

## ·综述·

# 全身 MRI 与 PET/CT 在淋巴瘤骨髓浸润诊断及预后中的作用

岳进 苏丽萍

030001 太原, 山西医科大学研究生学院(岳进); 030013 太原, 山西医科大学附属肿瘤医院血液科(苏丽萍)

通信作者: 苏丽萍, Email: sulp2005@sohu.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2016.01.010

**【摘要】** 淋巴瘤是一种血液系统恶性肿瘤。淋巴瘤骨髓浸润(BMI)使疾病分期上升至 IV 期, 是疾病进展、预后较差的标志。常规部位的骨髓活检(BMB)具有创伤性, 且检出率低。PET/CT 与全身 MRI 的出现, 丰富了 BMI 的检测手段。PET/CT 与全身 MRI 对于淋巴瘤, 尤其是侵袭性淋巴瘤 BMI 均具有较高的检出率, 二者孰高孰低, 尚未定论。对于红骨髓、良性骨髓病变(炎症等)、淋巴瘤 BMI 病灶以及肿瘤治疗后骨髓的变化与骨髓残留或复发病灶, 全身 MRI 很难区分, 而 PET/CT 却可以很好地鉴别这些病灶。但是, PET/CT 存在电离辐射; 对于惰性淋巴瘤的 BMI, 超出 PET/CT 分辨率的病灶, 可能出现假阴性; 某些情况会限制 PET/CT 的使用, 包括  $^{18}\text{F}$ -FDG 生理性摄取量可能发生改变的正常组织、 $^{18}\text{F}$ -FDG 摄取相关性炎症、高血糖或高胰岛素血症导致的  $^{18}\text{F}$ -FDG 分布的改变、肿瘤患者治疗后出现的骨髓活化等。然而, 这些情况可以使用全身 MRI。因此, 全身 MRI 和 PET/CT 相辅相成, 优势互补, 但二者均不能代替 BMB。对于常规 BMB 阴性, 但影像学提示阳性的患者, 在影像学引导下进行 BMB, 可以提高 BMI 的检出率。另外, 全身 MRI 阳性的淋巴瘤 BMI 患者与全身 MRI 阴性的淋巴瘤 BMI 患者相比, 前者预后可能较差。

**【关键词】** 淋巴瘤; 磁共振成像; 正电子发射断层摄影术; 体层摄影术, X 线计算机; 骨髓浸润; 预后

**基金项目:** 山西省卫生厅科技攻关计划项目(2011044)

## Function of whole-body MRI and PET/CT in the diagnosis and prognosis of lymphoma with bone marrow infiltration Yue Jin, Su Liping

Department of Graduated, Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China(Yue J); Department of Hematology, Affiliated Shanxi Tumor Hospital, Shanxi Medical University, Taiyuan 030013, China(Su LP)  
Corresponding author: Su Liping, Email: sulp2005@sohu.com

**【Abstract】** Lymphoma is a malignant tumor of the blood system. Bone marrow infiltration (BMI) advances the disease to stage IV and is a marker of disease progression and poor prognosis. Conventional bone marrow biopsy is a traumatic detection, and the rate is low. The emergence of PET/CT and whole-body MRI supplements the means of BMI detection. PET/CT and whole-body MRI both exhibit a high detection rate for lymphoma BMI, particularly for aggressive lymphoma BMI. However, both approaches to determine high and low is inconclusive. For red bone marrow, benign bone marrow lesions (inflammation and others), lymphoma BMI lesions, as well as bone marrow changes after tumor therapy and bone marrow residual or recurrent lesions, whole body MRI is difficult to distinguish. PET/CT can excellently identify these lesions. However, PET/CT uses ionizing radiation; false negative results can be present for inert lymphoma BMI lesions and lesions beyond the PET/CT resolution. Certain circumstances may limit the use of PET/CT, including normal tissue, whose  $^{18}\text{F}$ -FDG physiological uptake may change; inflammation, which is related to  $^{18}\text{F}$ -FDG uptake, changes in the distribution of  $^{18}\text{F}$ -FDG caused by high blood glucose or high blood insulin, bone marrow activation in tumor patients after treatment, and so on. In these cases, we can use whole-body MRI. Therefore, the two approaches are complementary. Neither PET/CT nor whole body MRI can replace BMB. BMB under the guidance of PET/CT or whole-body MRI consid-

erably improves the detection rate of BMI for patients with negative BMB findings, but imaging findings are positive. In addition, whole-body MRI-positive patients may present poorer prognosis than whole-body MRI-negative patients.

