

乳腺癌骨转移的影像学诊断进展

张雪辉 杨贵生 肖国有

536000, 北海市人民医院, 广西医科大学第九附属医院核医学科(张雪辉);

530021 南宁, 广西医科大学附属肿瘤医院核医学科(杨贵生、肖国有)

通信作者: 肖国有, Email: xgy725@aliyun.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2017.04.008

【摘要】 乳腺癌是“嗜骨性癌肿”, 极易伴发骨转移, 由骨转移引发的骨相关事件可明显影响晚期乳腺癌患者的生存质量及预后转归。因此, 早期、准确诊断骨转移对乳腺癌的临床分期及治疗计划制定具有决定作用, 对预后改善亦有重要意义。该文综述了乳腺癌骨转移影像学诊断的研究进展, 为临床早期诊断骨转移提供影像学依据。

【关键词】 乳腺肿瘤; 肿瘤转移; 影像学诊断

基金项目: 广西壮族自治区卫生厅自筹经费科研课题(Z2015585、Z2016472、Z2016498); 广西教育厅 2016 年中青年教师基础能力提升项目(KY2016LX025、KY2016LX050); 广西高等教育本科教学改革工程立项项目(2016JGB186); 广西医科大学教育教学改革课题(2015XJGB23); 广西医科大学青年基金课题(GXMUYSF201408); 2016 广西医疗卫生适宜技术开发与推广应用项目(S201633)

Imaging for diagnosis of bone metastases in breast cancer Zhang Xuehui, Yang Guisheng, Xiao Guoyou

Department of Nuclear Medicine, Beihai People's Hospital in Guangxi Province, the Ninth Affiliated Hospital, Guangxi Medical University, Beihai 536000, China (Zhang XH); Department of Nuclear Medicine, Affiliated Tumor Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, China (Yang GS, Xiao GY)

Corresponding author: Xiao Guoyou, Email: xgy725@aliyun.com

【Abstract】 Breast cancer exhibits high risk to metastasize to bone. Skeletal-related events caused by bone metastases can significantly affect the quality of life and outcomes of patients with breast cancer. Therefore, such events play an important role in clinical staging and treatment protocols for early and accurate diagnosis of bone metastasis in breast cancer and for improving patient prognosis. The review summarizes the research status of imaging examination of bone metastasis in breast cancer and provides evidence for early diagnosis of bone metastasis.

【Key words】 Breast neoplasms; Neoplasm metastasis; Imaging diagnosis

Fund programs: Self-fund Project of Guangxi Zhuang Autonomous Region Health and Family Planning Commission(Z2015585, Z2016472, Z2016498); Teacher's Basic Ability Improvement Project from Department of Education of Guangxi Zhuang Autonomous Redion(KY2016LX025, KY2016LX050); Guangxi Higher Undergraduate Education, Teaching Reform, Construction Project (2016JGB186); Education and Teaching Reform Project from Guangxi Medical University(2015XJGB23); Youth Fund Project from Guangxi Medical University (GXMUYSF201408); 2016 Guangxi Medical and Health Technology Development and Application Projects(S201633)

乳腺癌是危害女性健康的常见癌症, 发病率在近几年呈增长趋势^[1-2]。乳腺癌在欧美等发达国家高发, 美国癌症协会最新数据显示, 乳腺癌的发病率占女性恶性肿瘤的第一位^[3]。中国虽属乳腺癌相

对低发国家, 但随着经济社会发展, 女性生殖模式向西方模式的转变, 乳腺癌的发病率也呈逐年上升趋势, 目前已居女性恶性肿瘤的首位^[4]。据国际癌症研究中心登记资料显示, 2008 年世界范围内女

性乳腺癌新发病例增加了 22.9%，新增病例数约 138 万，其中乳腺癌死亡病例达 46 万^[5]，分别占女性癌症致死及女性死亡总数的 13.7% 和 1.7%。预计 2030 年中国将有 23.4 万例新发浸润性乳腺癌，新发病例及死亡病例数将分别比 2008 年增加 31.15% 和 47.94%^[6]。

