

论 著

18F-FDG PET/CT显像联合MRI对检测恶性肿瘤骨转移的效能分析*

苏 祁¹ 张 堃^{2,*} 郭忠聪³
陈小丽¹ 马桂杰¹ 苏友贤¹

1.湖南中医药大学第一附属医院

PET-CT中心

2.湖南中医药大学第一附属医院

放射影像科

3.湖南中医药大学第一附属医院肿瘤科

(湖南 长沙 410007)

【摘要】目的 探究¹⁸F-脱氧葡萄糖(¹⁸F-FDG)正电子发射断层扫描/X线计算机扫描(PET/CT)显像联合核磁共振(MRI)诊断恶性肿瘤骨转移的效能。**方法** 选取2023年1月至2024年3月在本院确诊的恶性肿瘤患者100例作为研究对象,在开展相关治疗前患者均接受¹⁸F-FDG PET/CT、MRI检查。以病检作为金标准,分析2种检查方法单一及联合在恶性肿瘤骨转移中的诊断效能。**结果** 100例恶性肿瘤患者中,经检查证实发生骨转移55例,临床随访追踪证实6例,共计61例患者发生骨转移,发生率为61.00%。¹⁸F-FDG PET/CT检查显示骨转移57例,非骨转移43例;其诊断骨转移的灵敏度为88.52%(54/61),特异度为92.31%(36/39),准确率为90.00%(90/100),阳性预测值为94.74%(54/57),阴性预测值为83.72%(36/43),Kappa值为0.794。MRI检查显示骨转移55例,非骨转移45例;其诊断骨转移的灵敏度为83.61%(51/61),特异度为89.74%(35/39),准确率为86.00%(86/100),阳性预测值为92.73%(51/55),阴性预测值为77.78%(35/45) Kapp值为0.714。两种检查方法的灵敏度、特异度、准确率、阳性预测值、阴性预测值等比较无统计学差异($P>0.05$)。骨转移组患者的骨转移病灶最大标准摄取值(SUV max)为(9.60±1.43),较非骨转移组的(2.22±0.21)更高($P<0.05$)。¹⁸F-FDG PET/CT、MRI诊断恶性肿瘤骨转移的曲线下面积(AUC)为0.932(95%CI为0.864-0.973),灵敏度与特异度分别为96.70%和89.70%。**结论** ¹⁸F-FDG PET/CT与MRI检查均在恶性肿瘤骨转移中具有良好的诊断效能,二者联合诊断准确率更高。

【关键词】 恶性肿瘤; 骨转移;
正电子发射断层显像;
计算机断层成像; 病理检查

【中图分类号】R445

【文献标识码】A

【基金项目】湖南省卫生健康委科研计划
项目(C202309048470)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.04.052

Efficacy Analysis of ¹⁸F-FDG PET/CT Imaging Combined with MRI In Detecting Bone Metastasis of Malignant Tumors*SU Qi¹, ZHANG Kun^{2,*}, GUO Zhong-cong³, CHEN Xiao-li¹, MA Gui-jie¹, SU You-xian¹.

1.PET-CT Center, the First Affiliated Hospital of Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410007, Hunan Province, China

2.Department of Radiological Imaging, the First Affiliated Hospital of Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410007, Hunan Province, China

