18}\text{F}$ -前列腺特异性膜抗原(PSMA)-1007, 观察其用于 PET/CT 显像检出前列腺癌(PCa)淋巴结转移的价值。 **方法** 基于 CFN-MPS-200 型自动合成模块以一步标记法自动化合成 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007, 优化其标记条件, 并对产品进行质量分析。对 13 例 PCa 患者行 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT 显像, 以术后免疫组织化学结果为标

**[基金项目]** 广西壮族自治区卫生健康委员会自筹经费科研课题(Z-A20220678)、广西生物靶向诊治研究重点实验室开放课题(GXSWBX202204)。

**[第一作者]** 李宁(1985—), 男(壮族), 广西平果人, 硕士, 高级工程师。研究方向: 新型正电子分子探针的研发与临床转化。E-mail: gxulingning@126.com

**[通信作者]** 何正中, 广西医科大学附属肿瘤医院核医学科, 530021。E-mail: 522918541@qq.com

**[收稿日期]** 2025-05-29 **[修回日期]** 2025-10-30

准,计算其检测淋巴结转移的敏感度、特异度、准确率、阳性预测值(PPV)和阴性预测值(NPV)。结果 优化后总合成时间缩短至 37 min,放射化学产率达 $(44.82 \pm 4.64)\%$ (未衰变校正,  $n=3$ ),放射性活度为 $(19.74 \pm 2.81)$  GBq,放射化学纯度 $>99.50\%$ ,乙醇残留量为 $(7.43 \pm 1.55)\%$ (V/V),放射性核素纯度 $>99.33\%$ ,均符合标准要求。 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT 显像图像质量优异、具有低肾脏排泄特性,其检测淋巴结转移的敏感度、特异度、准确率、PPV 及 NPV 分别为 84.62%、97.58%、96.63%、73.33% 及 98.77%。结论 基于 CFN-MPS-200 模块可高活度合成 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007,工艺简便、稳定,产品放射化学纯度高,用于 PET/CT 显像检出 PCa 淋巴结转移表现优异。

[关键词] 前列腺肿瘤;前列腺特异性抗原;正电子发射断层显像和计算机体层摄影术; $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007

[中图分类号] R737.25; R817.4 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2026)01-0027-07

近 10 年我国前列腺癌(prostate cancer, PCa)发病率呈现显著上升趋势<sup>[1]</sup>。PET/CT 或 PET/MRI 已成为精准诊断 PCa 的重要工具<sup>[2-4]</sup>。前列腺特异性膜抗原(prostate specific membrane antigen, PSMA)在 PCa 细胞膜表面高表达,已成为极具潜力的靶点<sup>[5]</sup>。PSMA 配体对 PSMA 具有高亲和力,临床常以放射性核素(如 $^{68}\text{Ga}$ 、 $^{18}\text{F}$ )标记的 PSMA 配体作为分子探针诊断 PCa<sup>[6-7]</sup>。本研究基于 NAKA 等<sup>[8]</sup>合成路线,优化自动化合成 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007,并观察其用于 PET/CT 显像检出 PCa 淋巴结转移的价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料与仪器

1.1.1 材料 PSMA-1007 前体、碳酸氢四丁胺(tetrabutylammonium hydrogencarbonate, TBAHCO<sub>3</sub>)、PSMA-1007 标准品(南京江原安迪科正电子研究发展有限公司);二甲基亚砜(dimethyl sulfoxide, DMSO)(上海麦克林生化科技有限公司); $^{18}\text{O}$ -H<sub>2</sub>O(太阳日酸株式会社);无水乙腈,5%、30%和无水乙醇(美国 Sigma 公司);抗坏血酸钠、碳酸氢钠(上海阿拉丁生化科技);注射用水(山东华鲁制药有限公司),生理盐水(四川科伦药业股份有限公司)。季铵型阴离子交换柱(美国 Waters 公司);PS-H<sup>+</sup>柱、C18ec 柱(德国 ABX 公司);Millex-GS 无菌过滤器(美国 Millipore 公司)。

1.1.2 仪器 CFN-MPS200 自动合成模块、HM-10HC 回旋加速器(日本住友株式会社);CRC-25R 放射性核素活度计(美国 Capintec 公司);岛津 LC-16 高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)仪(日本岛津公司)、分析型 C18 柱(日本岛津公司);气相色谱仪(南京科捷分析仪器有限公司); $\gamma$ 能谱仪(北京中智核安科技有限公司);便携式细菌内毒素快速检测仪(北京恒益德科技有限公司);GE Discovery PET/CT 710 PET/CT 仪。

