

• 临床研究 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.22.011

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240903.1036.014\(2024-09-03\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240903.1036.014(2024-09-03))

¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 在前列腺癌诊断评估与 治疗决策中的应用价值探索^{*}

陈 剑¹, 陈启铭¹, 陈 晓², 夏仁祥², 汪 泽¹, 金俊豪¹, 严旭芝¹, 刘秋礼¹,

舒泽华¹, 张 尧¹, 张 军¹, 王洛夫¹, 兰卫华¹, 江 军^{1△}

(陆军特色医学中心:1. 泌尿外科;2. 核医学科, 重庆 400042)

[摘要] **目的** 探讨¹⁸F标记的前列腺特异性膜抗原(PSMA)-1007显影剂PET/CT(¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT)检查应用于前列腺癌(PCa)初诊及根治性前列腺切除术(RP)后随访中对诊断评估与治疗决策的价值。**方法** 采用回顾性观察性研究方法,分析2022年9月至2023年10月在该院接受¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT检查的患者共68例,其中初诊患者36例、RP后随访生化失败的患者32例。共收集临床资料30项,包括基本临床特征8项、病理学相关特征7项和影像学特征15项。分别对初诊PCa和RP术后生化失败患者的临床特征进行描述性分析,采用Fisher确切概率法分析初诊PCa患者中不同临床亚组[诊断时不同总前列腺特异性抗原(tPSA)水平、不同mi-T分期、不同穿刺Gleason评分和不同病理类型]原发病灶的最大标准化摄取值(SUV_{max})差异性,以及RP后生化失败患者中不同临床亚组(¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT检查时不同tPSA、不同病理T分期、不同术后病理淋巴结侵犯情况和不同病理Gleason评分)复发病灶检出率的差异性,采用Spearman相关性检验分析阳性病灶的影像特征与tPSA的相关性。**结果** 初诊PCa患者中,1例前列腺增生、35例PCa,35例PCa患者确诊时不同tPSA水平($P=0.81$)、不同mi-T分期($P=0.70$)、不同穿刺时Gleason评分($P=0.20$)和不同病理类型($P=0.71$)中原发病灶SUV_{max}比较,差异无统计学意义。且确诊时tPSA与¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT检出的转移灶个数呈正相关($r=0.410, P=0.01$)。根据检查结果改变了11例(31.43%)患者的临床治疗决策;在9例RP联合淋巴结清扫的患者中发现¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT与MRI在淋巴结检出率的准确率、一致率均为100%。RP后生化失败患者中,整体复发病灶检出率71.88%(23/32),以术区原位复发11例(34.38%)和骨转移11例(34.38%)最常见。¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT检查时不同tPSA水平($P=0.08$)、不同病理T分期($P=0.10$)、不同术后病理淋巴结侵犯情况($P=0.68$)和不同病理Gleason评分($P=0.08$)中¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT复发病灶检出率差异均无统计学意义。RP后生化失败¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT检查时复发病灶的tPSA与¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT检出的复发病灶数目($r=0.48, P=0.01$)、复发病灶SUV_{max}值($r=0.46, P=0.01$)和复发病灶平均标准化摄取值(SUV_{mean})值($r=0.38, P=0.03$)均呈正相关。根据检查结果改变中18例(56.25%)患者的临床治疗决策。**结论** ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT对初诊PCa的原发灶和转移灶、RP后生化失败的复发灶均具有很好的诊断价值和诊断效能。

[关键词] 前列腺癌;前列腺特异性膜抗原;PET/CT;诊断;治疗

[中图分类号] R737.25 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)22-3418-11

Exploration on application value of ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT in diagnostic evaluation and treatment decision of prostate cancer^{*}

CHEN Jian¹, CHEN Qiming¹, CHEN Xiao², XIA Renxiang², WANG Ze¹, JIN Junhao¹,
YAN Xuzhi¹, LIU Qiuli¹, SHU Zehua¹, ZHANG Yao¹, ZHANG Jun¹,
WANG Luofu¹, LAN Weihua¹, JIANG Jun^{1△}

(1. Department of Urologic Surgery; 2. Department of Nuclear Medicine, Army Medical
Center of PLA, Chongqing 400042, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the value of ¹⁸F labeled prostate-specific membrane antigen (¹⁸F-PSMA)-1007 developing agent PET/CT (¹⁸F-PSMA-1007PET/CT) examination in the diagnostic evaluation

^{*} 基金项目:陆军军医大学科研项目(2018XLC1014, ZXJCYJ202411)。 [△] 通信作者, E-mail: jiangjun_64@163.com。

and therapeutic decision of the newly diagnosed prostate cancer (PCa) and follow up after radical prostatectomy (RP). **Methods** This study adopted the retrospective observational study method. A total of 68 patients receiving ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT examination in this hospital from September 2022 to October 2023 were analyzed,including 36 cases of newly diagnosed PCa and 32 cases of biochemistry follow up failure after RP. A total of 30 items of clinical data were collected,including 8 items of basic clinical characteristics,7 items of pathology-related characteristics and 15 items of imaging characteristics. The patients clinical characteristics in the newly diagnosed PCa and biochemical failure after RP conducted the descriptive analysis. The Fisher exact probability method was used to analyze the differentiation of the SUVmax of primary lesions in different clinical subgroups [different tPSA levels at diagnosis,different mi-T stages,different Gleason scores at postoperative pathological puncture and different pathological types] in the newly diagnosed PCa group and the differentiation of recurrent lesion detection rates in different clinical subgroups (different tPSA in ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT examination,different pathological T stages,different lymph node invasion and different pathological Gleason scores in the biochemical failure after RP group. The Spearman correlation was adopted to test and analyze the correlation between the imaging features of positive lesions and tPSA. **Results** In the newly diagnosed PCa group,there were 1 case of prostatic hyperplasia and 35 cases of PCa. SUVmax had no statistical differences among the primary lesions with different tPSA levels ($P=0.81$), different mi-T stages ($P=0.70$),different puncture Gleasonscores ($P=0.20$) and different pathological types ($P=0.71$). Moreover the tPSA value at diagnosis was positively correlated with the number of metastatic lesions ($r=0.410,P=0.01$). The clinical treatment decisions in 11 cases (31.43%) were changed according to the examination results. In 9 cases of RP combined with lymph node dissection,the accuracy rate and concordance rate of ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT and MRI in the lymph node detection rate all were 100%. In the biochemical failure after RP group,the overall recurrent lesion detection rate was 71.88% (23/32),the operative area in situ recurrence (11 cases,34.38%) and bone metastasis (11 cases,34.38%) were most common. The differences of ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT recurrent lesions detection rates had no statistical differences among the patients with different tPSA levels ($P=0.08$),different pathological T stages ($P=0.10$),different postoperative pathological lymph node invasions ($P=0.68$) and different pathologic Gleason score in the ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT examination. In the ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT examination in the biochemical failure after RP,the tPSA value in the recurrent lesion was positively correlated with the number of recurrent lesions ($r=0.48,P=0.01$), SUV_{max} value in the recurrent lesion ($r=0.46,P=0.01$) and the SUVmean value ($r=0.38,P=0.03$). The clinical treatment decision in 18 cases (56.25%) was changed according to the examination results. **Conclusion** ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT has good diagnostic value and efficiency for primary lesion and metastasis lesion of newly diagnosed PCa and recurrent foci of biochemical failure after RP.

