doi:10.11659/jjssx.04E025034

·消化系统疾病·

DWI-MRI与PET在食管癌淋巴结转移诊断中的对比

李志东,曹立秀,马 拓,李会菊,陈大鹏,任红亮 (唐山市人民医院CT室,河北 唐山 063000)

[摘 要] **目的** 比较弥散加权磁共振成像(DWI-MRI)与正电子发射断层扫描(PET)在食管癌淋巴结转移中的诊断价值。**方法** 回顾性分析2019年4月至2023年4月本院收治的100例食管鳞状细胞癌患者的临床资料。所有患者均接受DWI-MRI、PET检查,比较两种检查方式临床分期诊断准确性、评估淋巴结转移准确性(敏感度、特异性、阳性预测值、阴性预测值、总体准确性)、评估转移性淋巴结相关特征(节点位置、节点大小、结内癌巢穴大小、结内癌巢穴占据区域)准确性的差异。**结果** 两种检查方式诊断临床分期的准确率比较,差异无统计学意义($P>0.05$),但DWI-MRI检查高估率高于PET检查($P<0.05$),低估率低于PET检查($P<0.05$)。100例患者中共收集到1 617个淋巴结,存在124个淋巴结转移,最常见的为胃周围腹部及肋部转移(57个,45.97%)。两种检查方式评估淋巴结转移的准确性比较,差异无统计学意义($P>0.05$),但DWI-MRI检查敏感度、阴性预测值高于PET检查($P<0.05$),特异度、阳性预测值低于PET检查($P<0.05$)。在评估淋巴结转移节点位置(中下胸、腹部及肋部)、节点大小<5 mm、结内癌巢穴占据区域<1/3时,两种检查方式准确率比较,差异无统计学意义($P>0.05$),但在评估淋巴结转移节点位置(颈部、上胸)、节点大小≥5 mm、结内癌巢穴大小(<5 mm、5~10 mm、>10 mm)、结内癌巢穴占据区域≥1/3时,DWI-MRI检查准确率均高于PET检查($P<0.05$)。**结论** DWI-MRI与PET在评估食管癌淋巴结转移中均具有一定诊断价值,但DWI-MRI评估颈部、上胸部淋巴结转移的相关特征准确性更高。

[关键词] 食管癌;淋巴结转移;弥散加权磁共振成像;正电子发射断层扫描;评估价值

[中图分类号] R571 [文献标志码] A [收稿日期] 2025-04-08

Comparison of diagnostic value of DWI-MRI and PET in lymph node metastasis of esophageal cancer

LI Zhi-dong, CAO Li-xiu, MA Tuo, LI Hui-ju, CHEN Da-peng, REN Hong-liang (CT Room, Tangshan People's Hospital, Tangshan Hebei 063000, China)

Abstract: Objective To compare the diagnostic value of diffusion-weighted magnetic resonance imaging (DWI-MRI) and positron emission tomography (PET) in the lymph node metastasis in esophageal cancer. **Methods** A retrospective analysis was performed on the clinical data of 100 patients with esophageal squamous cell carcinoma admitted to our hospital from April 2019 to April 2023. All patients underwent DWI-MRI and PET examinations. The differences in the diagnostic accuracy for clinical staging, the accuracy for evaluating lymph node metastasis (including sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and overall accuracy), and the accuracy for assessing the relevant characteristics of metastatic lymph nodes (including nodal location, nodal size, intranodal cancer nest size and the area occupied by intranodal cancer nests) between the two examination methods were compared. **Results** There was no statistically significant difference in the diagnostic accuracy of clinical staging between the two examination methods ($P>0.05$). However, the overestimation rate of DWI-MRI was higher than that of PET ($P<0.05$), and its underestimation rate was lower than that of PET ($P<0.05$). A total of 1617 lymph nodes were collected from the 100 patients, among which 124 were metastatic. Perigastric abdominal and costal lymph node metastasis was the most common type (57 nodes, 45.97%). There was no statistically significant difference in the accuracy of evaluating lymph node metastasis between the two examination methods ($P>0.05$). The sensitivity and negative predictive value of DWI-MRI were higher than those of PET ($P<0.05$), while its specificity and positive predictive value were lower than those of PET ($P<0.05$). There was no statistically significant difference in the diagnostic accuracy between the two examination methods in evaluating the location of metastatic lymph nodes (middle and lower thoracic region, abdominal and costal regions), lymph node size<5 mm, and the area occupied by intranodal cancer nests<1/3 ($P>0.05$). However, DWI-MRI showed a significantly higher diagnostic accuracy than PET in assessing the location of metastatic lymph nodes (cervical and upper thoracic regions), lymph node size≥5 mm, intranodal cancer nest size (<5 mm, 5~10 mm, >10 mm), and the area occupied by intranodal cancer nests≥1/3 ($P<0.05$). **Conclusion** Both DWI-MRI and PET have certain diagnostic value in the evaluation of lymph node metastasis in esophageal cancer, while DWI-MRI demonstrates higher accuracy in assessing the relevant characteristics of lymph node metastasis in the cervical and upper thoracic regions.