### 1.2 方法

1.2.1 自动化合成 基于 CFN-MPS-200 合成模块

编辑相应合成程序,在合成模块上安装 $^{18}\text{F}$ -FECHO 卡套并连接管线,运行自检程序对气密性和载气流量进行检查,之后依次连接试剂瓶、QMA 柱、PS-H<sup>+</sup>柱和 C18ec 柱,关闭热室。回旋加速器通过 $^{18}\text{O}$ (p, n) $^{18}\text{F}$ 核反应生成 $^{18}\text{F}^-$ ,由氮气推动通过 QMA 柱的 $^{18}\text{F}$ 被其捕获。利用 0.075 mol/L TBAHCO<sub>3</sub>/乙腈溶液将 $^{18}\text{F}^-$ 洗脱至反应瓶中,加热至 100 °C 恒温蒸干淋洗液,冷却至室温后加入 0.5 ml 无水乙腈,于 95 °C 条件下再次蒸干。将 1.5 ml 含 PSMA-1007 前体的 DMSO 溶液加入反应瓶,在密闭体系中进行 10 min 氟化反应;随后加入 8 ml 体积分数为 5% 的乙醇,通过氮气压载使其依次通过 PS-H<sup>+</sup>柱和 C18ec 柱以去除杂质,将废液收集至废液瓶。随后依次以 25 ml 体积分数为 5% 的乙醇和 2.5 ml 体积分数为 30% 的乙醇冲洗色谱柱,最后以 4 ml 体积分数为 30% 的乙醇将 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 从色谱柱上淋洗下来,通过 0.22  $\mu\text{m}$  无菌滤膜过滤后进入产品收集瓶中,以生理盐水稀释后获得 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 注射液<sup>[9]</sup>。见图 1。

1.2.2 优化标记条件 重点关注 3 个关键参数对反应效率的影响:于前体量 2.0 mg、反应温度 95 °C 条件下观察 TBAHCO<sub>3</sub>/乙腈溶液不同体积(0.5、0.7、0.9 ml)对 $^{18}\text{F}^-$ 淋洗效率的影响;于 TBAHCO<sub>3</sub>/乙腈溶液体积 0.7 ml、反应温度 95 °C 条件下观察不同前体量(1.0、1.5、2.0 mg),于前体量 2.0 mg、TBAHCO<sub>3</sub>/乙腈溶液 0.7 ml 条件下观察不同反应温度(85.0、95.0、105.0 °C)对放射化学产率的影响。

1.2.3 质量控制 采用活度计测量产品活度,以分析型放射性 HPLC 进行放射化学纯度分析。利用 HPLC 法测定产品比活度:色谱柱为 C18 柱(4.60 mm $\times$ 250 mm,5  $\mu\text{m}$ ),流动相梯度洗脱程序见表 1,流速 1.00 ml/min,采用紫外检测器(波长 220 nm)与放射性检测器联用模式。以系列质量浓度的标准品构建化学量-紫外峰面积外标曲线;样品经 0.22  $\mu\text{m}$  无菌滤膜过滤后进样,通过紫外检测器记录样品对应峰面积,结



1.2.5 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 显像 收集 2025 年 3 月—9 月广西医科大学附属肿瘤医院 13 例确诊 PCa 患者,均为男性,年龄 60~78 岁、平均(67.6±5.5)岁;格里森评分(Gleason score, GS)7~9。本研究经医院伦理委员会批准(KY-2022-437),检查前患者均签署知情同意书。按 3.7 MBq/kg 体质量注射 <sup>18</sup>F-PSMA-1007,之后嘱患者静卧休息 120 min,排尿后接受 PET/CT 显像。显像扫描范围为颅顶至大腿中段,CT 参数:管电压 120 kV,扫描层厚和重建层厚均 3.75 mm,螺距 0.8;PET 参数:采用三维采集模式,头部设置 1 个床位(每个床位 4.5 min),体部设置 7~8 个床位(每个床位 1.5 min)。

