

· 临床论著 ·

SPECT/CT 骨定量标准化摄取值分析脊柱骨转移瘤的价值[△]

贾明胜, 郑修竹, 刘 佳, 陈逸如, 杨 慧, 李长勤*

(山东第一医科大学第二附属医院医学影像科, 山东泰安 271000)

摘要: [目的] 探讨 SPECT/CT 骨定量标准化摄取值 (standardized uptake value, SUV) 分析对脊柱骨转移瘤的价值。[方法] 回顾性分析 2020 年 7 月—2021 年 12 月本院 54 例脊柱骨转移确诊患者的 ^{99m}Tc-MDP SPECT/CT 骨显像资料。比较不同性别间正常椎体 SUV 差异; 分析正常椎体 SUV 与身体参数相关性; 比较正常骨与病灶之间、不同原发肿瘤病灶之间、边缘清晰与不清晰病灶之间 SUV 差异。采用 ROC 分析 SUV_{max}、SUV_{mean} 判断病灶与正常骨的价值。[结果] 两性间正常椎骨 SUV_{max}、SUV_{mean} 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。正常椎骨 SUV_{mean} 与年龄呈显著负相关 ($P<0.05$); SUV_{max} 和 SUV_{mean} 与 BMI 呈显著正相关 ($P<0.05$)。脊柱骨转移病灶的 SUV_{max}、SUV_{mean} 显著高于正常椎体 ($P<0.05$)。不同原发肿瘤间 SUV_{max}、SUV_{mean} 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。边缘清晰与不清晰脊柱骨转移瘤病灶间 SUV_{max}、SUV_{mean} 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。ROC 分析显示 SUV_{max}、SUV_{mean} 的 AUC 分别为 0.983 (95%CI: 0.966~1.000) 和 0.965 (95%CI: 0.928~1.000) 灵敏度分别为 92.6% 和 96.3%, 特异度分别为 96.3% 和 88.9%; SUV_{max} 和 SUV_{mean} 对脊柱骨转移瘤最佳诊断阈值分别为 11.5、5.7。[结论] 正常椎体骨 SUV 与 BMI 呈显著正相关, SPECT/CT 骨定量 SUV 分析对诊断脊柱骨转移瘤有一定临床价值。

关键词: SPECT/CT, 锝-亚甲基二磷酸盐 (^{99m}Tc-MDP), 标准化摄取值 (SUV), 脊柱骨转移瘤

中图分类号: R738.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2023) 05-0408-05

Significance of bone standardized uptake value of SPECT / CT for analyzing spinal metastases // JIA Ming-sheng, ZHENG Xiu-zhu, LIU Jia, CHEN Yi-ru, YANG Hui, LI Chang-qin. Department of Medical Imaging, The Second Affiliated Hospital, Shandong First Medical University, Tai'an 271000, China

Abstract: [Objective] To explore the value of bone standardized uptake value (SUV) of SPECT/CT for spinal metastases. **[Methods]** The ^{99m}Tc-MDP SPECT/CT bone imaging data of 54 patients who were diagnosed of bone metastasis in our hospital from July 2020 to December 2021 were retrospectively analyzed. The SUV were compared between the two genders in normal vertebrae, while the correlation between normal vertebral SUV and body parameters was analyzed. In addition, the SUVs were compared between the normal bone and lesions, among different primary tumor lesions, and between lesions with clear and unclear edges. Furthermore, receiver operator characteristic curve analysis was conducted to search the value of SUV_{max} and SUV_{mean} for differentiate lesion and normal bone. **[Results]** There were no significant differences in SUV_{max} and SUV_{mean} of normal vertebrae between two genders ($P>0.05$). However, the SUV_{mean} of normal vertebrae was negatively correlated with age ($P<0.05$), while the SUV_{max} and SUV_{mean} were positively correlated with BMI ($P<0.05$). The SUV_{max} and SUV_{mean} in the vertebral metastases lesion were significantly higher than those in the normal vertebral bodies ($P<0.05$), nevertheless, there were no significant differences in SUV_{max} and SUV_{mean} among different primary tumors ($P>0.05$). There were no significant differences in SUV_{max} and SUV_{mean} between the lesion with clear edge and that with unclear edge ($P>0.05$). As results of ROC analysis, the SUV_{max} and SUV_{mean} had area under curve (AUC) of 0.983 (95%CI: 0.966~1.000) and 0.965 (95%CI: 0.928~1.000), sensitivity of 92.6% and 96.3%, and specificity of 96.3% and 88.9%, respectively. The optimal diagnostic thresholds of SUV_{max} and SUV_{mean} were 11.5 and 5.7, respectively. **[Conclusion]** There is a significant positive correlation between normal vertebral bone SUV and BMI. SPECT/CT quantitative bone SUV analysis has certain clinical value in the diagnosis of spinal bone metastases.

