

Preliminary comparison of whole-body diffusion-weighted MRI and PET on tumor imaging

KANG Hou-yi¹, ZHANG Wei-guo^{1*}, JIN Rong-bin², WANG Yi¹, CHEN Jin-hua¹,
ZHANG Le-tian¹, WANG Li-li¹, ZOU Bo¹, MA Chang-suo¹

(1. Department of Radiology, 2. Department of Nuclear Medicine, Third Affiliated Hospital and
Research Institute of Surgery, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China)

[Abstract] **Objective** To assess the value of clinical applications of whole-body diffusion-weighted imaging (WB-DWI) in diagnosing patients with malignant tumors compared with positron emission tomography (PET). **Methods** A total of 22 patients with highly suspected malignant tumors underwent WB-DWI after PET. The differences between the two imaging methods were compared in displaying lesions, and the correlation between ADC and SUV value was analyzed. **Results** More lesions were showed with WB-DWI than PET. There was no significant difference between the two methods in detecting the lesions of lung, mediastinal septum or abdomen ($P>0.05$), but more lesions in skeleton were showed with WB-DWI ($P<0.05$). No significant correlation between ADC and SUV value was found. **Conclusion** Compared with PET, WB-DWI can detect more tumor lesions. The sensitivity of WB-DWI in detecting metastatic tumors of bone is higher than that of PET.

[Key words] Magnetic resonance imaging; Diffusion-weighted imaging; Positron-emission tomography; Neoplasms

肿瘤 MR 全身弥散加权成像与 PET 成像初步对比

康厚艺¹, 张伟国^{1*}, 金榕兵², 王 毅¹, 陈金华¹, 张乐天¹, 汪黎黎¹, 邹 博¹, 马长锁¹

(1. 第三军医大学第三附属医院野战外科研究所放射科, 2. 核医学科, 重庆 400042)

[摘要] **目的** 通过与 PET 成像比较, 探讨 MR 全身弥散加权成像(WB-DWI)在肿瘤诊断中的应用价值。 **方法** 采用 1.5T MR 对 22 例临床高度怀疑为恶性肿瘤并已完成 PET 检查的患者行 WB-DWI 扫描, 比较两种成像方法对病变显示的差异以及病变的 ADC 值与 SUV 值相关性。 **结果** WB-DWI 所见病灶数目多于 PET 检查, 两种方法检出的肺、纵隔及腹部病灶数差异无统计学意义($P>0.05$), WB-DWI 检出骨的病灶数多于 PET 检查, 差异有统计学意义($P<0.05$)。两种方法检出病灶的部位大多数一致。病变的 ADC 值与 SUV 值无相关性。 **结论** 与 PET 成像相比较, WB-DWI 显示的肿瘤病灶数量较多, 对成人转移性骨肿瘤的显示敏感性高于 PET, 可作为肿瘤全身筛查的一种补充方法。

[关键词] 磁共振成像; 弥散加权成像; 正电子发射断层摄影; 肿瘤

[中图分类号] R455.2; R730.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2010)04-0748-04

本研究对同时接受 PET 和 MR 全身弥散加权成像(whole-body diffusion-weighted imaging, WB-DWI)检查的患者所检出的各部位病灶数目进行比较, 探讨 MR WB-DWI 技术在检测肿瘤性病变中的可行性及应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

1.1.1 病例组 收集 2008 年 9 月—2009 年 1 月于本院就诊的临床高度怀疑恶性肿瘤并接受 PET 检查的 22 例患者, 其

中男 16 例, 女 6 例, 年龄 9~75 岁, 平均 55.6 岁, 包括肺癌 13 例, 肺部炎性假瘤、肺部良性肿瘤、宫颈癌术后、前列腺癌、肾上腺神经母细胞瘤、肾癌术后、结肠癌、胰腺癌和鼻咽癌各 1 例。12 例患者经手术或活检病理证实, 其余患者为临床确诊: 1 例肺部良性肿瘤患者随访观察病变消失, 1 例前列腺癌患者通过 PAS 检测和常规 MR 检查确诊, 1 例胰腺癌患者综合临床表现及 CT 多期扫描确诊, 7 例肺癌患者通过多次 CT 检查和常规 MR 检查发现原发病变及转移病灶未接受手术切除。PET 检查与 MR WB-DWI 检查时间间隔不超过 2 天。