1.3 统计学分析 采用 GraphPad Prism 10.1.2 软件进行数据分析与绘图。以  $\bar{x} \pm s$  表示符合正态分布的计量资料。采用单因素方差分析比较不同洗脱液体积的洗脱效率及不同反应温度的放射化学产率。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 自动化合成 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 合成时间缩短至 37 min,合成趋势见图 2。未经衰变校正的放射化学产率达(44.82±4.64)%( $n=3$ ,实验重复的次数为 3,即 3 批次 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 的平均值),放射化学纯度 > 99.50% [保留时间(6.58±0.15)min],放射性比活度(14.12±5.47)GBq/μmol,放射性活度(19.74±2.81)GBq。

2.2 优化标记条件 TBAHCO<sub>3</sub>/乙腈溶液体积分别为 0.5、0.7 和 0.9 ml 时,从 QMA 柱上洗脱 <sup>18</sup>F<sup>-</sup> 效率分别为(83.24±0.47)%( $n=3$ )、(95.13±0.64)%( $n=3$ )和(97.86±0.53)%( $n=3$ ),随溶液体积增加而显著上升( $P < 0.05$ )。前体投料量分别为 1.0、1.5 和 2.0 mg 时,未经衰变校正

放射化学产率分别为(28.95±2.72)%( $n=3$ )、(38.74±3.56)%( $n=3$ )和(44.82±4.64)%( $n=3$ ),呈前体量依赖性增长趋势;反应温度分别为 85.0、95.0 和 105.0 °C 时,放射化学产率分别为(30.84±2.93)%( $n=3$ )、(44.82±4.64)%( $n=3$ )和(45.27±3.51)%( $n=3$ ),呈温度依赖性增长趋势。

2.3 质量控制 制剂为无色澄明溶液,未见悬浮颗粒,pH 值稳定于 6.5~7.0。HPLC 分析显示,放射化学纯度均 > 99.50%,产品在生理盐水和 5% HSA 中孵育 4 h 后放射化学纯度仍 > 98.30%,体外稳定性良好,见图 3。产品溶剂残留检测结果显示,乙醇残留量为(7.43±1.55)%(体积分数),乙腈和 DMSO 含量均未被检出,见图 4。<sup>18</sup>F 核素纯度均 > 99.33%,在选定能量范围内未检出明显杂质峰,见图 5。细菌内毒素含量均 < 0.25 EU/ml,无菌检查结果均阴性。各项质量控制指标均达到相关标准<sup>[10-11]</sup>。

2.4 人体 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 显像 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 在人体内呈现特征性生理性分布,主要浓聚于双侧泪腺、唾液腺、肝脏、胆囊、脾脏、双肾及部分胃肠道,膀胱腔内未见明显放射性浓聚(图 6),与既往研究<sup>[12]</sup>相符;以术后免疫组织化学(immunohistochemistry, IHC)为标准(表 2),其检测淋巴结转移的敏感度、特异度、准确率、阳性预测值(positive predictive value, PPV)及阴性预测值(negative predictive value, NPV)分别为 84.62%、97.58%、96.63%、73.33%及 98.77%。