乳腺癌是起源于乳腺上皮组织的恶性肿瘤，具有嗜骨性，大部分患者确诊时已发生骨转移但未有明显临床症状，因此骨骼是乳腺癌远处转移常见的靶器官之一，而骨转移又是乳腺癌重要的临床特征和主要致死原因。文献报道，65%~75% 的乳腺癌患者最早的远处转移出现在骨骼^[7]。由骨转移引发的骨相关事件极大地危害了患者的身心健康及生活质量。研究显示乳腺癌患者在发生骨转移后，其寿命明显缩短^[8-9]，因此乳腺癌骨转移的早期诊治对提高乳腺癌患者的生活质量、延长生存率具有重大意义。穿刺活检是诊断乳腺癌骨转移的“金标准”，但由于其为有创检查，临床上依从性较低^[7]。影像学检查在乳腺癌骨转移的筛查和早期诊断中发挥着不可替代的作用，诊断乳腺癌骨转移的影像学检查方法主要有普通 X 射线平片、CT、MRI、全身骨显像 (wholebody bone scintigraphy, WBS)、SPECT、PET/CT 等，笔者对上述影像学方法在诊断乳腺癌骨转移中的优缺点进行分析、比较，综述如下。

1 普通 X 射线平片

普通 X 射线平片主要反映骨骼的密度及结构，是诊断恶性肿瘤骨转移最基本的影像学检查方法，且操作简单、费用低廉、依从性高，可作为骨转移的初筛手段。但其能否检出骨转移病灶取决于病变部位钙质沉积或脱钙所引起骨质密度改变的程度，只有当病变部位脱钙量达 30%~50%、骨小梁破坏大于 50% 时才能显示，因此对于早期骨髓异常改变的诊断具有局限性。有研究表明局部骨代谢异常后半年到一年才在 X 射线平片检查中显示出阳性结果^[10]。乳腺癌骨转移的放射学表现可分为成骨性、溶骨性或混合性改变，X 射线可显示骨质破坏程度及有无合并病理性骨折、骨膜反应、病变的位置与周围组织的关系等，但对骨髓完整性提供的信息有限^[11]。此外，X 射线检查可以评估病变发生病理性改变的危险性，评估转移灶骨皮质受侵范围及预测发生病理性骨折的风险^[12]。普通 X 射线平片通过与放射学及临床生化检验结果结合起来分析比

较，有利于鉴别病变进展及评估疗效。总之，X 射线检查用于乳腺癌骨转移的诊断具有直观性强、诊断特异度高的优点，但也存在灵敏度低的缺点，是乳腺癌骨转移的基本检查方法^[7]。

2 CT

CT 反映的是形态学的改变，具有较高的空间分辨率，可以很好地区分骨小梁和骨皮质，有助于确定骨皮质破坏的程度和病理性骨折。CT 扫描在评估骨皮质破坏和软组织扩散方面，较普通 X 射线平片有更高的灵敏度，能及时确诊骨转移。CT 扫描在显示骨转移病变的钙化方面优于 X 射线平片及 MRI，在揭示转移性骨病变的富血管本质方面潜力巨大，并能清楚分辨转移灶与神经及血管的毗邻关系^[13]。在乳腺癌骨转移的诊断及疗效评估过程中可通过 CT 骨窗扫描鉴别溶骨性转移及成骨性转移，若骨转移灶属溶骨性破坏，利用 CT 引导取活组织进行病理学检查，其确诊率高且更为安全可靠^[14]。近年来出现的 CT 能谱扫描成像技术亦开始用于骨转移瘤的诊断研究^[15]。但 CT 扫描范围局限，不适合用于全身骨转移的筛查。此外 CT 扫描对骨髓腔内骨髓浸润的灵敏度不高；当一侧肋骨横断面有轻度骨质破坏或密度略增高，而软组织肿块尚未出现时，也容易造成漏诊。对乳腺癌骨转移而言，CT 扫描不是首选的放射学检查方法，但却是有效的辅助手段。