3.Department of Oncology, the First Affiliated Hospital of Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410007, Hunan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the efficacy of ¹⁸F-deoxyglucose (¹⁸F-FDG) positron emission tomography/X-ray computer scan (PET/CT) imaging combined with nuclear magnetic resonance (MRI) in the diagnosis of bone metastases in malignant tumors. **Methods** 100 patients with malignant tumors diagnosed in our hospital from January 2023 to March 2024 were selected as research objects, and all patients received ¹⁸F-FDG PET/CT and MRI examination before relevant treatment. To analyze the diagnostic efficacy of the two diagnostic methods in the diagnosis of bone metastasis of malignant tumors by single and combined examination. **Results** Among 100 patients with malignant tumors, 55 cases were confirmed by examination and 6 cases were confirmed by clinical follow-up. A total of 61 patients had bone metastasis, with an incidence of 61.00%. ¹⁸F-FDG PET/CT showed 57 cases of bone metastasis and 43 cases of non-bone metastasis. The sensitivity, specificity and accuracy of bone metastasis were 88.52% (54/61), 92.31% (36/39), 90.00% (90/100), positive predictive value was 94.74% (54/57), negative predictive value was 83.72% (36/43) and Kapp value was 0.794. MRI showed bone metastasis in 55 cases and non-bone metastasis in 45 cases. The sensitivity, specificity and accuracy were 83.61% (51/61), 89.74% (35/39), 86.00% (86/100), positive predictive value was 92.73% (51/55), negative predictive value was 77.78% (35/45) and Kapp value was 0.714. There were no significant differences in sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value and negative predictive value between the two methods ($P>0.05$). The maximum focal value (SUV max) of bone metastasis group was (2.60±0.43), which was higher than that of non-bone metastasis group (2.22±0.21) ($P<0.05$). The AUC of ¹⁸F-FDG PET/CT and MRI in the diagnosis of malignant bone metastases was 0.932 (95%CI was 0.864-0.973), and the sensitivity and specificity were 96.70% and 89.70%. **Conclusion** Both ¹⁸F-FDG PET/CT and MRI have good diagnostic efficacy in malignant bone metastasis, and their combined diagnostic accuracy is higher.

Keywords: Malignant Tumor; Bone Metastasis; Positron Emission Tomography; Computerized Tomography; Pathological Examination

恶性肿瘤是严重危害人类健康的疾病,据调查,截至2020年全球的新发癌症病例数约为1930万例,其中死亡约990万例,极大地威胁着人类的健康^[1]。研究指出,我国恶性肿瘤发病数与死亡数随着社会老龄化的进展呈现出持续增长的趋势,疾病与经济负担较重^[2-3]。骨骼是恶性肿瘤中仅次于肺、肝的第3大易发生远处转移部位,约有70%的恶性肿瘤患者发生骨转移^[4]。依据影像学相关表现,骨转移可以分为溶骨性、成骨性以及混合型3类,其中溶骨性占比较高,其可引发脊髓压迫、病理性骨折、剧烈疼痛等并发症,严重影响着患者的预后以及生存质量^[5]。因此,临床需要寻找可靠的手段来尽早识别、诊断恶性肿瘤患者有无骨转移情况的发生^[6]。随着科技的发展,临床医学筛查的手段不断丰富,越来越多的检查方法被用来诊断恶性肿瘤患者中隐匿的骨转移患者。影像学在诊断恶性肿瘤骨转移中发挥着重要的作用,其中核磁共振(MRI)凭借软组织分辨率高的特性在临床中应用较为广泛^[7-8]。¹⁸F-脱氧葡萄糖(¹⁸F-FDG)正电子发射断层扫描/X线计算机扫描(PET/CT)融合CT扫描与PET显像半定量检测病灶葡萄糖摄取^[9],在临床恶性肿瘤分期与指导治疗中作用突出^[10]。本研究旨在探究¹⁸F-FDG PET/CT、MRI单一及联合诊断恶性肿瘤骨转移的效能,以期指导临床患者检查方法的择取。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2023年1月至2024年3月在本院确诊的恶性肿瘤患者100例作为研究对象,其中男58例,女42例,年龄18~80(49.45±5.13)岁。

纳入标准:有明确恶性肿瘤确诊史,经病理证实;年龄18~80岁,性别不限;符合相关影像学检查适应证,可耐受检查,对显像剂无过敏反应;认知、沟通、理解力均正常;均知情同意。排除标准:入组前2个月接受过放化疗,确诊恶性肿瘤≥2种;妊娠期、哺乳期女性;合并代谢性病变;合并骨髓功能障碍;预计生存时间≤3个月;精神疾病、肝肾功能障碍。本研究已经医院伦委会审批。

