

⁶⁸Ga-Pentixafor 与 ¹⁸F-FDG PET/CT 在鼻咽癌患者分期评价中的比较

丁浩源¹ 梁娟² 万强¹ 刘林¹ 陈跃¹

¹西南医科大学附属医院核医学科, 泸州 646000; ²西南医科大学附属医院超声医学科, 泸州 646000

通信作者: 陈跃, Email: chen Yue5523@126.com

【摘要】 目的 比较⁶⁸Ga-Pentixafor 和¹⁸F-FDG PET/CT 在鼻咽癌患者分期评价中的临床实用性。方法 该研究为自身对照的诊断性试验, 前瞻性纳入西南医科大学附属医院 2023 年 3 月至 2023 年 12 月经病理确诊的 46 例鼻咽癌患者[男 36 例、女 10 例, 年龄(52.2±11.1 岁)]。比较⁶⁸Ga-Pentixafor 和¹⁸F-FDG PET/CT 对原发肿瘤及转移灶的检出率(McNemar 检验)及临床分期。结果 46 例患者中初诊 43 例, 复发 3 例。46 例患者共有 201 个淋巴结被诊断为淋巴结转移; 有 6 例患者检出共 75 个远处转移灶。⁶⁸Ga-Pentixafor 与¹⁸F-FDG PET/CT 对初诊原发肿瘤[100%(43/43)和 97.7%(42/43); $\chi^2=0.50, P=0.500$]和远处转移[肝: 96.2%(25/26)和 100%(26/26); 肺: 10/14 和 11/14; 骨: 91.4%(32/35)和 97.1%(34/35); χ^2 值: 0~0.25, 均 $P>0.05$]的检出率相当, 但⁶⁸Ga-Pentixafor 对淋巴结转移的检出率更高[99.5%(200/201)和 96.0%(193/201); $\chi^2=4.00, P=0.039$]。与¹⁸F-FDG 相比, ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 正确上调了 6 例患者的 T 分期和 3 例患者的总分期及 1 例再分期。结论 与¹⁸F-FDG 相比, ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 对鼻咽癌淋巴结转移的检出率更高, 在 T 分期评价中更具有优势。**【关键词】** 鼻咽肿瘤; 肽类, 环; 同位素标记; 镓放射性同位素; 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: 泸州市科技计划项目(2024JYJ054); 西南医科大学应用基础研究项目(2024ZKY006)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250513-00142

Comparison of ⁶⁸Ga-Pentixafor and ¹⁸F-FDG PET/CT in staging evaluation of patients with nasopharyngeal carcinoma

Ding Haoyuan¹, Liang Juan², Wan Qiang¹, Liu Lin¹, Chen Yue¹

¹Department of Nuclear Medicine, the Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou 646000, China;

²Department of Ultrasound, the Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou 646000, China

Corresponding author: Chen Yue, Email: chen Yue5523@126.com

【Abstract】 Objective To investigate the clinical utility of ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT compared with ¹⁸F-FDG PET/CT for the staging evaluation of patients with nasopharyngeal carcinoma (NPC). **Methods** This study was a self controlled diagnostic test. Forty-six patients (36 males and 10 females, age (52.2±11.1) years) with NPC who were pathologically diagnosed at the Affiliated Hospital of Southwest Medical University between March 2023 and December 2023 were prospectively enrolled. The detection rates (McNemar test) and clinical staging performance of the two PET/CT modalities for primary and metastatic tumors were compared. **Results** Of 46 patients, 43 were newly diagnosed, and 3 were recurrent. A total of 201 metastatic lymph nodes were diagnosed in 46 patients, and a total of 75 distant metastases were detected in 6 patients. The detection rates of ⁶⁸Ga-Pentixafor and ¹⁸F-FDG PET/CT for primary tumors at initial diagnosis (100% (43/43) vs 97.7% (42/43); $\chi^2=0.50, P=0.500$) and distant metastases (liver metastases: 96.2% (25/26) vs 100% (26/26); lung metastases: 10/14 vs 11/14; bone metastases: 91.4% (32/35) vs 97.1% (34/35); χ^2 values: 0~0.25, all $P>0.05$) were comparable, while ⁶⁸Ga-Pentixafor showed a higher detection rate for lymph node metastases (99.5% (200/201) vs 96.0% (193/201); $\chi^2=4.00, P=0.039$). Compared with ¹⁸F-FDG PET/CT, ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT correctly upstaged the T staging in 6 patients, overall staging in 3 patients and restaging in 1 patient. **Conclusion** Compared with ¹⁸F-FDG, ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT shows higher detection rate for lymph node metastases of NPC, and exhibits greater advantages in T staging evaluation.