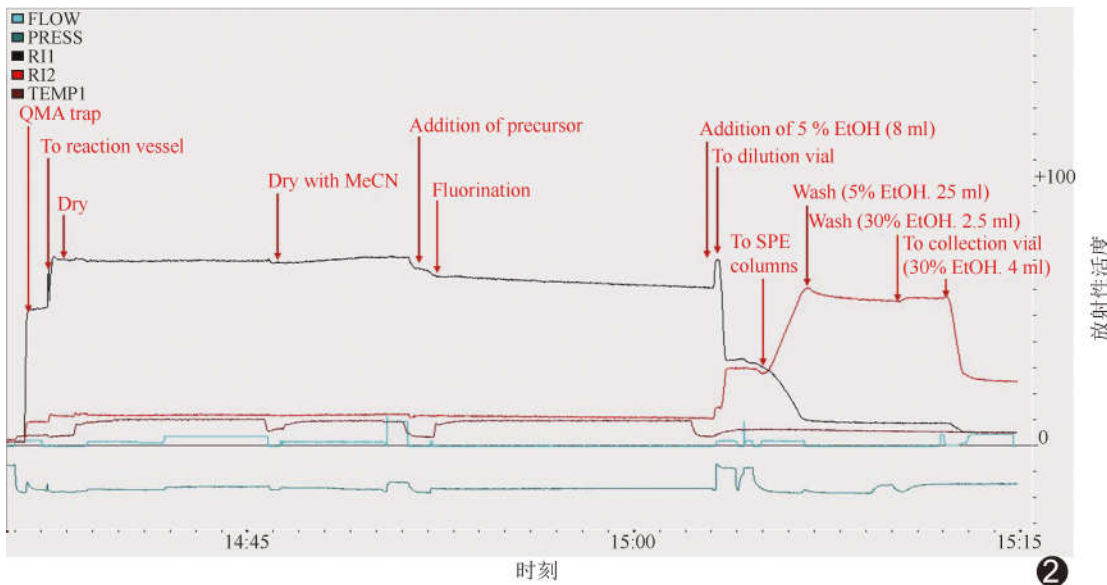


图 2 自动化合成 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 参数动态监测曲线(黑线表示反应瓶中放射性活度随时间的变化曲线;红线表示稀释瓶和固相萃取柱中放射性活度随时间的变化曲线)

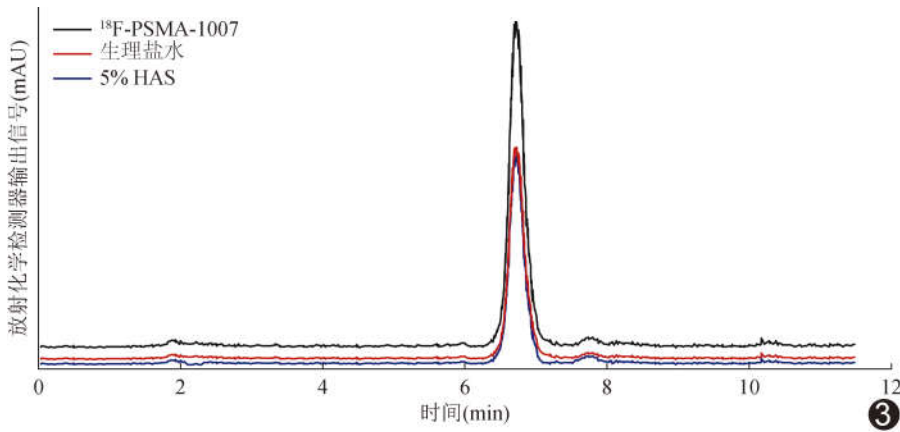


图 3  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 及其在生理盐水和 5% HSA 中  $37\text{ }^\circ\text{C}$  孵育 4 h 后的 HPLC 重叠图

