

SPECT-CT 与 MRI 对确定骨质疏松性椎体压缩骨折疼痛责任椎体的价值比较

李永博, 武汉, 韩 硕, 邓志洋, 崔明超, 赵明明

(吉林大学中日联谊医院骨科 130000 长春市)

【摘要】目的:探讨单光子发射计算机断层摄影术联合 CT 扫描图像融合技术(single photon emission computed tomography-computed tomography, SPECT-CT)与磁共振成像(MRI)在确定骨质疏松性椎体压缩骨折(osteoporotic vertebral compression fractures, OVCFs)疼痛责任椎体的一致性。**方法:**选取 2015 年 12 月~2016 年 12 月期间吉林大学中日联谊医院 46 例 OVCFs 患者,其中 28 例患者病程在 3 周之内,属于急性期骨折;18 例病程在 3 周以上,属于非急性骨折。患者均行 SPECT-CT 和 MRI 检查,根据 MRI 及 SPECT-CT 共同确定疼痛责任椎体,行 PKP 术,采用疼痛视觉模拟评分法(visual analogue score, VAS)评估手术治疗效果,使用配对样本 t 检验分析治疗前后 VAS 评分,从而判定责任椎体的准确性,应用 Kappa 检验和 McNemar 检验分析两种检查法的一致性和差异性,并计算 SPECT-CT 诊断的准确性指标。**结果:**46 例患者中, MRI 检查出 OVCFs 的责任节段 79 个, SPECT-CT 检查出责任节段 83 个,最终 77 个椎体行 PKP 手术治疗。术前 VAS 评分 8.33 ± 2.12 分,术后 3 天评分 0.89 ± 1.86 分,术后 1 个月评分 0.30 ± 0.94 分,较术前明显改善($P < 0.05$)。急性期 28 例患者共 36 个椎体行 PKP 手术治疗, MRI 检查符合诊断标准的 37 个节段, SPECT-CT 检查 36 个节段。非急性期 18 例患者共 41 个椎体行 PKP 手术治疗, MRI 检查出 42 个节段, SPECT-CT 检查出 47 个节段。分别将骨折不同时期的 MRI 和 SPECT-CT 的诊断结果进行 Kappa 检验,结果提示结果提示急性期两种检查方法高度一致(Kappa=0.943, $P < 0.05$),非急性期一致性一般(Kappa=0.734, $P < 0.05$)。对比不同时期骨折的 SPECT-CT 与 MRI 检查结果的符合性采用 McNemar 检验,结果提示两种检验方法之间的差异不具有统计学意义($P > 0.05$)。此外,骨折的不同时期尤其是急性期, SPECT-CT 与 MRI 的诊断性试验指标一致性较高。**结论:** SPECT-CT 在骨质疏松性椎体压缩骨折的定位、定性上与 MRI 具有较高的一致性,尤其对于急性期骨折的患者,其具有较好的临床应用价值。

【关键词】骨质疏松椎体压缩骨折;单光子发射计算机断层摄影术联合 CT 扫描图像融合技术;磁共振成像;椎体后凸成形术

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2017.11.07

中图分类号:R683.2 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2017)-11-0997-07

SPECT/CT versus MRI in localizing pain site in patients with osteoporotic vertebral compression fractures/LI Yongbo, WU Han, HAN Shuo, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2017, 27 (11): 997-1003

【Abstract】 Objectives: To evaluate the difference and consistency between single-photon emission computed tomography-computed tomography(SPECT-CT) and magnetic resonance imaging(MRI) in diagnosing osteoporotic vertebral compression fractures(OVCFs) and identifying active lesions. **Methods:** Forty-six patients with OVCFs who underwent both SPECT-CT and MRI from December 2015 to December 2016 were included in this study. The disease course was within three weeks for 28 patients (belonging to acute fractures), and more than three weeks for 18 patients (belonging to non-acute fractures). All patients underwent SPECT-CT and MRI examination, and the pain vertebral body and pain sites were determined by both MRI and SPECT-CT for the PKP surgery. Differences before and after treatment were assessed by using VAS scores and evaluated by paired t -test with 95% confidence interval (CI). The number of fresh OVCFs diagnosed by MRI and

第一作者简介:男(1993-),硕士研究生在读,研究方向:脊柱外科

电话:(0431)84995222 E-mail:1602307215@qq.com

通讯作者:武汉 E-mail:drwuhan@163.com

SPECT-CT in different stages of fracture was tested by using the Kappa statistic with a CI of 95%. In addition, the conformity of SPECT-CT and MRI was determined by using the McNemar test with a CI of 95%.