【Key words】 Nasopharyngeal neoplasm; Peptides, cyclic; Isotope labeling; Gallium radioisotopes; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18

Fund program: Luzhou Science and Technology Program (2024JYJ054); Applied Basic Research Program of Southwest Medical University (2024ZKY006)

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20250513-00142

鼻咽癌是头颈部最常见的上皮恶性肿瘤,其起病隐匿且易早期转移,多数患者在就诊时已是晚期^[1]。TNM 分期是鼻咽癌治疗方案制定的基础,早期诊断和准确分期对鼻咽癌患者的治疗选择和改善预后至关重要。

¹⁸F-FDG PET/CT 较 CT、MRI 在检测淋巴结和远处转移方面具有更高灵敏度^[2]。然而,颈部炎性淋巴结的高发生率和放疗引起的炎性反应可能会混淆¹⁸F-FDG PET/CT 对淋巴结转移、肿瘤局部残留或复发的识别^[3]。放疗是鼻咽癌的主要治疗方式,通过¹⁸F-FDG PET/CT 描绘的靶肿瘤体积与放疗疗效有关^[4-5]。但鼻咽周围正常组织对¹⁸F-FDG 的高生理性摄取限制了其对原发肿瘤范围的准确评估^[6-7]。

趋化因子 CXC 亚家族受体 4 (chemokine CXC subfamily receptor 4, CXCR4) 是一种跨膜 G 偶联受体,在多种恶性肿瘤中过表达^[8]。靶向 CXCR4 的 PET 显像剂⁶⁸Ga-Pentixafor 因表现出良好的代谢稳定性和 CXCR4 拮抗作用,已在血液系统肿瘤、心血管和感染性疾病中进行了广泛研究^[9-11]。有研究报道,CXCR4 在鼻咽癌组织中表达显著升高^[12],这表明⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 具备用于鼻咽癌显像的可行性。因此,本研究旨在探讨⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 相较¹⁸F-FDG PET/CT 在原发和转移性鼻咽癌中的检出率以及对肿瘤分期的影响。

资料与方法

1. 研究对象。本研究为自身对照的诊断性试验,前瞻性纳入 2023 年 3 月至 2023 年 12 月本院经病理证实的 46 例鼻咽癌患者,其中男 36 例、女 10 例,年龄(52.2±11.1)岁(范围:25~77 岁)。受试者在 1 周内先后完成⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT、¹⁸F-FDG PET/CT 及增强 MR 扫描,2 种 PET/CT 扫描间隔时间不少于 1 d。纳入标准:(1)患者年龄为 18~80 岁;(2)新诊断或既往接受过治疗并经病理证实的鼻咽癌患者;(3)患者在评估前 3 个月内未接受过抗肿瘤治疗。排除标准:(1)有 PET/CT 和(或)MRI 检查禁忌证的患者;(2)合并其他恶性肿瘤的患者;(3)在完成 3 项检查之前开始治疗的患者。本研究经本院临床伦理委员会批准[审批号:2020 伦申(035)号],所有受试者签署知情同意书。

2. 显像剂制备。采用标准方法,使用符合¹⁸F-FDG 标准的合成模块(FDG-N, PET Science & Technology)制备¹⁸F-FDG。⁶⁸Ga-Pentixafor 参考文献^[13]制备。2 种显像剂的放化纯均超过 95%,成品

均无菌、不含热原。

3. 图像采集。¹⁸F-FDG PET/CT 显像前受试者禁食至少 6 h(血糖水平:3.9~6.1 mmol/L)。⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 检查前无需进行特殊准备。¹⁸F-FDG 和⁶⁸Ga-Pentixafor 静脉注射剂量分别为按照体质量 3.70 MBq/kg 和 1.85 MBq/kg;静脉注射后 50~60 min,受试者接受 PET/CT 扫描(uMI780,上海联影医疗科技股份有限公司)。先进行 CT 扫描:管电压 120 kV,电流 120 mA,层厚 3 mm;CT 数据用于病灶定位和 PET 衰减校正。随后在与 CT 扫描相同的床位上以三维采集模式进行 PET 扫描:¹⁸F-FDG 采集时间为每个床位 1.5 min;⁶⁸Ga-Pentixafor 采集时间为每个床位 3.0 min。所有获得的 CT 和 PET 数据传输到后处理工作站(R002 版,uWS-MI,上海联影医疗科技股份有限公司)。使用有序子集最大期望值迭代法(2 次迭代和 20 个子集)重建 PET 数据。

使用荷兰 Philips 公司 Intera Achieva 1.5T MR 扫描仪和头颈联合线圈对所有受试者进行鼻咽部及颈部增强扫描,扫描范围为额窦至肺尖,以 1.5 ml/s 的速度静脉注射 0.2 mmol/kg(按体质量)的钆喷酸葡胺行增强扫描。扫描方案如下:3 组轴位像(T₁ 加权、T₂ 加权、T₂ 加权压脂),层厚/层间距 5 mm/1 mm;T₂ 加权压脂冠位像,层厚/层间距 4 mm/0.4 mm;增强后 T₁ 加权轴位像,共 220 层,体素 1 mm×1 mm×2 mm,层厚 2 mm,层间距-1 mm,矩阵 240×240,重复时间 7.6 ms,回波时间 3.8 ms。

4. 图像分析。PET/CT 和 MR 的图像评估分别由 2 名核医学科及 2 名放射科高年资医师独立完成。阅片人对其他影像结果不知情,阅片分歧经协商一致后解决。在 PET/CT 上,任何高于周围正常组织背景的摄取(排除非肿瘤性摄取),伴或不伴有形态异常,均被定义为阳性病灶。在横断位 PET 图像上手动绘制 ROI 进行半定量分析,记录⁶⁸Ga-Pentixafor 和¹⁸F-FDG PET/CT 检出病灶的 SUV_{max}、数量和位置。通过视觉分析评估原发肿瘤在 MRI 和 PET/CT 的范围。根据第 9 版美国癌症联合委员会分期系统^[14],基于 PET/CT 对受试者进行分期评价。