[**Key words**] prostate cancer;prostate-specific membrane antigen;PET/CT;diagnosis;treatment

前列腺癌(prostate cancer,PCa)是老年男性最为常见的恶性肿瘤之一,其全球发病率位居男性所有肿瘤的第二位,死亡率位居第五位^[1]。近年来,随着人口老龄化、饮食西方化和诊断水平的提高等,中国人群的PCa发病率也呈现逐年上升的趋势,2022年我国PCa在我国男性肿瘤中的发病率位居第六位,死亡率位居第七位^[2]。

初诊PCa的治疗需要分层处理,局限性PCa主要是根治性前列腺切除术(radical prostatectomy,RP)或放疗,而转移性PCa以雄激素剥夺治疗为主。因此,PCa的准确分期对初诊患者治疗方案选择至关重

要。而传统的影像学检查存在一定局限性,如骨扫描往往灵敏度较高,但特异性较低;CT和MRI对于转移性淋巴结的判断也缺乏标准^[3-4]。因而,需要更加精准的检查手段对初诊患者的临床分期进行准确判断。

生化失败[生化持续(biochemical persistence,BCP)和生化复发(biochemical recurrence,BCR)]是RP后面临的重要难题。由于传统检查手段无法检出复发肿瘤部位,既往的治疗方式是对盆腔的广泛放疗。这种治疗手段存在的一定问题:一方面放疗不够精准,可能导致对肿瘤区域放疗剂量不够;另一方面

若患者存在远处多发转移灶则该治疗方案选择存在较大问题。因而,准确判断 RP 后生化失败患者肿瘤复发部位对患者治疗方案选择也至关重要。

前列腺特异性膜抗原(prostate-specific membrane antigen,PSMA)-PET/CT 是基于 PSMA 的新型影像学检查手段,由于绝大部分 PCa 细胞特异性高表达 PSMA,因而该检查手段灵敏度和特异度较高^[5]。相较于正常前列腺细胞,PCa 细胞 PSMA 的表达水平高 100~1 000 倍,在低分化、转移性、去势抵抗性前列腺癌(CRPC)的 PCa 细胞中表达更高^[6-7]。目前用于放射性标记 PSMA 的核素包括¹¹C、¹⁸F、⁸⁹Zr、⁶⁴Cu、⁸⁶Y 和⁶⁸Ga 等,其中⁶⁸Ga 和¹⁸F 由于其良好的生物学分布及对 PCa 细胞亲和性高,成为靶向 PSMA 的优良显像剂^[8]。¹⁸F 标记的 PSMA-1007 显影剂(¹⁸F-PSMA-1007)是国际最新推出的唯一主要通过肝胆管道排泄的显像剂^[9],相对于之前经泌尿系统排泄的 PSMA 配体显像剂,其在输尿管、膀胱及前列腺等区域病灶及盆腔淋巴结的检出更有优势。

目前国内主要开展的为⁶⁸Ga-PSMA-PET/CT 检查^[10-11],而¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查在初诊 PCa 的精准分期和 RP 后生化失败的精准评估中的价值报道很少^[12],因此本研究旨在探讨¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 应用于初诊 PCa 及 RP 后生化失败患者中对诊断评估与治疗决策的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2022 年 9 月至 2023 年 10 月在本院接受¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查的 PCa 患者共 68 例,其中因总前列腺特异性抗原(total prostate specific antigen,tPSA)升高初诊患者 36 例(52.94%)、RP 后生化失败(BCP 或 BCR)的患者 32 例(47.06%)。初诊 PCa 组患者的纳入标准:因 tPSA 升高,患者初次就诊即行¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查,并行经直肠超声(transrectal ultrasound,TRUS)引导的前列腺穿刺活检明确病理类型。排除标准:(1)¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查前接受内分泌治疗(androgen deprivation treatment,ADT)或者其他临床治疗者;(2)合并其他恶性肿瘤者;(3)资料信息不完善者。RP 后生化失败组患者的纳入标准:患者行 RP 后生化失败时接受¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查者。排除标准:(1)寡转移性 PCa 行减瘤性 RP 者;(2)合并其他恶性肿瘤者。RP 后 BCP 定义为 RP 6 周后 tPSA $\geq$ 0.1 ng/mL、间隔至少 1 周复查证实^[13]。RP 后 BCR 定义为 RP 6 周后患者 tPSA 降至 0.1 ng/mL 以下,但在接下来的随访过程中连续两次监测到 tPSA $\geq$ 0.2 ng/mL^[14]。所有患者的临床数据通过本

院泌尿外科医疗信息数据库获得,影像学数据通过本院核医学科获得,随访信息通过门诊复查和电话随访询问获得。本研究经本院伦理委员会审核通过[审批号:医研伦审(2024)第 66 号]。

1.2 方法

1.2.1 ¹⁸F-氟化脱氧葡萄糖(¹⁸F-fluorodeoxyglucose,¹⁸F-FDG) PET/CT (¹⁸F-FDG PET/CT) 和¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查

检查方法:采用西门子 Biography 64 PET-CT 仪显像。¹⁸F-PSMA-1007 通过回旋加速器(CTI RDS111)和多功能合成模块(Neptis Perform)合成制备。

¹⁸F-FDG PET/CT 和¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 显像:注射¹⁸F-FDG 显影剂前患者常规禁食 6 h 以上,且要求空腹血糖 $<$ 11.1 mmol/L。显影剂经肘静脉注入,注射剂量为 3.70 MBq/kg,安静休息 60 min 后行 PET/CT 扫描,扫描范围从颅顶至股骨中段。先采用低剂量 CT 扫描,再行 PET 扫描。低剂量 CT 采集参数为电压 120 kV,电流自动调节,厚度 3 mm,矩阵 512 $\times$ 512,重建层厚 3 mm。PET/CT 采集参数为每个床位 3 min,采集 6 个床位。延迟显像时患者需口服 20 mg 呋塞米,并饮水至少 500 mL 后 2 h 行延迟扫描。

¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 显像:¹⁸F-PSMA-1007 显影剂也静脉注射,注射剂量为 2.00 MBq/kg,安静休息 60 min 后行 PET/CT 扫描、重建,参数同¹⁸F-FDG PET/CT。延迟显像时患者需口服 20 mg 呋塞米,并饮水至少 500 mL 后 3 h 行延迟扫描。

1.2.2 ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 图像分析 [分子影像肿瘤分期系统(molecular imaging tumor-node-metastasis staging system,mi-TNM 分期系统)]

图像分析:由 2 位高年资的核医学科医师对 PET/CT 图像进行视觉分析,通过感兴趣区域(region of interest,ROI)勾画法,半定量计算病灶的最大标准化摄取值(SUV_{max}),并以 40% SUV_{max} 为阈值,计算病灶的平均标准化摄取值(SUV_{mean})。若存在意见不一致的地方,经过科室集体商议得出最终结论。除外生理性显影剂摄取(¹⁸F-FDG PET/CT 图像生理性摄取:脑、心脏、肝、肠道等;¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 图像生理性摄取:唾液腺、肝、肾、胆、小肠等),全身其余部位出现任何局灶性异常显影剂摄取或者摄取程度明显高于周围正常组织时,排除良性病变后均考虑为阳性病灶。前列腺区域的阳性病灶判定为原发病灶或 RP 后复发病灶,其他阳性病灶判定为转移灶。mi-TNM 分期系统和病灶的分子影像前列腺特异性膜抗原(molecular imaging prostate-specific membrane

antigen,mi-PSMA)表达评分根据 2023 年第 2 版前列腺癌分子影像标准化评估(prostate cancer molecular imaging standardized evaluation, PROMISE)标准实施^[15]。