Key words: single photon emission computed tomography/computed tomography, ^{99m}Tc-methylene bisphosphate (^{99m}Tc-MDP), standardized uptake value (SUV), spinal metastasis

骨转移瘤是恶性肿瘤发展过程不良后果, 最常发生骨转移的肿瘤有前列腺癌、肺癌和乳腺癌等^[1, 2]。

DOI:10.3977/j.issn.1005-8478.2023.05.05

[△]基金项目: 山东省医药卫生科技发展计划项目 (编号: 202209040961)

作者简介: 贾明胜, 主治医师, 研究方向: 医学影像学, (电话) 18605488986, (电子信箱) 18605488986@126.com

* 通信作者: 李长勤, (电话) 18605381128, (电子信箱) chqin_li@163.com

应用锝 [^{99m}Tc] -亚甲基二磷酸盐 (^{99m}Tc -MDP) 进行单光子发射计算机断层扫描/计算机断层扫描 (single photon emission computed tomography/computed tomography, SPECT/CT) 检查是目前常用的诊断骨转移瘤的方法, 在骨骼系统疾病的诊断方面广泛应用^[3-5]。SPECT/CT 显像不仅可以展现骨骼的血流分布和功能代谢情况, 还可以清晰显示局部解剖结构信息, 将 CT 解剖特异度与 SPECT 功能特异度进行有机结合, 能为临床医师提供准确、全面的图像诊断信息^[6, 7]。常规 SPECT/CT 检查缺乏客观的定量指标, 只能进行定性分析; 而随着技术发展, SPECT/CT 骨定量标准化摄取值 (standardized uptake value, SUV) 分析技术也广泛应用于 ^{99m}Tc -MDP 骨显像中^[8, 9]。在骨转移性肿瘤中, 脊柱是常见的骨转移部位, 有 5%~10% 的患者在其疾病过程中出现脊柱转移^[10]。本研究分析脊柱转移瘤 SUV 值的部分影响因素, 并进一步探讨 SPECT/CT 骨定量 SUV 分析对脊柱骨转移瘤的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 有明确恶性肿瘤的病史; (2) SPECT/CT 显像有脊柱异常浓聚灶, 该异常浓聚灶经过骨显像、影像学复查, 病灶增浓、增大; 或病理穿刺、临床随访, 症状加重, 最终明确为脊柱骨转移瘤; (3) 骨显像放射性药物注射剂量规范、注射点无外渗。

排除标准: (1) 未得出明确诊断的骨异常浓聚灶; (2) 有原发性骨肿瘤或接受过磷酸钠盐治疗或放疗的患者; (3) 患有风湿/类风湿关节炎、甲状旁腺功能亢进等代谢疾病的患者。