1.2 检查方法

1.2.1 ¹⁸F-FDG PET/CT检查 选择上海联影公司uMI 780 PET/CT仪,及长沙原子高科医药有

【第一作者】苏 祁,女,副主任医师,主要研究方向:影像医学与核医学。E-mail: fengguoliang1124@163.com

【通讯作者】张 堃,男,主任医师,主要研究方向:医学影像在中西医结合临床研究中的价值和影像引导下的介入治疗。E-mail: yangting2111@163.com

限公司生产的显像剂¹⁸F-FDG(放化纯>99%)。检查前需空腹6h及以上,检查时保持空腹血糖<8.0mmol/L,静脉注射¹⁸F-FDG(0.1 mCi/kg)休息1h后行体部及脑PET/CT显像。参数:120kV,200 mA,层厚3mm;PET扫描参数:体部2min/床位,脑4min/床位,层厚3mm。迭代法重建获得横断面、冠状面、矢状面PET、CT、PET/CT融合图像。选择UNITED联影LMAGING MI工作站进行图像分析及结果判定,获取病灶最大标准摄取值(SUV max)。

1.2.2 MRI检查 选择上海联影uMR588 1.5T超导型磁共振成像系统,患者取仰卧位,无固定装置,采用常规快速自旋回波(FSE)序列,横断面、矢状面、冠状面进行扫描,参数为T1WI TR:400~600ms,TE:15~25ms;T2WI TR:1800~3000 ms,TE:90~150ms;翻转角90°,矩阵256×256,视野(FOV)210mm,采用标准头部八通道线圈。

1.2.3 图像分析 由两名主治以上、有CT或MRI上岗证的高年资核医学科医师采用双盲法分别对¹⁸F-FDG PET/CT与MRI图像进行独立阅片,意见不一时共同讨论达成一致。诊断主要采用目视法,PET/CT结合SUV max半定量分析。联合诊断结果判断时有一种诊断方法确诊阳性即记为阳性结果。

1.3 骨转移阳性判断标准 (1)¹⁸F-FDG PET/CT检查:单发或多发浓聚灶且病灶SUVmax≥2.5,CT提示该部位有或无骨质密度异常,并排除手术、创伤、骨折、骨关节退行性变及明确良性病变即可确诊。(2)MRI检查:T1WI骨髓高信号消失即可确诊。(3)病理学检查:活检证实有骨转移,或临床随访过程中证实有病灶增大、数量增多变化(二者符合其一即可确诊)。

1.4 统计学处理 使用SPSS 20.0软件分析数据。计量资料以表示,行t检验;计数资料以(%)表示,行 χ^2 检验;绘制ROC曲线分析¹⁸F-FDG PET/CT与MRI单一及联合在恶性肿瘤骨转移中的预测效能。检验水准为 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 病理检查结果 100例恶性肿瘤患者中,经检查证实发生骨转移55例,临床随访追踪证实6例,共计61例患者发生骨转移,发生率为61.00%。

2.2 ¹⁸F-FDG PET/CT诊断效能 ¹⁸F-FDG PET/CT检查显示骨转移57例,非骨转移43例;MRI检查显示骨转移55例,非骨转移45例。见表1。

表1 ¹⁸F-FDG PET/CT检查诊断效能分析(例)

检查方法		金标准		合计
		阳性	阴性	
¹⁸ F-FDG PET/CT	阳性	54	3	57
	阴性	7	36	43
MRI	阳性	51	4	55
	阴性	10	35	45
合计		61	39	100

2.3 ¹⁸F-FDG PET/CT、MRI检查诊断效能比较 ¹⁸F-FDG PET/CT诊断骨转移的灵敏度为88.52%,特异度为92.31%,准确率为90.00%,阳性预测值为94.74%,阴性预测值为83.72%,Kapp值为0.794。MRI诊断骨转移的灵敏度为83.61%,特异度为89.74%,准确率为86.00%,阳性预测值为92.73%,阴性预测值为77.78%,Kapp值为0.714。两种检查方法的灵敏度、特异度、准确率、阳性预测值、阴性预测值等比较无统计学差异(P>0.05)。见表2。