Keywords: esophageal cancer; lymph node metastasis; diffusion-weighted magnetic resonance imaging; positron emission tomography; diagnostic value

食管癌是一种常见的恶性肿瘤，淋巴结转移在临床上是其重要的评估指标之一。准确评估食管癌淋巴结转移及其程度对于指导患者的治疗方案选择和预后判断至关重要[1]。正电子发射断层扫描（positron emission tomography，PET）是一种非侵入式的全身性影像学检查方法，通过注射放射性示踪剂（如18F-FDG）评估肿瘤的代谢活性[2]，可以提供高敏感度的图像，并能够同时评估多个淋巴结区域的转移情况[3-4]。弥散加权磁共振成像（diffusion weighted magnetic resonance imaging，DWI-MRI）是一种高分辨率、非侵入式的影像学检查方法，其基于水分子的热运动，可以评估组织的弥散程度[5]。由于肿瘤组织与正常淋巴结组织的细胞密度和排列方式不同，因此DWI-MRI可以帮助识别淋巴结区域中的转移灶[6]。目前，食管癌淋巴结转移常用的影像学检查方法包括PET和DWI-MRI，这两种检查方法各有优劣：PET虽以高敏感度、全身成像及较强的代谢活性评估能力成为淋巴结转移筛查的“金标准”，但其假阳性率高、空间分辨率有限，在精准分期和微小转移灶识别上存在短板；DWI-MRI则凭借高软组织分辨率、无辐射及基于表观扩散系数（apparent diffusion coefficient，ADC）的定量分析特性，在区分淋巴结良恶性方面具有独特优势，但易受运动伪影、磁场不均匀性干扰，且对代谢活跃度低的转移灶检出敏感度不足。因此，本研究回顾性分析本院收治的100例食管鳞状细胞癌患者的临床资料，旨在探究DWI-MRI与PET在评估食管癌淋巴结转移中的价值，现报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析2019年4月至2023年4月本院收治的100例食管鳞状细胞癌患者的临床资料。其中男78例，女22例；年龄39~74岁，平均（56.14±13.24）岁；节点位置：颈部18个、上胸25个、中下胸24个、腹部及肋部57个；节点大小：<5 mm有16个、5~10 mm有61个、>10 mm有47个；结内癌巢穴大小：<5 mm有82个、5~10 mm有24个、>10 mm有18个；结内癌巢穴占据区域：<1/3有48个、1/3~2/3有22个、>2/3有54个。纳入标准：①年龄≤75岁；②接受DWI-MRI、PET检查；③行食管切除术和淋巴结清扫术治疗，具备明确的术后病理诊断；④临床资料完整。排除标准：①合并重要脏器器质性疾病；②行新辅助放化疗；③合并其他恶性肿瘤；④合并凝血异常；⑤伴免疫功能障碍。本研究方案已获得我院伦理委员会批准（批准号：20190924），患者及家属对研究知情，并签署了同意书。

