

· PET/MR 临床应用 ·

^{18}F -FDG PET/MR 及其衍生参数在膀胱癌 诊断与分期中的应用

尤琴琴¹ 俞飞¹ 李如帅¹ 杨凤娇¹ 艾书跃¹ 唐军² 王峰¹

¹南京医科大学附属南京医院、南京市第一医院核医学科, 南京 210006; ²上海交通大学医学院苏州九龙医院核医学科, 苏州 215028

通信作者: 王峰, Email: fengwangcn@hotmail.com

【摘要】 目的 探讨 ^{18}F -FDG PET/MR 及其衍生参数在膀胱癌诊断和分期中的应用。方法 回顾性纳入 2019 年 12 月至 2022 年 3 月期间 40 例疑似膀胱癌患者[男 32 例、女 8 例, 年龄(66.8±11.2)岁], 均在南京市第一医院行 ^{18}F -FDG PET/MR 检查, 获得 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 、肿瘤最大径和平均表观弥散系数(ADC_{mean}), 并确定膀胱癌肌层浸润和淋巴结受累情况。以尿道膀胱肿瘤切除术(TUR-BT)或根治性膀胱切除术(RC)和扩展盆腔淋巴结清扫术(ePLND)组织病理学为“金标准”, 分析 ^{18}F -FDG PET/MR 及其衍生参数进行肿瘤诊断和分期的效能。采用两独立样本 t 检验、Mann-Whitney U 检验或 χ^2 检验分析数据, 采用 Delong 检验比较不同 AUC。结果 40 例患者中, 8 例为非肌层浸润性膀胱癌(NMIBC), 32 例为肌层浸润性膀胱癌(MIBC), 5 例经病理证实有淋巴结转移。 ^{18}F -FDG PET/MR 鉴别 MIBC 的灵敏度、特异性、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV)、准确性分别为 96.9%(31/32)、7/8、96.9%(31/32)、7/8、95.0%(38/40), 鉴别淋巴结转移的上述指标分别为 4/5、90.0%(18/20)、4/6、18/19、88.0%(22/25)。对于病理原发肿瘤分期(pT 分期), pT2~3 组和 pT1 组的肿瘤最大径($t=-2.37, P=0.024$)、 SUV_{mean} ($Z=-2.11, P=0.035$)和 ADC_{mean} ($t=2.91, P=0.006$) 差异有统计学意义, 其鉴别 MIBC 的 AUC 分别为 0.781、0.746 和 0.825。单独 MRI 鉴别 MIBC 的灵敏度、特异性、PPV、NPV、准确性分别为 87.5%(28/32)、1/8、80.0%(28/35)、1/5、72.5%(29/40), AUC 为 0.500; ^{18}F -FDG PET/MR 鉴别 MIBC 的 AUC 为 0.796, 诊断效能优于单独 MRI($Z=5.54, P<0.001$), 且准确性也明显高于单独 MRI($\chi^2=7.44, P=0.006$)。结论 与单独 MRI 相比, ^{18}F -FDG PET/MR 显著提高膀胱癌的诊断效能及 pT 分期的准确性。

【关键词】 膀胱肿瘤; 正电子发射断层显像术; 磁共振成像; 氟脱氧葡萄糖 F18

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFC2406900)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250204-00027

Application of ^{18}F -FDG PET/MR and its derived parameters in the diagnosis and staging of bladder cancer

You Qinqin¹, Yu Fei¹, Li Rushuai¹, Yang Fengjiao¹, Ai Shuyue¹, Tang Jun², Wang Feng¹

¹Department of Nuclear Medicine, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China; ²Department of Nuclear Medicine, Suzhou Kowloon Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Suzhou 215028, China

Corresponding author: Wang Feng, Email: fengwangcn@hotmail.com

【Abstract】 **Objective** To investigate the application of ^{18}F -FDG PET/MR and its derived parameters in the diagnosis and staging of bladder cancer. **Methods** Forty patients (32 males, 8 females; age (66.8±11.2) years) with suspected bladder cancer between December 2019 and March 2022 were retrospectively included and underwent ^{18}F -FDG PET/MR in Nanjing First Hospital. Parameters including SUV_{max} , SUV_{mean} , maximum tumor diameter and mean of apparent diffusion coefficient (ADC_{mean}) were obtained, and bladder cancer muscle invasiveness and lymph node involvement were determined. The efficacy of ^{18}F -FDG PET/MR and its derived parameters for tumor diagnosis and staging was analyzed using transurethral resection of bladder tumor (TUR-BT) or radical cystectomy (RC) and extended pelvic lymph node dissection (ePLND) histopathology as the "gold standard". Independent-sample t test, Mann-Whitney U test or χ^2 test was used to analyze the data, and Delong test was used to compare different AUCs. **Results** Of 40 patients, 8 were non-muscle invasive bladder cancer (NMIBC), 32 were muscle invasive bladder cancer (MIBC), and 5 were pathologically confirmed to have lymph node metastasis. The sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), negative predictive value (NPV), and accuracy of ^{18}F -FDG PET/MR for