**【Key words】** Lymphoma; Magnetic resonance imaging; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Bone marrow infiltration; Prognosis

**Fund program:** Programs for Science and Technology Development of Shanxi Health Department (2011044)

初诊的淋巴瘤患者是否存在骨髓浸润(bone marrow infiltration, BMI)对于疾病分期、治疗方案的选择及预后具有重要意义。BMI使分期上升至IV期,是疾病进展、预后较差的标志。目前,临床上主要依靠常规部位(髂前上棘、髂后上棘、胸骨)骨髓活检(bone marrow biopsy, BMB)诊断BMI。但是,BMB是一种有创性操作,存在抽样误差。而且,BMI病灶存在弥漫性和局灶性两种类型,对于不在常规穿刺部位的局灶性BMI病灶,BMB可能出现假阴性。这些缺陷限制了BMB的应用。全身MRI可以弥补BMB的不足,提高淋巴瘤BMI的检出率。全身MRI与PET/CT相辅相成,各具优势。另外,全身MRI对淋巴瘤BMI患者的预后可能具有预测价值。

## 1 全身MRI

### 1.1 全身MRI检测淋巴瘤BMI的原理

全身MRI是一种无创性检查,可以在高分辨率下观察骨髓成分,因其是一项全身性检查,因此避免了常规部位BMB所带来的抽样误差。如果全身MRI足够敏感,并且有较高的阴性预测值,则可以用其来排除淋巴瘤BMI,从而避免了不必要的BMB。目前,大部分MRI都在3T场强下进行,与1.5T场强相比,大大提高了信噪比,使MRI检测BMI病灶的能力更为强大<sup>[1-2]</sup>。

目前,全身MRI检测淋巴瘤BMI较常用的序列包括T1加权成像(T1-weighted imaging, T1WI)、饱和脂肪T2加权成像(fat-saturated T2-weighted imaging, T2WI)、短时反转恢复序列(short-inversion time-inversion recovery imaging, STIR)、磁共振弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)等。

成人的正常骨髓主要是黄骨髓,富含脂肪组织,细胞含量较少,在T1WI表现为高信号,在STIR或T2WI表现为低信号。儿童的正常骨髓主

要为红骨髓,细胞含量较高,脂肪含量较少,在T1WI主要表现为低信号,在STIR或T2WI表现为高信号。随着年龄增长,儿童骨髓中的细胞含量逐渐减少,脂肪含量逐渐增加,在T1WI信号强度逐渐升高,在STIR或T2WI序列信号强度逐渐降低。成人的正常骨髓在T1WI的信号强度高于周围肌肉组织,在STIR或T2WI的信号强度低于周围肌肉组织。淋巴瘤细胞BMI,瘤细胞取代了正常脂肪成分,使骨髓中细胞成分含量增高,脂肪成分含量降低。在T1WI上表现为信号强度降低,在STIR或T2WI上表现为信号强度升高,且导致T1和T2弛豫时间的延长。全身MRI的检测主要依靠对肿瘤细胞数量和分布的检测。淋巴瘤BMI病灶在T1WI表现为低于周围肌肉组织的低信号,在STIR或T2WI表现为高于周围肌肉组织的高信号<sup>[3]</sup>。DWI是一种脂肪抑制T2加权序列,其对于水分子的随机运动(布朗运动)很敏感。黄骨髓富含脂肪组织,在DWI上信号强度较低,而红骨髓含水量多,在DWI上信号强度较高。淋巴瘤BMI患者,T2弛豫时间延长,扩散受限,在DWI上表现为高信号强度<sup>[4-5]</sup>。与传统T1WI、T2WI相比,DWI的优势在于病灶与背景之间有良好的对比度,至于DWI其他方面的优势,目前还尚未证实。