1.2 一般资料

回顾性分析 2020 年 7 月—2021 年 12 月在山东第一医科大学第二附属医院行全身骨显像及 SPECT/CT 显像 54 例患者的临床资料, 其中男 40 例, 女 14 例; 年龄 41~82 岁, 平均 (64.4±10.3) 岁; 原发肿瘤为肺癌 31 例、前列腺癌 13 例、乳腺癌 5 例、肾癌 2 例、食管癌 1 例、直肠癌 1 例、颌下腺癌 1 例; 所有原发肿瘤均通过手术或穿刺取得病变组织, 经病理确诊证实。脊柱骨转移瘤分布: 上段胸椎 T₁~T₄ 10 例、中段胸椎 T₅~T₈ 3 例、下段胸椎 T₉~T₁₂ 11 例、腰椎 28 例、骶椎 2 例。本研究经过医院伦理委员会批准, 所有患者均签订知情同意书。

1.3 扫描方法

显像剂 ^{99m}Tc -MDP 由济南原子高科医药有限公司提供, 放化纯度>95%。SPECT/CT 扫描使用 GE 品牌 Discovery NM/CT670 Pro 型双探头 SPECT/CT 机, 配置低能高分辨率平行孔准直器, 16 排螺旋 CT。在系统上录入患者年龄、性别、身高、体重、药物注射时间和剂量等信息。静脉注射 ^{99m}Tc -MDP 20~25 mCi, 期间嘱患者多饮水和排尿, 适量运动, 3 h 后开始采集。检查前要求患者排空膀胱, 先行全身骨扫描, 低能高分辨力准直器连续采集模式, 双探头同时完成前、后位采集, 能峰 140 KeV, 窗宽 20%, 采集速度 17 cm/min。扫描完成后使用 Xeleris Version 4.0 系统进行图像后处理。选取骨显像中脊柱放射性核素异常浓聚区进行 SEPCT/CT 断层扫描, 6°/帧, 30 s/帧, 矩阵 256×256, 然后同部位 CT 扫描, 参数为 120 kV, 120 mA, 层厚 2.5 mm, 1.25 mm 骨窗薄层重建。用工作站自带的 Volumetrix MI Evolution for Bone 融合软件完成图像同机融合。由两位核医学科高年资医师共同进行判断, 分析 SPECT/CT 骨融合图像及骨定量 SUV, 意见一致时方可作为判断结果进行记录。利用 Q Metrix 软件, 在横断面、矢状面和冠状面选择放射性核素异常浓聚处, 首先在 CT 图像采用自动 VOI 技术勾画病灶边界, 必要时进行手动调节, 经过软件自动处理计算得出病灶 SUV_{max}、SUV_{mean}; 间隔 1~2 个椎体, 使用同样方法得到正常椎体区域 SUV_{max}、SUV_{mean} 等信息 (图 1)。

1.4 评价指标

记录患者一般资料, 包括年龄、身高、体重、体质量指数 (body mass index, BMI)。SUV 由软件自动计算得出, 其中, SUV=感兴趣区的比活度 (mCi/ml) × 体重 (g) / 注射剂量 (mCi), 以 g/ml 为单位; SUV_{max} 代表最高值, SUV_{mean} 代表平均值。正常椎体区域骨质选择标准: 放射性分布均匀, CT 示骨质完整, 密度均匀, 无骨质增生、终板炎等异常改变^[11]。CT 图像脊柱骨转移瘤边缘评价标准: 边缘清晰表现为明显清晰线样, 否则为病灶边缘不清晰。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 23.0 统计软件进行统计学分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 资料呈正态分布时, 两组间比较采用独立样本 *t* 检验, 多组间比较采用单因素方差分析; 资料呈非正态分布时, 采用秩和检验。资料呈正态分布时使用 Pearson 相关性分析, 非正态分布时使用 Spearman 相关性分析评价 SUV 值与变量间的相关性。采用受试者工作特征曲线 (receiver operator char-