1.1.2 正常对照组 选择常规体检正常且已接受 PET 检查的健康志愿者 12 名, 其中男 8 名, 女 4 名, 年龄 20~54 岁, 平均 30.2 岁。所有志愿者均签署知情同意书。

1.2 MR 检查 应用 GE Signa HDx 1.5 T 双梯度超导型

[作者简介] 康厚艺(1983—), 女, 重庆人, 本科, 医师。研究方向: 神经影像学。E-mail: kangli0925@yahoo.com.cn

[通讯作者] 张伟国, 第三军医大学第三附属医院野战外科研究所放射科, 400042。E-mail: wguo.zhang@gmail.com

[收稿日期] 2009-06-16 **[修回日期]** 2010-03-02

MR 扫描仪,磁体内置体线圈,扫描序列为单次激发自旋回波-平面回波成像(spin-echo echo-planar imaging, SE-EPI)序列,脂肪抑制短 T1 反转恢复(short T1 inversion-recovery, STIR)。扫描参数:TR 5100 ms,TE 97.1 ms,FOV 40×40,层厚 7 mm,层间距 1 mm,矩阵 128×128,NSA 4,自由呼吸下完成。扩散敏感系数 $b=0$ 和 600 s/mm^2 。扫描分为 8 段,每段 40 层,每段扫描时间约 4 min,完成全身扫描约 30 min。

1.3 图像后处理 扫描结束后用 ADD/SUB 软件对 8 段原始图像进行叠加,行最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)三维重建及黑白翻转显示,观察病变位置、体积及远隔主病灶器官的受累情况。在断层 ADC map 图像上选定兴趣区(region of interest, ROI)测量表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC),ROI 选取病灶最大层面,尽量避开血管和伪影,分别测量肿瘤实质、瘤内坏死区域或淋巴结的 ADC 值。如出现 MR WB-DWI 阳性而 PET 显像阴性的病灶,则行局部 MR 扫描帮助判断。由 2 名放射科诊断医师采用双盲法判读,最终达成一致意见。

1.4 PET 检查 使用 Siemens ECAT EXCAT HR+型 PET 扫描仪,¹⁸F-DG 显像剂由本所 PET 中心生产(仪器为 CTI RDS111 型回旋加速器及自动化合成模块),产品澄清透明、pH 值 7.3、放化纯度>95%。受检者空腹>6 h,经血糖仪确认血糖在正常水平(糖尿病患者血糖经临床控制到正常后再接受检查)。静脉注入放射性核素示踪¹⁸F-FDG,分别于 60 min 和 180 min 行 3D 图像采集,范围自颅底至盆底。图像重建后进行分析,由核医学科诊断医师确认放射性核素浓聚灶。并记录病变标准摄取量(standard uptake value, SUV)值。

1.5 统计学分析 将病灶按照发病部位划分为肺、纵隔、骨、颈部及腹部 5 个部位,分别统计每例患者 PET 和 MRI 检出的病灶数目,应用 SPSS 12.0 统计软件进行统计分析,应用 t 检验比较两种方法检出各部位病灶数。逐一对比观察 MR 与 PET 图像,并记录两种方法检查出的相同及不同位置的病灶数目,判断其符合情况。采用 Pearson 相关分析观察双肺、纵隔、四肢骨病灶的 ADC 值与 SUV 值的相关性, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