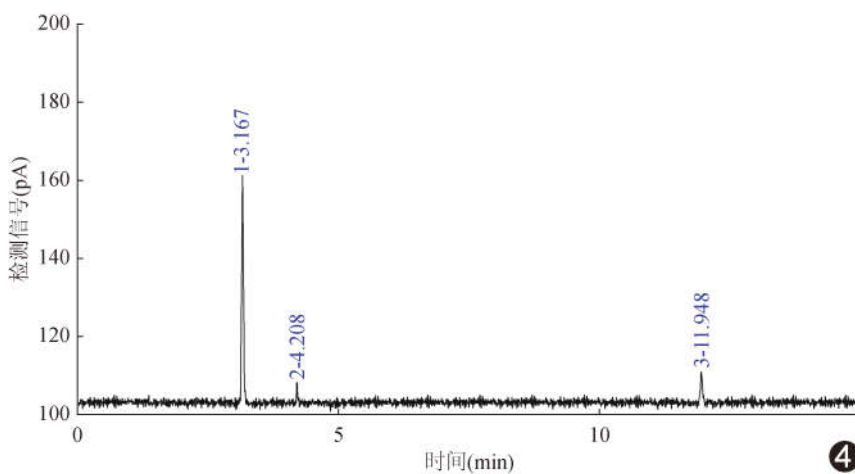


图 4  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 的气相色谱图

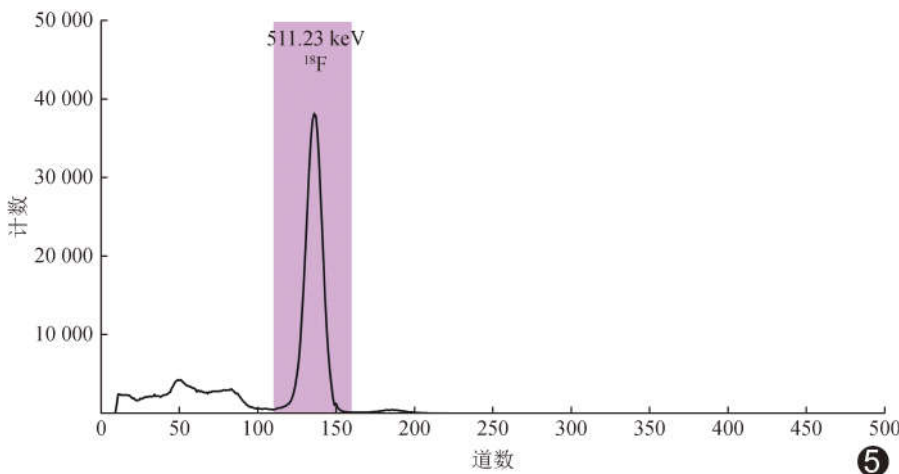


图 5  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007  $\gamma$  射线能谱图

### 3 讨论

PSMA 特异性表达于前列腺上皮细胞。 $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 是目前临床最常用的 PCa PSMA 靶向显像剂,能精准识别淋巴结转移及微小转移灶、显著提升无生化复发生存率<sup>[13-14]</sup>,却仍面临两大难题:①显像剂

经尿路排泄,易致膀胱内放射性浓聚,干扰前列腺床及邻近区域病灶而影响诊断准确性<sup>[15]</sup>;② $^{68}\text{Ga}$ 依赖 $^{68}\text{Ge}$ - $^{68}\text{Ga}$ 发生器制备,半衰期仅 68 min,难以远距离运输<sup>[16]</sup>。 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 凭借独特优势而成为精准诊疗 PCa 的重要工具。 $^{18}\text{F}$  物理特性优异,半衰期适中且空间分辨率高,可满足高精度成像需求;且 $^{18}\text{F}$  可通过回旋加速器规模化生产,保障临床大规模应用<sup>[17]</sup>。相比 $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11, $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 经肝胆途径排泄,可大幅降低泌尿系统尤其膀胱的放射性摄取,减少对前列腺病灶及盆腔转移淋巴结的干扰<sup>[18]</sup>。

本研究通过精细化调控 TBAHCO<sub>3</sub>/乙腈溶剂体积、前体投料量、反应温度等关键条件,成功建立了稳定高效的合成体系,将合成时间缩短至 37 min,相比文献报道获得大幅进步<sup>[8,17]</sup>;放射化学产率稳定在  $(44.82 \pm 4.64)\%$ ,与文献<sup>[8]</sup>报道相近,表明合成工艺具有良好稳定性和一致性。经实验确定最优淋洗液体积为 0.7 ml、最优前体量为 2.0 mg、最佳反应温度为  $95\text{ }^\circ\text{C}$ ,所制备的 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 质量控制参数符合临床放射性药物标准<sup>[10-11]</sup>。PCa PET/CT 显像显示, $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 在人体内呈特征性生理性分布,膀胱腔内无明显放射性浓聚,能有效避免泌尿系统排泄物对判读盆腔病灶的干扰,与既往文献<sup>[13]</sup>报道一致;其检测淋巴结转移的敏感度、特异度、准确率、PPV 及 NPV 亦与既往研究<sup>[19-20]</sup>结果一致,提示 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT 显像对于 PCa 术前精准分期、评估预后及制定个体化治疗策略具有重要临床价值。

综上,基于 CFN-MPS-200 模块可高活度合成 $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007,工艺简便、稳定,产品放射化学纯度高,