acteristic curve, ROC) 分析得出骨转移 SUV 最佳诊断
界值, 获得诊断敏感性及特异性。P<0.05 为差异有
统计学意义。

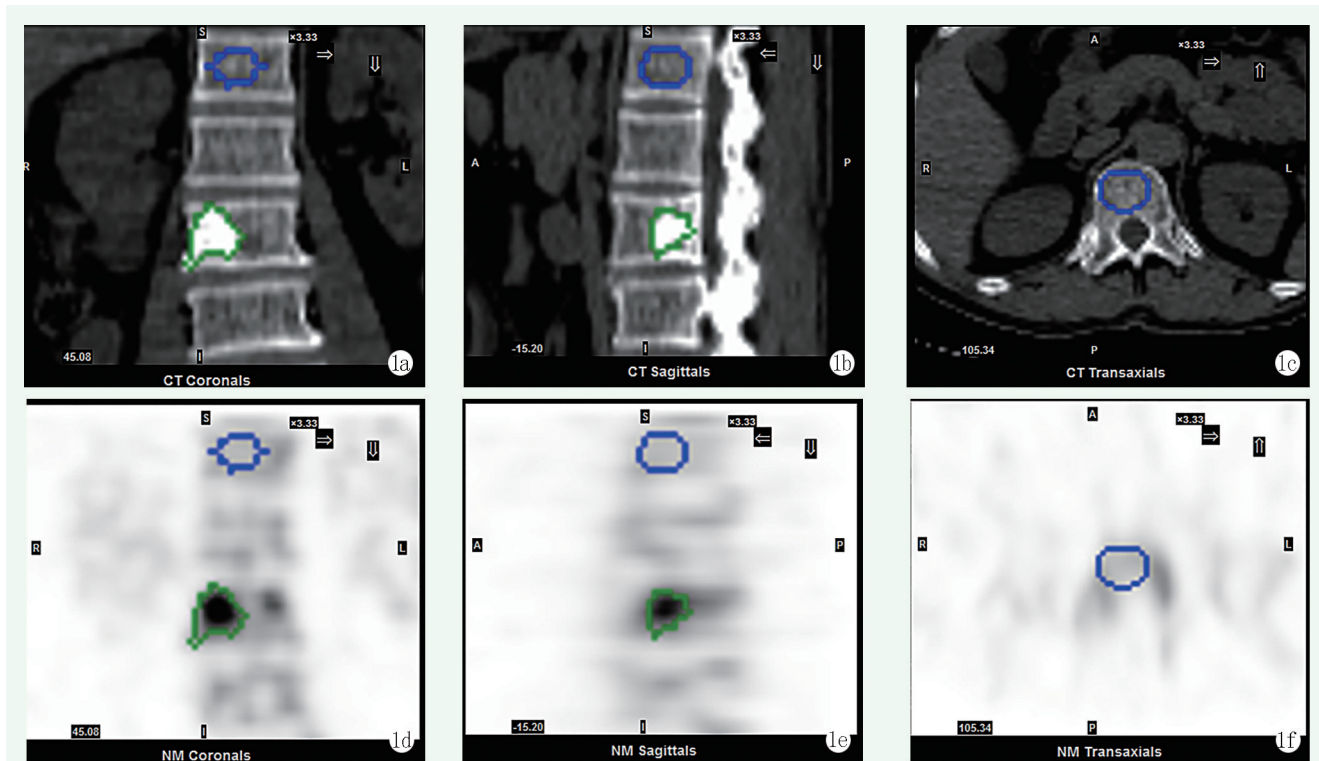


图 1 患者, 男, 65 岁, 右肺癌 4 年余, 腰痛来诊。^{99m}Tc-MDP 骨显像发现 L₂ 椎体异常浓聚灶后行 SPECT/CT 扫描, 可见 L₂ 椎体右侧份病变, CT 混杂高密度, 核素高摄取。利用工作站 Q Metrix 软件, 在冠状面、矢状面和横断面对病灶精确定位, 并选取 T₁₂ 椎体正常区作为对照, 分别在 CT 图 (图 1a~1c) 及 SPECT 图 (图 1d~1f) 勾画出病灶 (L₂ 椎体绿线所示) 及正常区域 (T₁₂ 椎体蓝线所示) 1a: CT 冠状面 1b: CT 矢状面 1c: CT 横断面 1d: SPECT 冠状面 1e: SPECT 矢状面 1f: SPECT 横断面, 经过软件自动处理, 计算得出 L₂ 病灶 SUV_{max}、SUV_{mean} 分别为 23.9、12.2, T₁₂ 椎体正常区域 SUV_{max}、SUV_{mean} 分别为 5.7、4.2