1.3 统计学处理

采用 SPSS26.0、GraphPad Prism 8 软件进行数据处理和分析,不服从正态分布的计量资料采用 $M(Q_1,Q_3)$ 表示,计数资料采用例数或百分比表示。分别对初诊 PCa 患者和 RP 后生化失败患者基本临床特征、治疗方案进行描述性分析,采用 Fisher 确切概率法分析确诊 PCa 患者中不同临床亚组[诊断时 tPSA 水平、mi-T 分期、穿刺 Gleason 评分和病理类型]下原发病灶 SUV_{max} 的差异性、RP 后生化失败组中不同临床亚组(¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查时 tPSA 水平、病理 T 分期、淋巴结侵犯和病理 Gleason 评分)下复发病灶检出率的差异,采用 Spearman 相关性检验分析阳性病灶的影像特征与 tPSA 的相关性。所有检验采用双侧检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

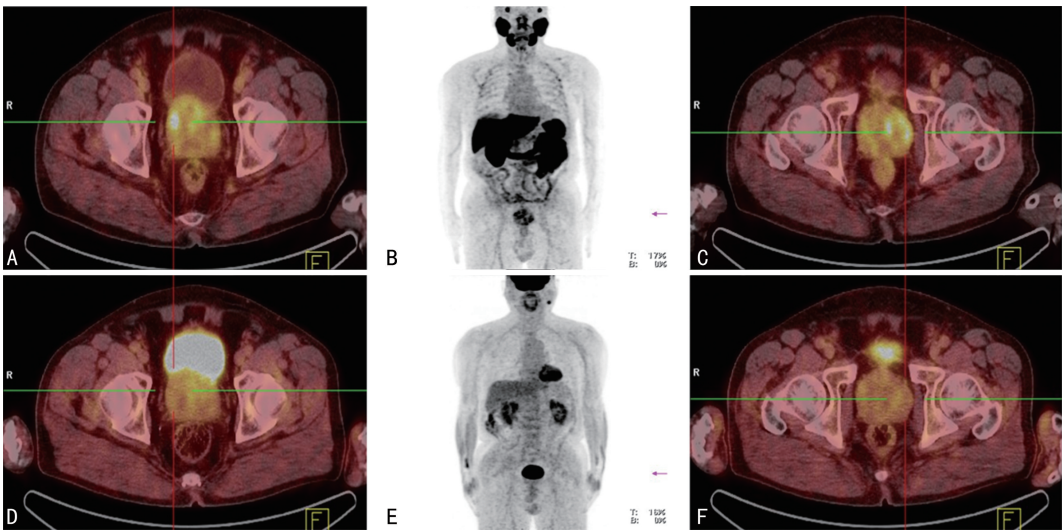
2 结 果

2.1 ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 在初诊 PCa 组患者中对诊断评估与临床决策的价值

2.1.1 基本临床特征与检查结果描述

36 例初诊¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查阳性的患者,经穿刺活检结果为前列腺增生的 1 例,PCa 35 例。¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查假阳性患者其基本临床特征分析:1 例初诊¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查阳性但穿刺活检为前列腺增生,年龄 70 岁,诊断时 tPSA 水平 19.2 ng/mL,游离前列腺特异性抗原(free

prostate specific antigen,fPSA)/tPSA 0.14,直肠指检(digital rectal examination,DRE)阴性,MRI 的前列腺成像报告与数据系统(prostate imaging reporting and data system,PI-RADS)评分 2 分,¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查发现前列腺双侧外周带局灶性摄取升高(右侧 SUV_{max} 7.04、SUV_{mean} 3.93、最长径 3.00 cm;左侧 SUV_{max} 5.29、SUV_{mean} 3.62、最长径 2.50 cm),mi-TNM 分期系统分期 mi-T2mN0M0 期和原发病灶的 PSMA 表达评分 1 分,检查图像特征见图 1。¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查真阳性病例特征分析:35 例经活检病理确诊为 PCa,中位年龄 70(65,87)岁,中位 BMI 24.43(23.04,25.33)kg/m²,确诊时中位 tPSA 100.00(20.84,244.52)ng/mL。临床治疗决策分析:根据¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查结果对初诊患者的精准分期,11 例患者改变原定治疗方案:1 例排除了肺转移、1 例排除了骨转移均改为 RP 联合淋巴结清扫;1 例发现区域外淋巴结转移、7 例发现多发骨转移均改为新型内分泌治疗;1 例发现肺转移改为新型内分泌治疗联合化疗,整体治疗方案改变率为 31.43%,35 例 PCa 患者基本临床特征及最终治疗方案见表 1,典型病例¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查图像特征见图 2。术前淋巴结检出率分析:在 RP 联合淋巴结清扫的 9 例患者中有 5 例术前影像学检查(¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 与 MRI)均提示盆腔淋巴结转移,术后病理均证实为淋巴结转移阳性,其余 4 例术前与术后均未检出阳性淋巴结。说明¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 与 MRI 对初诊患者淋巴结检出率的准确性、一致性均为 100%。



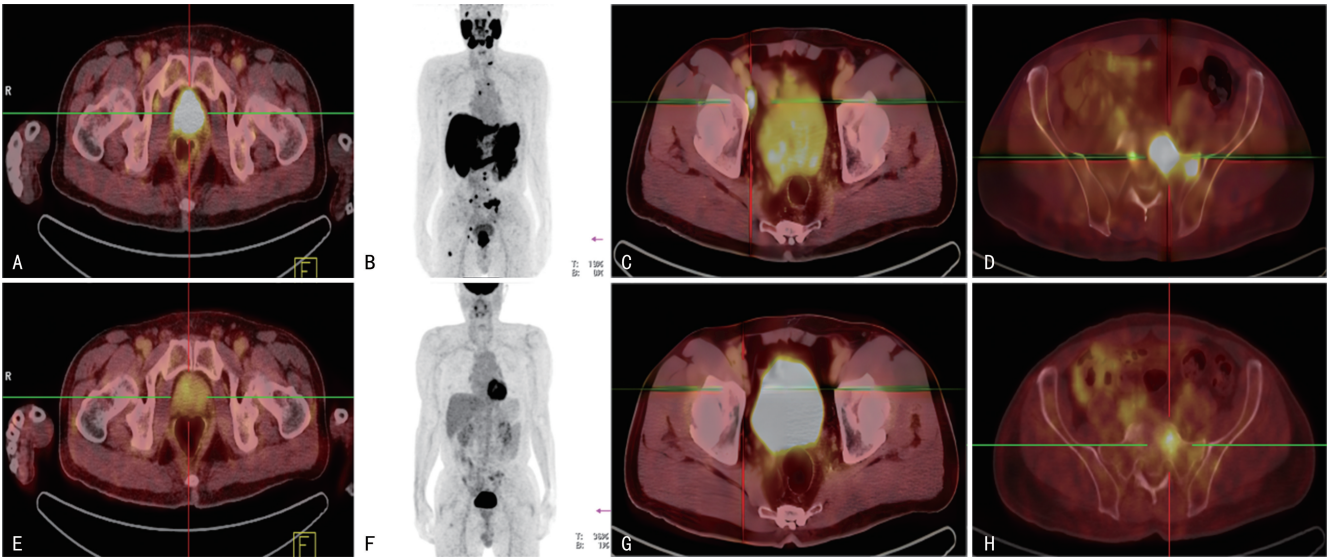
A:右侧外周带¹⁸F-PSMA-1007 局灶性摄取升高;B:¹⁸F-PSMA-1007 最大强度投影图像;C:左侧外周带¹⁸F-PSMA-1007 局灶性摄取升高;D:右侧外周带¹⁸F-FDG 摄取无明显升高;E:¹⁸F-FDG 最大强度投影图像;F:左侧外周带¹⁸F-FDG 摄取无明显升高。