identifying MIBC were 96.9% (31/32), 7/8, 96.9% (31/32), 7/8, 95.0% (38/40), respectively, and those for lymph node metastasis were 4/5, 90.0% (18/20), 4/6, 18/19, 88.0% (22/25), respectively. For pathological tumor (pT) staging, significant differences were observed between pT2-3 and pT1 groups in maximum tumor diameter ($t=-2.37, P=0.024$), SUV_{mean} ($Z=-2.11, P=0.035$), and ADC_{mean} ($t=2.91, P=0.006$). The AUCs of maximum tumor diameter, SUV_{mean} and ADC_{mean} in distinguishing MIBC were 0.781, 0.746, and 0.825, respectively. The sensitivity, specificity, PPV, NPV, and accuracy of MRI alone in identifying MIBC were 87.5% (28/32), 1/8, 80.0% (28/35), 1/5 and 72.5% (29/40), respectively, with the AUC of 0.500. The AUC of ^{18}F -FDG PET/MR in identifying MIBC was 0.796, which was better than MRI alone ($Z=5.54, P<0.001$), and the accuracy of PET/MR was also higher than MRI alone ($\chi^2=7.44, P=0.006$). **Conclusion** Compared with MRI alone, ^{18}F -FDG PET/MR significantly improves the diagnostic efficacy of bladder cancer and the accuracy of pT staging.

【Key words】 Urinary bladder neoplasms; Positron-emission tomography; Magnetic resonance imaging; Fluorodeoxyglucose F18

Fund program: National Key Research and Development Program of China (2022YFC2406900)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20250204-00027

膀胱癌是全球常见的癌症之一,2022 年中国约有 92 900 例新发病例和 41 400 例死亡病例^[1]。膀胱癌主要分为腔内膀胱癌、基底鳞状细胞癌(简称鳞癌)和神经内分泌癌。在发达国家,约 90% 的膀胱癌起源于尿路上皮(移行细胞癌),而鳞癌在发展中国家更为普遍。基于 TNM 系统的分期是区分非肌层浸润性膀胱癌(non-muscle-invasive bladder cancer, NMIBC; $\leq pT1$)和肌层浸润性膀胱癌(muscle-invasive bladder cancer, MIBC; $\geq pT2$),并确定相应临床干预措施的关键步骤[pT 分期为病理原发肿瘤分期(pathological tumor staging)]^[2]。NMIBC 通常采用经尿道膀胱肿瘤切除术(transurethral resection of bladder tumor, TUR-BT)和膀胱内辅助治疗^[2];而 MIBC 则需要根治性膀胱切除术(radical cystectomy, RC)和扩大盆腔淋巴结清扫术(extended pelvic lymph node dissection, ePLND)^[3]。因此,术前影像学检查进行膀胱癌准确 TNM 分期对临床诊疗至关重要。

CT 扫描在膀胱癌临床分期中存在局限性。MRI 对软组织的分辨率更高,在膀胱癌局部分期中表现更佳^[4],但在监测淋巴结转移方面仍有一定限制^[4-5]。 ^{18}F -FDG PET/CT 在 MIBC 的 T 分期中应用价值有限^[6],对初诊膀胱癌转移性淋巴结检测的灵敏度较低,特异性较高。PET/MR 结合了 MR 在原发肿瘤成像的高分辨率和 PET 在监测淋巴结转移的高灵敏度,在多种肿瘤的分期方面显示出巨大前景^[7]。然而,目前仅有少数研究评估了 PET/MR 用于膀胱癌临床诊断的可行性^[8]。本研究旨在探讨 ^{18}F -FDG PET/MR 多参数功能成像在膀胱癌诊断及分期评估中的价值,并分析其对临床治疗决策的影响。