2 结果

2.1 正常椎体 SUV 测量值与相关因素

正常椎体 SUV 测量结果与两性间比较见表 1, 两性间 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 的差异均无统计学意义。正常椎体 SUV 与体质参数的相关性见表 2, SUV_{max} 与年龄、身高无显著相关性 (P>0.05), 与体重、BMI 呈显著正相关 (P<0.05)。SUV_{mean} 与年龄呈显著负相关 (P<0.05), 与 BMI 呈显著正相关 (P<0.05), 与身高、体重无显著相关性 (P>0.05)。

表 1 正常椎体两性间 SUV 比较

指标	男性 (n=39)	女性 (n=15)	P 值
SUV _{max}	7.1±2.6	7.5±3.0	0.977
SUV _{mean}	4.1±1.3	4.4±1.8	0.977

2.2 正常椎体与脊柱骨转移瘤病灶 SUV 比较

正常椎体与脊柱骨转移瘤病灶 SUV 比较结果见表 3, 脊柱骨转移瘤病灶的 SUV_{max}、SUV_{mean} 显著高于正常椎体 (P<0.05)。

表 2 正常椎体 SUV 与患者体质参数的相关分析

指标		r 值	P 值
SUV _{max}	年龄	-0.226	0.100
	身高	-0.046	0.742
	体重	0.417	0.002
SUV _{mean}	BMI	0.379	0.005
	年龄	-0.440	<0.001
	身高	-0.169	0.222
	体重	0.145	0.297
BMI	0.325	0.016	

表 3 正常椎体与脊柱骨转移瘤病灶 SUV 值比较

指标	正常椎 (n=54)	病灶 (n=54)	P 值
SUV _{max}	7.2±2.7	28.3±15.2	<0.001
SUV _{mean}	4.2±1.4	13.0±7.0	<0.001

2.3 不同原发肿瘤脊柱骨转移瘤病灶的 SUV 值比较

不同原发肿瘤 SUV 值测量结果与比较见表 4。本组病例中 31 例肺癌、13 例前列腺癌与 10 例其他肿瘤脊柱骨转移瘤 SUV_{max}、SUV_{mean} 之间的差异均无统计学意义 (P>0.05)。

表 4 不同原发肿瘤脊柱骨转移病灶 SUV 值比较

指标	肺癌 (n=31)	前列腺癌 (n=13)	其他 (n=10)	P 值
SUV _{max}	29.6±16.3	28.4±15.2	24.2±11.8	0.708
SUV _{mean}	13.0±7.7	13.3±6.2	12.7±6.2	0.856

2.4 病灶边缘状态 SUV 值比较

病灶边缘清晰与模糊的 SUV 测量结果见表 5, 病灶边缘清晰与边缘模糊脊柱骨转移瘤病灶 SUV_{max}、SUV_{mean} 值差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。

表 5 病灶边缘状态 SUV 值比较

指标	边缘清晰 (n=30)	边缘模糊 (n=24)	P 值
SUV _{max}	7.3±3.2	7.0±1.9	0.356
SUV _{mean}	4.1±1.5	4.2±1.3	0.195

2.5 ROC 曲线分析

按正常骨与病灶绘制 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 的 ROC 曲线 (图 2), 分析 SUV 值对鉴别正常骨与病灶的诊断价值, 结果显示, SUV_{max} 和 SUV_{mean} 的曲线下面积 (area under curve, AUC) 分别为 0.983 (95% CI: 0.966~1.000)、0.965 (95% CI: 0.928~1.000), 灵敏度分别为 92.6%、96.3%, 特异度分别为 96.3%、88.9% (图 2), 差异有统计学意义 ($P<0.001$), SUV_{max} 和 SUV_{mean} 的最佳诊断阈值分别为 11.50、5.7。