1.2 方法

DWI-MRI检查：应用Philips Achieva 3.0T磁共振扫描仪，采用16通道体相控阵线圈和敏感度编码扫描技术，扫描范围自锁骨上区至肝下缘。常规SE/TSE序列扫描参数：横断面T2WI TR 4 000 ms，TE 90 ms，层厚4 mm，间隔1 mm，FOV 320 mm×320 mm，矩阵512×512，NSA 5。DWI-MRI扫描参数：采用轴位单次激发SE-EPI序列，TR 1 450 ms，TE 55 ms，层厚4 mm，间隔0.5 mm，FOV 400 mm×400 mm，矩阵256×256，NSA 7，b值600 s/mm。

DWI图像由2位具有15年CT及MRI诊断工作经验的主任医师采用双盲法读片分析。通过多方位成像（如横断面、冠状面、矢状面）全面观察纵隔结构，并结合黑血技术抑制血管信号，减少搏动伪影。当DWI-MRI图像上信号高于同层面脊髓，且T2WI序列相应层面淋巴结同时满足短径≥0.5 cm、边缘模糊、形态不规则时，提示转移淋巴结。

PET检查：检查前禁食6 h以上，禁饮2 h，保持血糖低于9 mmol/L，静脉注射18F-FDG 3.7~5.5 MBq/kg。平静休息60 min后用GE Discovery LS PET-CT进行全身图像采集，利用CT图像作为衰减校正数据，采用有序子集最大期望值进行横断面、冠状面、矢状面衰减和未衰减图像重建，并根据患者体质量、注射剂量、等待时间和病变部位放射性计数，计算机自动计算出组织标准摄取值（standardized uptake value，SUV），病变部位SUV≥3.0视为转移或复发。

1.3 观察指标

比较两种检查方式临床分期诊断准确性、评估淋巴结转移准确性（敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、总体准确性）、评估转移性淋巴结相关特征（节点位置、节点大小、结内癌巢穴大小、结内癌巢穴占据区域）准确性的差异。淋巴结是否转移以病理切片中是否出现癌细胞浸润为准；结内癌巢穴大小需与病理测量的转移灶实际尺寸对比；结内癌巢占据区域需与病理描述的转移灶分布范围（如局灶性、弥漫性）匹配。临床分期标准：采用国际通用的食管癌TNM分期系统，将影像学评估的淋巴结转移情况与病理分期结果比对，验证分期的准确性。

1.4 统计学处理

应用SPSS 22.0软件进行数据分析。计数资料以率（%）表示，行χ^2检验；正态分布的计量资料以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，组间比较行独立样本t检验，两种方法检查的一致性使用*Kappa*检验评估。$P<0.05$为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两种检查方式临床分期诊断比较

两种检查方式诊断临床分期的准确率比较,差异无统计学意义(P>0.05),但DWI-MRI检查高估率高于PET检查(P<0.05),低估率低于PET检查(P<0.05),见表1~2。

表1 两种检查方式临床分期的诊断情况比较(个)

病理分期	DWI-MRI检查				PET检查			
	N0	N1	N2	N3	N0	N1	N2	N3
N0	44	8	0	0	49	3	0	0
N1	8	17	3	0	18	10	0	0
N2	1	10	7	0	8	7	3	0
N3	0	2	0	0	2	0	0	0

表2 两种检查方式临床分期诊断的准确性比较[例(%)]

检查方式	n	准确	高估	低估
DWI-MRI检查	100	68(68.00)	11(11.00)	21(21.00)
PET检查	100	62(62.00)	3(3.00)	35(35.00)
χ^2		0.791	4.916	4.861
P		0.374	0.027	0.027