资料与方法

1. 研究对象。本研究回顾性纳入 2019 年 12 月

至 2022 年 3 月在南京市第一医院核医学科行 ^{18}F -FDG PET/MR 检查的 40 例疑似或活组织检查(简称活检)确诊膀胱癌的患者,其中男 32 例、女 8 例,年龄(66.8 ± 11.2)岁。入选标准:(1) 18 岁及以上,临床指征为尿路上皮性膀胱癌,计划行 TUR-BT 或 RC 和 ePLND;(2) 获取 TUR-BT 或 RC 的肿瘤标本和 ePLND 的淋巴结标本进行肿瘤分期;(3) 术前 ^{18}F -FDG PET/MR 扫描显示原发性膀胱癌摄取;(4) PET/MR 图像可获取 PET/MR 关键参数。排除标准:(1) 妊娠期或哺乳期妇女;(2) 不能进行导尿管插入者;(3) 不能保持仰卧位至显像结束者;(4) 有其他 MRI 禁忌证者。为评估原发肿瘤分期,29 例患者在 TUR-BT 或 RC 和 ePLND 之前接受了 ^{18}F -FDG PET/MR。ePLND 的范围包括髂总、髂外、髂内、闭孔和骶前淋巴结。所有患者检查前签署知情同意书,本研究获得南京市第一医院伦理委员会批准(编号:KY20250327-KS-02)。

2. ^{18}F -FDG PET/MR 检查方案。检查当日,患者禁食 6 h,血糖控制在 11.1 mmol/L 以下。按体质量 3.33~7.77 MBq/kg 静脉注射 ^{18}F -FDG(南京江原安迪科正电子研究发展有限公司),安静休息(严禁饮水,以减少膀胱内尿液的储存)40~60 min 后,行全身和盆腔局部 PET/MR 检查(uPMR790;上海联影医疗科技有限公司)。所有患者检查前置入双腔或三腔导尿管,检查前用无菌生理盐水经导尿管冲洗膀胱,至少重复 4 次,直至冲洗液清澈透明。然后向膀胱内注入 300 ml 无菌生理盐水并夹住管腔出口,保持膀胱充盈,有助于充分暴露膀胱壁形态,保证成像准确,同时稀释放射性尿液,避免对肿瘤成像的干扰。

患者仰卧位进行全身扫描。MR 衰减校正序列和 PET 采集同时开始。在全身 PET/MR 方案下进

行 MR 扫描,包括从头部到大腿中部的全身三维梯度回波 T_1 加权成像 (weighted imaging, WI) 序列 (同相位、反相位、水成像、脂肪成像),以及全身横轴位快速自旋回波 T_2 WI 脂肪抑制序列、弥散加权序列、脑三维 T_1 WI 序列、脑三维 T_2 WI 液体衰减反转恢复序列。盆腔扫描时,MR 采集包括 T_2 WI 横向、矢状面和冠状面高分辨率序列、 T_2 WI 横向和冠状脂肪抑制序列、 T_1 WI 横向高分辨率序列和弥散加权序列 (b 值分别为 50、1 000 和 1 500 s/mm^2)。使用飞行时间技术完成图像重建,采用有序子集最大期望值迭代法。扫描结束后,PET/MR 融合图像由后处理工作站自动重建。

3. ^{18}F -FDG PET/MR 数据采集和图像分析。由 2 名获得核医学及 MR 医师资格证的医师双盲阅片并评估 PET/MR 图像,结果不一致时请上级医师讨论确定。在连续轴向融合图像上描绘 ROI,测量肿瘤的 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 。在 T_2 WI 各轴位图测量肿瘤病灶的最大径。在表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 图 ($b = 1\ 500\ s/mm^2$) 上,于待测部位圆形放置 ROI,面积 $0.5\ cm^2$,取肿瘤实体部分经视觉分析有信号差异的 3 个不同位置测量 ADC 值,计算平均 ADC (mean of ADC, ADC_{mean})。以 TUR-BT 或 RC 和 ePLND 的组织病理学结果为“金标准”评价 ^{18}F -FDG PET/MR 在膀胱癌分期中的表现,淋巴结受累评估的“金标准”为活检或淋巴结清扫病理结果;若无病理参考,则连续检查时淋巴结进行性肿大或新辅助治疗过程中淋巴结缩小视为淋巴结转移指标。

4. 统计学分析。采用 IBM SPSS Statistics 23.0 和 GraphPad Prism 9 对数据进行分析。符合正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,非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 检验比较不同病理特征亚组间的参数差异。通过 ROC 曲线分析评估各参数区分膀胱癌不同病理特征的效能,采用 χ^2 检验比较 PET/MR 与单独 MRI 的诊断效能,采用 Delong 检验比较 PET/MR 与单独 MRI 的 AUC。 $P < 0.05$ 被认为差异有统计学意义 (双侧检验)。