Results: Among all 46 patients, MRI found 79 segments that met the diagnostic criteria for fresh OVCFs, and SPECT-CT found 83 segments, and a total of 77 affected vertebral bodies were treated with PKP. The VAS score at preoperation, postoperative three days and postoperative one month was 8.33 ± 2.12 , 0.89 ± 1.86 and 0.30 ± 0.94 respectively. Results revealed that PKP surgery was effective, which suggested that the affected sites were accurately determined ($P < 0.05$). In addition, a total of 36 affected vertebral bodies were treated with PKP in 28 patients with acute fractures. MRI diagnosed 37 segments and SPECT-CT diagnosed 36 segments. A total of 41 affected vertebral bodies were treated with PKP in 18 patients with non-acute fractures. MRI diagnosed 42 segments and SPECT-CT diagnosed 47 segments. The number of fresh OVCFs diagnosed by MRI and SPECT-CT in different fracture stages was tested by kappa statistics, which revealed that these two methods were highly consistent in acute (Kappa=0.943, $P < 0.05$) and generally consistent in no-acute (Kappa=0.734, $P < 0.05$). The conformity between SPECT-CT and MRI was analyzed by using the McNemar test, which revealed that the difference was not statistically significant, indicating that the efficacy of these two diagnostic methods was closely correlated ($P > 0.05$). In different stages of fractures, especially acute phase, the consistency of SPECT-CT and MRI in the diagnosis of fresh OVCFs was high. **Conclusions:** The location determined by SPECT-CT in OVCFs was qualitatively consistent with MRI, and especially for patients with acute fractures, SPECT-CT has good clinical value.

[Key words] Osteoporotic vertebral compression fractures; Single-photon emission computed tomography-computed tomography; Magnetic resonance imaging; Percutaneous kyphoplasty

[Author's address] Department of Orthopedics, China-Japan Union Hospital, Jilin University, Changchun, 130000, China

骨质疏松性椎体压缩骨折 (osteoporotic vertebral compression fractures, OVCF) 是造成患者残疾和医疗花费的常见和重要的原因^[1]。对于有症状的 OVCF, 经皮球囊扩张椎体后凸成形术 (percutaneous kyphoplasty, PKP) 是一种有效减轻患者疼痛, 减少后凸畸形, 提高患者生存质量的微创方法^[2,3]。PKP 主要用于新鲜椎体骨折的治疗^[4], 因此判断疼痛是否由新鲜骨折引起是治疗中极为重要的一个过程。目前 MRI 为诊断新鲜 OVCF 的最好的依据^[5]。然而, 并非所有人群都可以行 MRI 检查, 如体内有顺磁性置入物 (如心脏起搏器、心脏支架、内固定等) 者或者因幽闭恐惧症不能接受 MRI 检查者。此外, 部分患者受检查体位及检查时间等因素影响, 难以行 MRI 检查。故需要另外一种有效的方法明确责任椎体。单光子发射计算机断层摄影术 (single photon emission computed tomography, SPECT) 全身骨显像因为对新鲜骨折比较敏感^[6], 逐渐被临床医生所重视。同时对于高度怀疑有新鲜的椎体压缩性骨折时, 如果常规摄 X 线片未发现病变, 可进一步行 SPECT 检查^[7]。而 SPECT-CT 此前已经在诊断转移性骨肿瘤方面得到了广泛性应用, 尤其在鉴别诊断骨良恶性肿瘤

中表现出良好的应用价值^[8-10]。有学者认为, 外伤后至就诊间 3 周之内的骨折为急性期; 4~12 周为亚急性期; 12 周以上者为陈旧期^[11]。本研究对比分析 46 例不同时期骨折的相关患者的资料, 来判断 SPECT-CT 在确定骨质疏松性椎体压缩骨折疼痛责任椎体上的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

研究 2015 年 12 月~2016 年 12 月期间于我院就诊的腰背痛患者。纳入标准: (1) 查体脊柱棘突和椎旁压痛和叩击痛阳性; (2) X 线和 CT 提示椎体压缩呈楔形改变, 椎体后壁完整; (3) MRI 提示椎体有信号改变, 脊髓及神经根无压迫; (4) 骨密度测定 T 值 < -2.5 。诊断为 OVCFs 后签署行 SPECT-CT 检查知情同意书进行研究。