2.2 两种检查方式评估淋巴结转移的准确性分析

100例患者中共收集到1 617个淋巴结,有124个淋巴结转移,见表3。其中最常见的为胃周围腹部及肋部转移(45.97%)。两种检查方式评估淋巴结转移的准确性比较,差异无统计学意义(P>0.05),但DWI-MRI检查敏感度、阴性预测值高于PET检查,特异度、阳性预测值低于PET检查(P<0.05),见表4。与病理检查相比,DWI-MRI检查、PET检查评估淋巴结转移情况的*Kappa*值分别为0.697、0.607。

表3 两种检查方式评估淋巴结转移分析(个)

检查方式		病理检查		
		转移	未转移	合计
DWI-MRI检查	转移	83	24	107
	未转移	41	1 469	1 510
PET检查	转移	60	7	67
	未转移	64	1 486	1 550

表4 两种检查方式评估淋巴结转移的准确性比较(%)

组别	敏感度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	准确性
DWI-MRI检查	66.94	98.39	77.57	97.28	95.98
PET检查	48.39	99.53	89.55	95.87	95.61
χ^2	8.737	9.420	4.040	4.614	0.276
P	0.003	0.002	0.044	0.032	0.599

2.3 两种检查方式评估转移性淋巴结相关特征比较

两种检查方式评估淋巴结转移节点位置(中下胸、腹部及肋部)、节点大小<5 mm、结内癌巢穴占据区域<1/3的准确率比较,差异无统计学意义(P>0.05),但在评估淋巴结转移节点位置(颈部、上胸)、节点大小≥5 mm、结内癌巢穴大小(<5 mm、5~10 mm、>10 mm)、结内癌巢穴占据区域≥1/3时,DWI-MRI检查准确率均高于PET检查(P<0.05),见表5。

表5 两种检查方式评估转移性淋巴结相关特征比较[个(%)]

转移性淋巴结相关特征		n	DWI-MRI检查	PET检查	χ^2	P
节点位置	颈部	18	16(88.89)	4(22.22)	16.200	<0.001
	上胸	25	17(68.00)	10(40.00)	3.945	0.047
	中下胸	24	16(66.67)	12(50.00)	1.371	0.242
	腹部及肋部	57	34(59.65)	34(59.65)	0.000	1.000
节点大小	<5 mm	16	4(25.00)	6(37.50)	0.582	0.446
	5~10 mm	61	37(60.66)	20(32.79)	9.516	0.002
	>10 mm	47	42(89.36)	34(72.34)	4.398	0.036
结内癌巢穴大小	<5 mm	82	44(53.66)	31(37.80)	4.152	0.042
	5~10 mm	24	21(87.50)	15(62.50)	4.000	0.046
	>10 mm	18	18(100)	14(77.78)	4.500	0.034
结内癌巢穴占据区域	<1/3	48	20(41.67)	18(37.50)	0.174	0.676
	1/3~2/3	22	17(77.27)	10(45.45)	4.697	0.030
	>2/3	54	46(85.19)	32(59.26)	9.046	0.003

3 讨论

食管癌是一种常见的消化系统恶性肿瘤,由于受到各地区饮食结构、生活习惯和环境因素等影响,其发病率在全球范围内存在一定的地域差异[7]。在食管癌患者中,淋巴结转移是常见且关键的预后影响因素与治疗决策依据,显著影响治疗策略制定(如手术范围、辅助放化疗方案)及患者长期生存[8-10]。PET是一种核医学影像技术,通过注射放射性同位素标记的葡萄糖分子(如18F-FDG),利用放射性同位素的发射位置和数量来评估人体组织的代谢活性,并生成相应图像[11]。DWI-MRI是一种利用磁共振技术来观察水分子在组织中弥散情况的成像技术[12],可提供关于组织微结构和功能的信息。