结 果

1. 患者临床特征。40 例患者中,WHO/国际泌尿病理协会 (International Society of Urological Pathology, ISUP) 分级为高级别 33 例 (82.5%),低级别 7 例 (17.5%);根据最终标本 TNM 分期,8 例 (20%)

为 NMIBC ($pT \leq T1$),32 例 (80%) 为 MIBC ($pT \geq T2$),5 例 (12.5%) 经病理证实有淋巴结转移。所有原发肿瘤为尿路上皮癌, ^{18}F -FDG 摄取呈强阳性,FDG 代谢明显增高,MIBC 组 SUV_{max} 为 15.00 ± 8.70 ,NMIBC 组 SUV_{max} 为 14.83 ± 6.26 。

2. ^{18}F -FDG PET/MR 肿瘤分期。32 例被诊断为 MIBC 的患者中,31 例真阳性、1 例假阳性;8 例被诊断为 NMIBC 的患者中,7 例真阴性、1 例假阴性。MIBC 代表性图像如图 1 所示。 ^{18}F -FDG PET/MR 检测 MIBC 的灵敏度、特异性、阳性预测值、阴性预测值、准确性分别为 96.9% (31/32)、7/8、96.9% (31/32)、7/8、95.0% (38/40)。在接受 RC 和 ePLND 的 25 例患者中,5 例淋巴结转移阳性,代表性图像如图 2 所示。 ^{18}F -FDG PET/MR 检测淋巴结转移的灵敏度、特异性、阳性预测值、阴性预测值、准确性分别为 4/5、90.0% (18/20)、4/6、18/19、88.0% (22/25)。

3. ^{18}F -FDG PET/MR 衍生参数与膀胱癌分级及分期的差异性分析 (表 1)。对于 pT 分期,pT2~3 组和 pT1 组的肿瘤最大径 ($t = -2.37, P = 0.024$)、 ADC_{mean} ($t = 2.91, P = 0.006$) 和 SUV_{mean} ($Z = -2.11, P = 0.035$) 差异有统计学意义,而 SUV_{max} 差异无统计学意义 ($Z = -0.17, P = 0.866$);对于肿瘤分级,低级别组和高级别组在上述参数间差异均无统计学意义 (t 值: $-0.31, 0.86, Z$ 值: $-0.24, -1.19$, 均 $P > 0.05$),N0 组和 N1 组之间各参数差异也均无统计学意义 (t 值: $-1.24, 0.53, Z$ 值: $-0.97, -0.35$, 均 $P > 0.05$; 表 1)。

ROC 曲线分析示,对于 pT 分期,肿瘤最大径、 SUV_{mean} 和 ADC_{mean} 可有效区分 NMIBC 和 MIBC, AUC 分别为 0.781、0.746 和 0.825 (图 3)。

4. MRI 和 ^{18}F -FDG PET/MR 诊断 MIBC 的比较。单独 MRI 鉴别 MIBC 的灵敏度、特异性、阳性预测值、阴性预测值、准确性分别为 87.5% (28/32)、1/8、80.0% (28/35)、1/5、72.5% (29/40), AUC 为 0.500; ^{18}F -FDG PET/MR 鉴别 MIBC 的 AUC 为 0.796, 诊断效能优于单独 MRI ($Z = 5.54, P < 0.001$),且准确性也明显高于单独 MRI ($\chi^2 = 7.44, P = 0.006$)。

讨 论

近 5 年来,PET/MR 的装机量不断增加,临床应用也不断拓宽^[9-10]。PET/MR 将 PET 高灵敏度与 MR 高软组织分辨率的优势结合^[11],为膀胱癌诊断、分期和疗效评估带来新的可能。然而,目前 PET/MR 在膀胱癌中相关研究较少,本研究旨在探讨 ^{18}F -FDG PET/MR 在膀胱尿路上皮癌原发病灶 pT