3 MRI

MRI 通过体内氢原子的成像，对病灶检出的灵敏度较高，属解剖结构成像技术^[16]，尤其对软组织病变具有良好的分辨率，且无放射性损伤。肿瘤细胞转移到骨髓时，常先发生骨髓浸润，因此，MRI 可在出现明显的骨质解剖改变之前发现早期骨代谢的变化，与 X 射线、CT 扫描相比，其探查恶性肿瘤骨转移方面的灵敏度及特异度均较强。MRI 检查定位准确，检查范围广泛，可多方位成像，对扫描范围内脂肪性骨髓信号改变和软组织侵犯情况的显示具有良好的对比度^[17]。当乳腺癌细胞转移至脊柱椎体，由于椎体转移造成的脊髓压迫征象可用 MRI 探测^[18]。MRI 对于骨显像显示不佳的乳腺癌溶骨性病变可起到重要的辅助作用。常规 MRI 扫描整个中轴骨需要分 3~4 个扫描野才能完成，成像时间较长，对骨皮质病变的检出不如 CT

灵敏,通常需要结合 X 射线、CT 扫描等综合进行定性诊断和鉴别诊断。

近年来,全身弥散加权成像(whole body diffusion-weighted imaging, WB-DWI)是临床上新出现的 MRI 检查方法,对组织的细微结构有很高的灵敏度,能够在细胞水平进行显像,属非创伤性放射学检查,一次检查即可显示全身骨骼,其与 PET/CT 显像的临床应用价值相当,对骨转移的诊断已成为研究的热点,且检查费用较 PET/CT 低廉。在骨转移瘤中,正常骨髓细胞被肿瘤细胞取代,肿瘤细胞体积较大,细胞外间隙少,排列紧密,在图像上形成明显高信号灶,大大提高了病灶检出的灵敏度^[19]。有报道称 WB-DWI 在探测病灶数多于 10 个的骨转移患者转移灶方面较骨显像有更高的灵敏度,但对病灶数少于 5 个的骨转移患者转移灶的检出率明显低于骨显像,此外,在诊断良性病变方面,骨显像的灵敏度更高^[20]。孙梦恬等^[21]的研究也证实 WB-DWI 是探测乳腺癌骨转移的有效方法,可对骨转移病变的扩散特性进行量化。尽管 WB-DWI 仍存在不足之处,但其在临床乳腺癌骨转移的早期筛查、诊断及乳腺癌骨转移的预后评价等方面有一定优势。

4 放射性核素显像

WBS 是筛查恶性肿瘤骨转移的主要手段,一次成像可显示全身骨骼,通过探测骨血流、骨盐代谢等变化诊断骨骼病变,具有较高的灵敏度^[22]。由于其具备可全身成像、诊断灵敏度高、检查费用相对较低和非创伤性等优点,骨骼显像在恶性肿瘤骨转移的诊断、临床分期以及治疗后疗效评价中具备一定的优势。

4.1 SPECT

SPECT 是一种功能性分子影像学技术,通过将放射性核素标记的显像剂注入体内,形成放射性“热区”或“冷区”,即当局部骨代谢活跃或血流灌注增加时,显像剂摄取增加,形成放射性“热区”;反之,骨组织血流匮乏,成骨低下或溶骨病变时,显像剂聚集减少,形成放射性“冷区”,是临床用途最广、性价比高的评估全身骨骼的显像技术。目前最常应用的放射性标记显像剂为 MDP,但 ^{99m}Tc-MDP 骨显像明显的缺点是非特异性,任何引起骨骼局部代谢异常和血流改变的骨病都可能表现出相应部位的放射性异常,如隐匿性或疲劳性骨折、一

部分炎症等,均可导致假阳性^[23]。而当骨质破坏与病理修复处于平衡时,或是对于陈旧性病灶,骨显像剂浓聚程度相对于代谢旺盛时减少或仅有微量变化而导致假阴性。因此,对于得到的影像结果应与临床表现和放射学检查等结合起来综合分析,必要时对所揭示的异常病灶部位行穿刺活检以明确诊断。