图 1 穿刺活检为前列腺增生患者¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT、¹⁸F-FDG PET/CT 检查结果

表 1 初诊 PCa 患者的基本临床特征及最终治疗方案 [n=35,n(%)]

项目	例数及占比	项目	例数及占比
DRE		1~3 个	12(34.29)
阴性	5(14.29)	≥4 个	16(45.71)
阳性	30(85.71)	原发灶 PSMA 表达评分	
PI-RADS 评分		1 分	4(11.43)
≤3 分	3(8.57)	2 分	11(31.43)
4 分	1(2.86)	3 分	20(57.14)
5 分	31(88.57)	穿刺 Gleason 评分	
mi-T 分期		≤7 分	5(14.29)
mi-T2 期	7(20.00)	≥8 分	30(85.71)
mi-T3 期	6(17.14)	确诊时病理类型	
mi-T4 期	22(62.86)	腺泡腺癌	28(80.00)
mi-N		腺泡腺癌伴导管内癌	4(11.43)
N0 期	14(40.00)	腺泡腺癌伴神经内分泌分化	3(8.57)
N1 期	3(8.57)	PSMA 检查后治疗方案	
N2 期	18(51.43)	RP 联合淋巴结清扫	9(25.71)
mi-M		RP(淋巴结未清扫)	3(8.57)
M0	12(34.29)	RT 联合传统内分泌治疗	1(2.86)
M1a	1(2.86)	新型内分泌治疗	21(60.00)
M1b	16(45.71)	新型内分泌治疗联合化疗	1(2.86)
M1c	6(17.14)	改变治疗决策	
PSMA 检查出转移病灶数目		是	11(31.43)
0 个	7(20.00)	否	24(68.57)

PSMA 检查：¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查;RT:根治性放疗。



男,65 岁;确诊时 tPSA 水平 143.60 ng/mL, fPSA/tPSA 0.15, DRE 阳性, MRI 的 PI-RADS 评分 5 分, 穿刺活检确诊为前列腺腺泡癌; mi-T4N2, M1b 期, 原发病灶 PSMA 表达评分 3 分。A:前列腺区¹⁸F-PSMA-1007 局灶性摄取升高;B:¹⁸F-PSMA-1007 最大强度投影图像;C:右侧髂血管淋巴结¹⁸F-PSMA-1007 局灶性摄取升高;D:第 1 骶椎¹⁸F-PSMA-1007 局灶性摄取升高;E:前列腺区¹⁸F-FDG 摄取不均匀轻度升高;F:¹⁸F-FDG 最大强度投影图像;G:右侧髂血管淋巴结¹⁸F-FDG 未见异常摄取增高;H:第 1 骶椎¹⁸F-FDG 摄取轻度升高。

图 2 穿刺活检确诊 PCa 的典型病例¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT、¹⁸F-FDG PET/CT 检查结果

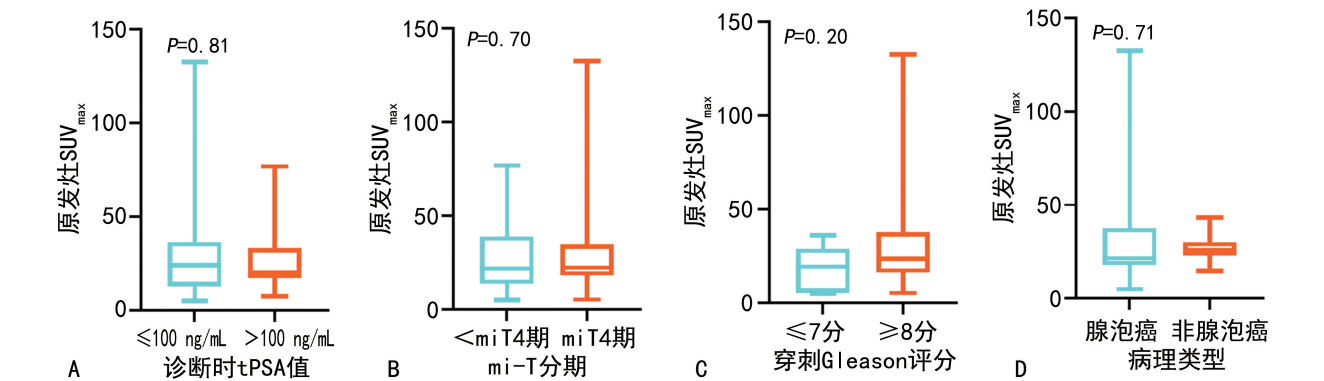
2.1.2 不同临床亚组下原发病灶 SUV_{max} 的差异性分析

分别将确诊时不同 tPSA、mi-T 分期、穿刺 Gleason 评分和病理类型进行亚组分层,分析各亚组中原发病灶 SUV_{max} 的差异性。发现确诊时不同 tPSA 水平(≤ 100 ng/mL *vs.* >100 ng/mL, $P=0.81$)、不同 mi-T 分期($< \text{mi-T4 期}$ *vs.* mi-T4 期 , $P=0.70$)、不同穿刺时 Gleason 评分(≤ 7 分 *vs.* ≥ 8 分, $P=0.20$)和不同病理类型(腺泡癌 *vs.* 非腺泡癌, $P=0.71$)中原发病灶 SUV_{max} 比较差异无统计学意义($P>0.05$),见图 3。

2.1.3 转移病灶的影像特征与 tPSA 的相关性分析

¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检出的阳性淋巴结转

移病灶以盆腔淋巴结为主,共 18 例(62.07%),中位 SUV_{max} 10.99(5.92, 19.34)、中位 SUV_{mean} 5.96(3.99, 8.90)。其他转移病灶以骨转移为主,共 23 例(79.31%),中位 SUV_{max} 10.63(6.70, 16.86)、中位 SUV_{mean} 5.70(3.82, 7.30);其余有 4 例肺转移、1 例肝转移、1 例肾上腺转移。可知¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检出的转移病灶最常见的为骨骼,其中最常见 的内脏转移为肺,见表 2。进一步分析确诊时 tPSA 水平与转移病灶影像学特征的相关性,得出确诊时 tPSA 水平与¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检出的转移灶数呈正相关($r=0.410$, $P=0.01$),但与淋巴结转移病灶和骨转移病灶的 SUV_{max}、SUV_{mean} 均无明显相关性($P>0.05$),见表 3。