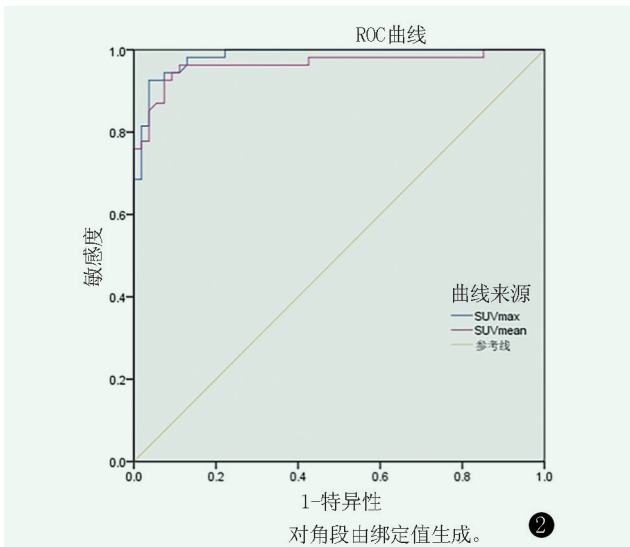


图 2 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 判断正常骨与病灶的 ROC 曲线, 可见 SUV_{max} 的 AUC 大于 SUV_{mean}

3 讨论

在恶性肿瘤中晚期, 骨转移随病情进展, 可出现病理性骨折、高钙血症等并发症, 严重影响患者生活质量和预后^[12, 13]。SPECT/CT 骨定量 SUV 分析可以进行可重复的 SUV 定量测定, 量化反映骨骼的功能和代

谢的变化程度, 将骨转移‘量化’^[14, 15]。多个研究分析了国人正常骨骼的 SUV 值分布特点及与性别、年龄等因素的关系^[16, 17]。本研究组显示 SUV_{max}、SUV_{mean} 值在性别间差异无统计学意义 ($P>0.05$); SUV_{max} 与年龄无显著相关性, 而 SUV_{mean} 与年龄呈负相关 ($P<0.05$), 随年龄增大 SUV_{mean} 变小, 与上述研究结果相符, 分析原因可能是随年龄增长人体骨质代谢活性减低所致。翟威豪^[18]对 182 个正常椎体研究显示 SUV_{max} 为 (6.5±1.2); 本研究显示正常脊柱骨质 SUV_{max} 大小范围与上述研究结果基本相仿, 数值微弱差异可能源自研究人群、显像仪器或方法不同。Kaneta 等^[19]研究发现, 正常腰椎的 SUV_{max} 与身高呈正相关 ($r=0.53, P<0.05$), 并推测其原因可能为身高较高人群重心高使腰椎承重增加, 继而骨密度增加所致; 也有研究认为正常脊柱 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 与身高无明显相关^[20]。BMI 是目前国际上常用的衡量人体胖瘦程度以及是否健康的标准, 本研究发现 BMI 与正常脊柱 SUV_{max}、SUV_{mean} 呈正相关, 随着 BMI 增大 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 趋于上升; 分析原因可能为肥胖体质中, 身体脂肪含量高, 但脂肪一般不参与显像剂摄取, 从而造成身体骨骼及其他软组织的摄取浓度相对增多, 根据 SUV 算法 [SUV=感兴趣的比活度 (mCi/ml) × 体重 (g) / 注射剂量 (mCi)], SUV 计算出的数值偏大。