SPECT/CT 将可检测骨骼功能代谢的 SPECT 与具有精细解剖分辨力和定位准确的 CT 有机结合,可同时显示 SPECT 和 CT 图像,并通过软件将两种图像相融合,既能反映骨骼代谢的信息,又能精确定位病变位置和反映局部解剖结构的变化,极大地提高了诊断特异度和准确率,降低了诊断的假阳性率,同时可鉴别诊断骨转移是溶骨性、成骨性或是混合性改变。有文献报道,与多层螺旋 CT 检查相比,SPECT/CT 融合显像可提高对乳腺癌溶骨性骨转移诊断的灵敏度和准确率,大大提高了对疑难病变诊断的特异度和准确率^[24]。彭东等^[25]研究表明,SPECT/CT 融合显像诊断骨转移瘤的灵敏度和特异度分别为 96.9%和 93.9%,明显高于 WBS 的 90.8%和 37.7%。SPECT/CT 融合骨显像对 WBS 的异常摄取病灶的诊断具有重要价值,并可进行功能学及形态学图像采集,显著提高了骨转移瘤的诊断准确率。

4.2 PET

PET 代谢显像是将发射正电子的放射性核素标记的各种代谢物质和代谢前体引入机体内,¹⁸F-FDG PET 是利用葡萄糖类似物 FDG 的先进分子影像技术,目前在临床中的应用最为广泛。与传统放射学形态成像不同,PET 代谢显像是拥有良好应用前景的功能分子影像技术,已被证明是代谢显像的“金标准”,也被称为活体生化显像。与 WBS 相比,PET 成像对于探查乳腺癌骨转移具有更高的诊断效能,最大密度投影三维成像较二维平面成像更易发现病灶。Schirmer 等^[26]研究了 ¹⁸F-FDG PET 检测有阳性表现的骨转移,其中仅 45.3%(29/64)的病灶 WBS 有阳性表现。在另一项研究中,¹⁸F-FDG PET/CT 及 WBS 在探测乳腺癌骨转移中的灵敏度相当(78% vs. 78%),¹⁸F-FDG PET 较 WBS 具有更高的诊断特异度(98% vs. 81%)以及准确率(94% vs. 80%)^[27]。

单纯的 PET 代谢显像空间分辨率较低,解剖定位能力有限,易出现假阳性。而 PET/CT 将功能型 PET 显像与解剖型 CT 显像有机融合、相互印证、相互补充,诊断效能及临床应用价值更高。

^{18}F -FDG PET/CT 代谢显像比 WBS 探查到溶骨性病灶的灵敏度更高, 相比之下, 成骨性转移灶常提示肿瘤代谢活性低下以致 ^{18}F -FDG PET/CT 代谢显像的检出率低^[28]。有文献报道, ^{18}F -NaF PET 骨骼显像较常规 WBS 和局部断层显像在骨骼转移病灶中的诊断灵敏度更高^[29]。 ^{18}F -NaF PET/CT 骨显像中骨骼影像质量明显优于 WBS。但由于 PET/CT 检查费用高昂, 因此目前仍难以作为骨转移的常规筛查手段。

PET/MRI 将 MRI 成像与具有高灵敏度、多种靶向示踪剂、分子水平信息显示及便于量化分析等优势优势的 PET 代谢显像技术“联姻”, 与单独应用 PET 显像的相对低的空间分辨率, 以及单独应用 MRI 成像不能充分反映局部功能代谢变化相比, PET/MRI 可以提供组织结构分子功能学信息, 且安全、无电离辐射损伤。PET/MRI 目前已在临床一线应用, 在医学、生物学、药学应用等方面更具优势^[30]。但现阶段 PET/MRI 显像的相关研究尚处于萌芽状态, 加之检查费用高昂, 技术力量尚未成熟, 因此在基层医院的普及率低。随着 PET/MRI 技术的完善及临床研究的相继开展, PET/MRI 将会在骨转移瘤的诊断方面取得新的突破。