2.4 ¹⁸F-FDG PET/CT检查相关参数情况 骨转移患者其SUV max高于非骨转移组(P<0.05)。见表3。

2.5 ¹⁸F-FDG PET/CT、MRI单一及联合诊断骨转移的效能分析 ¹⁸F-FDG PET/CT、MRI诊断恶性肿瘤骨转移的AUC为0.932(95%CI为0.864-0.973),灵敏度与特异度分别为96.70%和89.70%。见表4及图1。

表2 两种检查方法在骨转移诊断中的效能比较[n/(%)]

检查方法	灵敏度	特异度	准确率	阳性预测值	阴性预测值
¹⁸ F-FDG PET/CT	88.52(54/61)	92.31(36/39)	90.00(90/100)	94.74(54/57)	83.72(36/43)
MRI	83.61(51/61)	89.74(35/39)	86.00(86/100)	92.73(51/55)	77.78(35/45)
χ^2 值	0.615	0.157	3.000	0.193	0.498
P值	0.433	0.692	0.083	0.660	0.480

表3 ¹⁸F-FDG PET/CT检查参数在恶性肿瘤骨转移中的情况

组别	例数	SUV max
骨转移组	61	9.60±1.43
非骨转移组	39	2.22±0.21
t值		31.953
P值		<0.001

表4 ¹⁸F-FDG PET/CT参数SUV max、MRI单一及联合诊断骨转移的效能分析

方法	AUC	约登指数	灵敏度	特异度	95%CI	P值
¹⁸ F-FDG PET/CT	0.904	0.808	88.52	92.31	0.829-0.954	<0.001
MRI	0.867	0.734	83.61	89.74	0.784-0.926	<0.001
联合	0.932	0.865	96.70	89.70	0.864-0.973	<0.001

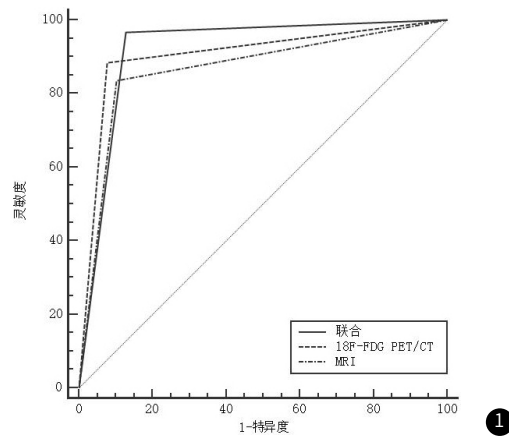


图1 ^{18}F -FDG PET/CT、MRI单一及联合诊断恶性肿瘤骨转移的ROC图。

2.6 典型病例影像学资料 患者女，53岁，右乳腺癌术后7年，具体影像学检查资料见图2-4。其中图2为PET/CT检查，可见全身多处骨骼见不同程度异常放射性浓聚灶，SUV max值为15.2，相应部