正常对照组颅脑、椎间盘、脾脏、双肾、子宫及前列腺外周带均显影,胆囊及胃肠道内容物可显影,双肺、纵隔及肝脏不显影;颈部及双膝关节噪声大。

2.1 病灶数目 参照正

常对照组的显影组织,目测法观察病灶及其分布。PET 检出单发病灶 4 例,多发病灶(多发转移)16 例,阴性 2 例,共 93 处病灶。WB-DWI 检出单发病灶 4 例,多发病灶(图 1)18 例,共 128 处病灶。其中 2 处肺内病灶在 WB-DWI 三维重建上未显影或显影浅淡,在 ADC 图上见到结节状明显异常信号。1 例肾癌术后患者 PET 阴性,而 WB-DWI 发现 1 处病变,测得平均 ADC 值为 $2.91\times 10^{-3}\text{ mm}^2/\text{s}$,弥散不受限,考虑病变液化坏死(图 2)。因 1 例肺癌伴全身骨转移病变数目多于 50 处、1 例结肠癌伴肝脏多发转移患者病灶分界不清,均难于统计,故仅对其余 20 例患者行病灶数量统计,发现各部位 WB-DWI 所见病灶数目均多于 PET,两种方法检出的肺、纵隔及腹部病灶数差异无统计学意义,检出骨病灶数差异有统计学意义(表 1)。另外,PET 共检出 2 例颈部病变,共 4 处病灶;WB-DWI 检出 4 例共 11 处病灶。

表 1 两种方法检出各部位病灶数的比较

部位	PET	WB-DWI	t 值	P 值
肺	1.67 ± 2.13	1.80 ± 2.34	-1.00	0.33
纵隔	2.33 ± 1.80	2.78 ± 2.54	-1.32	0.23
骨	4.38 ± 1.10	6.38 ± 4.03	-3.19	0.02
腹部	1.14 ± 0.69	1.71 ± 0.76	-1.92	0.10

2.2 病灶部位 两种方法检出病灶的部位大多一致,但 WB-DWI 发现多处 PET 阴性病灶,除颈部外,其余部位均存在 PET 阳性而 WB-DWI 阴性病灶(表 2)。在仅 WB-DWI 检出病变中,常规 MRI 检出所有病理证实为肺癌的成人患者存在的骨病变;常规 CT 检测到 1 例宫颈癌术后患者存在肺部病变。

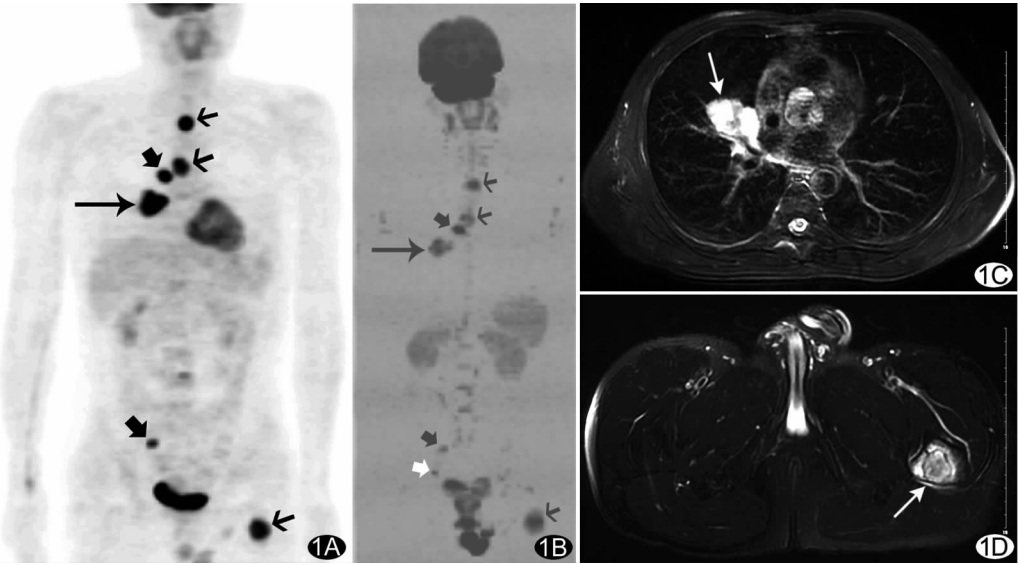


图 1 肺癌伴多发转移 PET(A)和 MR DB-DWI(B)图像均显示肺部肿块(长箭)、纵隔及腹腔淋巴结(宽箭)、胸椎及左侧股骨病变(短箭),WB-DWI 示腹腔另一病灶(假阳性)(白宽箭)。常规 MRI 可显示右侧肺(C)及左侧股骨(D)病灶(箭)