以活组织检查或手术切除标本的组织病理学结果、解剖成像和(或)随访成像结果作为诊断参考标准。将增强 MRI 作为评估原发肿瘤浸润范围的“金标准”^[15]。根据实体瘤疗效评价标准(response evaluation criteria in solid tumors, RECIST) 1.1^[16],在随访期间,基于多模态成像证实具有典型恶性特征和(或)抗肿瘤治疗后病灶大小显著减小或增大,则该病灶

被确定为恶性。随访时间不少于 3 个月。

5. 统计学处理。使用 IBM SPSS Statistics 25.0 软件进行分析,符合正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的用 $M(Q_1, Q_3)$ 表示;定性资料以频数(百分比)表示。2 种 PET/CT 显像的 SUV_{max} 差异比较采用配对 t 检验或 Wilcoxon 符号秩检验;病灶检出率比较采用 McNemar 检验。采用 Pearson 相关分析 2 种 PET/CT 显像原发肿瘤 SUV_{max} 的相关性。 $P < 0.05$ 为差异或相关性有统计学意义(双侧检验)。

结 果

1. 一般临床特征。46 例患者中,初诊 43 例,复发 3 例;分化型非角化性鳞状细胞癌(简称鳞癌;WHO II 型) 18 例,未分化型非角化性鳞癌(WHO III 型) 28 例;TNM 分期中, I 期 1 例, II 期 5 例, III 期 17 例, IV A 期 17 例, IV B 期 6 例。

2. ^{68}Ga -Pentixafor 和 ^{18}F -FDG PET/CT 对原发肿瘤的诊断效能。 ^{68}Ga -Pentixafor 和 ^{18}F -FDG PET/CT 对初诊患者原发肿瘤的检出率差异无统计学意义 [100%(43/43) 和 97.7%(42/43); $\chi^2 = 0.50, P = 0.500$], 但有 1 例 T1 期患者原发肿瘤仅显示 ^{68}Ga -Pentixafor 摄取增高,而 ^{18}F -FDG 摄取未见明显异常;两者对 2 例原发肿瘤复发患者的检出率为 2/2 和 1/2。42 例配对双阳性初诊患者原发肿瘤对 ^{68}Ga -Pentixafor 的摄取低于 ^{18}F -FDG (SUV_{max} : 8.38 ± 2.46 和 15.50 ± 6.05 ; $t = 7.88, P < 0.001$), 2 种显像剂摄取之间无明显相关性 ($r = 0.282, P = 0.071$)。与 ^{18}F -FDG 相比, ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 上显示的原发肿瘤侵犯范围与 MRI 更一致,且检出了更多的颅内侵犯(表 1)。典型病例见图 1。

3. ^{68}Ga -Pentixafor 和 ^{18}F -FDG PET/CT 对淋巴结转移的诊断效能。46 例患者共有 229 个可疑转移淋

表 1 对肿瘤侵犯区域的不同影像学检查结果

肿瘤侵犯区域	检出数量(个)			视觉评估对比(个)		
	MRI	FDG	Pentixafor	FDG = Pentixafor	FDG > Pentixafor	Pentixafor > FDG
鼻咽 & 咽旁结构	45	43	45	41	0	4
颅底骨	25	25	25	23	0	2
颅内	14	10	14	10	0	4

注:FDG 指 ^{18}F -FDG PET/CT, Pentixafor 指 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT;“=”为相似的肿瘤范围;“>”为前一种显像方法检测的肿瘤范围更大,或前一种显像方法检测为阳性而后一种显像方法检测为阴性