5 小结

乳腺癌已居我国女性癌症发病的首位, 乳腺癌骨转移的发病率也随之上升, 因此早期诊断乳腺癌骨转移对于患者的治疗有着重要的意义。对于乳腺癌骨转移的诊断, 各种影像学检查方法各有优势, X 射线平片、CT 扫描及 MRI 在显示骨骼的形态学变化方面价值各异, WBS 则在反映骨的功能、代谢方面更胜一筹, 仍然是诊断乳腺癌骨转移瘤的首选筛查方法。CT 扫描是对骨转移诊断的一种重要补充手段; MRI 则可更早地诊断骨髓是否浸润; SPECT/CT 融合显像进一步提高了转移性骨肿瘤的诊断效能; PET 显像及 PET/CT 显像对骨转移瘤的早期诊断价值较高, 尤其是对溶骨性骨转移的诊断较灵敏, 相信随着新的特异性显像剂的不断研发, 可以为骨转移的早期诊断提供更好的选择; PET/MRI 技术尚不成熟, 但在骨转移瘤的诊断方面具有较大潜力。在诊断转移性骨肿瘤的临床实践中, 需考虑结合患者临床资料, 综合各种影像学检查, 互为补充, 为乳腺癌患者骨转移的早期诊断提供更多、更有价值的信息。

利益冲突 本研究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 张雪辉负责论文命题、设计、具体观点的提出; 杨贵生负责提供论文的数据; 肖国有负责论文的审阅。

参 考 文 献

- [1] DeSantis C, Ma J, Bryan L, et al. Breast cancer statistics, 2013[J]. *CA Cancer J Clin*, 2014, 64(1): 52-62. DOI: 10.3322/caac.21203.
- [2] Zhou C, He JJ, Li J, et al. A nation-wide multicenter 10-year (1999-2008) retrospective clinical study of endocrine therapy for Chinese females with breast cancer[J/OL]. *PLoS One*, 2014, 9(7): e100159[2017-01-12]. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0100159>. DOI: 10.1371/journal.pone.0100159.
- [3] Siegel R, Naishadham D, Jemal A. Cancer Statistics[J]. *CA Cancer J Clin*, 2013, 63(1): 11-30. DOI: 10.3322/caac.21166.
- [4] 贺捷, 陈万青. 2012 中国肿瘤登记年报[M]. 北京: 军事医学科学出版社, 2012: 28.
He J, Chen WQ. 2012 Annual Report of Cancer Registry in China [M]. Beijing: Press of Military Medical Sciences, 2012: 28.
- [5] Ferlay J, Shin HR, Bray F, et al. Estimates of worldwide burden of cancer in 2008: GLOBOCAN 2008[J]. *Int J Cancer*, 2010, 127(12): 2893-2917. DOI: 10.1002/ijc.25516.
- [6] Fan L, Strasser-Weippl K, Li JJ, et al. Breast cancer in China[J]. *Lancet Oncol*, 2014, 15(7): e279-e289. DOI: 10.1016/S1470-2045(13)70567-9.
- [7] 张敏璐, 黄哲宙, 郑莹. 中国 2008 年女性乳腺癌发病、死亡和患病情况的估计及预测[J]. *中华流行病学杂志*, 2012, 33(10): 1049-1051. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2012.10.012.
Zhang ML, Huang ZZ, Zheng Y. Estimates and prediction on incidence, mortality and prevalence of breast cancer in China, 2008 [J]. *Chin J Epidemiol*, 2012, 33(10): 1049-1051.
- [8] 江泽飞, 陈佳艺, 牛晓辉, 等. 乳腺癌骨转移和骨相关疾病临床诊疗专家共识(2014 版)[J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(4): 241-247. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2015.04.001.
Jiang ZF, Chen JY, Niu XH, et al. Expert consensus on clinical diagnosis and treatment of bone metastasis and bone related diseases in breast cancer(2014 edition)[J]. *Nat Med J China*, 2015, 95(4): 241-247.
- [9] Lipton A, Cook RJ, Major P, et al. Zoledronic acid and survival in breast cancer patients with bone metastases and elevated markers of osteoclast activity[J]. *Oncologist*, 2007, 12(9): 1035-1043. DOI: 10.1634/theoncologist.12-9-1035.
- [10] Hirsh V, Major PP, Lipton A, et al. Zoledronic acid and survival in patients with metastatic bone disease from lung cancer and elevated markers of osteoclast activity[J]. *J Thorac Oncol*, 2008, 3(3): 228-236. DOI: 10.1097/JTO.0b013e3181651e0e.
- [11] 于世英. 恶性肿瘤骨转移的诊断与治疗[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2012: 25-35.
Yu SY. Diagnosis and treatment of bone metastases in malignant tumor[M]. Beijing: Peking Union Medical College Press, 2012: 25-35.