位部分骨骼骨质破坏；图3与图4均为腰椎MRI检查，腰骶椎多个椎体及附件见斑片状异常信号，T1WI呈低信号，T2抑脂呈高信号。

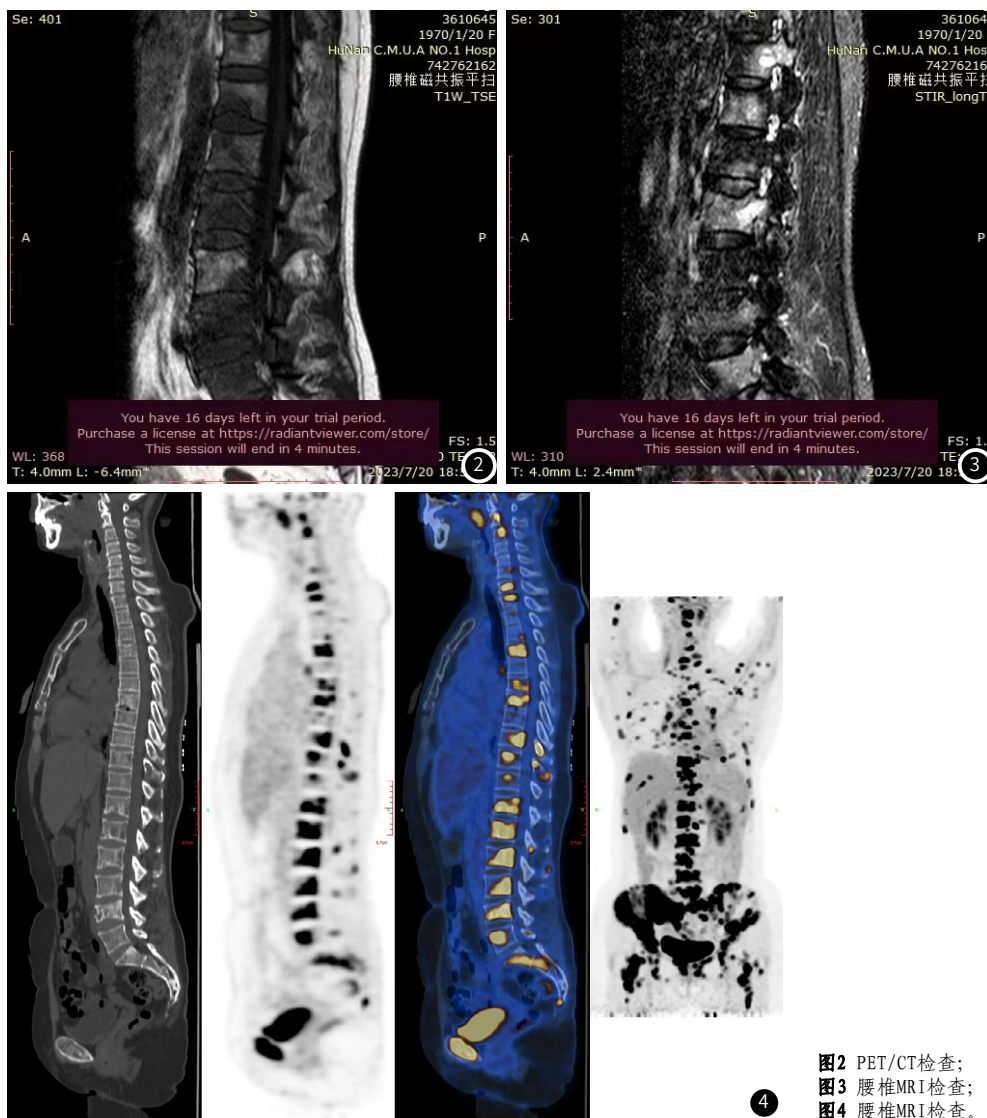


图2 PET/CT检查；
图3 腰椎MRI检查；
图4 腰椎MRI检查。

3 讨 论

骨转移是晚期恶性肿瘤常见转移之一，其是指原发肿瘤细胞经上皮-间质充质转化、淋巴或血液循环播散到骨的过程^[11]。据统计，肿瘤患者群体中，骨转移的发生率约为65%~75%^[12]。大部分的恶性肿瘤患者发生骨转移后会出现持续性骨痛、病理性骨折、脊髓以及神经根受压等骨骼相关事件，极大地影响着患者的生活质量以及临床诊疗的效果^[13]。因此如何尽早发现恶性肿瘤的远处转移尤其是骨转移，对于指导临床诊疗方案的制定以及改善患者预后至关重要。

