

- wave myocardial infarction and unstable angina. *Am Heart J*, 1994, 128(3): 452-458.
- [19] Simula S, Vanninen E, Viitanen L, et al. Cardiac adrenergic innervation is affected in asymptomatic subjects with very early stage of coronary disease. *J Nucl Med*, 2002, 43(1): 1-7.
- [20] Hattori N, Tamaki N, Hayashi T, et al. Regional abnormality of iodine-123-MIBG in diabetic hearts. *J Nucl Med*, 1996, 37(12): 1985-1990.
- [21] Nagamachi S, Fujita S, Nishii R, et al. Prognostic value of cardiac I-123 metaiodobenzylguanidine imaging in patients with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *J Nucl Cardiol*, 2006, 13(1): 34-42.
- [22] Gill JS, Hunter GJ, Gane J, et al. Asymmetry of cardiac [¹²³I] metaiodobenzylguanidine scans in patients with ventricular tachy-cardia and a "clinically normal" heart. *Br Heart J*, 1993, 69(1): 6-13.
- [23] Wakasugi S, Fischman AJ, Babich JW, et al. Metaiodobenzylguanidine: evaluation of its potential as a tracer for monitoring doxorubicin cardiomyopathy. *J Nucl Med*, 1993, 34(8): 1283-1286.
- [24] Carrió I, Estorch M, Berná L, et al. Indium-111-antimyosin and iodine-123-MIBG studies in early assessment of doxorubicin cardiotoxicity. *J Nucl Med*, 1995, 36(11): 2044-2049.

(收稿日期: 2011-05-09)

PET-MRI 和多模式肿瘤显像

汪太松 赵晋华 宋建华

【摘要】多模式融合显像已成为临床应用的发展趋势,特别是PET-CT的出现,为临床影像引入了新的观点。事实证明,PET-CT无论在临床诊断还是实验研究中都极具价值,但PET-CT也存在一些不足,主要表现为CT显示软组织的对比度低及对患者会产生一定的辐射剂量,而MRI可以克服CT的这些缺点,其拥有完美的软组织对比度,时间、空间分辨率高,没有辐射危害,MRI本身还可以提供功能信息,因此相信,PET-MRI会在一定程度上替代PET-CT成为多模式肿瘤显像新的发展方向。

【关键词】肿瘤;磁共振成像;正电子发射断层显像术;体层摄影术,X线计算机;图像融合

PET-MRI and multimodal cancer imaging WANG Tai-song, ZHAO Jin-hua, SONG Jian-hua. Department of Nuclear Medicine, the First People's Hospital, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200080, China

Corresponding author: ZHAO Jin-hua, Email: zjh1963@gmail.com

【Abstract】Multimodality imaging, specifically PET-CT, brought a new perspective into the fields of clinical imaging. Clinical cases have shown that PET-CT has great value in clinical diagnosis and experimental research. But PET-CT still bears some limitations. A major drawback is that CT provides only limited soft tissue contrast and exposes the patient to a significant radiation dose. MRI overcome these limitations, it has excellent soft tissue contrast, high temporal and spatial resolution and no radiation damage. Additionally, since MRI provides also functional information, PET-MRI will show a new direction of multimodality imaging in the future.

【Key words】Neoplasms; Magnetic resonance imaging; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Imaging fusion

在PET-CT引领下,PET-MRI的出现成为高敏感性和特异性的生物医学影像技术领域的又一个里程碑。尽管PET-CT在临床实践中已经得到了广泛

应用,但与PET-MRI相比,存在两个缺点:①PET-CT没有实现真正的同步数据采集,患者的医疗照射剂量较高,而PET-MRI能够实现同步数据采集,同时免除了CT部分的辐射剂量;②MRI可以得到高分辨率和对比度的软组织图像,以及进行波谱分析和功能显像,而CT不行。所以,PET-

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2011.05.002

作者单位:200080,上海交通大学附属第一人民医院核医学科

通信作者:赵晋华 (Email: zjh1963@gmail.com)