2.3 ADC 值与 SUV 值的比较 双肺及纵隔病变的 ADC 值与 SUV 值的相关系数为 $-0.483 (P = 0.051)$; 骨关节病变 ADC 值与 SUV 值的相关系数为 $-0.481 (P = 0.071)$, 提示病变的 ADC 值与 SUV 值无相关性。

3 讨论

评估肿瘤患者的全身情况对临床选择治疗方式及评价疗效至关重要^[1]。PET 对检出全身恶性肿瘤具有高灵敏度和高特异度^[2], 在肿瘤的诊断方面有重要临床应用价值。

PET 虽然存在假阳性和假阴性结果, 如高分化肝细胞癌由于癌细胞内葡萄糖-6-磷酸酶有较高的活性, 造成磷酸化了的氟脱氧葡萄糖 (fluorodeoxyglucose, FDG) 去磷酸化生成游离 ^{18}F -FDG 而游离出肝癌细胞, 呈假阴性; 另外, 炎症、结核和肿瘤病灶均能摄取药物, PET 能区别肺内炎症和肿瘤, 但不能准确区别结核瘤和肿瘤^[3]; 药物自泌尿系统和胃肠道排泄, 此部位病变容易被掩盖, 易产生假阴性结果, 但由于绝大多数恶性肿瘤细胞具有高代谢的特点, PET 仍然受到临床广泛认可与重视。

表 2 两种方法检出的病灶部位的符合情况(处)

部位	符合数目	不符合数目	
		仅 WB-DWI 显示	仅 PET 显示
肺	24	3	1
纵隔	19	4	2
骨	33	16	2
腹部	7	11	1
颈部	4	7	0
合计	87	41	6

DWI 是 MR 功能成像中的一种新技术, 最早应用于中枢神经系统^[4-6]。近年来, 随着高场强 MR 的应用, 单次激发 EPI 及多线圈并行采集技术的应用大大缩短了扫描时间, 其采集时间 $< 50 \text{ ms}$, 影响图像质量的生理活动如呼吸、心跳等均可被冻结, 使得体部 DWI 的应用成为可能。Takahara 等^[7-8]提出了一个统一的名称——背景抑制磁共振扩散加权成像 (diffusion weighted whole-body imaging with background suppression, DWIBS)。STIR 序列代替原来的预饱和和反转恢复序列进行压脂, 背景抑制效果好、稳定可靠。DWI 中脂肪、肌肉和血管等组织均呈低信号, 而淋巴结、肿瘤等呈明显高信号易于辨认^[9]。

本研究结果表明, WB-DWI 与 PET 在肺和纵隔有很好

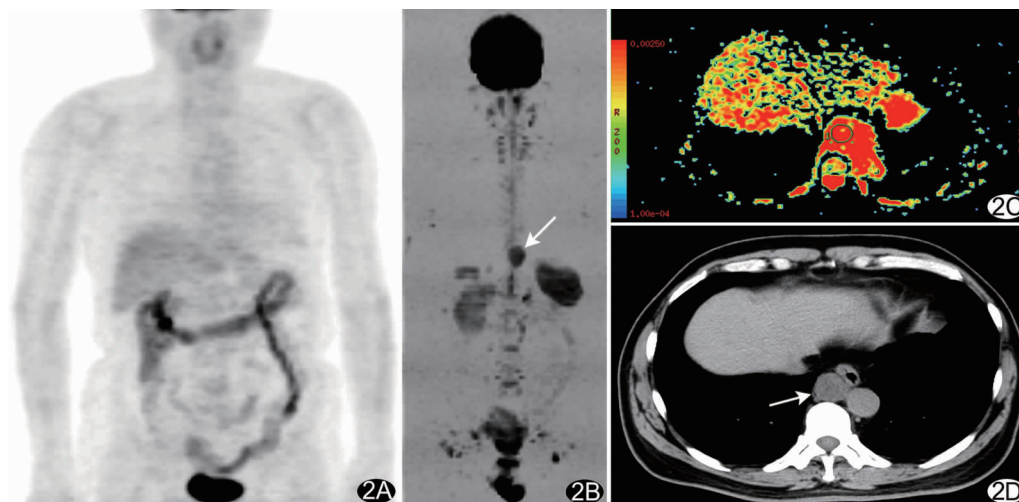


图 2 肾癌术后 A. PET 检查为阴性; B. MR WB-DWI 示纵隔有一结节影(箭); C. ADC 图见 ADC 值较高; D. CT 示病变液化坏死(箭)