### 1.2 全身MRI与BMB对淋巴瘤BMI的诊断

Adams等<sup>[6]</sup>回顾性分析116例同时接受全身MRI和常规BMB的初诊淋巴瘤患者,结果显示,全身MRI检测BMI的灵敏度为45.5%。全身MRI和BMB诊断结果一致者71例(61.2%),其中均为阳性者15例,阴性者56例;不一致者45例(38.8%)。Kwee等<sup>[7]</sup>回顾性分析48例初诊淋巴瘤患者,其中霍奇金淋巴瘤10例,非霍奇金淋巴瘤(non-Hodgkin lymphoma, NHL)38例,所有患者均接受常规BMB及全身MRI(其中48例采用T1WI及STIR,44例采用T1WI、STIR及DWI),结果显示,采用全身

MRI 的 48 例患者中, 与 BMB 结果一致者为 33 例 (68.8%), 其中均为阳性者 5 例, 均为阴性者 28 例, 不一致者 15 例, 以 BMB 为金标准, 灵敏度为 41.7%(5/12); 加用 DWI 的 44 例患者中, 与 BMB 结果一致者为 30 例 (68.2%), 其中均为阳性者 5 例, 均为阴性者 25 例, 不一致者 14 例 (31.8%), 以 BMB 为金标准, 灵敏度为 45.5%(5/11)。

Brennan 等<sup>[8]</sup>对 23 例淋巴瘤患者进行矢状和冠状位全身 MRI(STIR)及脊柱矢状位 T2WI, 其中 18 例进行常规 BMB, 全身 MRI 准确预测了 2 例骨髓受侵患者及 16 例骨髓未受侵患者, 与 BMB 结果一致。

综上所述, 全身 MRI 与 BMB 对淋巴瘤 BMI 的诊断具有较高的一致性, 但在不同的研究中差异较大。目前, 全身 MRI 诊断淋巴瘤 BMI 的能力尚无定论, 临床上更多研究的是全身 MRI 用于对侵袭性淋巴瘤 BMI 的诊断<sup>[6]</sup>。现今, 全身 MRI 还不能代替常规 BMB, 但是对那些位于非常规部位的 BMI 病灶, 可以进行全身 MRI 引导下的 BMB, 以提高 BMB 的检出率。

### 1.3 全身 MRI 对不同类型淋巴瘤的检测

全身 MRI 对侵袭性淋巴瘤和惰性淋巴瘤 BMI 的检测能力是否有所差异, 目前的研究尚无定论。但许多研究发现, 全身 MRI 对侵袭性淋巴瘤 BMI 的灵敏度明显高于惰性淋巴瘤<sup>[2,9]</sup>。至于为何会出现这种情况, 目前还不能完全解释, 推测可能是由于侵袭性非霍奇金淋巴瘤 NHL 与惰性 NHL 相比, 淋巴瘤细胞在骨髓中分布更广泛、更密集, 因而更易被全身 MRI 观察到<sup>[2]</sup>。但也有研究发现, 在侵袭性淋巴瘤和惰性淋巴瘤中, 表观扩散系数并没有明显差别, 推翻了以上假设<sup>[9]</sup>。因此, 具体原因还需进一步研究。

### 1.4 全身 MRI 的局限性

全身 MRI 的局限性: ①全身 MRI 的特异度并不高, 由于信号强度的重叠, 红骨髓、良性骨髓病变(炎症等)和淋巴瘤 BMI 病灶三者之间有时很难区别<sup>[11]</sup>。超微型超顺磁性氧化铁颗粒<sup>[11]</sup>及钆增强序列<sup>[12]</sup>的应用有可能解决这一难题, 但目前尚在研究之中。②全身 MRI 无法区分肿瘤治疗后骨髓的变化与骨髓残留或复发灶<sup>[8,13]</sup>, 因为这两种病灶具有相似的信号强度。