现阶段临床多通过影像学检查手段来筛查恶性肿瘤侵犯范围，其中MRI的应用频次较高。MRI为目前空间分辨率最高的医学影像设备，其具有多序列、多方位成像、软组织分辨率高的优点^[14]。与其他影像学诊断手段相比，MRI以极高的软组织分辨率在发现病灶、确定病灶范围、数量及周边关系等方面优势显著。有学者发现，MRI对骨质破坏具有较高的灵敏度，可在骨质出现明显破坏前检查出病变^[15]。既往的研究指出，以病灶为研究对象，MRI检测结直肠癌肝转移的灵敏度为83.8%~89%^[16]。本研究中，MRI诊断恶性肿瘤患者骨转移的灵敏度为83.61%，基本与上述研究结果一致。¹⁸F-FDG PET/CT为一种结合了解剖及功能成像的分子影像学技术，该技术能够同时获取PET以及CT图像，有效区分组织结构，鉴别瘢痕，在临床肿瘤疾病的筛查中应用价值较高，部分指南将其作为临床骨转移诊断的重要影像学手段^[17]。其将¹⁸F-FDG作为显像剂，通过检测肿瘤局部组织葡萄糖代谢变化情况来对癌细胞的增殖、代谢、病灶情况等做出判断^[18]，有效结合PET、CT优势，在微小转移病灶中的诊断中价值较高^[19]。另外，¹⁸F-FDG的半衰期较短，在物理衰减以及生物代谢后可被有效清除，故而与常规的CT比较，其辐射剂量相对较少，较为安全。研究指出，¹⁸F-FDG PET/CT对肌肉骨骼肉瘤转移灶检测的灵敏度仅为68.3%(95%CI为53.0%~80.4%)，对于大于1.0cm的病灶检出率也仅为76.5%^[20]；而其在诊断胃癌患者肺转移中的特异度与准确度则分别为82.14%和87.64%^[21]。本研究中，¹⁸F-FDG PET/CT诊断骨转移的灵敏度为88.52%，显著高于上述研究结果，说明该检查方法在恶性肿瘤骨转移的诊断中同样具有较高的诊断效能。随着病情的进展，骨转移瘤会逐步向周围骨质浸润，不同的代谢活性、浸润强度的病灶其边缘情况可能有所差异，PET/CT显像剂在骨骼中聚集的量与成骨活跃程度以及局部血流相关^[22]。诸多的研究已经证实骨转移SUV max较正常骨质明显增高，有助于帮助临床辨识良恶性病变。本研究中，骨转移患者其SUV max高于非骨转移组，与上述研究观点基本吻合。本研究还发现，¹⁸F-FDG PET/CT、MRI诊断恶性肿瘤骨转移的效能比较无明显差异，提示两种检查方式在恶性肿瘤骨转移中均具有良好的效能，临床可依据患者实际情况为择取适宜的检查方式。但多年的临床实践也发现，MRI检查受主观判断的影响较大，图像质量、医师诊断水平、信号干扰等情况均会对检查的结果产生影响。另有研究指出，在炎症、外伤造成血流灌注、代谢水平变化的情况下会导致局部细胞¹⁸F-FDG摄取水平增加，进而影响¹⁸F-FDG PET/CT检查的准确性^[23]。本研究中，¹⁸F-FDG PET/CT、MRI诊断恶性肿瘤骨转移的AUC为0.932，较单一检查方式诊断效能更佳，说明二者联合助于提高恶性肿瘤骨转移的诊断准确率，分析可能二者从不同病理学角度反映肿瘤的增殖以及扩散情况有关系。