MRI 与 PET-CT 相比具有明显的优势, PET-MRI 技术的发展最终会体现在临床应用上。

1 PET-CT 和单独 MRI 的临床应用

Mori 等^[1]对 104 例 (140 处病灶)肺部结节或肿块的患者进行术前磁共振弥散加权成像 (diffusion-weighted magnetic resonance imaging, MRDWI)和 ¹⁸F-FDG PET-CT [MRDWI 诊断恶性肿瘤的前提是软组织中水分子弥散程度的差异, 定量方法是测量表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC); PET-CT 定量方法是测量病灶和对侧同部位肺组织的标准化摄取比值 (contrast ratio of standardized uptake value, SUV_{CR}), MRDWI 是测量病灶的最小 ADC], 结果: 受试者工作特征曲线提示, 肺部结节或肿块良恶性鉴别诊断中的最小 ADC 和 SUV_{CR} 阈值分别为 $1.1 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 和 0.37, MRDWI 和 PET-CT 的灵敏度分别为 70%和 72%, 特异度分别为 97%和 79%, 尽管两种方法的灵敏度相近, 但 MRDWI 的特异度明显高于 PET-CT, 炎症病灶带来的假阳性结果较少; 最小 ADC 和 SUV_{CR} 两者呈显著的负相关($r=-0.504, P<0.001$)。研究结果显示, MRI 可替代 ¹⁸F-FDG PET-CT 来鉴别肺部结节或肿块的良恶性。同一研究组的 Nomori 等^[2]比较了 MRDWI和 ¹⁸F-FDG PET-CTPET-CT 在非小细胞肺癌(non-small cell lung cancer, NSCLC)结节分期上的价值: 88 例手术治疗前的 NSCLC 患者共发现 734 个淋巴结, 其中有 36 个经病理证实为转移; 同时发现存在淋巴结炎症时, PET-CT 更易出现假阳性; 根据苏木精-伊红染色切片结果, MRDWI 和 PET-CT 可发现的最小恶性淋巴结直径均为 4 mm; MRDWI 和 PET-CT 在 NSCLC 结节分期的准确率分别为 89%和 78%, 尽管两种方法在诊断转移性淋巴结方面无显著性差异, 但 MRDWI 可以准确地区分 698 个未转移的淋巴结, 假阳性结果很少, 表明在 NSCLC 结节分期上, MRDWI 可以替代 ¹⁸F-FDG PET-CT。

Kim 等^[3]对 36 例已行卵巢癌根治术的患者回顾性分析其病理、临床和 ¹⁸F-FDG PET-CT、MRI 检查结果: 22 例患者出现卵巢癌转移, 共发现 35 处病灶, 其中包括盆腔转移灶 15 处、腹膜转移灶 14 处、淋巴结转移灶 4 处、腹壁转移灶 2 处。以患者为单位, PET-CT、MRI 的灵敏度和准确率分别为 73%和 91%、81%和 89%, 以病灶为单位, 二者灵

敏度分别为 66%和 86%; 对腹膜病灶的诊断灵敏度和准确率分别为 43%和 86%、75%和 94%。结果表明, 当卵巢癌转移灶在盆腔和腹膜时, MRI 明显较 ¹⁸F-FDG PET-CT 敏感。