排除标准: (1) 体内带有顺磁性金属物或者因疼痛等被动体位而不能接受 MRI 检查者; (2) 有焦虑或恐惧等精神疾患者; (3) 伴有神经损伤出现神经症状; (4) 肿瘤、感染引起的病理骨折。

根据纳入和排除标准, 本研究共纳入 46 例患者, 共 111 个椎体, 其中男性 20 例, 女性 26 例, 年

龄 60~84 岁, 平均 71.84 ± 6.57 岁, 病程 2d~1 年, 平均 44.08 ± 77.52 d。其中 28 例患者病程在 3 周之内, 纳入急性期骨折; 18 例病程在 3 周以上, 纳入非急性骨折。

1.2 检查仪器与方法

SPECT-CT 检查: 采用荷兰 PHILIPS 公司 Precedence SPECT-CT 16Slice 设备进行 SPECT 断层扫描及同机 CT 扫描。扫描前经肘静脉注射骨显像剂 99mTc-MDP 740~1110MBq, 饮水 400~500ml, 2h 后排空膀胱进行图像采集。先行全身平面骨显像, 采用自动人体轮廓轨迹, 双探头同时完成前、后位显像, 采集时间 12~15min; 然后对感兴趣区病灶进行局部同机断层显像, CT 扫描层厚 1.25mm, 层距 0.9mm, 螺距 1mm。

MRI: 采用德国 SIEMENS 公司 3.0T 磁共振成像仪扫描, 层厚 4mm, 层间距 0.4mm。扫描条件分别为 TSE: T1WI TR=715ms, TE=9.5ms, T2WI TR=3200ms, TE=94ms; STIR 序列: TR=2800ms, TE=70ms, TI=160ms。

1.3 新鲜与陈旧 OVCf 评价标准

MRI: 新鲜骨折椎体内存在水肿, 在 T1WI 加权像上显现为弥漫的边界不清的低信号, T2WI 加权像上为中高信号, STIR 抑制像上为特异性的低信号; 陈旧骨折椎体修复, 水肿逐渐被吸收, 在 T1WI 加权像上表现稍高信号, 在 T2WI 加权像上表现低信号改变, 在 STIR 上则为低信号。

SPECT-CT: 通过肉眼分析图像, 观察脊柱出现放射性核素异常浓聚的区域, 再对此区域的同机 CT 图像进行图像融合, 在 CT 重建图像中依据核素浓集部位来确定病椎节段并分析病椎形态。无论是急性期骨折还是亚急性期骨折, 显像剂都会异常浓聚, 而陈旧性骨折虽然可出现压缩性改变, 但核素不会浓集或比较淡的浓聚, 无特异性变化。

MRI 图像由 2 位 MRI 医师采用独立盲法分析, SPECT-CT 图像由 2 位核医学医师独立盲法分析, 只有各组中的 2 位医师分析结果一致, 才能认为数据有效。由独立人员记录骨折椎体新鲜与否和节段个数及疾病定性结果。

1.4 手术治疗

实施手术的椎体是结合查体、MRI 及 SPECT-CT 一致结果共同确定, 责任椎体均行 PKP 术, 手术均采用局麻, 注入相同的人工骨水

泥。

1.5 手术效果评估

根据疼痛视觉模拟评分法 (visual analog scale, VAS) 评估患者术前、术后 3d 及术后 1 个月的疼痛程度, 以此来判断手术效果。

1.6 统计学分析

应用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析, (1) 术前术后疼痛 VAS 评分采用均数 $\pm$ 标准差, 使用配对样本 t 检验对比分析治疗前后 VAS 评分; (2) MRI 与 SPECT-CT 的诊断个数采用 Kappa 检验, 对比不同时期骨折两者检查结果的一致性; (3) MRI 与 SPECT-CT 的诊断个数采用 McNemar 检验, 分析不同时期骨折两者检查结果的差异与一致性, $P < 0.05$ 差异有统计学意义。同时用相关计算公式得出以 MRI 为标准, SPECT-CT 诊断新鲜 OVCfs 的各种诊断性试验指标; (4) 利用以下计算公式得出以 MRI 为标准, SPECT-CT 诊断新鲜 OVCfs 的各种诊断性试验指标: 灵敏度=真阳性/(真阳性+假阴性); 特异度=真阴性/(真阴性+假阳性); 阳性预测值=真阳性/(真阳性+假阳性); 阴性预测值=真阴性/(真阴性+假阴性); 诊断符合率=(真阳性+真阴性)/总数。