- [12] 李林, 赵祯, 郭兴. 恶性肿瘤骨转移影像学诊断[J]. 中华核医学杂志, 2006, 26(5): 315-318. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2006.05.023.
- Li L, Zhao Z, Guo X. Malignant tumor imaging in the diagnosis of bone metastases[J]. Chin J Nucl Med, 2006, 26(5): 315-318.
- [13] 郑飞波, 刘晚霞, 丁月云, 等. 转移性骨肿瘤的影像学诊断进展[J]. 实用医学影像杂志, 2015, 16(3): 253-255. DOI: 10.16106/j.cnki.cn14-1281/r.2015.03.025.
- Zheng FB, Liu WX, Ding YY, et al. The progress of imaging diagnosis of metastatic bone tumor[J]. J Pract Med Imaging, 2015, 16(3): 253-255.
- [14] 邱艳芳, 赵艳萍. 骨转移瘤的影像学诊断研究现状[J]. 海南医学, 2015, 26(4): 543-546. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6350.2015.04.0196.
- Qiu YF, Zhao YP. Research status of imaging diagnosis of osseous metastatic tumor[J]. Hainan Med J, 2015, 26(4): 543-546.
- [15] 齐红艳, 孙逊, 安锐. 骨转移瘤影像学检查方法及相关进展[J]. 华中科技大学学报: 医学版, 2015, 44(1): 121-124. DOI: 10.3870/j.issn.1672-0741.2015.01.025.
- Qi HY, Sun X, An R. Bone metastases imaging examination method and the related progress[J]. Acta Med Univ Sci Technol Huazhong, 2015, 44(1): 121-124.
- [16] 王兵, 董越, 郑邵微, 等. CT 能谱成像鉴别诊断肺癌成骨性转移瘤与骨岛的价值[J]. 中国医学影像技术, 2014, 30(10): 1552-1556.
- Wang B, Dong Y, Zheng SW, et al. Spectral CT imaging in differential diagnosis of osteoblastic metastases and bone islands in patients with lung cancer[J]. Chin J Med Imaging Technol, 2014, 30(10): 1552-1556.
- [17] 胡鸿, 唐刚华, 聂大红. 乳腺癌分子显像研究进展[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2015, 39(1): 91-95. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2015.01.019.
- Hu H, Tang GH, Nie DH. Progress on molecular imaging of breast cancer[J]. Int J Radiat Med Nucl Med, 2015, 39(1): 91-95.
- [18] 赵应满, 陈峰, 许琴, 等. MR 弥散加权成像骨髓对比率与核素骨显像在脊柱转移瘤诊断中的价值[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(9): 810-814. DOI: 10.3969/j.issn.1004-406X.2013.09.09.
- Zhao YM, Chen F, Xu Q, et al. Comparison of MR diffusion weighted imaging bone marrow ratio and radionuclide bone imaging in the diagnosis of spine metastasis[J]. Chin J Spine Spinal Cord, 2013, 23(9): 810-814.
- [19] 王警建, 崔尊社, 李娜. 全身 MRI 和骨扫描诊断乳腺癌骨转移比较[J]. 湖北医药学院学报, 2011, 30(5): 458-460.
- Wang JJ, Cui ZS, Li N. Comparison of whole-body MRI and bone scintigraphy for diagnosing osseous metastasis in patients with breast cancer[J]. J Hubei Univ Med, 2011, 30(5): 458-460.
- [20] Gutzeit A, Doert A, Froehlich JM, et al. Comparison of diffusion-weighted whole body MRI and skeletal scintigraphy for the detection of bone metastases in patients with prostate or breast carcinoma[J]. Skeletal Radiol, 2010, 39(4): 333-343. DOI: 10.1007/s00256-009-0789-4.
- [21] 孙梦恬, 程敬亮, 张勇, 等. 背景抑制全身扩散加权成像对不同骨转移瘤诊断价值的探讨[J]. 临床放射学杂志, 2013, 32(2): 236-241.
- Sun MT, Cheng JL, Zhang Y, et al. The diagnostic value of DWIBS in various types of bone metastasis[J]. J Clin Radiol, 2013, 32(2): 236-241.