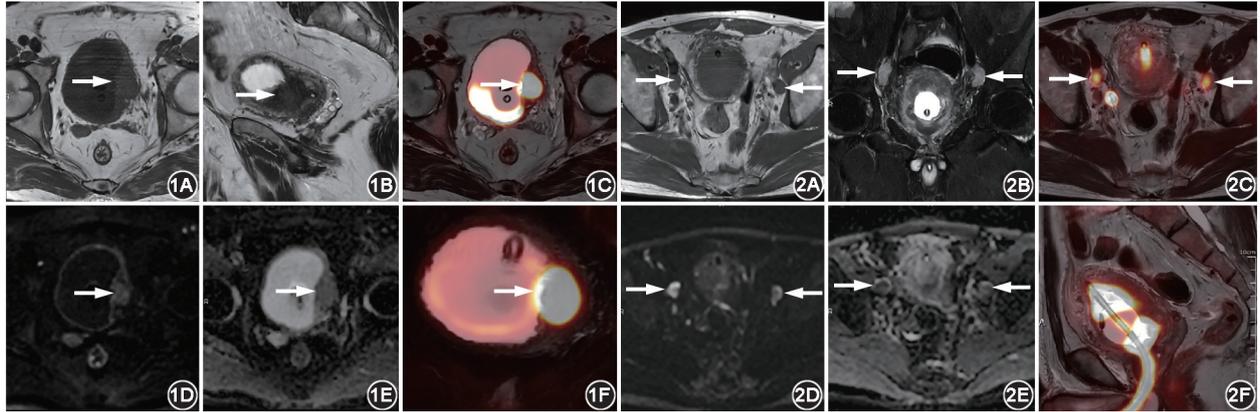


图 1 膀胱尿路上皮癌患者(男,66岁)根治性膀胱切除术(RC)术前¹⁸F-FDG PET/MR 成像图。T₁ 加权横轴位(1A)、T₂ 加权矢状位(1B)、弥散加权成像(DWI; $b=1000\text{ s/mm}^2$)(1D)、表观弥散系数(ADC)成像(1E)示膀胱左壁上的异质性肿块(箭头示),并延伸到膀胱周围脂肪;PET与T₂ 加权横轴位融合图(1C)、PET与T₂ 加权压脂像冠状位融合图(1F)示肿块¹⁸F-FDG 代谢显著增加,SUV_{max} 为 20.95(箭头示)。¹⁸F-FDG PET/MR 成像提示 T3 分期,RC 标本的病理结果显示 T3 分期 **图 2** 膀胱尿路上皮癌患者(男,48岁)RC 术前¹⁸F-FDG PET/MR 成像图。T₁ 加权横轴位(2A)、T₂ 加权压脂像冠状位(2B)、DWI($b=1000\text{ s/mm}^2$)(2D)、ADC 成像(2E)示膀胱壁弥漫性增厚伴异常信号,肿瘤病灶侵犯膀胱壁全层,累及膀胱周围脂肪组织,右侧髂总血管和双侧盆壁髂血管旁可见多个肿大淋巴结(箭头示),淋巴结最大径达 1.6 cm;PET与T₂ 加权横轴位融合图(2C)、PET与T₂ 加权矢状位融合图(2F)示肿大的淋巴结¹⁸F-FDG 代谢显著增加,SUV_{max} 为 6.08(箭头示)。¹⁸F-FDG PET/MR 成像提示 T3 期膀胱癌伴淋巴结转移,RC 标本的病理结果显示 T3aN2 分期,证实¹⁸F-FDG PET/MR 分期正确

表 1 不同病理特点膀胱癌患者的¹⁸F-FDG PET/MR 衍生参数比较

病理特点	肿瘤最大径		ADC _{mean}		SUV _{mean}		SUV _{max}	
	例数	值(cm; $\bar{x}\pm s$)	例数	值($\times 10^{-3}\text{ mm}^2/\text{s};\bar{x}\pm s$)	例数	值[$M(Q_1, Q_3)$]	例数	值[$M(Q_1, Q_3)$]
肿瘤分级								
低	7	47.00±11.09	7	0.88±0.13	7	5.70(4.87,9.57)	7	9.31(7.70,14.26)
高	28	48.96±15.53	27	0.82±0.17	31	6.66(4.23,9.58)	33	14.31(9.25,18.34)
检验值		-0.31 ^a		0.86 ^a		-0.24		-1.19
P 值		0.756		0.394		0.807		0.233
pT 分期								
pT1	7	37.57±16.80	7	0.97±0.11	8	9.33(6.35,12.16)	8	13.98(9.95,19.08)
pT2~3	28	51.32±12.94	27	0.79±0.16	30	5.37(4.20,8.67)	32	13.39(9.10,17.98)
检验值		-2.37 ^a		2.91 ^a		-2.11		-0.17
P 值		0.024		0.006		0.035		0.866
N 分期								
N0	30	47.33±14.55	29	0.84±0.17	33	7.33(4.48,9.58)	35	13.71(9.31,17.67)
非 N0	5	56.00±14.25	5	0.79±0.16	5	4.95(3.59,8.42)	5	9.16(7.91,23.44)
检验值		-1.24 ^a		0.53 ^a		-0.97		-0.35
P 值		0.225		0.600		0.331		0.728