### 1.5 全身 MRI 对淋巴瘤 BMI 患者预后的预测价值

目前关于这方面的相关研究较少。Adams 等<sup>[14]</sup>回顾性分析 38 例 BMB 阴性的初诊弥漫大 B 细胞

淋巴瘤患者, 所有患者均接受全身 MRI 检查, 结果显示, 15 例 (39%) 患者为阳性, 阳性患者的中位生存时间为 2.55 年, 而阴性患者的中位生存时间为 3.47 年。MRI 阳性患者和阴性患者相比, 60 岁以上病例更多 (53% 和 35%), 美国东部肿瘤协作组评分高于 2 分者更多 (13% 和 4%), 血清乳酸脱氢酶水平升高者更多 (67% 和 48%), III 期或 IV 期患者的比例更高 (100% 和 65%), 具有 2 处以上结外病变者的比例更高 (27% 和 22%)。5 例 (33%) MRI 阳性患者与 3 例 (13%) MRI 阴性患者发生疾病复发或进展。3 例 (20%) MRI 阳性患者死亡 (其中 2 例死于疾病进展, 1 例死于并发症), 2 例 (9%) MRI 阴性患者死亡 (1 例死于治疗中的毒性反应, 另 1 例死于心脏疾病, 而与淋巴瘤或治疗本身无关)。全身 MRI 阳性者的无进展生存率和总生存率均低于 MRI 阴性者<sup>[14]</sup>。

Tsunoda 等<sup>[15]</sup>研究也发现, 在 BMB 结果均为阴性的情况下, MRI 阳性者的总生存率明显低于 MRI 阴性者。研究认为, 不论 BMB 的结果如何, MRI 阳性患者的预后均较差, 且更易发生疾病复发、进展或死亡。但该研究也存在局限性。该研究患者中包括低、中、高危组 NHL 和霍奇金淋巴瘤, 不同类型淋巴瘤的预后本身存在差异, 也可能对研究结果造成影响。

总之, 全身 MRI 阳性与全身 MRI 阴性的淋巴瘤 BMI 患者相比, 前者预后可能较差。但由于目前这方面的研究还比较少, 需更多的研究去证实。

## 2 PET/CT 与全身 MRI 对淋巴瘤 BMI 的检测比较

PET/CT 是将解剖结构显像和代谢显像相结合的技术。PET/CT 对于局灶型淋巴瘤 BMI 病灶具有较高的检出率, 但也存在局限性。那么, 全身 MRI 与 PET/CT 相比, 哪种方法更具有优势呢?

### 2.1 PET/CT 与全身 MRI 检测淋巴瘤 BMI

Ribrag 等<sup>[16]</sup>回顾性分析 43 例同时接受 PET/CT、全身 MRI 及常规部位 BMB 的初诊侵袭性淋巴瘤患者, 结果显示, PET/CT 及全身 MRI 均发现 9 例阳性患者, 而在这 9 例患者中, 常规部位 BMB 仅发现 2 例阳性患者。以 BMB 为金标准, 以患者个体为单位, PET/CT 和全身 MRI 的灵敏度均为 100%。但 PET/CT 比全身 MRI 发现更多病灶。以病灶数目为单位, PET/CT 和全身 MRI 的灵敏度分别为 96%

和 83%。无论以个体为单位还是以病灶为单位, PET/CT 与全身 MRI 均具有相近的灵敏度。该研究认为, 对于初诊的侵袭性淋巴瘤患者, PET/CT 和全身 MRI 具有很高的一致性, 二者均能比 BMB 检测到更多的 BMI 病灶, 比 BMB 具有更高的灵敏度。

汤日杰等<sup>[9]</sup>对 79 例初诊且病理证实 NHL 患者进行 PET/CT、大范围 DWI 及 BMB 检查。以 BMB 为金标准, 对比 PET/CT 与大范围 DWI 对淋巴瘤骨髓浸润的检测能力, 结果显示, 79 例 NHL 患者中, BMB 共检出 BMI 25 例 (57 处骨髓); PET/CT 显示 22 例患者 (56 处骨髓) <sup>18</sup>F-FDG 代谢增高; 大范围 DWI 显示 25 例患者 (58 处骨髓) 呈异常高信号灶。PET/CT 检测 BMI 的灵敏度、特异度、准确率、阳性预测值和阴性预测值分别为 80%、96.3%、91.1%、90.9% 和 91.2%, 而大范围 DWI 检查分别为 84.0%、92.6%、89.9%、84.0% 和 92.6%。通过受试者工作特征曲线比较, PET/CT 的  $A_z$  值 (0.911) 稍高于大范围 DWI (0.883), 提示 PET/CT 对淋巴瘤 BMI 的诊断价值较大范围 DWI 稍高, 但差异无统计学意义, 二者均有较高的诊断价值。