本研究结果显示,尽管DWI-MRI与PET在诊断食管癌临床分期的总体准确率上差异无统计学意义,但两者在临床分期偏差的分布上呈现出截然不同的结果,具体表现为DWI-MRI检查的高估率高于PET检查,而低估率则低于PET检查。这一现象主要源于两种成像技术的生物学原理及对肿瘤微环境的敏感度不同。DWI-MRI基于水分子在组织中的弥散程度成像,食管癌原发灶及转移淋巴结往往伴随细胞密度增高及细胞外间隙缩小,导致水分子弥散明显受限,从而在图像上呈高信号。然而,肿瘤周围的炎性水肿、纤维化或治疗后改变同样会引起水分子弥散受限,DWI-MRI难以在形态学上完全区分肿瘤实质与伴随的炎症反应,极易将炎症性增生或反应性淋巴结误判为恶性病灶,从而导致临床分期的高估[11-12]。相反,PET通过检测18F-FDG的摄取来反映组织的葡萄糖代谢水平,虽然恶性肿瘤通常表现为高代谢活性,但部分低分化或印戒细胞癌等特殊类型的食管癌,以及微小淋巴结转移灶,其代谢活性可能并不显著,加之PET空间分辨率的限制,容易造成对微小转移灶的漏诊,进而导致临床分期低估。此外,DWI-MRI对组织微结

构的变化极为敏感，即使在淋巴结形态尚未发生明显肿大但内部结构已被肿瘤细胞浸润时，DWI-MRI也可通过ADC的改变捕捉到异常信号，因此其对阴性病例的排除能力更强，低估率更低。而对于体积较小或代谢活性与背景组织相近的病灶，PET更倾向于将其归为阴性，从而推高了低估率。

本研究结果显示，DWI-MRI和PET两种检查方式评估淋巴结转移的准确性比较差异无统计学意义，但DWI-MRI检查敏感度、阴性预测值高于PET检查，特异度、阳性预测值低于PET检查。DWI-MRI利用不同水分子在组织中的自由扩散程度来生成图像，可以显示病灶内细胞排列、组织构型的变化，对于较小或早期的淋巴结转移有很高的敏感度[13-14]。同时，DWI-MRI还可以显示出低信号强度的病灶，对于正常淋巴结或未转移的淋巴结有很高的阴性预测值。然而，由于DWI-MRI图像仅依赖于水分子的自由扩散，在临床应用中可能存在一些与炎症或其他非恶性病变引起的淋巴结反应相似的假阳性结果[15]。相比之下，PET是一种基于放射性核素注射剂探测肿瘤代谢活动的影像技术，可检测肿瘤细胞的代谢活性，对于高度恶性的淋巴结转移有较高的特异度和阳性预测值[16]。