A: 诊断时 tPSA 亚组分层; B: mi-T 分期亚组; C: 穿刺时 Gleason 评分亚组分层; D: 病理类型亚组分层。
图 3 不同临床亚组分层下原发灶 SUV_{max} 的差异性比较

表 2 ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检出转移病灶的影像学特征描述[n=29, M(Q₁, Q₃)]

转移病灶分布	n (%)	SUV _{max}	SUV _{mean}
淋巴结转移病灶	9, 89(5.24, 18.75)	5.14(3.71, 8.79)	
盆腔	18(62.07)	10.99(5.92, 19.34)	5.96(3.99, 8.90)
腹膜后	7(24.14)	8.43(6.47, 14.22)	4.47(3.63, 6.34)
膈肌上	4(13.79)	8.50(7.46, 9.00)	4.80(3.94, 5.11)
其他转移病灶			
骨转移	23(79.31)	10.63(6.70, 16.86)	5.70(3.82, 7.30)
肺转移	4(13.79)	10.45(7.73, 13.12)	4.42(1.35, 7.84)
肝转移	1(3.45)	19.18 ^a	7.42 ^a
肾上腺转移	1(3.45)	7.26 ^a	3.42 ^a

^a: 因患者数只有 1 例, 因此无 Q₁, Q₃ 数据。

2.2 ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 在 RP 后生化失败组患者中对诊断评估与临床决策的价值

2.2.1 基本临床特征与检查结果描述

RP 后生化失败患者 32 例, 中位年龄 69(61, 73) 岁, 初诊病理确诊时中位 tPSA 水平为 30.42(12.37, 115.64) ng/mL, RP 后到¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT

检查的中位时间 32.00(16.79, 64.89) 个月, ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查时中位 tPSA 水平为 0.60(0.22, 2.19) ng/mL。32 例患者中复发病灶整体阳性检出率 71.88%, 复发病灶以术区原位复发和骨转移最常见。复发病灶中位 SUV_{max} 为 13.06(5.03, 21.38), 中位 SUV_{mean} 为 5.52(3.05, 8.17), 中位最大径为 1.75(1.13, 2.38) cm。¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查后 18 例改变原定治疗方案, 整体治疗方案改变率为 56.25%, 32 位 RP 后生化失败患者基本临床特征见表 4, 典型病例¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查图像特征见图 4。

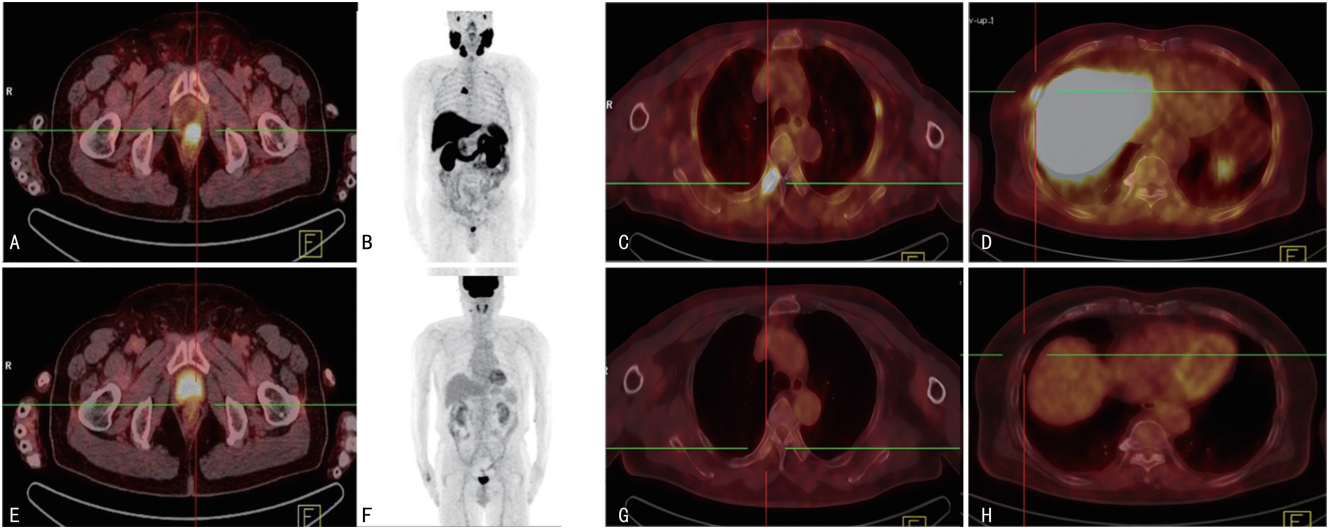
表 3 tPSA 水平与¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检出的转移病灶的影像特征的相关性分析

项目	r	P
转移病灶数目(个)	0.41	0.01
骨转移病灶的 SUV _{max}	-0.07	0.77
骨转移病灶的 SUV _{mean}	-0.09	0.71
淋巴结转移病灶的 SUV _{max}	0.01	0.97
淋巴结转移病灶的 SUV _{mean}	-0.05	0.82

表 4 RP 后生化失败患者基本临床特征[n=32,n(%)]

项目	例数及占比	项目	例数及占比
病理 Gleason 评分		阳性	23(71.88)
≤7 分	6(18.75)	阴性	9(28.13)
≥8 分	26(81.25)	复发病灶 PSMA 表达评分	
pT 分期		0 分	9(28.13)
pT2 期	9(28.12)	1 分	12(37.50)
pT3 期	19(59.38)	2 分	6(18.75)
pT4 期	4(12.50)	3 分	5(15.63)
淋巴结清扫		PSMA 检查出复发病灶分布	
N0 期	23(71.88)	术区原位复发	11(34.38)
N1 期	9(28.13)	淋巴结转移	8(25.01)
确诊时病理类型		盆腔	5(15.63)
腺泡腺癌	25(78.13)	腹膜后	2(6.25)
腺泡腺癌伴导管内癌	6(18.75)	膈肌上	1(3.13)
腺泡腺癌伴神经内分泌分化	1(3.13)	其他	
切缘		骨转移	11(34.38)
阳性	6(18.75)	膀胱壁转移	2(6.25)
阴性	26(81.25)	肺转移	2(6.25)
PSMA 检查出复发病灶数目		坐骨海绵体肌转移	1(3.12)
0 个	9(28.13)	治疗方案改变	
1~3 个	14(43.75)	是	18(56.25)
≥4 个	9(28.13)	否	14(43.75)
PSMA 检查出复发病灶			

PSMA 检查：¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查。



男,73 岁;初诊病理确诊时 tPSA 114.18 ng/mL,fPSA/tPSA 0.15,RP 后病理 T2cN0M0,病理 Gleason 评分 6 分,术后随访 86.77 个月出现 tPSA 水平升高(0.25 ng/mL);¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查示 RP 术后前列腺区局部复发伴寡转移[mi-TrN0M1b(oligo)],复发病灶 PSMA 表达评分 2 分。A:前列腺术区¹⁸F-PSMA-1007 局灶性摄取升高;B:¹⁸F-PSMA-1007 最大强度投影图像;C:第 5 胸椎右侧横突¹⁸F-PSMA-1007 局灶性摄取升高;D:右侧第 6 肋¹⁸F-PSMA-1007 局灶性摄取升高;E:前列腺区¹⁸F-FDG 未见异常摄取增高;F:¹⁸F-FDG 最大强度投影图像;G:第 5 胸椎右侧横突¹⁸F-FDG 未见异常摄取增高;H:右侧第 6 肋¹⁸F-FDG 未见异常摄取增高。