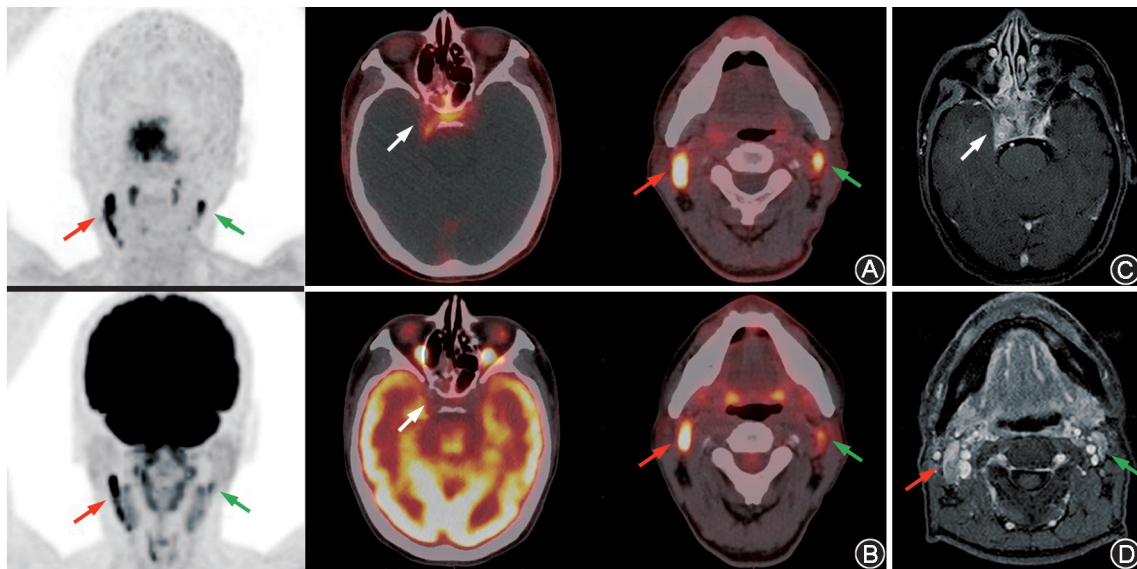


图 1 鼻咽癌患者(男,60 岁) ^{68}Ga -Pentixafor (A) 和 ^{18}F -FDG (B) PET/CT 显像图及 MRI 图 (C, D) 患者蝶鞍区及右侧海绵窦观察到 ^{68}Ga -Pentixafor 摄取增高(白箭头示),提示颅内受侵,但相应部位未见异常 ^{18}F -FDG 摄取(白箭头示);增强 MRI 所示病灶范围(白箭头示)与 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 一致。右侧颈部 II ~ III 区显示多发淋巴结增大、融合(红箭头示)伴 ^{68}Ga -Pentixafor ($SUV_{max} = 7.86$) 和 ^{18}F -FDG ($SUV_{max} = 7.93$) 高摄取,增强 MRI 显示淋巴结强化不均(红箭头示),诊断为淋巴结转移。左侧颈部 II 区一淋巴结(绿箭头示)显示 ^{68}Ga -Pentixafor ($SUV_{max} = 5.21$) 和 ^{18}F -FDG ($SUV_{max} = 3.94$) 摄取增高,增强 MRI 上该淋巴结(绿箭头示)呈轻度强化,随后超声引导下穿刺细胞学提示淋巴细胞增生,未见转移性肿瘤征象

巴结被纳入评估。通过组织病理学(32 个淋巴结)和多模态成像随访(197 个淋巴结)证实,最终有 201 个淋巴结被诊断为淋巴结转移,其余考虑为炎性或反应性增生淋巴结。⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 对淋巴结转移的检出率高于¹⁸F-FDG [99.5% (200/201) 和 96.0% (193/201); $\chi^2 = 4.00, P = 0.039$], 淋巴结转移灶对⁶⁸Ga-Pentixafor 的摄取低于¹⁸F-FDG (SUV_{max} : 6.58 ± 2.73 和 9.28 ± 5.59 ; $t = 7.36, P < 0.001$)。¹⁸F-FDG PET/CT 漏诊的假阴性淋巴结数量多于⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT(8 个和 1 个),其中有 6 个位于咽后间隙;然而,⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 检出的假阳性淋巴结数量比¹⁸F-FDG 更多(27 和 14 个)。进一步比较 14 个配对假阳性淋巴结摄取差异,其对⁶⁸Ga-Pentixafor 的摄取比¹⁸F-FDG 更高 [SUV_{max} : 4.10 ($3.75, 5.63$) 和 3.05 ($2.75, 3.60$); $Z = 3.02, P = 0.003$]。典型病例见图 2。

4. ⁶⁸Ga-Pentixafor 和¹⁸F-FDG PET/CT 对远处转移的诊断效能。有 6 例患者共检出 75 个远处转移病灶,其中⁶⁸Ga-Pentixafor 和¹⁸F-FDG PET/CT 一共检出了 72 个,另有 3 个肺实性结节虽未显示⁶⁸Ga-Pentixafor 和¹⁸F-FDG 摄取增高,但经治疗后胸部 CT 观察到其体积明显缩小,被判定为肺转移瘤。⁶⁸Ga-Pentixafor 和¹⁸F-FDG PET/CT 对远处转移的检出率差异无统计学意义 [肝: 96.2% ($25/26$) 和 100% ($26/26$); 肺: $10/14$ 和 $11/14$; 骨: 91.4% ($32/35$) 和 97.1% ($34/35$); χ^2 值: $0 \sim 0.25$, 均 $P > 0.05$]。肺转移

对⁶⁸Ga-Pentixafor 与¹⁸F-FDG 的摄取差异无统计学意义 [SUV_{max} : 1.95 ($1.18, 2.48$) 和 2.35 ($1.55, 3.50$); $Z = 1.89, P = 0.059$], 肝、骨转移对⁶⁸Ga-Pentixafor 的摄取 (SUV_{max}) 低于¹⁸F-FDG (肝: 4.71 ± 1.96 和 10.63 ± 4.20 , $t = 8.70, P < 0.001$; 骨: 6.26 ± 1.75 和 8.84 ± 3.55 , $t = 4.60, P < 0.001$)。2 个溶骨性骨转移和 1 个无形态学异常(同机 CT 无骨质异常)的骨转移未显示⁶⁸Ga-Pentixafor 摄取增高,1 个成骨型骨转移未显示¹⁸F-FDG 摄取异常。图 3 为 2 种显像剂检测远处转移的典型病例。