2 结果

2.1 手术疗效

手术均由一名主任医师和一名副主任医师共同完成。术前、术后 3d 及术后 1 个月 VAS 评分分别为 8.33 ± 2.12 、 0.89 ± 1.86 和 0.30 ± 0.94 分, 对术前术后 VAS 评分用配对 t 检验对比分析, 结果表明术后较术前疼痛明显改善 (图 1、2, 表 1)。

2.2 检查及统计结果

本研究共 46 例患者, MRI 检查出符合新鲜骨质疏松性椎体压缩骨折诊断标准的共有 79 个椎体节段, SPECT-CT 检查出符合诊断标准的共有 83 个节段, 最终 77 个节段行 PKP 手术治疗。

急性期 28 例患者共 36 个椎体行 PKP 术, MRI 检查出符合诊断标准的共有 37 个节段, SPECT-CT 检查出 36 个节段 (表 2)。将两者的诊断个数进行 Kappa 检验, 两种检查方法吻合度一致性较好 ($\text{Kappa} = 0.943$, $P < 0.05$, $95\% \text{CI}: 0.878 \sim 0.990$)。将两种检查方法行 McNemar 检验比较结果, 提示两种方法无统计学差异 ($\chi^2 = 0.00$, $P > 0.05$)。非急性期 18 例患者共 41 个椎体行 PKP