注:^a为 t 值,余检验值为 Z 值;pT 分期为病理原发肿瘤分期,ADC_{mean} 为平均表观弥散系数

分期和淋巴结转移(N 分期)方面的应用价值。

在膀胱癌的常规分期过程中,膀胱镜检查、活检和双盆腔检查是诊断分期的“金标准”。CT 与 MRI 主要用于评估局部分期、检测上尿路病变、确定淋巴结分期及远处转移。然而,CT 在区分肌层浸润方面的效能有限,而 MRI 和 CT 在检测淋巴结转移的灵敏度也有待提高。膀胱癌的常见症状为无痛性血尿和尿频,晚期可能出现梗阻和泌尿道疼痛。当临床症状显著时,通过 CT 尿路造影和膀胱镜检查可以

定位和发现疑似肿瘤病变,随后利用 TUR-BT 获取组织对膀胱癌进行验证和分期。尽管 TUR-BT 是目前检测肌层浸润首选方法,但其是一种侵入性手术,可能导致分期低估^[12]。因此,寻找无创的替代方法实现准确分期变得至关重要,而影像学作用日益凸显。核医学和分子成像在泌尿系统肿瘤的诊断和分期中发挥重要作用^[13],PET 代谢信息与 MRI 解剖检测优势相结合,有望提升膀胱癌的分期效能。一项前瞻性研究显示,¹⁸F-FDG PET/MR 能提高肿瘤探

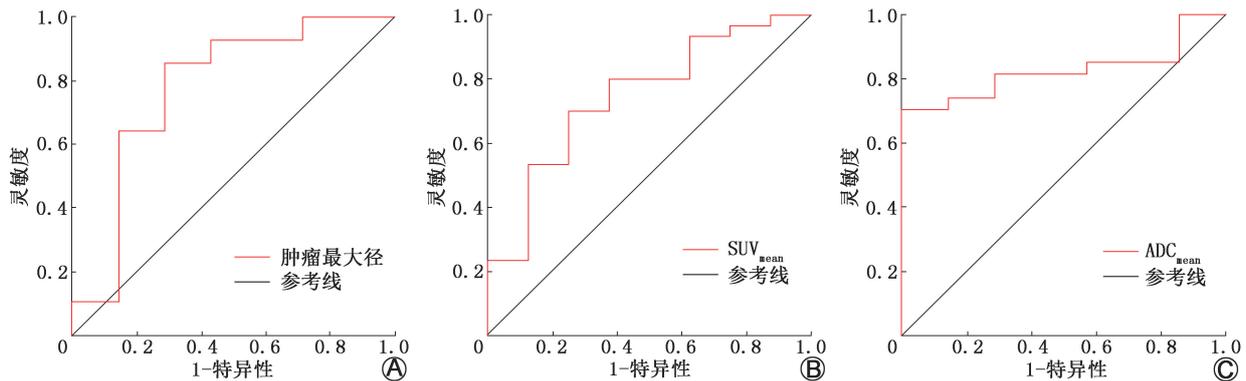


图3 ^{18}F -FDG PET/MR 衍生参数肿瘤最大径(A;35例)、 SUV_{mean} (B;38例)、平均ADC(ADC_{mean})(C;34例)诊断膀胱癌患者肌层浸润的ROC曲线

测能力,对淋巴结累及检测更为准确^[14]。另一项研究指出, ^{18}F -FDG PET/MR 对膀胱癌初诊的灵敏度为0.80,特异性为0.56^[8]。尽管如此,由于淋巴结受累患者较少, ^{18}F -FDG PET/MR 鉴别淋巴结转移的能力仍需深入研究。此外, ^{18}F -FDG PET/CT 在膀胱鳞癌、神经内分泌肿瘤中诊断价值显著,不仅能准确分期,还能判断肿瘤分子分型。