图 4 RP 后生化失败患者典型病例¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT、¹⁸F-FDG PET/CT 检查结果

2.2.2 不同临床亚组下¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 复发病灶检出率的差异性分析

分别将¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查时不同 tPSA 水平、病理 T 分期、术后淋巴结侵犯情况和病理 Gleason 评分进行临床亚组分层,分析各亚组中¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 复发病灶检出率的差异性。采用 Fisher 确切概率法,得出¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查时不同 tPSA 水平(0.2~0.5 ng/mL、0.5~1.0

ng/mL、1.0~2.0 ng/mL 和 ≥2.0 ng/mL, $P=0.08$)、不同病理 T 分期(pT2 期 vs. ≥pT3 期, $P=0.10$)、不同术后病理淋巴结侵犯情况(N0 vs. N1, $P=0.68$)和不同病理 Gleason 评分(≤7 分 vs. ≥8 分, $P=0.08$)中¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 复发病灶检出率差异均无统计学意义($P>0.05$),见图 5。

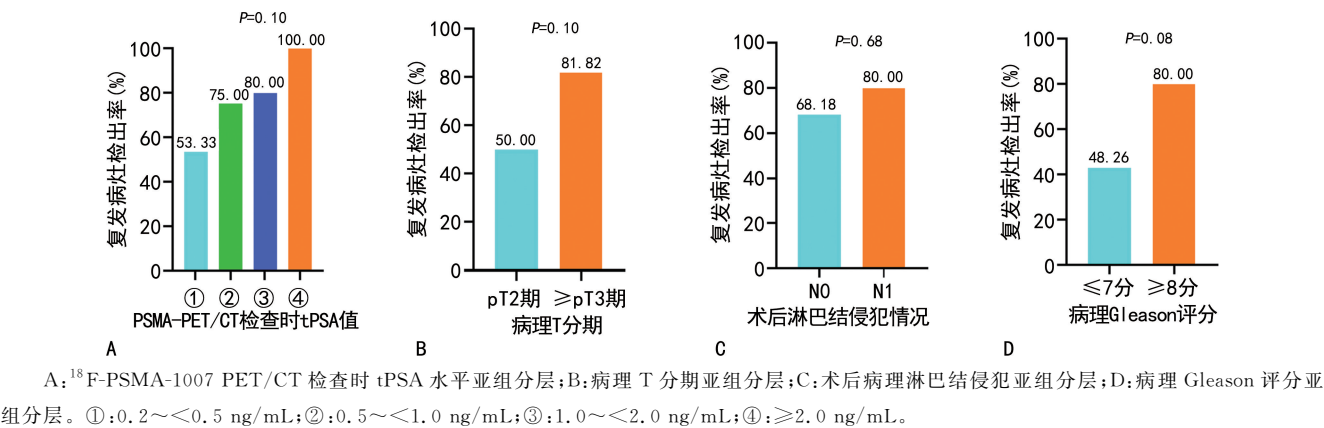


图 5 不同临床亚组下¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 复发病灶检出率的差异性比较

2.2.3 复发病灶的影像特征与 tPSA 的相关性分析

进一步分析 tPSA 水平与复发病灶影像特征的相关性分析得出,RP 后生化失败¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查时的 tPSA 水平与¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检出的复发病灶数目($r=0.48, P=0.01$)、复发病灶 SUV_{max} 值($r=0.46, P=0.01$)和复发病灶 SUV_{mean} 值($r=0.38, P=0.03$)均呈正相关。

3 讨论

PSMA 是一种由 750 个氨基酸残基组成的 II 型内在膜蛋白,在 PCa 细胞中的表达水平远超正常前列腺细胞,可以为 PCa 细胞的特异性识别靶点^[16],并且因 PSMA 的细胞外活性部分(叶酸水解酶 I)能够被多种放射性核素标记,尤其以放射性核素⁶⁸Ga、¹⁸F 的生物学分布及对 PCa 细胞亲和性高为代表,现已成为靶向 PCa 的 PET/CT 成像的优良显像剂^[17]。且¹⁸F-PSMA-1007 具有不通过泌尿系统排泄的特点,因此在肿瘤诊断、局部复发或转移灶的评估方面存在优势^[9]。因此本研究总结分析了本院接受¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查的 68 例患者的临床特点,得出¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 有利于初诊 PCa 的精准分期和 RP 后生化失败的早期评估,为制订患者的精准治疗方案提供参考依据,并明显影响临床治疗决策的结论。

3.1 ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 在初诊 PCa 中的应用

3.1.1 基于¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查结果在初诊 PCa 患者术前免穿刺活检的可行性探索分析

前列腺穿刺活检一直是 PCa 术前诊断的“金标

准”^[18],RP 术通常是在活检病理结果的基础上再实施的。但超声引导前列腺穿刺活检术在 PCa 的检出率是有限的,灵敏度约为 48%^[19],并且前列腺穿刺活检存在尿脓毒症、尿潴留和血尿等并发症,增加了患者痛苦与进一步治疗的抵触^[20-21]。因此,随着目前 PSMA PET/CT 诊断技术的进步,提出了 RP 是否可以仅依赖于¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 结果,而免除术前前列腺穿刺活检的问题。XING 等^[22]首次报道了 11 例术前无活检 RP 患者,并且在多参数磁共振(multiparametric MRI, mpMRI)与 PSMA PET/CT 术前均为阳性的患者中术后病理证实均为阳性。TANG 等^[23]研究发现 PSMA PET/CT 的 PI-RADS 评分≥4 分,其诊断具有临床意义的 PCa 的特异度为 100%。本研究中发现初诊患者中仅 1 例¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查阳性但穿刺活检为前列腺增生患者,准确率 97.22%。此外,腹腔镜前列腺切除术也是一种安全有效的治疗良性前列腺增生的方法^[24]。ZHANG 等^[25]研究比较了经尿道钬激光前列腺切除术与机器人辅助的单纯前列腺切除术,发现两种手术都能有效治疗良性前列腺增生,在主要并发症和术后尿失禁方面无明显差异。因此,对于一些接受 RP 的患者,虽然最终病理是良性的,也是可以接受的。但肯定需要大样本量随机对照试验来证实这一新概念的可行性,并且严格制订规范诊疗指南。

3.1.2 ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查在初诊 PCa 患者中淋巴结转移诊断的准确性分析