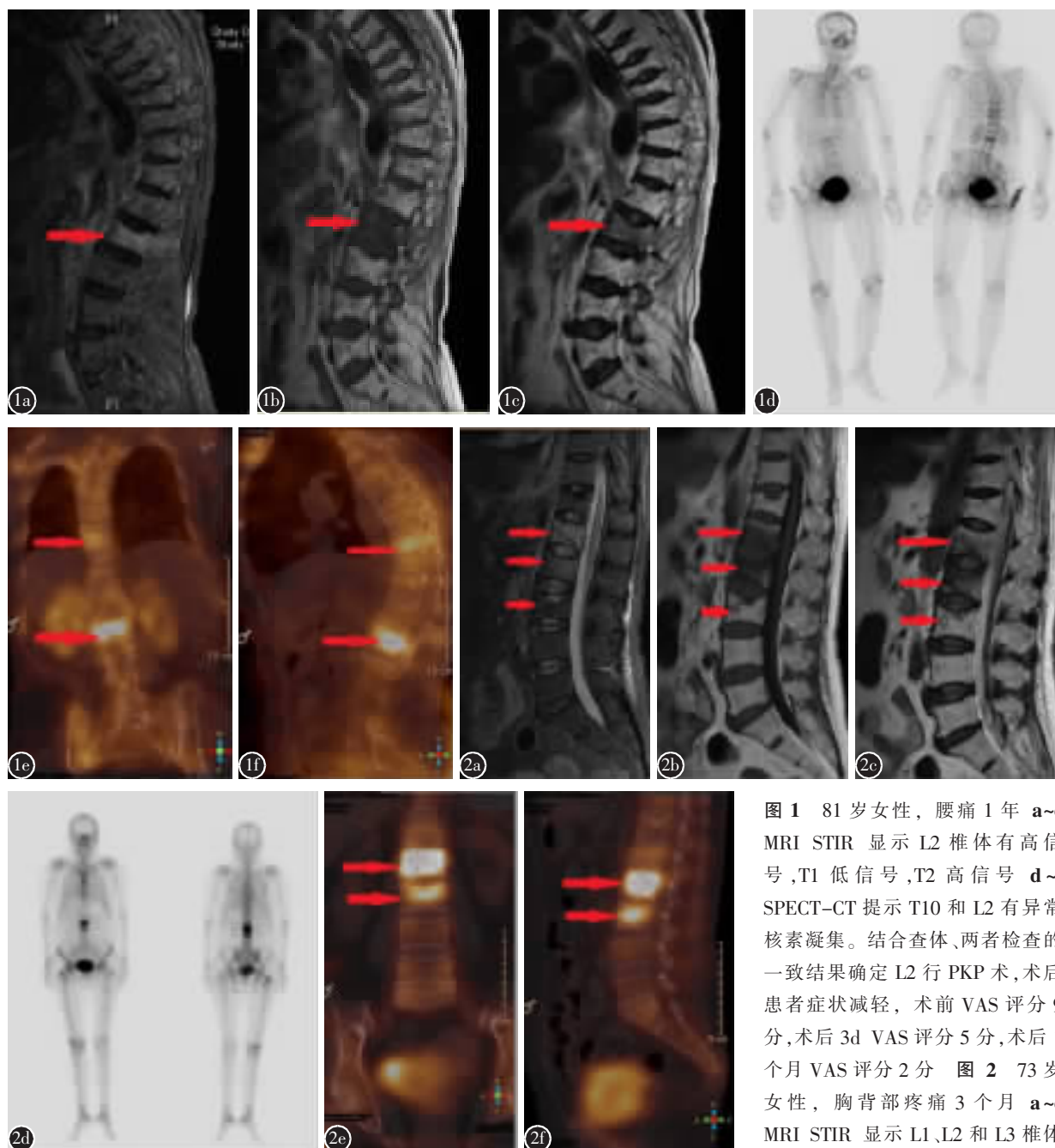


图 1 81 岁女性, 腰痛 1 年 a~c MRI STIR 显示 L2 椎体有高信号, T1 低信号, T2 高信号 d~f SPECT-CT 提示 T10 和 L2 有异常核素凝集。结合查体, 两者检查的一致结果确定 L2 行 PKP 术, 术后患者症状减轻, 术前 VAS 评分 9 分, 术后 3d VAS 评分 5 分, 术后 1 个月 VAS 评分 2 分 图 2 73 岁女性, 胸背部疼痛 3 个月 a~c MRI STIR 显示 L1、L2 和 L3 椎体有高信号, T1 低信号, T2 稍低信号

d~f SPECT-CT 提示只有 L2 和 L3 有异常核素凝集。结合查体, 两者检查的一致结果确定手术椎体为 L2 和 L3, 术后患者症状减轻, 术前 VAS 评分 8 分, 术后 3d VAS 评分 4 分, 术后 1 个月 VAS 评分 2 分

Figure 1 A 81-year-old female with one year of low back pain a~c MRI revealed vertebral body L2 has a high signal on STIR, a low signal on T1-WI and a high signal on T2-WI d~f SPECT-CT revealed an abnormal concentration of radioactivity in vertebral body T10 and L2. The L2 was subjected to PKP surgery based on the results of both MRI and SPECT-CT. The VAS score at pre-operation, postoperative three days and postoperative one month was 9, 5 and 2 **Figure 2** A 73-year-old female with three months of low back pain a~c MRI revealed vertebral body L1, L2 and L3 have a high signal on STIR, a low signal on T1-WI and a low signal on T2-WI d~f SPECT-CT revealed an abnormal concentration of radioactivity in vertebral body L2 and L3. The L2 and the L3 were subjected to PKP surgery based on the results of both MRI and SPECT-CT. The VAS score at pre-operation, postoperative three days and postoperative one month was 8, 4 and 2

术, MRI 检查出 42 个节段, SPECT-CT 检查出 47 个节段(表 2)。分别行 Kappa 检验和 McNemar 检验, 两种检查方法无明显差异但吻合度一致性一般($Kappa=0.734, P<0.05, 95\%CI:0.641\sim0.827; \chi^2=2.286, P>0.05$)。

SPECT-CT 和 MRI 检查对于急性期和非急性期椎体骨折的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值、诊断符合率计算结果见表 3。

3 讨论

新鲜骨折一般是引起患者疼痛的主要原因, 因此准确判定椎体骨折是否为新鲜骨折是保证治疗效果的关键。目前普遍认为 MRI 是诊断椎体是否有新鲜骨折最为主要的影像学检查方法。既往研究表明 MRI 比普通 X 线、CT 的敏感性高, 而且能准确判定骨折是否为新鲜骨折^[12]。然而, 部分患者由于各种原因不能行 MRI 检查, 因此本研究试图寻找一种替代的检查手段来明确疼痛责任椎体, 帮助这些患者能得到进一步治疗。