本研究中, ^{18}F -FDG PET/MR 区分 MIBC 和 NMIBC 的灵敏度、特异性和准确性分别为 96.9% (31/32)、7/8、95.0% (38/40),其中 1 例患者出现过度分期,可能是因为组织炎症反应干扰,影响 FDG 活性和靶本比,降低了膀胱癌评估的准确性。MRI 具有比 CT 更高的对比度分辨率,能更好地显示膀胱壁固有肌层,提高局部分期的准确性,减少炎症反应的影响。一项荟萃分析显示,高场强(3T)MRI 扩散 WI 区分 MIBC 和 NMIBC 的灵敏度、特异性分别为 92%、96%^[15]。 ^{18}F -FDG 经泌尿系统代谢,膀胱内残留尿液呈广泛的显像阳性。为减轻尿液对成像的干扰,本研究采用严格的饮水限制和膀胱冲洗方案,效果良好。该方案具有良好的均匀性和可重复性,能够保证相对稳定的排尿效果,且操作简单安全,无药物禁忌证和风险。但放射性尿液的干扰仍然存在,如仰卧位时尿液沉积于膀胱后壁,影响后壁肿瘤的显像剂摄取值和 PET/MR 参数的获取。尽管如此,本研究的膀胱冲洗方案仍展现出一定效率和安全性,但为达到更好效果,还需进一步研究。

在 N 分期方面, ^{18}F -FDG PET/MR 的灵敏度、特异性和准确性分别为 4/5、90.0% (18/20)、88.0% (22/25),显著优于 2018 年 Salminen 等^[16]报道的 ^{11}C -乙酸盐 PET/MR 的 50%、67% 和 60%。同时,本研究弥补了过往无淋巴结阳性患者研究的不足^[8],完善了 PET/MR 对淋巴结转移的评估。尽管 ^{18}F -FDG PET/MR 表现出明显优势,但仍面临一些挑战。本

研究中,3 例患者出现误诊,其中 2 例假阳性,1 例假阴性,这提示需要新的方法来有效区分肿瘤累及淋巴结和炎性肿大淋巴结。此外,本研究样本量较小,可能影响检测准确性。Civelek 等^[17]的研究显示, ^{18}F -FDG PET/MR 在 MIBC 患者中比 CT 多检测出近 30% 的淋巴结转移病变,凸显其潜在优势。回顾性研究表明,PET 信息的加持显著提升了膀胱癌的 N 分期效能^[18]。

本研究样本量较小,仅纳入了膀胱尿路上皮癌,且由于患者配合欠佳或个体差异,导致相关参数无法准确测量,因此实际分析中各指标纳入分析的患者例数并不一致,这可能导致统计效能的降低,且对于例数较少的亚组无法进行深入分析。尽管存在上述局限性,但 ^{18}F -FDG PET/MR 在膀胱癌的 pT 分期和 N 分期中显示出明显优势,其诊断效能优于单独 MRI,能更准确地评估肿瘤浸润深度。随着 pT 分期提高,MIBC 的 SUV 增加,而 ADC 降低。未来,通过建立规范的 PET/MR 检查流程和图像分析标准,有望进一步提高膀胱癌 TNM 分期的准确性,从而辅助临床决策。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 尤琴琴:研究设计、论文撰写;俞飞:统计学分析;李如帅:图像采集;杨凤娇、艾书跃:图像分析;唐军:论文修改;王峰:研究指导、论文修改、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. DOI: 10.1016/j.jncc.2024.01.006.
- [2] Chung JM, Ha HK, Kim DH, et al. Evaluation of the efficacy of solifenacin for preventing catheter-related bladder discomfort after transurethral resection of bladder tumors in patients with non-muscle invasive bladder cancer: a prospective, randomized, multi-center study[J]. Clin Genitourin Cancer, 2017, 15(1): 157-162. DOI:10.1016/j.clgc.2016.05.006.
- [3] Cathomas R, Lorch A, Bruins HM, et al. The 2021 updated European