5. 肿瘤分期变化。在 T 分期评估中,⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 正确上调了 6 例患者(5 例初诊和 1 例复发)经¹⁸F-FDG PET/CT 获得的 T 分期。在 N 分期方面,¹⁸F-FDG PET/CT 分别低估了 2 例和高估了 1 例 N 分期。⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 虽正确提高了 2 例基于¹⁸F-FDG PET/CT 的 N 分期,但高估了 6 例 N 分期。有 1 处骨转移未能被⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 检出而导致该患者的 M 分期被低估。38 例 (82.6% , $38/46$) 患者在⁶⁸Ga-Pentixafor 和¹⁸F-FDG PET/CT 上获得了一致的总分期。相较于¹⁸F-FDG, 尽管⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 正确上调了 3 例总分期(Ⅲ期提高至ⅣA 期)和 1 例再分期(Ⅰ期提高至Ⅲ期),但也误判了 4 例总分期(2 例Ⅱ期提高至Ⅲ期, 1 例Ⅰ期提高到Ⅱ期, 1 例ⅣB 期降低至ⅣA 期)。

讨 论

精准分期对鼻咽癌的临床管理至关重要。本研

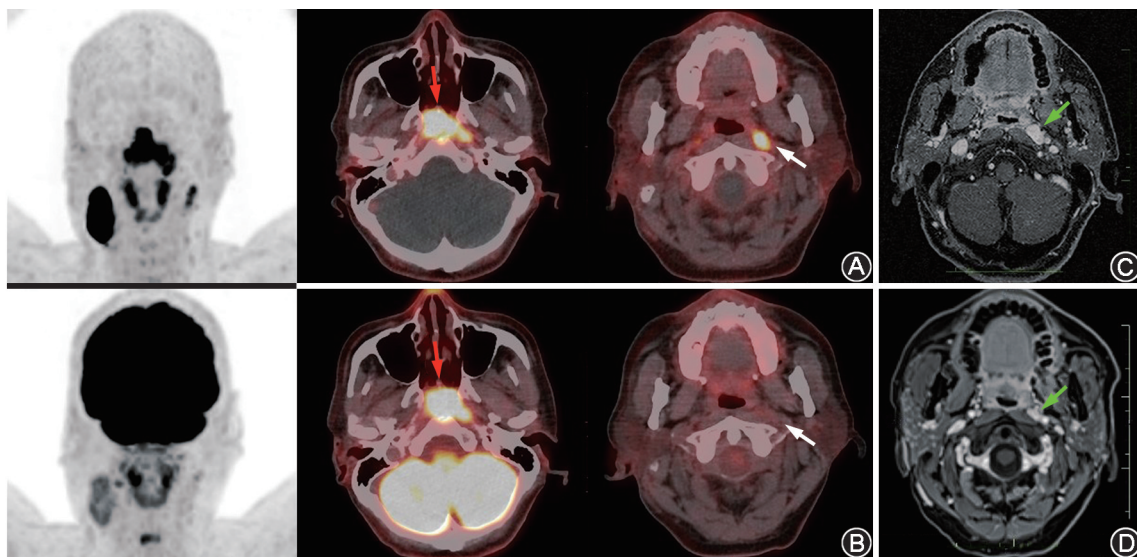


图 2 鼻咽癌患者(男,54 岁)⁶⁸Ga-Pentixafor (A) 和¹⁸F-FDG (B) PET/CT 显像图及治疗前(C) 和治疗后(D) MRI 图 ⁶⁸Ga-Pentixafor ($SUV_{max} = 10.80$) 和¹⁸F-FDG ($SUV_{max} = 13.46$) PET/CT 均显示原发肿瘤具有显著的显像剂摄取,且对咽旁结构和颅底骨的侵犯范围差异不明显(红箭头示)。⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 显示位于左侧咽旁间隙的增大淋巴结伴⁶⁸Ga-Pentixafor 高摄取($SUV_{max} = 6.36$;白箭头示), 而¹⁸F-FDG 摄取为阴性(白箭头示)。治疗后 MRI 显示该淋巴结体积较治疗前明显缩小(绿箭头示),诊断为淋巴结转移