总之, PET/CT 与全身 MRI 均对淋巴瘤 BMI 有较高的诊断价值, 孰高孰低, 尚无定论。

## 2.2 PET/CT 与全身 MRI 相辅相成, 优势互补。

### 2.2.1 PET/CT 的优势

①由于信号强度的重叠, 全身 MRI 对红骨髓与淋巴瘤 BMI 病灶很难区分, 而 PET/CT 根据代谢活动的不同, 可以较好地地区分 BMI 病灶与红骨髓 (残余或再生)<sup>[11]</sup>; ②全身 MRI 无法区分肿瘤治疗后骨髓的变化与骨髓残留或复发病灶, 而 PET/CT 作为一种将解剖结构与功能代谢信息相结合的技术, 在这方面有独特的优势<sup>[17]</sup>, 可以较好地地区分这两种病灶<sup>[13]</sup>; ③由于 PET/CT 具有较高的特异度, 对于 PET/CT 诊断为阴性的早期霍奇金淋巴瘤, 可以不进行 BMB; 对于 PET/CT 诊断为阳性, 并且显示局灶性浸润的侵袭性 NHL 患者, 可以在 PET/CT 引导下进行 BMB<sup>[18-19]</sup>。

### 2.2.2 全身 MRI 的优势

①全身 MRI 是一种无电离辐射的检查, 对于那些需要反复多次进行全身影像学检查来监测病情的患者, 全身 MRI 是较好的选择<sup>[20]</sup>。②全身 MRI 可以发现某些 PET/CT 假阴性的惰性淋巴瘤 BMI 病灶。PET/CT 对某些 <sup>18</sup>F-FDG 不摄取或低摄取的情

性淋巴瘤病灶, 容易出现假阴性, 而全身 MRI 却显示异常高信号<sup>[6,9,21]</sup>。这可能是因为密集的肿瘤细胞限制了水分子的运动, 使 DWI 序列呈现高信号<sup>[22]</sup>。③由于全身 MRI 具有较高的分辨率, 因而可以发现一些超出 PET/CT 分辨率的微小病灶<sup>[23]</sup>; ④一些因素可能限制 PET/CT 的使用, 其中包括: <sup>18</sup>F-FDG 生理性摄取量可能发生改变的正常组织、<sup>18</sup>F-FDG 摄取相关性炎症、高血糖或高胰岛素血症导致的 <sup>18</sup>F-FDG 分布的改变、肿瘤患者治疗后出现的骨髓活化等, 这些情况下可以考虑全身 MRI<sup>[23]</sup>。

## 2.3 全身 MRI 与 PET/CT 均不能代替 BMB

虽然全身 MRI 与 PET/CT 对于淋巴瘤 BMI 患者具有较高的检出率, 但仍然不能代替 BMB。Marina 等研究<sup>[24]</sup>发现, 即使是治疗结束 8 年后, 早已达到完全缓解的患者, 全身 MRI 与 PET/CT 结果仍未完全恢复正常, 而 BMB 结果与病情一致。因此, 二者均不能代替 BMB。但对于常规部位的 BMB 阴性, 而影像学提示阳性的患者, 在影像学引导下进行 BMB, 可以提高 BMI 的检出率<sup>[9]</sup>。

## 3 结语

全身 MRI 作为一种无创性的全身检查, 对于淋巴瘤 (尤其是侵袭性淋巴瘤) BMI 的诊断具有较高价值。其与 PET/CT 各具优势与不足, 相辅相成, 但均不能代替 BMB。在全身 MRI 或 PET/CT 引导下进行 BMB, 可以提高 BMI 的检出率。另外, 全身 MRI 提示 BMI 阳性患者的预后可能较差。相信随着科学技术的进步, 全身 MRI 会在淋巴瘤 BMI 的诊断及预后评估方面发挥越来越大的作用。