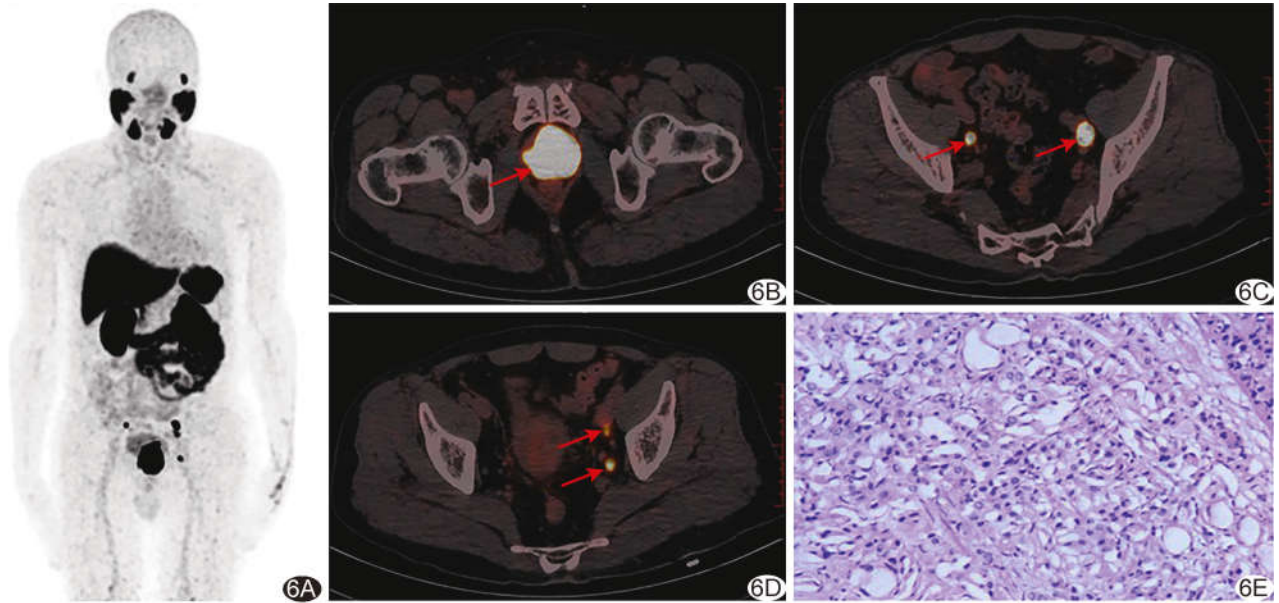


图 6 <sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 显像图和病理图(患者男,78 岁,前列腺特异性抗原 98.64 ng/ml,GS 9) A. 最大密度投影图示显像剂主要在双侧泪腺、双侧唾液腺、肝脏、胆囊、双肾、脾脏及部分胃肠道浓聚,膀胱内未见明显浓聚,前列腺部位呈团状放射性异常浓聚; B~D. PET/CT 融合图示前列腺整体代谢增高(B),最大标准摄取值(maximum standard uptake value, SUV<sub>max</sub>)63.4, 双侧髂血管区(C)和左侧闭孔区(D)见多发代谢增高淋巴结, SUV<sub>max</sub> 33.2; E. 病理图(HE, ×40)可见肿瘤细胞呈筛状、乳头状及弥漫的散在分布,证实为前列腺腺泡腺癌(箭示病灶)

表 2 13 例 PCa 患者淋巴结<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 显像与术后 IHC 对照(枚)

<sup>18</sup> F-PSMA-1007 PET/CT 显像	术后 IHC		合计
	+	-	
+	11	4	15
-	2	161	163
合计	13	165	178

用于 PET/CT 显像检出 PCa 淋巴结转移表现优异。本研究的主要局限性:①样本量少,可能影响结果的普遍性和统计学效力;②未能直接对比<sup>18</sup>F-PSMA-1007 与<sup>68</sup>Ga-PSMA-11,将通过后续研究系统观察二者在 PCa 患者体内生理性分布特征及其病灶靶向摄取差异。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:李宁查阅文献、数据分析、撰写文章;廖海、牟兴宇和丘文明图像分析;甘美舍和杨志图像处理;肖国有数据分析;何正中指导;审阅文章经费支持。

[参考文献]

[1] HAN B, ZHENG R, ZENG H, et al. Cancer incidence and mortality in China, 2022[J]. J Natl Cancer Cent, 2024, 4(1):47-53.  
 [2] MARI A, CADENAR A, GIUDICI S, et al. A systematic review and meta-analysis to evaluate the diagnostic accuracy of PSMA