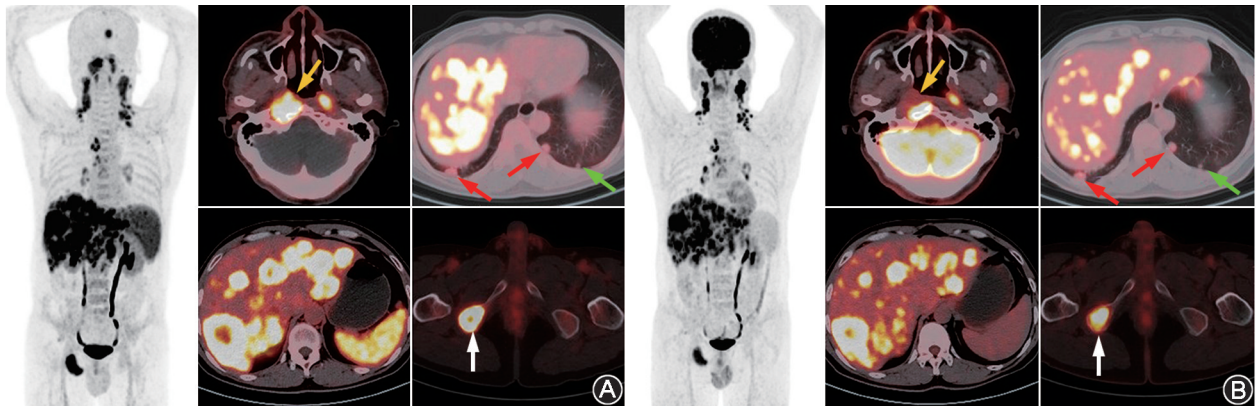


图3 鼻咽癌患者(男,49岁) ^{68}Ga -Pentixafor(A)和 ^{18}F -FDG(B)PET/CT显像图。最大密度投影图显示鼻咽、淋巴结、肝和骨骼多发显像剂浓聚, ^{68}Ga -Pentixafor和 ^{18}F -FDG PET/CT均检测到原发肿瘤侵及枕骨斜坡(黄箭头示),但前者显示出更显著的显像剂摄取和更清晰的肿瘤边界。右肺下叶后基底段及左肺下叶内前基底段肺转移(红箭头示)显示少量的 ^{68}Ga -Pentixafor和 ^{18}F -FDG摄取,而左肺下叶后基底段病灶未显示显像剂摄取增高(绿箭头示)。肝和骨转移瘤(白箭头示)均显示出对 ^{68}Ga -Pentixafor和 ^{18}F -FDG的显著摄取。

究比较了 ^{68}Ga -Pentixafor与 ^{18}F -FDG PET/CT对鼻咽癌原发和转移肿瘤的检测效能,并进一步探讨了不同显像剂对肿瘤分期的影响。结果表明,在 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT上,原发和大多数转移性肿瘤均具有明显的显像剂摄取和清晰的肿瘤轮廓;然而,肿瘤病灶对 ^{68}Ga -Pentixafor的摄取低于 ^{18}F -FDG,这使得 ^{68}Ga -Pentixafor对鼻咽癌诊断和分期相较 ^{18}F -FDG可能存在潜在的不足。尽管 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT未能对所有受试者进行正确分期,但其改善了3例受试者在 ^{18}F -FDG PET/CT上的总分期和1例再分期。因此, ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT作为评估鼻咽癌临床分期的新显像方式具有良好的应用前景。

既往研究表明,CXCR4在鼻咽癌发生发展过程中高度激活和表达,其表达程度与临床分期、转移、总生存和无进展生存相关,可作为鼻咽癌的诊断指标和独立预后因素^[12]。Hadebe等^[17]对包括鼻咽癌在内的头颈部鳞癌进行了CXCR4免疫组织化学染色,结果显示CXCR4表达与 ^{68}Ga -Pentixafor摄取(SUV_{mean}和病灶总摄取)存在良好的正相关性。因而 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT有可能成为一种有效工具,用于选择靶向CXCR4治疗中获益的鼻咽癌患者。本研究中原发肿瘤对 ^{18}F -FDG与 ^{68}Ga -Pentixafor的摄取未显示出相关性,这可能是由于不同的显像原理所致: ^{18}F -FDG反映病变的葡萄糖利用,而 ^{68}Ga -Pentixafor反映了病变的CXCR4表达。

本研究显示 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT在评估鼻咽癌原发肿瘤颅底/颅内侵袭范围以及T分期评估方面优于 ^{18}F -FDG,其显示的原发肿瘤范围与MRI更一致,且检出了更多的颅内侵犯(14/14和10/

14),这得益于 ^{68}Ga -Pentixafor相较 ^{18}F -FDG在头颈部更优越的生物分布模式,使其能更好地描绘原发肿瘤。此外,本研究中1例初诊患者的原发肿瘤(T1期)显示 ^{68}Ga -Pentixafor摄取增高,而 ^{18}F -FDG摄取未见明显异常,这可以通过肿瘤邻近正常组织对 ^{68}Ga -Pentixafor的低摄取来解释。 ^{18}F -FDG PET/CT鉴别鼻咽癌放疗后局部残留/复发与炎性反应的准确性还存在争议^[18]。尽管本研究中1例 ^{18}F -FDG摄取阴性的局部复发病灶被 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT有效检出,但考虑到本研究中相应病例数太少,因此其对鼻咽癌局部复发的检测能力有待进一步研究。

^{18}F -FDG并非特异性肿瘤显像剂,颈部炎性反应和反应性增生淋巴结的高发生率造成本研究中 ^{18}F -FDG PET/CT检出的假阳性淋巴结较多(14个),并导致部分患者的N分期被高估。此外,Xiao等^[19]的研究发现, ^{18}F -FDG PET/CT在评估鼻咽癌咽后淋巴结转移方面的准确性和灵敏度较低,其漏诊可能是由于该区域淋巴结靠近原发肿瘤或淋巴结早期浸润所致 ^{18}F -FDG摄取不足。本研究中, ^{18}F -FDG PET/CT上有6个(6/8)假阴性淋巴结位于咽后间隙,这提示在使用其评估鼻咽癌淋巴结转移时需警惕该区域假阴性淋巴结的存在。本研究中 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT对淋巴结转移的检出率高于 ^{18}F -FDG,并正确上调了2例N分期。然而, ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT比 ^{18}F -FDG检出了更多的假阳性淋巴结,并高估了6例N分期,这可能是由于反应性增生/炎性淋巴结中免疫细胞的CXCR4表达增加所致^[20]。同时,这些良性淋巴结相较 ^{18}F -FDG表现出对 ^{68}Ga -Pentixafor更高的摄取[SUV_{max}:4.10(3.75,5.63)和3.05(2.75,3.60);Z=3.02,P=0.003]。因此,行 ^{68}Ga -