的一致性, 在骨病变中检出的病灶数目及部位均有差异, 在颈部及腹部存在较多 PET 阴性而 WB-DWI 阳性的病灶, 与文献报道基本相符^[10]。由于肺实质含大量气体导致信号缺失, 纵隔由于脂肪丰富和心脏大血管的流空效应, 正常人双肺和纵隔呈低信号, 在良好的背景抑制上易于观察病变。本组 2 例患者的肺部病变在 MIP 三维重建图像中显影浅淡而不易观察, 但在 ADC 图上均显示为异常信号结节。另外, 前述肾癌术后患者, 由于病变坏死无活性, PET 为阴性, 而 WB-DWI 显示后纵隔高信号结节, 并非扩散受限所致, 而是受 T2 穿透效应影响。三维 MIP 和 ADC 图相结合观察可使肺部病灶的检出率提高。1 例宫颈癌术后患者的肺部病灶仅由 DWI 检出, CT 发现了病灶的存在, 随访观察病灶变化不明显, 术后证实为转移瘤, 说明病变的增殖能力不高, 使 PET 未能检出该病变。在纵隔内, PET 检出 2 处病灶, 多于 WB-DWI, 仔细对比图像, 发现 PET 检出病灶部位相当于纵隔淋巴结位置, 多个病灶分界清楚, 而在 WB-DWI 上融为一体, 分界不清, 提示 WB-DWI 的信噪比和分辨力仍然弱于 PET。Schmidt^[11]和 Pfannenbergl^[12]等认为 MRI 对检出骨病变的敏感性高于 PET; Laurent 等^[10]认为 DWI 对发现骨转移起着重要作用。本组病例中, 多处病灶为 WB-DWI 阳性而 PET 阴性, 常规 T1WI 及 T2WI 也发现了这些病变, 其中 2 处股骨病变超出了 PET 扫描范围, 其余 9 处均为脊柱病变, 在一定程度上体现了 WB-DWI 对发现骨转移的敏感性较高。另外 1 例 11 岁患儿的骨病变 PET 阳性、WB-DWI 阴性, 原因在于儿童骨髓中红骨髓多于黄骨髓, 背景抑制效果欠佳, WB-DWI 易于漏、误诊。颈部组织结构复杂, 导致噪声干扰大, 尤其是颅底, WB-DWI 于正常对照组及患者均见多发小结节影, 而 PET 未显影, 考虑为颈部正常淋巴结显影所致。WB-DWI 受胃肠道内容物干扰较大, 在腹部病变中假阳性很高, 但在前列腺及卵巢的显影方面优于 PET。

本研究还发现, 从视觉上看, WB-DWI 与 PET 两种方法显示病变的信号强度一致, 与理论相符。PET 反映恶性肿瘤

细胞的高代谢的特点,表现为放射性浓聚,肿瘤恶性程度越高,往往细胞繁殖越旺盛,对能量物质如葡萄糖的过度利用越明显,对应病灶的 SUV 值越高。同时,恶性肿瘤通常由于干细胞繁殖旺盛,生物膜结构对水分子扩散的限制明显,ADC 值降低,使其于 WB-DWI 上常呈高信号。细胞繁殖越旺盛使得细胞密度越高,ADC 值越小。但¹⁸F-FDG 的摄取还取决于其通过细胞膜的速率和细胞内磷酸化及去磷酸化的过程,SUV 值的大小还受个体差异、部分容积效应等因素影响,且测量数据的时间不完全一致。本研究中患者的 SUV 值与 ADC 值未见明确的线性相关,有待于进一步研究。