PET/CT in the initial staging of prostate cancer [J]. Prostate Cancer Prostatic Dis, 2025, 28(1):56-69.  
 [3] 罗莹莹, 阳依宏, 尤志雯, 等.<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/MRI 诊断前列腺癌侵犯精囊腺[J]. 中国医学影像技术, 2025, 41(2):310-315.  
 [4] 陈健, 董思颖, 李艳梅, 等.<sup>18</sup>F-PSMA-1007 PET/CT 与<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-MDP SPECT/CT 诊断前列腺癌骨转移[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39(9):1379-1383.  
 [5] 朱辉, 郭悦, 徐文睿, 等.<sup>18</sup>F-PSMA PET/CT PRIMARY 评分与 PSMA 表达评分对有临床意义前列腺癌诊断价值的对比研究[J]. 中华医学杂志, 2025, 105(4):291-296.  
 [6] HUANG S, ONG S, MCKENZIE D, et al. Comparison of <sup>18</sup>F-based PSMA radiotracers with [<sup>68</sup>Ga]Ga-PSMA-11 in PET/CT imaging of prostate cancer: A systematic review and meta-analysis[J]. Prostate Cancer Prostatic Dis, 2024, 27(4):654-664.  
 [7] 中华医学会核医学分会. 前列腺癌 PSMA PET 显像操作中国专家共识[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2025, 45(1):35-40.  
 [8] NAKA S, WATABE T, KURIMOTO K, et al. Automated [<sup>18</sup>F] PSMA-1007 production by a single use cassette-type synthesizer for clinical examination[J]. EJNMMI Radiopharm Chem, 2020, 5(1):1-18.  
 [9] 周星, 申太鹏, 姚玉唐, 等. 一步法合成<sup>18</sup>F-PSMA-1007 及其对前列腺癌的 PET/CT 显像[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2019, 39(10):606-609.  
 [10] 国家市场监督管理总局, 国家核安全局. GB/T 40763-2021 放射性核素纯度分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.  
 [11] 国家药品监督管理局, 国家卫生健康委员会. 中华人民共和国药典: 四部[S]. 2025 版. 北京: 中国医药科技出版社, 2025.  
 [12] GIESEL F L, HADASCHIK B, CARDINALE J, et al. F-18 labelled PSMA-1007: Biodistribution, radiation dosimetry and

- histopathological validation of tumor lesions in prostate cancer patients[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2017, 44(4): 678-688.
- [13] 陈翹楚, 王一宁, 周翔, 等.  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 PET/CT 在前列腺癌根治术后生化复发患者中的检出率及病灶分布特征分析[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(9): 528-532.
- [14] DI GIORGIO A, SIEPE G, SERANI F, et al. Long-term outcomes of PSMA PET/CT-guided radiotherapy in biochemical failure patients post-radical prostatectomy: A 5-year follow-up analysis[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 52(10): 3720-3729.
- [15] YU X, XU L, HUANG G, et al. The image quality and feasibility of solitary delayed  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 PET/CT using long field-of-view scanning in patients with prostate cancer[J]. *EJNMMI Res*, 2024, 14(1): 14.
- [16] van der SAR E C A, KEUSTERS W R, van KALMTHOUT L W M, et al. Cost-effectiveness of the implementation of  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 PET/CT at initial prostate cancer staging[J]. *Insights Imaging*, 2022, 13(1): 132.
- [17] CARDINALE J, MARTIN R, REMDE Y, et al. Procedures for the GMP-compliant production and quality control of  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007: A next generation radiofluorinated tracer for the detection of prostate cancer[J]. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2017, 10(4): 77.
- [18] ABDI N, ALSULAMI M, GHAZNAVI H. Comparing the diagnostic performance of  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 with  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA-11 in PET/CT imaging and staging of recurrent prostate cancer[J]. *Med Adv*, 2025, 3(1): 9-19.
- [19] 刘磊, 周术奎, 张桂银, 等.  $^{18}\text{F}$ -PSMA PET/CT 与 mpMRI 对前列腺癌盆腔淋巴结转移诊断价值的比较[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2022, 43(1): 40-45.
- [20] 何泓锦, 李琼, 孙斌, 等.  $^{18}\text{F}$ -PSMA-1007 PET/CT 和 MRI-DWI 鉴别前列腺癌患者盆腔淋巴结转移的价值[J]. *微创泌尿外科杂志*, 2023, 12(5): 316-321.

## 使用阿拉伯数字和汉字数字的一般原则

根据 GB/T 15835《出版物上数字用法的规定》

(1) 在统计图表、数学运算、公式推导中所有数字包括正负整数、小数、分数、百分数和比例等, 都必须使用阿拉伯数字。

(2) 在汉字中已经定型的词、词组、成语、缩略语等都必须使用汉语数字, 例如: 一次方程、三维超声、二尖瓣、法洛四联症、星期一、五六天、八九个月、四十七八岁等。

(3) 除了上述情况以外, 凡是使用阿拉伯数字而且又很得体的地方, 都应该使用阿拉伯数字。遇到特殊情况时, 可以灵活掌握, 但应该注意使全篇同一。

(4) 如果数字的量级小于 1 时, 小数点前面的零(0)不能省去, 如 0.32 不能写成 .32。