Pentixafor PET/CT 检查时,需考虑到淋巴结转移的假阳性状态,结合多模态成像以进一步评估。

鼻咽癌易发生远处转移。本研究中⁶⁸Ga-Pentixafor 与¹⁸F-FDG PET/CT 对内脏和骨转移的检出能力相当。既往研究报道,¹⁸F-FDG PET/CT 对检测成骨型骨转移的灵敏度不足^[21]。本研究中 1 例未被¹⁸F-FDG PET 检出成骨型骨转移灶显示出对⁶⁸Ga-Pentixafor 的明显摄取,但另有 1 处¹⁸F-FDG 摄取阳性的骨转移灶(同机 CT 未显示骨质异常)未显示出⁶⁸Ga-Pentixafor 摄取异常,这提示⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 相较¹⁸F-FDG PET/CT 可能对早期骨转移检测的灵敏度不足。

本研究尚存在局限性。首先是样本量较少;其次,由于技术和伦理问题,本研究中大多数转移灶是通过多模态成像和随访检查对比治疗前后病灶变化来确定的;此外,对可能存在的假阴性转移病灶的评估不足。因此,需要扩大样本量并获取更多转移瘤的病理结果来进一步验证⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 的诊断准确性。

综上,本研究显示,⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 是检测原发和转移性鼻咽癌的一种很有前景的成像模式,与¹⁸F-FDG 相比,其在评估原发肿瘤侵犯颅底/颅内、淋巴结转移和 T 分期方面更具优势。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 丁浩源:研究设计与实施、论文撰写;梁娟:统计学分析;万强:显像剂制备;刘林:图像采集、影像资料整理;陈跃:研究指导、论文审阅

参 考 文 献

- [1] Su ZY, Siak PY, Lwin YY, et al. Epidemiology of nasopharyngeal carcinoma: current insights and future outlook[J]. *Cancer Metastasis Rev*, 2024, 43(3): 919-939. DOI: 10.1007/s10555-024-10176-9.
- [2] Tang LL, Chen YP, Chen CB, et al. The Chinese Society of Clinical Oncology (CSCO) clinical guidelines for the diagnosis and treatment of nasopharyngeal carcinoma [J]. *Cancer Commun (Lond)*, 2021, 41(11): 1195-1227. DOI:10.1002/cac2.12218.
- [3] Xie C, Vardhanabhuti V. PET/CT: nasopharyngeal cancers[J]. *PET Clin*, 2022, 17(2): 285-296. DOI:10.1016/j.cpet.2021.12.006.
- [4] Ding J, Lin Y, Chen J, et al. Utilization of ¹⁸F-FDG standardized uptake value and metabolic tumor volume to predict local failure in nasopharyngeal carcinoma[J]. *Oncology*, 2025, 103(11): 1009-1017. DOI:10.1159/000543950.
- [5] Li H, Kong Z, Xiang Y, et al. The role of PET/CT in radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 1017758. DOI:10.3389/fonc.2022.1017758.
- [6] Zheng J, Liu F, Lin K, et al. [⁶⁸Ga]Ga-FAPI PET/CT improves the T staging of patients with newly diagnosed nasopharyngeal carcinoma: a comparison with [¹⁸F]F-FDG [J]. *Mol Imaging Biol*, 2022, 24(6): 973-985. DOI:10.1007/s11307-022-01748-8.
- [7] Qin C, Liu F, Huang J, et al. A head-to-head comparison of ⁶⁸Ga-DOTA-FAPI-04 and ¹⁸F-FDG PET/MR in patients with nasopharyngeal carcinoma: a prospective study [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48(10): 3228-3237. DOI:10.1007/s00259-021-05255-w.
- [8] Dreher N, Hahner S, Fuß CT, et al. CXCR4-directed PET/CT with [⁶⁸Ga]Ga-pentixafor in solid tumors—a comprehensive analysis of imaging findings and comparison with histopathology [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 51(5): 1383-1394. DOI: 10.1007/s00259-023-06547-z.
- [9] 余薛冰, 康飞. CXCR4 靶向显像探针⁶⁸Ga-Pentixafor 在淋巴瘤中的临床应用进展 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2025, 45(6): 381-384. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240529-00182. Yu XB, Kang F. Application of CXCR4-targeted tracer ⁶⁸Ga-Pentixafor in lymphoma [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 45(6): 381-384. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240529-00182.
- [10] 张娜, 谢阳, 陈跃. ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 在原发性醛固酮增多症分型中的临床价值 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2025, 45(3): 185-188. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20240314-00099. Zhang N, Xie Y, Chen Y. Clinical value of ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT in classification of subtypes of primary aldosteronism [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 45(3): 185-188. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20240314-00099.
- [11] 徐丽, 安少辉, 赵宇婷, 等. ⁶⁸Ga-pentixafor 趋化因子受体 4 显像评估急性心肌梗死后炎症反应的研究现状 [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(6): 376-379. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20230112-00006. Xu L, An SH, Zhao YT, et al. Current status of ⁶⁸Ga-pentixafor imaging targeting chemokine receptor 4 in accessing inflammation after acute myocardial infarction [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(6): 376-379. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20230112-00006.
- [12] Tao H, Wei Y, Wang C, et al. Expression of chemokine receptor CXCR4 is closely correlated with clinical outcome in human nasopharyngeal carcinoma [J]. *Tumour Biol*, 2016, 37(5): 6099-6105. DOI:10.1007/s13277-015-4464-1.
- [13] Hu J, Xu T, Shen H, et al. Accuracy of gallium-68 Pentixafor positron emission tomography-computed tomography for subtyping diagnosis of primary aldosteronism [J]. *JAMA Netw Open*, 2023, 6(2): e2255609. DOI:10.1001/jamanetworkopen.2022.55609.
- [14] Pan JJ, Mai HQ, Ng WT, et al. Ninth version of the AJCC and UICC nasopharyngeal cancer TNM staging classification [J]. *JAMA Oncol*, 2024, 10(12): 1627-1635. DOI: 10.1001/jamaoncol.2024.4354.
- [15] Caudell JJ, Gillison ML, Maghami E, et al. NCCN guidelines® insights: head and neck cancers, version 1.2022 [J]. *J Natl Compr Canc Netw*, 2022, 20(3): 224-234. DOI:10.6004/jncn.2022.0016.
- [16] Eisenhauer EA, Therasse P, Bogaerts J, et al. New response evaluation criteria in solid tumours: revised RECIST guideline (version 1.1) [J]. *Eur J Cancer*, 2009, 45(2): 228-247. DOI:10.1016/j.ejca.2008.10.026.
- [17] Hadebe B, Harry L, Gabela L, et al. Chemokine receptor-4 targeted PET/CT imaging with ⁶⁸Ga-Pentixafor in head and neck cancer—a comparison with ¹⁸F-FDG and CXCR4 immunohistochemistry [J].