- Association of Urology guidelines on metastatic urothelial carcinoma [J]. *Eur Urol*, 2022, 81(1): 95-103. DOI: 10.1016/j.eururo.2021.09.026.
- [4] Juri H, Narumi Y, Panebianco V, et al. Staging of bladder cancer with multiparametric MRI [J]. *Br J Radiol*, 2020, 93(1112): 20200116. DOI: 10.1259/bjr.20200116.
- [5] Caglic I, Panebianco V, Vargas HA, et al. MRI of bladder cancer: local and nodal staging [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2020, 52(3): 649-667. DOI: 10.1002/jmri.27090.
- [6] Zhang-Yin J, Girard A, Marchal E, et al. PET imaging in bladder cancer: an update and future direction [J]. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2023, 16(4): 606. DOI: 10.3390/ph16040606.
- [7] Bouchelouche K. PET/CT in bladder cancer: an update [J]. *Semin Nucl Med*, 2022, 52(4): 475-485. DOI: 10.1053/j.semnucmed.2021.12.004.
- [8] Eulitt PJ, Altun E, Sheikh A, et al. Pilot study of [¹⁸F] fluorodeoxyglucose positron emission tomography (FDG-PET)/magnetic resonance imaging (MRI) for staging of muscle-invasive bladder cancer (MIBC) [J]. *Clin Genitourin Cancer*, 2020, 18(5): 378-386.e1. DOI: 10.1016/j.clgc.2020.02.008.
- [9] 张晓, 冯源, 覃春霞, 等. ⁶⁸Ga-FAPI-04 PET/MR 预测新辅助免疫综合治疗后的胃肠道恶性肿瘤病理完全缓解 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2025, 45(3): 144-148. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20241021-00357.
- Zhang X, Feng Y, Qin CX, et al. ⁶⁸Ga-FAPI-04 PET/MR for predicting pathological complete response to neoadjuvant immunotherapy in patients with gastrointestinal cancer [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 45(3): 144-148. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20241021-00357.
- [10] 常燕, 张熙琬, 吴世娜, 等. 基于 ¹¹C-PIB PET/MR 研究 APOE 对阿尔茨海默病患者皮质下结构 Aβ 沉积和功能连接改变的影响 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(5): 285-290. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240130-00045.
- Chang Y, Zhang XW, Wu SN, et al. Effects of APOE on subcortical Aβ deposition and functional connectivity changes in patients with Alzheimer's disease based on ¹¹C-PIB PET/MR [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(5): 285-290. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240130-00045.
- [11] 徐白莹, 田嘉禾. 一体化 PET/MR 在临床中的应用及进展 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2021, 41(7): 385-387. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210525-00175.
- Xu BX, Tian JH. Application and progress of PET/MR in clinic [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 41(7): 385-387. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20210525-00175.
- [12] Packiam VT, Bhindi B. Are we moving closer to accurate restaging after neoadjuvant chemotherapy for muscle-invasive bladder cancer? [J]. *Eur Urol*, 2021, 79(3): 372-373. DOI: 10.1016/j.eururo.2020.09.019.
- [13] 程欣玮, 赵军. PET/MR 与 PET/CT 在肿瘤中的临床应用对比研究进展 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2023, 43(6): 377-381. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220826-00272.
- Cheng XW, Zhao J. Comparative research progress of simultaneous PET/MR and PET/CT for clinical application in oncology [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2023, 43(6): 377-381. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20220826-00272.
- [14] Li T, You Q, Zhang S, et al. Performance of ¹⁸F-FDG PET/MRI and its parameters in staging and neoadjuvant therapy response evaluation in bladder cancer [J]. *iScience*, 2024, 27(5): 109657. DOI: 10.1016/j.isci.2024.109657.
- [15] Huang L, Kong Q, Liu Z, et al. The diagnostic value of MR imaging in differentiating T staging of bladder cancer: a meta-analysis [J]. *Radiology*, 2018, 286(2): 502-511. DOI: 10.1148/radiol.2017171028.
- [16] Salminen A, Jambor I, Merisaari H, et al. ¹¹C-acetate PET/MRI in bladder cancer staging and treatment response evaluation to neoadjuvant chemotherapy: a prospective multicenter study (ACEBIB trial) [J]. *Cancer Imaging*, 2018, 18(1): 25. DOI: 10.1186/s40644-018-0158-4.
- [17] Civelek AC, Niglio SA, Malayeri AA, et al. Clinical value of ¹⁸F-FDG PET/MRI in muscle-invasive, locally advanced, and metastatic bladder cancer [J]. *Urol Oncol*, 2021, 39(11): 787.e17-787.e21. DOI: 10.1016/j.urolonc.2021.04.024.
- [18] Zattoni F, Incerti E, Dal Moro F, et al. ¹⁸F-FDG PET/CT and urothelial carcinoma: impact on management and prognosis—a multicenter retrospective study [J]. *Cancers (Basel)*, 2019, 11(5): 700. DOI: 10.3390/cancers11050700.

(收稿日期: 2025-02-04)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊有关文章涉及课题基金项目的标注要求

论文所涉及的课题如获得国家或部、省级以上基金或属攻关项目, 应列出(双语著录), 如“基金项目: 国家自然科学基金(30271269, 81273264); 国家重点研发计划(2020YFC2008200)”及“Fund program: National Natural Science Foundation of China(39570835)”。中英文基金项目分别置于中文关键词、英文 Key words 下方。获得基金资助产出的文章作者需提供印有基金项目名称和项目编号的证明类文件复印件。

本刊编辑部