**利益冲突** 本综述由署名作者按以下贡献声明独立开展, 不涉及任何利益冲突。

**作者贡献声明** 岳进负责论文撰写; 苏丽萍负责该综述论文的提出、设计及论文审阅。

## 参 考 文 献

- [1] Kwee TC, Kwee RM, Verdonck LF, et al. Magnetic resonance imaging for the detection of bone marrow involvement in malignant lymphoma[J]. Br J Haematol, 2008, 141 (1): 60-68. DOI: 10.1111/j.1365-2141.2008.07020.x.
- [2] Adams HJ, Kwee TC, Vermoolen MA, et al. Whole-body MRI for the detection of bone marrow involvement in lymphoma: prospective study in 116 patients and comparison with FDG-PET[J]. Eur Radiol, 2013, 23 (8): 2271-2278. DOI: 10.1007/s00330-013-

- 2835-9.
- [ 3 ] Daldrup-Link HE, Henning T, Link TM. MR imaging of therapy-induced changes of bone marrow[J]. *Eur radiol*, 2007, 17(3): 743-761. DOI: 10.1007/s00330-006-0404-1.
  - [ 4 ] Nakanishi K, Kobayashi M, Nakaguchi K, et al. Whole-body MRI for detecting metastatic bone tumor: diagnostic value of diffusion-weighted images[J]. *Magn Reson Med Sci*, 2007, 6(3): 147-155. DOI: 10.2463/mrms.6.147.
  - [ 5 ] Takenaka D, Ohno Y, Matsumoto K, et al. Detection of bone metastases in non-small cell lung cancer patients: Comparison of whole-body diffusion-weighted imaging (DWI), whole-body MR imaging without and with DWI, whole-body FDG-PET/CT, and bone scintigraphy[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2009, 30(2): 298-308. DOI: 10.1002/jmri.21858.
  - [ 6 ] Adams HJA, Kwee TC, Vermoolen MA, et al. Whole-body MRI for the detection of bone marrow involvement in lymphoma: prospective study in 116 patients and comparison with FDG-PET[J]. *Eur radiol*, 2013, 23(8): 2271-2278. DOI: 10.1007/s00330-013-2835-9.
  - [ 7 ] Kwee TC, Fijnheer R, Ludwig I, et al. Whole-body magnetic resonance imaging, including diffusion-weighted imaging, for diagnosing bone marrow involvement in malignant lymphoma[J]. *Br J Haematol*, 2010, 149(4): 628-630. DOI: 10.1111/j.1365-2141.2010.08093.x.
  - [ 8 ] Brennan DD, Gleeson T, Coate LE, et al. A comparison of whole-body MRI and CT for the staging of lymphoma[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2005, 185(3): 711-716.
  - [ 9 ] 汤日杰, 桂思, 李建成, 等.  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT 与大范围弥散磁共振成像评价非霍奇金淋巴瘤骨髓浸润的对比研究[J]. *中华血液学杂志*, 2014, 35(3): 231-235. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2727.2014.03.011.
  - Tang RJ, Gui S, Li JS, et al. Comparison of  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT and large-scale DWI for evaluation of non-Hodgkin lymphoma bone marrow infiltration[J]. *Chin J Hemorheol*, 2014, 35(3): 231-235.
  - [ 10 ] Kwee TC, Ludwig I, Uiterwaal CS, et al. ADC measurements in the evaluation of lymph nodes in patients with non-Hodgkin lymphoma: a feasibility study[J]. *Magn Res Mater Phys, Biol Med*, 2011, 24(1): 1-8. DOI: 10.1007/s10334-010-0226-7.
  - [ 11 ] Kwee TC, de Klerk JM, Nivelstein RA. Imaging of bone marrow involvement in lymphoma: state of the art and future directions[J]. *Sci World J*, 2011, 11: 391-402. DOI: 10.1100/tsw.2011.40.
  - [ 12 ] Howe BM, Johnson GB, Wenger DE. Current concepts in MRI of focal and diffuse malignancy of bone marrow[J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2013, 17(2): 137-144. DOI: 10.1055/s-0033-1343069.