WB-DWI 被称作“类 PET”成像,与 PET 成像的符合率不仅体现在病灶的分布部位和数量上,也体现在病灶的信号强度上,提示两种方法在一定程度上可反映肿瘤的恶性程度。同时,与 PET 成像比较,WB-DWI 显示肿瘤病灶数量较多,对成人转移性骨肿瘤的显示敏感性高,但颈部及腹部的成像效果较差。因此,全身 MR-DWI 与 PET 两种技术可互相补充,为临床提供更为全面、有效的信息。由于 WB-DWI 具有价格低廉、无需注射对比剂、无电离辐射、快速全身扫描等多种优势,具有极大的临床应用价值与更为广阔的应用前景。

本研究的不足:样本量不够大;由于 PET 检查本身存在假阳性或假阴性的可能,以 PET 为对照的数据统计存在一定偏倚。

[参考文献]

- [1] Kwee TC, Takahara T, Ochiai R, et al. Diffusion-weighted whole-body imaging with background body signal suppression (DWIBS): features and potential applications in oncology. *Eur Radiol*, 2008,18(9):1937-1952.
- [2] 刘婧慧,冯惠茹.¹⁸F-FLT PET/CT 在肿瘤诊断中的应用. *中国介入影像与治疗学*, 2009,6(4):388-391.
- [3] 谭业颖,田嘉禾,赵周社,等.¹⁸F-FLT 和¹⁸F-FDG 诊断孤立性肺结节误诊原因分析. *中国医学影像学杂志*, 2008,16(5):321-324.
- [4] 徐贤,张金山,马林,等.3.0T 全身扩散加权成像的正常表现和初步临床研究. *中国医学影像技术*, 2007,23(6):793-796.
- [5] 吴旭,马常英,赵霞.全身弥散加权成像技术进展及其临床应用. *中国介入影像与治疗学*, 2009,6(4):382-385.
- [6] Stecco A, Romano G, Negru M, et al. Whole-body diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the staging of oncological patients: comparison with positron emission tomography computed tomography (PET-CT) in a pilot study. *Radiol Med*, 2009,114(1):11-17.
- [7] Takahara T, Imai Y, Yamashita T, et al. Diffusion weighted whole body imaging with background body signal suppression (DWIBS): technical improvement using free breathing, STIR and high resolution 3D display. *Radiat Med*, 2004,22(4):275-282.
- [8] Luboldt W, Küfer R, Blumstein N, et al. Prostate Carcinoma: Diffusion-weighted imaging as potential alternative to conventional MR and ¹¹C-CholinePET/CT for detection of bone metastases. *Radiology*, 2008,249(3):1017-1025.
- [9] Ohno Y, Koyama H, Onishi Y, et al. Non-Small Cell Lung Cancer: whole-body MR examination for M-Stage assessment—utility for whole-body diffusion-weighted imaging compared with integrated FDG PET/CT. *Radiology*, 2008,248(2):643-654.
- [10] Laurent V, Trausch G, Bruot O, et al. Comparative study of two whole-body imaging techniques in the case of melanoma metastases: Advantages of multi-contrast MRI examination including a diffusion-weighted sequence in comparison with PET-CT. *Eur J Radiol*. 2009 Jun 2. [Epub ahead of print].
- [11] Schmidt GP, Baur-Melnyk A, Herzog P, et al. High-resolution whole-body magnetic resonance image tumor staging with the use of parallel imaging versus dual-modality positron emission tomography-computed tomography: experience on a 32-channel system. *Invest Radiol*, 40(12):743-753.
- [12] Pfannenberger C, Aschoff P, Schanz S, et al. Prospective comparison of ¹⁸F-uorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography and whole-body magnetic resonance imaging in staging of advanced malignant melanoma. *Eur J Cancer*, 2007,43(3):557-564.

更 正

2009 年第 25 卷第 10 期《中国医学影像技术》杂志第 1824 页郭梦安同志为第一作者的题为《肝硬化肝功能分级的超声造影定量分析》的文章的基金项目“湖南省教育厅科研项目资助课题(2005B10401040)”的项目编号更正为“09C050”,特此声明。