综上所述, MRI 在恶性肿瘤原发灶及转移灶的诊断上具有自身的优势。

2 PET-CT 和 MRI 相互补充

Kong 等^[4]报道, 对已知或可疑肝转移的 65 例结直肠癌患者用 ¹⁸F-FDG PET-CT、全身增强 CT 和 MRI, 回顾性分析 PET-CT 和全身增强 CT 发现的肝内外病灶, 所有病灶以病理或临床、影像随访结果为金标准, 结果: PET-CT 额外发现的病灶(全身增强 CT 没有发现)使得 17%的患者改变了手术治疗方案, 但也出现了 3 例假阳性病例; PET-CT 联合 MRI 在诊断肝内转移患者总的灵敏度和特异度分别为 98%和 100%, 然而有 15%的病例(10/65)用 PET-CT 和 MRI 作出了不同的诊断结果, MRI 准确地发现了 8 例患者有更多毫米级的转移灶, PET-CT 准确地发现了 1 例有更多的转移灶, 且有 1 例用 MRI 不能确诊的病灶, 在 PET-CT 上得到了确诊; 相对于全身增强 CT, PET-CT 另一个优势是能够发现结直肠癌肝外转移灶, 对于肝内转移灶也有很高的灵敏度和特异度, 建议将 PET-CT 应用于术前评估; 同时他们还发现, 也许在 PET-CT 的引导下, MRI 才能更好地发现微小的肝转移灶, 这对于只局限于肝转移的结直肠癌患者制定手术计划是必要的。

Squillaci 等^[5]用全身 MRI(3.0T)和 ¹⁸F-FDG PET-CT 对 20 例结直肠癌患者评估了结节分期和转移分期的准确性: 以病理结果或 3~6 个月的临床随访结果作为金标准, MRI 发现了 10 例有淋巴结转移, PET-CT 发现了 15 例; 15 例患者有肝脏转移, 其中, MRI 发现 27 处病灶, 而 PET-CT 发现 23 处; 全身 MRI 发现 5 例患者共 19 处病灶有肺部转移, PET-CT 发现 7 例患者共 25 处病灶有肺部转移; 两种方法均发现了 3 例骨转移、2 例腹膜种植转移和 3 例手术部位局部复发, 没有发现患者脑转移。研究结果表明: MRI 对于结肠癌患者来说是一种很好的检查方法, 但它并不能完全代替 ¹⁸F-FDG PET-CT。

Schmidt 等^[6]对 33 例可疑乳腺癌复发或转移患

者分别行 1.5T MRI(23 例)或 3.0T MRI(10 例)和 ^{18}F -FDG PET-CT 检查, 最终结果以临床或影像学随访作为金标准, 结果发现: 33 例患者中, 有 20 例患者发现 186 处肿瘤复发或转移; 2 例乳腺部位复发灶在两种检查中均被显示; PET-CT 较全身 MRI 发现了更多的淋巴结转移灶(21 vs.16), 而 MRI 在发现远处转移灶上更为准确(154 vs.147); 全身 MRI 和 PET-CT 诊断灵敏度分别为 93%和 91%, 特异度分别为 86%和 90%; 1.5T MRI、3.0T MRI 全身扫描时间分别为 51 min 和 43 min, PET-CT 全身扫描用了 103 min。结果表明, 两种方法在乳腺癌患者的随访中均有一定的价值; 全身 MRI 在发现远处转移灶上具有优势, 但 PET-CT 在发现淋巴结转移灶上更有价值; 3.0T MRI 在不降低分辨率的情况下比 1.5T MRI 全身扫描时间更短。

Seiboth 等^[7]为了评估 PET 和 PET-MRI 联合常规方法(如颈部 ^{131}I 显像、CT、MRI)在探测甲状腺癌复发灶上的附加临床价值, 对预先已行甲状腺全切或次全切除术的 34 例甲状腺癌患者均接受一次 ^{18}F -FDG PET 和 ^{18}F -FDG PET-MRI 检查(其中 29 例患者在研究前接受至少 1 次 ^{131}I 治疗), 在影像诊断之前采用盲法由四位内分泌专家分别根据患者病历作出诊断和治疗计划, 然后将影像诊断结果告诉每位内分泌专家, 请其根据影像结果重新考虑诊断和治疗计划, 结果: 46%的患者因影像诊断结果改变了原先的治疗计划, 36%的患者原先的治疗计划得到确认, 18%的患者没有得到有用的信息。结果表明, 结构和功能相结合的 ^{18}F -FDG PET、 ^{18}F -FDG PET-MRI 技术能够为绝大多数甲状腺癌患者提供更多的信息, 这些技术对于手术计划的制定、碘放射治疗的决策均能提供帮助, 在每位患者的随访过程中均应该得到应用。