  - [ 13 ] Basu S, Torigian D, Alavi A. Evolving concept of imaging bone marrow metastasis in the twenty-first century: critical role of FDG-PET[J]. *Eur J Nucl Med Mol imaging*, 2008, 35(3): 465-471.
  - [ 14 ] Adams HJA, Kwee TC, Lokhorst HM, et al. Potential prognostic implications of whole-body bone marrow MRI in diffuse large B-cell lymphoma patients with a negative blind bone marrow biopsy[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2014, 39(6): 1394-1400. DOI: 10.1002/jmri.24318.
  - [ 15 ] Tsunoda S, Takagi S, Tanaka O, et al. Clinical and prognostic significance of femoral marrow magnetic resonance imaging in patients with malignant lymphoma[J]. *Blood*, 1997, 89(1): 286-290.
  - [ 16 ] Ribrag V, Vanel D, Leboulleux S, et al. Prospective study of bone marrow infiltration in aggressive lymphoma by three independent methods: whole-body MRI, PET/CT and bone marrow biopsy[J]. *Eur J Radiol*, 2008, 66(2): 325-331. DOI: 10.1016/j.ejrad.2007.06.014.
  - [ 17 ] 闫瑾, 林祥通. PET 预测及评价肿瘤疗效的新进展[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2006, 30(4): 214-217.
  - Yan J, Lin ST. The new advance of predication and advaluation of tumor therapeutic effects by PET[J]. *Inter J Radiat Med Nucl Med*, 2006, 30(4): 214-217.
  - [ 18 ] Khan AB, Barrington SF, Mikhaeel NG, et al. PET-CT staging of DLBCL accurately identifies and provides new insight into the clinical significance of bone marrow involvement[J]. *Blood*, 2013, 122(1): 61-67. DOI: 10.1182/blood-2012-12-473389.
  - [ 19 ] El-Galaly TC, d'Amore F, Mylam KJ et al. Routine bone marrow biopsy has little or no therapeutic consequence for positron emission tomography/computed tomography-staged treatment-naive patients with Hodgkin lymphoma[J]. *J Clin Oncol*, 2012, 30(36): 4508-4514. DOI: 10.1200/JCO.2012.42.4036.
  - [ 20 ] Littooi AS, Kwee TC, Barber I, et al. Whole-body MRI for initial staging of paediatric lymphoma: prospective comparison to an FDG-PET/CT-based reference standard[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(5): 1153-1165. DOI: 10.1007/s00330-014-3114-0.
  - [ 21 ] Ferrari C, Minoia C, Asabella AN, et al. Whole body magnetic resonance with diffusion weighted sequence with body signal suppression compared to  $^{18}\text{F}$ -FDG PET/CT in newly diagnosed lymphoma[J]. *Hell J Nucl Med*, 2014, Suppl1: 40-49.
  - [ 22 ] Abdulqadhr G, Molin D, Astrom G, et al. Whole-body diffusion-weighted imaging compared with FDG-PET/CT in staging of lymphoma patients[J]. *Acta Radiol*, 2011, 52(2): 173-180. DOI: 10.1258/ar.2010.100246.
  - [ 23 ] Wu X, Kellokumpu-Lehtinen PL, Pertovaara H, et al. Diffusion-weighted MRI in early chemotherapy response evaluation of patients with diffuse large B-cell lymphoma-a pilot study: comparison with 2-deoxy-2-fluoro-D-glucose-positron emission tomography/computed tomography[J]. *NMR Biomed*, 2011, 24(10): 1181-1190. DOI: 10.1002/nbm.1689.
  - [ 24 ] Marina V, Milena R, Vesna P, et al. Complementary roles of bone scintigraphy and MR imaging in the detection and long-term follow-up of primary non-Hodgkin's bone lymphoma in a child-case report[J]. *Skeletal Radiol*, 2015, 44(6): 863-868. DOI: 10.1007/s00256-014-2067-3.

(收稿日期: 2015-08-05)