- [22] 汪建强, 曹春晓, 杨琦, 等. ^{18}F -FDG SPECT/CT 符合线路显像、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨显像及 MRI 对脊柱转移瘤诊断效能的对比[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2015, 35(5): 403-404. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.05.015.
- Wang JQ, Cao CX, Yang Q, et al. The comparison of ^{18}F -FDG SPECT/CT, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP bone scan and MRI in the diagnosis of spinal metastases[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 35(5): 403-404.
- [23] Chakraborty D, Bhattacharya A, Mete UK, et al. Comparison of ^{18}F fluoride PET/CT and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP bone scan in the detection of skeletal metastases in urinary bladder carcinoma[J]. Clin Nucl Med, 2013, 38(8): 616-621. DOI: 10.1097/RLU.0b013e31828da5cc.
- [24] 董科, 傅健飞, 楼菁菁, 等. 分子影像 SPECT/CT 对乳腺癌骨转移的临床应用价值[J]. 中国临床医学影像杂志, 2015, 26(7): 465-468.
- Dong K, Fu JF, Lou JJ, et al. The clinical application value of molecular imaging SPECT/CT for bone metastases from breast cancer[J]. J Chin Clin Med Imaging, 2015, 26(7): 465-468.
- [25] 彭东, 徐可为, 王荣辉, 等. SPECT/CT 融合显像诊断肿瘤骨转移的临床价值[J]. 广西医学, 2014, 36(8): 1153-1155. DOI: 10.11675/j.issn.0253-4304.2014.08.44.
- Peng D, Xu KW, Wang RH, et al. The value of SPECT/CT fusion imaging in diagnosis of tumor bone metastases[J]. Guangxi Med J, 2014, 36(8): 1153-1155.
- [26] Schirrmester H, Guhlmann A, Kotzerke J, et al. Early detection and accurate description of extent of metastatic bone disease in breast cancer with fluoride ion and positron emission tomography [J]. J Clin Oncol, 1999, 17(8): 2381-2389. DOI: 10.1200/JCO.1999.17.8.2381.
- [27] Ohta M, Tokuda Y, Suzuki Y, et al. Whole body PET for the evaluation of bony metastases in patients with breast cancer: comparison with $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP bone scintigraphy[J]. Nucl Med Commun, 2001, 22(8): 875-879. DOI: 10.1097/00006231-200108000-00005.
- [28] 郭粹, 陈虞梅, 童林军, 等. PET/CT 在乳腺癌疗效监测中的作用[J]. 国际医学放射学杂志, 2016, 39(2): 146-150, 161. DOI: 10.19300/j.2016.Z3667.
- Guo C, Chen YM, Tong LJ, et al. The role of PET/CT in monitoring the treatment effect of breast cancer[J]. Int J Med Radiol, 2016, 39(2): 146-150, 161.
- [29] Minamimoto R, Loening A, Jamali M, et al. Prospective comparison of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP scintigraphy, combined ^{18}F -NaF and ^{18}F -FDG PET/CT, and Whole-Body MRI in patients with breast and prostate cancer[J]. J Nucl Med, 2015, 56(12): 1862-1868. DOI: 10.2967/jnumed.115.162610.
- [30] 辛军, 孙洪赞, 王鹏远, 等. 同机 PET/MR 显像临床应用价值初探[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2014, 34(6): 428-432. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.06.003.
- Xin J, Sun HZ, Wang PY, et al. Preliminary clinical application of hybrid PET/MR[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2014, 34(6): 428-432.