由此可见, PET-CT 和 MRI 各有优势, 联合应用可取长补短, 弥补各自的不足。

3 PET-MRI 融合显像

Seemann 等^[8]做了一项前瞻性研究来比较 ^{18}F -FP-Gluc-TOCA(一种生长抑素受体配体显像剂)PET、CT、1.5T MRI、PET-CT 和 PET-MRI 对 6 例已知肿瘤广泛转移而无法手术的胃肠道肿瘤患者转移病灶的诊断能力, 其中 PET-CT 图像融合为自动, PET-MRI 图像融合为手动, 结果: PET、CT、MRI、PET-

CT 和 PET-MRI 分别发现 49.9%、37.1%、98.2%、50.9%和 100%的肝转移灶; 淋巴结转移灶发现率分别为 91.9%、83.8%、64.9%、100%和 97.3%; 骨转移灶发现率分别为 100%、8.3%、66.7%、100%、100%, 结果表明, 与 PET-CT 相比, PET-MRI 辐射剂量小, 软组织分辨率高, 是非常有前途的肿瘤显像方法。Yong 等^[9]的研究也发现, PET-MRI 融合显像在发现肠癌微小转移灶方面优于 PET-CT。

上述 PET-MRI 均基于软件后处理的融合显像, 而真正把 PET 整合到 MRI 装置中的同机 PET-MRI 系统也已有了临床应用试验, Boss 等^[10]对 10 例恶性肿瘤患者行常规 PET-CT 后, 随即行能够同步显像的 PET-MRI 扫描, 对比所得到 PET-CT 和 PET-MRI 图像, 结果: 无论是 PET 图像还是 MRI 图像均非常理想, 没有受到彼此的影响, 两种扫描方式中的 PET 图像在正常组织和肿瘤组织示踪剂代谢比值有着非常好的一致性。

Thorwarth 等^[11]应用 ^{68}Ge -奥曲肽 PET-MRI 为 1 例脑膜瘤患者制定调强放疗计划, 并与 PET-CT 加 MRI 进行对比, 结果: 在计划靶区方面, PET-CT 加 MRI 与 PET-MRI 没有显著差异, 而在肿瘤靶区方面, PET-MRI 更为准确, 因为 PET 图像像素更小而使采集率提高, 所以 PET-MRI 能够显示肿瘤旁边的微小浸润灶。作者认为, PET-MRI 对于制定一个有效的放疗计划有着重大的意义。

4 PET-MRI 融合显像展望

综上所述, PET-MRI 在肿瘤显像方面比 PET-CT 有明显的优势, 具有很好的临床应用前景。但目前真正的同步 PET-MRI 系统还是主要用于动物实验和临床前研究, PET-MRI 是不是最具价值的多模式显像方法、是否在图像融合之后能进行分析、是否能得到更多的诊断信息等还需要更多的实例来证明。正如 Picher 等^[12]报道, PET 和 MRI 联合应用能够得到很多的好处, 远超过简单的把 PET 功能信息和 MRI 结构信息的相加。由于 PET-MRI 目前应用尚不广泛, PET-MRI 与 PET-CT 的临床价值差异尚需要进一步研究, 临床医生在推荐使用这些多模式成像技术时候还需要进行经济评估。