- Diagnostics (Basel), 2024, 14(13): 1375. DOI:10.3390/diagnostics14131375.
- [18] OuYang PY, Liu ZQ, Lin QG, et al. Benefit of [¹⁸F] FDG PET/CT in the diagnosis and salvage treatment of recurrent nasopharyngeal carcinoma[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 50(3): 881-891. DOI:10.1007/s00259-022-06020-3.
- [19] Xiao BB, Chen QY, Sun XS, et al. Low value of whole-body dual-modality [¹⁸F] fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in primary staging of stage I-II nasopharyngeal carcinoma; a nest case-control study[J]. Eur Radiol, 2021, 31(7): 5222-5233. DOI:10.1007/s00330-020-07478-1.
- [20] Zhi Y, Werner RA, Schirbel A, et al. Diagnostic efficacy of C-X-C motif chemokine receptor 4-directed PET/CT in newly diagnosed head and neck squamous cell carcinoma—a head-to-head comparison with [¹⁸F]FDG[J]. Am J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 13(5): 208-216.
- [21] Li L, Chen L, Yang J, et al. Comparison of ¹⁸F-FDG and ⁶⁸Ga-DOTA-IBA in detecting bone metastases: a lesion-basis study[J]. Sci Rep, 2025, 15(1): 12766. DOI:10.1038/s41598-025-97920-5. (收稿日期:2025-05-13)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

2026 年本刊可直接用缩写的常用词汇

ATP(adenosine-triphosphate),三磷酸腺苷	PCR(polymerase chain reaction),聚合酶链反应
AUC(area under curve),曲线下面积	PET(positron emission tomography),正电子发射体层摄影术
CI(confidence interval),可信区间	PLT(platelet count),血小板计数
CT(computed tomography),计算机体层摄影术	RBC(red blood cells),红细胞
CV(coefficient of variation),变异系数	RNA(ribonucleic acid),核糖核酸
DNA(deoxyribonucleic acid),脱氧核糖核酸	ROC(receiver operating characteristic),受试者工作特征
FDG(fluorodeoxyglucose),脱氧葡萄糖	ROI(region of interest),感兴趣区
HAV(hepatitis A virus),甲型肝炎病毒	SPECT(single photon emission computed tomography),单光子发射计算机体层摄影术
Hb(hemoglobin),血红蛋白	SUV(standardized uptake value),标准摄取值
HBsAg(hepatitis B surface antigen),乙型肝炎表面抗原	SUV _{max} (maximum standardized uptake value),最大标准摄取值
HBV(hepatitis B virus),乙型肝炎病毒	SUV _{mean} (mean standardized uptake value),平均标准摄取值
HCV(hepatitis C virus),丙型肝炎病毒	WBC(white blood cells),白细胞
MRI(magnetic resonance imaging),磁共振成像	WHO(World Health Organization),世界卫生组织
PBS(phosphate buffered solution),磷酸盐缓冲液	

关于投稿提供伦理委员会批准文件及受试对象知情同意书的通告

根据中华医学会杂志社的相关规定,当论文主体是以人为研究对象时,作者应说明研究方案是否获得所在单位或地区伦理审查委员会的批准,提供伦理批准文件并注明文件批号;应说明受试对象或其亲属是否签署知情同意书,并提供相应材料。当论文主体以动物为研究对象时,应说明研究方案是否遵循了单位和国家的有关实验动物管理和使用的规定,如获得实验动物福利伦理审查批准,应注明批准文号;如未进行实验动物福利伦理审查,应说明研究是否遵循了“3R”原则,即减少(Reduction)、替代(Replacement)、优化(Refinement)原则,对实验动物给予人道的保护。

本刊编辑部