全身核素骨显像突出特点是对骨折诊断灵敏度高, 有研究^[13]表明, 术前行全身核素骨显像有助于定位疼痛责任椎体, 指导实施椎体强化术及评估疗效。SPECT 全身骨显像对转移性骨肿瘤的诊断有重要价值^[14], 近年来研究发现其也可早期诊断良性骨骼病变^[15], 对于高度怀疑有新鲜的椎体压缩性骨折时, 如果常规 X 线片未发现病变, 可进一步行 SPECT^[16]。但由于椎体肿瘤、感染等疾病都会有局部血流量和骨盐代谢的改变, 会导致放射线核素异常凝聚, 所以 SPECT 对诊断新鲜椎体压缩性骨折具有高灵敏度和低特异度的特点。另外 SPECT 以平面成像为主, 不能对病灶进行准确的解剖定位, 特别是对脊柱和骨盆等重叠部位。故临床上医生应用 SPECT 在诊断椎体压缩性骨折和准确定位疼痛责任椎体时存在一定局限性。

随着核医学的不断发展, SPECT 配备同机定位 CT 扫描通过软件对图像进行融合, 将 SPECT 的功能显像和 CT 的解剖显像进行有机结合, 具有扫描范围广、检查时间短、三维图像定位等优点, 体现出诊断互补模式的优势, 降低了骨显像假阳性, 减少了溶骨性病灶的假阴性, 提高了良恶病变的检出率及鉴别诊断能力^[17]。已有研究证实, 在明确责任病椎上, SPECT-CT 优于单纯 SPECT^[18]。SPECT-CT 能够一次性获得丰富的解剖和功能代

谢信息, 有助于对可疑病变椎体定位, 进而明确诊断^[19]。既往研究表明, SPECT-CT 对单发脊柱、肋骨及顶骨病变诊断价值较高, 可对多种肿瘤患者分期和治疗方案的选择提供帮助^[20,21]。近些年, SPECT-CT 适应症逐渐变广, 可应用于退行性关节炎, 股骨头缺血性坏死等良性骨骼疾病诊断中^[22,23]。基于以上研究和 SPECT-CT 的成像原理, 我们认为对于不能接受 MRI 检查的 OVCFs 患者, 可应用 SPECT-CT 融合显像技术。有研究显

表 1 术前、术后 3d、术后 1 个月不同 VAS 评分例数

Table 1 Cases of VAS scores at pre-operation, postoperative 3 days and postoperative 1 month

	0 分	1~3 分	4~6 分	7~10 分
术前 Pre-operation	0	2	10	34
术后 3d Postoperative 3 days	36	5	5	0
术后 1 个月 Postoperative 1 month	41	3	2	0

表 2 MRI 与 SPECT-CT 诊断 OVCFs 椎体骨折个数

Table 2 Comparison of MRI and SPECT-CT in the diagnosis of OVCFs for all included patients

	急性期 Acute stage		非急性期 Non-acute stage	
	MRI 阳性 MRI positive	MRI 阴性 MRI negative	MRI 阳性 MRI positive	MRI 阴性 MRI negative
SPECT-CT 阳性 SPECT-CT positive	36	0	41	6
SPECT-CT 阴性 SPECT-CT negative	1	11	1	15

表 3 SPECT-CT 诊断不同时期骨折的各种指标

Table 3 Various indicators of SPECT-CT diagnosed fractures in patients at different stages

	急性期骨折 Acute fractures	非急性期骨折 Non-acute fractures	全部骨折 All fractures
灵敏度 Sensitivity	97.29%	97.62%	97.47%
特异度 Specificity	100%	71.43%	81.25%
阳性预测值 PPV	100%	87.23%	92.77%
阴性预测值 NPV	91.67%	93.75%	92.86%
诊断符合率 NPV	97.92%	88.89%	92.79%

示,对于没有明确外伤史的患者,放射性核素可凝聚于局部骨代谢活跃的部位,通过 SPECT-CT 融合显像可发现解剖结构复杂处的隐性骨折或应力性骨折^[24]。同时有学者认为 SPECT-CT 能有效预测因椎体骨折引起慢性腰痛而行椎体成形术后疼痛缓解的情况^[25]。