本研究发现，在评估淋巴结转移节点位置（中下胸、腹部及肋部）、节点大小<5 mm、结内癌巢穴占据区域<1/3时，两种检查方式准确率比较差异无统计学意义，但DWI-MRI检查评估淋巴结转移节点位置（颈部、上胸）、节点大小（≥5 mm）、结内癌巢穴大小（<5 mm、5~10 mm、>10 mm）、结内癌巢穴占据区域（≥1/3）的准确率均高于PET检查。DWI-MRI在食管癌淋巴结转移评估中展现出独特的优势，其通过检测组织内水分子扩散运动生成高分辨率图像，这种基于ADC的量化分析能够清晰显示淋巴结转移节点的空间位置，并精确区分病变区域与周围正常组织的边界，尤其在颈部及上胸等解剖结构复杂、脂肪组织较少的区域，DWI-MRI凭借优异的软组织对比度，能有效规避头颈部生理性高摄取（如肌肉、唾液腺）对PET图像的干扰，从而更精准地定位转移淋巴结[17]。对于节点大小<5 mm的微小淋巴结，PET受分辨率等限制，DWI-MRI则因极小体积内水分子扩散不明显，故二者在微小病灶检测上诊断效能相当。当淋巴结体积增大至5 mm及以上时，DWI-MRI能精准反映病理生理状态，区分反应性增生与肿瘤转移，结合常规序列可提供解剖细节，诊断优势显著；而PET易因闪烁伪影等导致误判，且对食管癌伴炎症背景的淋巴结也易出现误诊，故DWI-MRI诊断准确性更高。此外，DWI-MRI不仅能定位病灶，还能通过低信号强度特征评估结内癌巢占据区域的范围，DWI序列结合ADC能直观显示淋巴结内正常高信号髓质的消失及不均匀低信号癌巢的分布，通过ADC的空间异质性分析，可精确量化癌巢是呈局灶性结节状生长还是局限性生长，从而准确计算其占据比例（如1/3~2/3或>2/3），而PET仅能反映整体代谢活跃度，难以区分淋巴结内部的微观浸润模式[18-19]。这种从“定位-定性-定量”的完整评估体系，使得DWI-MRI在食管癌淋巴结转移的精准分期、淋巴结清扫范围及预后评估中具有重要的临床价值，与PET/CT形成优势互补[20]。相比之下，PET检查是基于肿瘤细胞的代谢活性来评估淋巴结转移，其原理决定了对高代谢病灶敏感，但对于分化较好、代谢活性不高的微小转移灶或仅有微观结构改变而代谢活性未显著升高的早期癌巢，敏感度受限[20]。此外，由于PET图像是通过放射性核素注射剂的探测来生成，其固有的空间分辨率（通常为4~5 mm）显著低于MRI，加之食管癌淋巴结常位于胸腔入口、纵隔等呼吸运动伪影较重区域，易导致图像模糊和边界不清，进而造成对淋巴结具体位置、实际大小及内部癌巢侵犯范围的评估准确性下降，尤其在评估结内癌巢占据比例时，PET的低分辨率使其难以精确勾勒癌巢与淋巴组织的边界。

综上所述，DWI-MRI与PET在评估食管癌淋巴结转移中均具有一定诊断价值，但DWI-MRI评估淋巴结转移相关特征的准确性更高。

[参考文献]

[1] 余 鎏，黄玲玲，袁振亚，等. 基于CT平扫影像组学模型预测食管癌淋巴结转移[J]. 中国医学影像技术，2021，37(9)：1333-1337. doi：10.13929/j.issn.1003-3289.2021.09.014.

[2] 陆晓骞，宗凌燕，沈 琪. 正电子发射断层扫描/计算机断层扫描(PET/CT)成像在肿瘤筛查中的应用进展[J]. 中国辐射卫生，2023，32(1)：66-69. doi：10.13491/j.issn.1004-714X.2023.01.014.

[3] 双 江，董江华. 正电子发射计算机断层显像-计算机断层扫描联合磁共振成像对直肠癌淋巴结转移的诊断价值分析[J]. 癌症进展，2021，19(17)：1785-1788. doi：10.11877/j.issn.1672-1535.2021.19.17.16.

[4] 陈领振，刘 枫，陆 园，等. 18F-FDG PET/CT对NSCLC患者纵隔淋巴结转移的诊断价值[J]. 影像技术，2026，38(1)：71-76. doi：10.3969/j.issn.1001-0270.2026.01.12.

[5] Das P，Dixit R，Prakash A，et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of abdominal tuberculosis：a new take on an old disease[J]. Abdom Radiol (NY)，2022，47(10)：3446-3458. doi：10.1007/s00261-022-03607-0.

[6] Li X，Yuan F，Ni L，et al. Meta-analysis of MRI in predicting early response to radiotherapy and chemotherapy in esophageal cancer[J]. Acad Radiol，2025，32(2)：798-812. doi：10.1016/j.acra.2024.08.055.

[7] 卫 军，马宜传. 能谱CT成像定性评估不同分化食管癌转移淋巴结的应用价值[J]. 蚌埠医学院学报，2021，46(1)：25-28. doi：10.13898/j.cnki.issn.1000-2200.2021.01.007.

[8] 李润霄，沈文斌，曹彦坤，等. 食管癌术后淋巴结跳跃性转移的影响因素及与预后的关系[J]. 现代肿瘤医学，2023，31(9)：1665-1671. doi：10.3969/j.issn.1672-4992.2023.09.015.