参 考 文 献

[1] Mori T, Nomori H, Ikeda K, et al. Diffusion-weighted magnetic

- resonance imaging for diagnosing malignant pulmonary nodules/masses: comparison with positron emission tomography. *J Thorac Oncol*, 2008, 3(4): 358-364.
- [2] Nomori H, Mori T, Ikeda K, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging can be used in place of positron emission tomography for N staging of non-small cell lung cancer with fewer false-positive results. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2008, 135(4): 816-822.
- [3] Kim CK, Park BK, Choi JY, et al. Detection of recurrent ovarian cancer at MRI: comparison with integrated PET/CT. *J Comput Assist Tomogr*, 2007, 31(6): 868-875.
- [4] Kong G, Jackson C, Koh DM, et al. The use of ^{18}F -FDG PET/CT in colorectal liver metastases comparison with CT and liver MRI. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2008, 35(7): 1323-1329.
- [5] Squillaci E, Manenti G, Mancino S, et al. Staging of colon cancer: whole-body MRI vs whole-body PET-CT initial clinical experience. *Abdom Imaging*, 2008, 33(6): 676-688.
- [6] Schmidt GP, Baur-Melnyk A, Haug A, et al. Comprehensive imaging of tumor recurrence in breast cancer patients using whole-body MRI at 1.5 and 3T compared to FDG-PET-CT. *Eur J Radiol*, 2008, 65(1): 47-58.
- [7] Seiboth L, Van Nostrand D, Wartofsky L, et al. Utility of PET/neck MRI digital fusion images in the management of recurrent or persistent thyroid cancer. *Thyroid*, 2008, 18(2): 103-111.
- [8] Seemann MD, Meisetschlaeger G, Gaa J, et al. Assessment of the extent of metastases of gastrointestinal carcinoid tumors using whole-body PET, CT, MRI, PET/CT and PET/MRI. *Eur J Med Res*, 2006, 11(2): 58-65.
- [9] Yong TW, Yuan ZZ, Jun Z, et al. Sensitivity of PET/MR images in liver metastases from colorectal carcinoma. *Hell J Nucl Med*, 2011, 14(3): 264-268.
- [10] Boss A, Bisdas S, Kolb A, et al. Hybrid PET/MRI of intracranial masses: initial experiences and comparison to PET/CT. *J Nucl Med*, 2010, 51(8): 1198-1205.
- [11] Thorwarth D, Henke G, Muller AC, et al. Simultaneous ^{68}Ga -DOTATOC-PET/MRI for IMRT treatment planning for meningioma: first experience. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2011, 81(1): 277-283.
- [12] Pichler BJ, Judenhofer MS, Wehl HF. PET/MRI hybrid imaging devices and initial results. *Eur Radiol*, 2008, 13(6): 1077-1086.

(收稿日期: 2011-07-27)

急性骨髓炎的影像学诊断研究进展

黄珍欢 鲜于志群 陈飞 陈璟

【摘要】 急性骨髓炎的影像学诊断技术包括 X 线平片、超声、CT、MRI 及放射性核素显像。早期 X 线平片的诊断灵敏度低。超声能早期发现深部软组织及骨膜下脓肿，但图像质量取决于操作者的熟练程度。CT 能早期观察到微小的骨质改变，但灵敏度较低。MRI 可优于其他检查显示髓腔内的病变，但对于死骨、钙化的诊断不如 CT 灵敏。放射性核素显像剂种类繁多，灵敏度和特异度各不相同。该文对急性骨髓炎的上述影像学诊断技术进行综述。

【关键词】 骨髓炎；放射摄影术；超声检查；体层摄影术，X 线计算机；磁共振成像；放射性核素显像

Progress of imaging research on the early diagnosis of acute osteomyelitis HUANG Zhen-huan, XIANYU Zhi-qun, CHEN Fei, CHEN Jing. Department of Nuclear Medicine, the Tongji Hospital of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China
Corresponding author: CHEN Jing (Email: lindaxcx@hotmail.com)

【Abstract】 The imaging diagnostic techniques include X-ray plain film, ultrasound, CT, MRI and radionuclide imaging. X-ray plain film is less sensitive to early acute osteomyelitis. Ultrasound can detect abscesses in the soft tissues and subperiosteal space earlier, but there are variations in image quality based on the different operators' levels of proficiency. High-resolution CT can find minimal lesions on bone, but it has a low sensitivity to predict acute osteomyelitis. MRI is superior to other imaging techniques at visualizing bone marrow lesions, but it is less sensitive in detecting sequestrum and calcification than CT. A variety of

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2011.05.003

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学附属同济医院核医学科

通信作者: 陈璟 (Email: lindaxcx@hotmail.com)