本研究中,我们通过对对比分析两种检查方法在不同时期 OVCFs 中定位、定性的异同,得出无论是急性期还是非急性期,两种检查方法的吻合度都具有统计学意义,但 SPECT-CT 在急性期与 MRI 具有高度一致性,而在非急性期一致性一般,表明 SPECT-CT 在判断急性期 OVCFs 责任椎体上具有较好地临床应用价值。同时,对 SPECT-CT 在不同时期骨折中以 MRI 诊断结果为标准所得出的各种指标分析,显示 SPECT-CT 在各种时期的灵敏度差别不大,但急性期的特异度比非急性期的特异度高较多,我们分析考虑与两者的成像原理及骨折处在不同阶段有关。非急性期骨折,部分椎体处于愈合阶段,骨小梁和血管重新建立,局部血流量增多和骨骼无机盐代谢活跃,引起 SPECT-CT 上放射性核素异常浓聚呈现阳性,而骨髓内水肿和出血吸收致 MRI 的 STIR 序列上呈现低信号,这就导致用 SPECT-CT 诊断非急性期骨折患者误诊率较高。而且 SPECT-CT 诊断急性期骨折的符合率比非急性期骨折要高将近 10%,说明 SPECT-CT 在诊断急性期骨折患者的新鲜 OVCFs 时准确率更高。但在对全部骨折患者分析时,SPECT-CT 的灵敏度、特异度及符合率都较高,表明两种方法效能接近。但由于 SPECT-CT 检查是基于放射性核素异常浓聚在病变周围而成像,存在放射性,检查时间长,费用高等缺点,故临床上若患者无 MRI 检查禁忌症,仍应以 MRI 为首选影像学检查。

在本组研究中我们还发现,有 4 例患者 6 个椎体骨折出现 MRI 检查阴性,SPECT-CT 检查阳性,且 4 例患者病程都在 3 个月以上,故我们分析随着创伤后时间的延长,处于愈合阶段的骨折椎体,骨小梁和血管重新建立,局部血流量增多和骨骼无机盐代谢活跃,引起 SPECT-CT 上放射性核素异常浓聚呈现阳性,而骨髓内水肿和出血吸收致 MRI 的 STIR 序列上呈现低信号。另外,有 2 例患者 2 个椎体骨折出现 MRI 检查阳性,SPECT-CT 检查阴性,其中 1 例患者病程为 5d,我们分析

出现此现象的原因可能是由于骨折后,椎体内及周围血管损伤,引起椎体缺血,使放射性核素不能浓聚,致 SPECT-CT 检查阴性,而由于骨髓内水肿的存在致 MRI 检查阳性;另 1 例患者病程为 3 个月,我们分析出现此情况可能是患者受伤后,未严格卧床休息,经常活动导致骨折不愈合,骨折局部的血液供应减少,代谢缓慢,使放射性核素不能浓聚,但水肿仍然存在,故出现 MRI 检查阳性,SPECT-CT 检查阴性。本研究中样本量较少,且部分患者对于受伤具体时间记忆模糊,上述结果出现的原因需要大样本量来进一步分析和解释。

通过本研究发现 SPECT-CT 在骨质疏松性椎体压缩骨折的定位、定性上与 MRI 具有较高的一致性,尤其对于急性期骨折的患者,其具有较好的临床应用价值。对于 OVCFs 可疑患者有 MRI 检查禁忌症时,可首选 SPECT-CT 作为替代的影响学检查方法。

4 参考文献

1. Cummings SR, Melton LJ. Epidemiology and outcomes of osteoporotic fractures[J]. Lancet, 2002, 359(9319): 1761-1767.
2. Kasperk C, Hillmeier J, Noldge G, et al. Treatment of painful vertebral fractures by kyphoplasty in patients with primary osteoporosis: a prospective nonrandomized controlled study[J]. J Bone Miner Res, 2005, 20(4): 604-612.
3. Taylor RS, Taylor RJ, Fritzell P. Balloon kyphoplasty and vertebroplasty for vertebral compression fractures: a comparative systematic review of efficacy and safety[J]. Spine, 2006, 31(23): 2747-2755.
4. Garfin SR, Yuan HA, Reilly ME. New technologies in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures[J]. Spine, 2001, 26(14): 1511-1515.
5. Spiegel UJ, Beisse R, Hauck S, et al. Value of MRI imaging prior to a kyphoplasty for osteoporotic insufficiency fractures [J]. Eur Spine J, 2009, 18(9): 1287-1292.
6. Ryan PJ, Evans PA, Gibson T, et al. Chronic low back pain: comparison of bone SPECT with radiography and CT[J]. Radiology, 1992, 182(3): 849-854.
7. Iqbal B, Currie GM, Wheat JM, et al. The incremental value of SPECT/CT in characterizing solitary spine lesions[J]. J Nucl Med Technol, 2011, 39(3): 201-207.
8. Strobel K, Burger C, Seifert B, et al. Characterization of focal bone lesions in the axial skeleton: performance of planar bone scintigraphy compared with SPECT and SPECT fused with CT [J]. AJR Am J Roentgenol, 2007, 188(5): W467-474.
9. Romer W, Nomayr A, Uder M, et al. SPECT-guided CT for