淋巴结转移是影响初诊 PCa 患者预后的一个重要因素,尤其是盆腔淋巴结转移对于局限性及局部进

展期 PCa 手术方式的选择起到决定作用^[26]。但目前基于 mpMRI 在术前淋巴结检出主要通过形态学方法,对于淋巴结直径 >1 cm 的灵敏度约为 60%,特异度约为 90%,淋巴结直径越小,检出率越低^[27-28]。¹⁸F-PSMA-1007 作为最新一代显影剂,SPRUTE 等^[29]的研究表明,¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 在术前淋巴结转移的检出总体灵敏度为 71.2%,特异度为 99.5%,对于淋巴结直径 >3 mm 的灵敏度为 81.7%,特异度为 99.6%。JEET 等^[30]分析表明¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 对临床分期 $<cT3$ 期的 PCa 患者术前淋巴结转移诊断显示为中灵敏度和高特异度(分别为 57% 和 96%)。CHOW 等^[31]系统综述了 31 项研究(2 431 例),对中、高风险 PCa 分期进行了 PSMA-PET(CT/MRI)和传统成像方式(如 mpMRI、CT 和骨扫描)的正面比较,发现 PSMA-PET 检测淋巴结侵犯的灵敏度和特异度均高于 mpMRI(分别为 73.7% *vs.* 38.9%,97.5% *vs.* 82.6%)和 CT(分别为 73.2% *vs.* 38.5%,97.8% *vs.* 83.6%)。本研究以术后淋巴结组织病理为标准,发现在 9 例 RP 联合淋巴结清扫的患者中,¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 在淋巴结转移检出率的准确性和一致性均为 100%。虽然本研究的样本量较小,但也能提示¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 对初诊 PCa 患者术前淋巴结转移的检出率表现优异。

3.1.3 确诊时 tPSA 水平与初诊 PCa 患者转移病灶检出率相关性分析

PCa 患者在初诊时准确地检出转移灶是制订有效治疗策略的关键,并且既往研究表明初诊时血清学 tPSA 水平高低直接影响转移病灶的检出效果^[32]。白璐等^[33]研究发现,初诊时 tPSA 水平 >20 ng/mL 组分别是 tPSA 水平为 10~20 ng/mL 和 <10 ng/mL 患者转移病灶检出率的 2~3 倍(47.02% *vs.* 24.56% *vs.* 15.63%)。李运轩等^[34]研究表明在初诊初治组、生化复发组和药物治疗组中,全身肿瘤负荷均与 tPSA 存在相关性($P=0.001$),因此 tPSA 能一定程度预测¹⁸F-PSMA PET/CT 检查的阳性结果,可指导临床合理选择此检查项目。本研究也得出类似结论,发现确诊时 tPSA 水平与¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检出的转移病灶个数呈正相关($r=0.410$, $P=0.01$)。因此,对于 PCa 患者初诊时 tPSA 水平越高,更建议完善¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查,进行精准分期。

3.2 ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 在 RP 后生化失败患者中的应用

本研究还分析讨论了 RP 生化失败¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查时的 tPSA 水平与复发病灶检出的关系,对于 RP 后生化失败患者,早期发现复发病灶

并准确定位对于后期治疗方案的选择及患者预后尤为重要^[35]。目前 CT 对于 tPSA 水平 >1 ng/mL 的复发病灶的检出率仅为 14%,mpMRI 可检出 tPSA 水平 0.2~1.0 ng/mL 患者的局部复发病灶,但无法评估远处复发病灶^[36]。GIESEL 等^[37]回顾性分析 251 例行¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查的 BCR 患者,结果显示 tPSA 水平 ≥ 2 ng/mL、1.0~ <2.0 ng/mL、0.5~ <1.0 ng/mL、0.2~ <0.5 ng/mL 检出率分别为 94.1%、90.1%、74.5% 和 61.5%,结果提示随着 tPSA 水平的升高,¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 对复发病灶的检出率越高。LIU 等^[38]在包含了 15 项研究的 meta 分析中发现在 RP 后生化失败患者中,tPSA 水平 ≥ 2 ng/mL 的患者转移病灶的检出率约为 95%。TREGLIA 等^[39] meta 分析发现¹⁸F-PSMA PET/CT 在 tPSA 水平 ≥ 0.5 ng/mL 的患者中转移病灶的检出率约是 tPSA 水平 <0.5 ng/mL 的 2 倍(86% *vs.* 49%)。本研究发现¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 整体复发病灶检出率为 71.88%(23/32),进一步分析发现 RP 生化失败¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查时不同 tPSA 水平(0.2~ <0.5 ng/mL、0.5~ <1.0 ng/mL、1.0~ <2.0 ng/mL 和 ≥ 2.0 ng/mL, $P=0.08$)的临床亚组中复发病灶检出率差异无统计学意义,可能与本研究样本量较小相关。但 RP 生化失败¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查时的 tPSA 水平与¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检出的复发病灶数目($r=0.48$, $P=0.01$)、复发病灶 SUV_{max} 值($r=0.46$, $P=0.01$)和复发病灶 SUV_{mean} 值($r=0.38$, $P=0.03$)均呈正相关。说明在 RP 后生化失败患者复查时 tPSA 水平越高越建议完善¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 检查,进行精准评估,指导下一步治疗方案。

本研究也存在一定的局限性和不足:(1)本研究属于回顾性病例对照研究,样本量有限,需要进一步的前瞻性研究和更多的临床数据来支撑本研究的结论;(2)本研究属于单中心研究,数据虽然具有代表性,但并不能完全代表全国 PCa 患者的情况,需要今后进一步的多中心研究加以验证;(3)对所有转移灶的诊断缺乏组织病理学证明,但这也是目前所有 PSMA PET/CT 研究的局限性,因此,需要医师丰富的经验结合患者个体化特征来避免误诊,并在后续随访中验证其正确性。

综上所述,¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 对初诊 PCa 的原发病灶和转移病灶、RP 后生化失败的复发病灶均具有很好的诊断价值和诊断效能,有利于初诊 PCa 的精准分期和 RP 后生化失败的早期评估,为患者制订精准化治疗方案提供参考依据,并明显影响临床治疗决策。