综上所述，¹⁸F-FDG PET/CT、MRI均在恶性肿瘤骨转移诊断中具有较好的预测效能，二者联合可提高骨转移的早期检出率，有助于临床治疗方案以的制定。

参考文献

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71 (3): 209-249.
- [2] 郑荣寿, 陈茹, 韩冰峰, 等. 2022年中国恶性肿瘤流行情况分析 [J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46 (3): 221-231.
- [3] 李红, 徐幽琼, 郑婉辉, 等. 福州市2018年恶性肿瘤发病与死亡分析 [J]. 现代肿瘤医学, 2023, 31 (18): 3481-3485.
- [4] 宋卫国, 李剑凤, 武国恩. ¹⁸F-FDG PET/CT 与 WB-DWI在恶性肿瘤骨转移中的诊断价值比较 [J]. 实用放射学杂志, 2023, 39 (12): 2013-2017.
- [5] 刘敏, 陈玥, 雷小鸣, 等. ECT、CT及MRI的骨转移瘤影像特点分析 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18 (6): 136-139.
- [6] 石庆学, 许欣茹, 郭佳, 等. ¹⁸F-NaF PET/CT显像与^{99m}Tc-MDP SPECT骨显像对乳腺癌患者骨转移诊断的对比研究 [J]. 中国临床医学影像杂志, 2021, 32 (1): 40-43.
- [7] 陶飞燕, 余向锋, 唐盈静, 等. 经直肠超声造影联合MRI评估前列腺癌骨转移的应用价值 [J]. 临床超声医学杂志, 2022, 24 (6): 435-439.
- [8] 陈咏, 崔静晨, 赵新明. 分子影像对骨转移及其治疗反应的评价 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2022, 42 (6): 378-384.
- [9] 杨娟, 吴耀华, 郝泉水. ¹⁸F-FDG PET/CT对女性盆腔恶性肿瘤转移与复发诊断价值的Meta分析 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21 (3): 159-162.
- [10] 朱燕潮, 黄婧, 陶维静, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT在食管癌术后吻合口复发及远处转移中的诊断价值 [J]. 医学研究杂志, 2023, 52 (5): 153-157, 93.
- [11] 金菊, 黄才国. 炎症因子在肿瘤骨转移中的作用 [J]. 生命的化学, 2022, 42 (12): 2185-2190.
- [12] 简小兰, 蒋益兰, 蒋盛昶. 蒋益兰教授治疗恶性肿瘤骨转移经验 [J]. 陕西中医, 2022, 43 (5): 620-623.
- [13] 薛帅, 李丹妮, 白庆云, 等. ²²³RaCl₂用于去势抵抗性前列腺癌骨转移治疗的临床研究进展及体内减毒 [J]. 标记免疫分析与临床, 2023, 30 (5): 876-880.
- [14] 徐晓倩, 康立清, 刘凤海. MRI评估宫颈癌盆腔淋巴结转移的研究进展 [J]. 磁共振成像, 2023, 14 (10): 183-188.
- [15] 张伟. ¹⁸F-NaF PET/CT、¹⁸F-FDG PET/CT及MRI对鼻咽癌患者颅底骨质受侵及骨转移的评估价值比较 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20 (04): 28-31.
- [16] Tsili AC, Alexiou G, Naka C, et al. Imaging of colorectal cancer liver metastases using contrast-enhanced US, multidetector CT, MRI, and FDG PET/CT: a meta-analysis [J]. Acta Radiol, 2021, 62 (3): 302-312.
- [17] Otis-Chapados S, Goulet CR, Dubois G, et al. ¹⁸F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) is accurate for high-grade prostate cancer bone staging when compared to bone scintigraphy [J]. Can Urol Assoc J, 2021, 15 (10): 301-307.
- [18] 丁婷婷, 郝珊瑚, 王治国, 等. ¹⁸F-PSMA-1007 PET/CT与¹⁸F-FDG PET/CT对前列腺癌骨转移的诊断价值比较 [J]. 江苏大学学报(医学版), 2023, 33 (5): 369-373, 379.
- [19] 王萍, 谢丽璇. ¹⁸F-FDG PET/CT代谢参数联合血清FOXM1在诊断结直肠癌淋巴结转移中的应用 [J]. 影像科学与光化学, 2022, 40 (6): 1570-1575.
- [20] 杨梓怡, 顾丙新, 许晓平, 等. ¹⁸F-FDG和⁶⁸Ga-FAPI PET/CT在不同恶性肿瘤肺转移诊断中的对比研究 [J]. 中国癌症杂志, 2023, 33 (9): 829-833.
- [21] 魏昊, 兰晓莉, 廖珊珊, 等. ¹⁸F-FDG PET/CT显像评价胃癌肺转移 [J]. 华中科技大学学报(医学版), 2016, 45 (2): 141-144.
- [22] 贾明胜, 郑修竹, 刘佳, 等. SPECT/CT骨定量标准化摄取值分析脊柱骨转移瘤的价值 [J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31 (5): 408-412.
- [23] 马亮, 何敬振. DWI联合PET/CT对转移性骨肿瘤的影像学表现分析 [J]. 医学影像学杂志, 2023, 33 (1): 100-104.

(收稿日期: 2024-06-11)

(校对编辑: 韩敏求)