- evaluating foci of increased bone metabolism classified as indeterminate on SPECT in cancer patients [J]. *J Nucl Med*, 2006, 47(7): 1102–1106.
10. Utsunomiya D, Shiraishi S, Imuta M, et al. Added value of SPECT/CT fusion in assessing suspected bone metastasis: comparison with scintigraphy alone and nonfused scintigraphy and CT[J]. *Radiology*, 2006, 238(1): 264–271.
11. Pitton MB, Herber S, Koch U, et al. CT-guided vertebroplasty: analysis of technical results, extraosseous cement leakages, and complications in 500 procedures[J]. *Eur Radiol*, 2008, 18(11): 2568–2578.
12. Hoshino M, Nakamura H, Terai H, et al. Factors affecting neurological deficits and intractable back pain in patients with insufficient bone union following osteoporotic vertebral fracture[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(9): 1279–1286.
13. Karam M, Lavelle WF, Cheney R. The role of bone scintigraphy in treatment planning, and predicting pain relief after kyphoplasty[J]. *Nucl Med Commun*, 2008, 29(3): 247–253.
14. Sedonjya I, Budihna NV. The benefit of SPECT when added to planar scintigraphy in patients with bone metastases in the spine[J]. *Clin Nucl Med*, 1999, 24(6): 407–413.
15. Bryant LR, Song WS, Banks KP, et al. Comparison of planar scintigraphy alone and with SPECT for the initial evaluation of femoral neck stress fracture [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2008, 191(4): 1010–1015.
16. Pham T, Azulay-Parrado J, Champsaur P, et al. "Occult" osteoporotic vertebral fractures: vertebral body fractures without radiologic collapse[J]. *Spine*, 2005, 30(21): 2430–2435.
17. 裴妮慧, 柳炳吉, 李杰, 等. SPECT/CT 融合显像诊断骨骼疾病的应用研究与进展[J]. *中国医疗设备*, 2015, 30(12): 86–89.
18. Sharma P, Dhull VS, Reddy RM, et al. Hybrid SPECT-CT for characterizing isolated vertebral lesions observed by bone scintigraphy: comparison with planar scintigraphy, SPECT, and CT[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2013, 19(1): 33–40.
19. Mohan HK, Gnanasegaran G, Vijayanathan S, et al. SPECT/CT in imaging foot and ankle pathology—the demise of other coregistration techniques[J]. *Semin Nucl Med*, 2010, 40(1): 41–51.
20. Bhargava P, He G, Samarghandi A, et al. Pictorial review of SPECT/CT imaging applications in clinical nuclear medicine [J]. *Am J Nucl Med Mol Imaging*, 2012, 2(2): 221–231.
21. Zhang Y, Shi H, Cheng D, et al. Added value of SPECT/spiral CT versus SPECT in diagnosing solitary spinal lesions in patients with extraskeletal malignancies [J]. *Nucl Med Commun*, 2013, 34(5): 451–458.
22. Knupp M, Pagenstert GI, Barg A, et al. SPECT-CT compared with conventional imaging modalities for the assessment of the varus and valgus malaligned hindfoot[J]. *J Orthop Res*, 2009, 27(11): 1461–1466.
23. Luk WH, Au-Yeung AW, Yang MK. Diagnostic value of SPECT versus SPECT/CT in femoral avascular necrosis: preliminary results[J]. *Nucl Med Commun*, 2010, 31(11): 958–961.
24. Singh VK, Javed S, Parthipun A, et al. The diagnostic value of single photon-emission computed tomography bone scans combined with CT (SPECT-CT) in diseases of the foot and ankle[J]. *Foot Ankle Surg*, 2013, 19(2): 80–83.
25. Solá M, Pérez R, Cuadras P, et al. Value of bone SPECT-CT to predict chronic pain relief after percutaneous vertebroplasty in vertebral fractures[J]. *Spine J*, 2011, 11(12): 1102–1107.

(收稿日期:2017-07-14 修回日期:2017-10-30)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 姜雅浩)