参考文献

- [1] SIEGEL R L, WAGLE N S, CERCEK A, et al. Colorectal cancer statistics, 2023[J]. *CA Cancer J Clin*, 2023, 73(3): 233-254.
- [2] 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.
- [3] 敬浩, 吴波, 刁建军, 等. 基于精准理念前列腺癌的影像学诊断研究进展[J]. *医学综述*, 2022, 28(7): 1404-1410.
- [4] MCKONE E L, SUTTON E A, JOHNSON G B, et al. Application of advanced imaging to prostate cancer diagnosis and management: a narrative review of current practice and unanswered questions[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(2): 446.
- [5] CARDINALE J, ROSCHER M, SCHAFER M, et al. Development of PSMA-1007-related series of ^{18}F -labeled glu-ureido-type PSMA inhibitors[J]. *J Med Chem*, 2020, 63(19): 10897-10907.
- [6] KINOSHITA Y, KURATSUKURI K, LANDAS S, et al. Expression of prostate-specific membrane antigen in normal and malignant human tissues[J]. *World J Surg*, 2006, 30(4): 628-636.
- [7] WEBER M, HADASCHIK B, FERDINANDUS J, et al. Prostate-specific membrane antigen-based imaging of castration-resistant prostate cancer[J]. *Eur Urol Focus*, 2021, 7(2): 279-287.
- [8] UEMURA M, WATABE T, HOSHI S, et al. The current status of prostate cancer treatment and PSMA theranostics[J]. *Ther Adv Med Oncol*, 2023, 15: 2627029.
- [9] AWENAT S, PICCARDO A, CARVOEIRAS P, et al. Diagnostic role of ^{18}F -PSMA-1007 PET/CT in prostate cancer staging: a systematic review[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2021, 11(3): 552.
- [10] 孟小丽, 康飞, 全志永, 等. 多参数 MRI 联合 ^{68}Ga -PSMA PET/CT 诊断临床显著性前列腺癌[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(1): 25-29.
- [11] 武鹏, 田春娟, 马帅军, 等. ^{68}Ga -PSMA PET/CT 在前列腺癌门诊筛查中的临床价值[J]. *中华泌尿外科杂志*, 2022, 43(7): 495-499.
- [12] 安荣臣, 王云华, 袁佳莹, 等. ^{18}F -FDG 联合 ^{18}F -PSMA-1007 PET/CT 显像对前列腺癌 TNM 分期及治疗决策的影响[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2023, 43(11): 665-671.
- [13] KIMURA S, URABE F, SASAKI H, et al. Prognostic significance of prostate-specific antigen persistence after radical prostatectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Cancers (Basel)*, 2021, 13(5): 948.
- [14] VAN DEN BROECK T, VAN DEN BERGH R, BRIERS E, et al. Biochemical recurrence in prostate cancer: the european association of urology prostate cancer guidelines panel recommendations[J]. *Eur Urol Focus*, 2020, 6(2): 231-234.
- [15] WERNER R A, HARTRAMPF P E, FENDLER W P, et al. Prostate-specific membrane antigen reporting and data system version 2.0[J]. *Eur Urol*, 2023, 84(5): 491-502.
- [16] EIBER M, FENDLER W P, ROWE S P, et al. Prostate-specific membrane antigen ligands for imaging and therapy[J]. *J Nucl Med*, 2017, 58(Suppl. 2): 67-76.
- [17] VETRONE L, FORTUNATI E, CASTELLUCCI P, et al. Future imaging of prostate cancer: do we need more than PSMA PET/CT? [J]. *Semin Nucl Med*, 2024, 54(1): 150-162.
- [18] EKLUND M, JADERLING F, DISCACCIATI A, et al. MRI-targeted or standard biopsy in prostate cancer screening[J]. *N Engl J Med*, 2021, 385(10): 908-920.
- [19] AHMED H U, EL-SHATER B A, BROWN L C, et al. Diagnostic accuracy of multi-parametric MRI and TRUS biopsy in prostate cancer (PROMIS): a paired validating confirmatory study[J]. *Lancet*, 2017, 389(10071): 815-822.
- [20] LOEB S, VELLEKOOP A, AHMED H U, et al. Systematic review of complications of prostate biopsy[J]. *Eur Urol*, 2013, 64(6): 876-892.
- [21] HALPERN J A, SEDRAKYAN A, DINERMAN B, et al. Indications, utilization and complications following prostate biopsy: New York state analysis [J]. *J Urol*, 2017, 197(4): 1020-1025.
- [22] XING N Z, WANG M S, FU Q, et al. Feasibility of prostatectomy without prostate biopsy in the era of new imaging technology and mini-

mally invasive techniques[J]. *World J Clin Cases*,2019,7(12):1403-1409.

[23] TANG W,TANG Y,QI L,et al. Benign prostatic hyperplasia-related false-positive of prostate-specific membrane antigen-positron emission tomography in the diagnosis of prostate cancer;the achilles' heel of biopsy-free radical prostatectomy? [J]. *J Urol*,2023,210(6):845-855.

[24] NESTLER S,BACH T,HERRMANN T,et al. Surgical treatment of large volume prostates;a matched pair analysis comparing the open, endoscopic (ThuVEP) and robotic approach[J]. *World J Urol*,2019,37(9):1927-1931.

[25] ZHANG M W,EL T M,BOROFISKY M S,et al. Comparison of perioperative outcomes between holmium laser enucleation of the prostate and robot-assisted simple prostatectomy [J]. *J Endourol*,2017,31(9):847-850.

[26] DONG B,ZHAN H,LUAN T,et al. The role and controversy of pelvic lymph node dissection in prostate cancer treatment;a focused review[J]. *World J Surg Oncol*,2024,22(1):68.

[27] VALENTIN B,ARSOV C,ULLRICH T,et al. Comparison of 3 T mpMRI and pelvic CT examinations for detection of lymph node metastases in patients with prostate cancer[J]. *Eur J Radiol*,2022,147:110110.

[28] 施之恩,齐隽. PSMA PET 在前列腺癌诊疗中的应用及进展[J]. *中国男科学杂志*,2021,35(3):76-81.

[29] SPRUTE K,KRAMER V,KOERBER S A,et al. Diagnostic accuracy of ¹⁸F-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.

[30] JEET V,PARKINSON B,SONG R,et al. Histopathologically validated diagnostic accuracy of PSMA-PET/CT in the primary and secondary staging of prostate cancer and the impact of PSMA-PET/CT on clinical management;a systematic review and meta-analysis [J]. *Semin Nucl Med*,2023,53(5):706-718.

[31] CHOW K M,SO W Z,LEE H J,et al. Head-to-head comparison of the diagnostic accuracy of prostate-specific membrane antigen positron emission tomography and conventional imaging modalities for initial staging of intermediate-to high-risk prostate cancer;a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Urol*,2023,84(1):36-48.

[32] 管冰,樊俊杰,王卓楠,等. ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 在初诊前列腺癌中的应用价值探索:115 例病例分析[J]. *临床泌尿外科杂志*,2024,39(1):23-28.

[33] 白璐,郑安琪,高俊刚,等. ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 对前列腺癌初诊患者转移灶的检出率及其影响因素分析[J]. *西安交通大学学报(医学版)*,2022,43(2):173-178.

[34] 李运轩,郑安琪,沈聪,等. ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT 全身肿瘤负荷预测前列腺癌血清 PSA 进展的价值[J]. *西安交通大学学报(医学版)*,2022,43(2):186-190.

[35] SACHPEKIDIS C,AFSHAR-OROMIEH A,KOPKA K,et al. ¹⁸F-PSMA-1007 multiparametric, dynamic PET/CT in biochemical relapse and progression of prostate cancer[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*,2020,47(3):592-602.

[36] 段小艺. 前列腺癌 PSMA PET/CT 显像的应用现状与思考[J]. *西安交通大学学报(医学版)*,2022,43(2):163-167.

[37] GIESEL F L,KNORR K,SPOHN F,et al. Detection efficacy of ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT in 251 patients with biochemical recurrence of prostate cancer after radical prostatectomy[J]. *J Nucl Med*,2019,60(3):362-368.

[38] LIU X,JIANG T,GAO C,et al. Detection rate of fluorine-18 prostate-specific membrane antigen-1007 PET/CT for prostate cancer in primary staging and biochemical recurrence with different serum PSA levels;a systematic review and meta-analysis[J]. *Front Oncol*,2022,12:911146.

[39] TREGLIA G,ANNUNZIATA S,PIZZUTO D A,et al. Detection rate of ¹⁸F-labeled PSMA PET/CT in biochemical recurrent prostate cancer;a systematic review and a meta-analysis[J]. *Cancers (Basel)*,2019,11(5):710.