不同研究均表明骨转移 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 较正常骨质明显增高, 对良恶性病变鉴别有临床价值^[15, 21]。吴梦婷^[22]对 47 例前列腺患者 SPECT/CT 骨显像的 SUV 测量结果表明同一观察者和不同观察者重复测量时 SUV_{mean} 具有极好的重复性, 且 SUV_{max} 在此方面具备更好的一致性。Yamane 等^[23]也证明 SPECT/CT 定量指标 SUV_{max} 具有好的重复性, 可作为患者管理的临床参考指标。本组病例分析 54 个脊柱骨转移瘤的 SUV 与正常脊柱骨 SUV 差异有统计学意义 ($P<0.001$), 骨转移病变的 SUV 值显著高于正常椎体的 SUV 值。本研究对不同原发肿瘤 (31 例肺癌、13 例前列腺癌、10 例其他肿瘤) 的脊柱转移病灶 SUV 差异也进行了分析, SUV_{max}、SUV_{mean} 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。当然, 这个结果也可能和原发肿瘤病理类型、样本量较小有关。

骨转移瘤随着病变发展逐渐向周围骨质浸润, 不同代谢活性或浸润强度病灶的边缘情况可能并不相同; SPECT/CT 骨显像剂在骨骼中聚集的量与骨盐代谢、成骨活跃程度及局部血流相关^[20, 24]。本研究把脊柱骨转移瘤分成边缘清晰组和边缘不清晰两组, 分析骨转移瘤 SUV 与转移瘤边缘之间的关系, 结果显

示骨转移瘤 SUV_{max} 、 SUV_{mean} 与病变边缘清晰与否均不具有显著相关性 ($P>0.05$), 说明肉眼观察 CT 图像骨转移瘤的边界清晰与否并不能有效判断其骨质代谢活性或浸润强度。曾丽妹^[25] 研究显示 ROC 曲线分析骨转移诊断中 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 的 ROC 曲线下面积分别为 0.961、0.833, SUV_{max} 与 SUV_{mean} 鉴别正常骨与骨转移瘤最佳临界值分别是 21.5 与 17.5。本研究进一步绘制 ROC 曲线分析, 脊柱骨转移瘤 SUV_{max} 的特异度较高, SUV_{mean} 的灵敏度较高, SUV_{max} 和 SUV_{mean} 的最佳诊断阈值较上述研究偏小, 可能是由于病灶大小、病理类型不同等因素有关。

本研究的样本量有限, 原发肿瘤以肺癌、前列腺癌为主, 病理类型相对单一, 且只以脊柱转移瘤为研究对象, 其他不同原发肿瘤、不同位置骨转移瘤的 SUV 特征需进一步研究。

综上所述, 脊柱骨转移肿瘤的 SUV 明显高于正常椎体的 SUV, SPECT/CT 骨定量 SUV 分析对诊断脊柱骨转移瘤有一定临床价值, 肺癌、前列腺癌与其他类型脊柱骨转移瘤 SUV 之间差异无统计学意义, 转移瘤边缘清晰与否病变的 SUV 差异无统计学意义。

参考文献

- [1] 蒋伟刚, 刘耀升, 刘蜀彬. 脊柱转移瘤的外科治疗进展 [J]. 中国矫形外科杂志, 2015, 23 (1): 55-59.
- [2] 陈凤, 崔亚利. 骨转移瘤影像学检查研究概述 [J]. 医学综述, 2019, 25 (1): 140-149.
- [3] Zhang YQ, Li BL, Shi HC, et al. Added value of SPECT/spiral CT versus SPECT or CT alone in diagnosing solitary skeletal lesions [J]. Nuklearmedizin, 2017, 56 (4): 139-145.
- [4] 余浩军, 张一秋, 李蓓蕾, 等. 基于 PET/CT 后处理工作站行 SPECT/CT 骨定量分析的可行性 [J]. 中国临床医学, 2021, 28 (1): 75-79.
- [5] 杨卫东, 张永学, Dale LB, 等. 基于循证医学的定量 SPECT 显像的潜在临床应用 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2017, 37 (1): 53-58.
- [6] 苏应瑞, 黄丽群, 谢龙, 等. ^{99m}Tc -MDP SPECT/CT 断层融合显像在鉴别脊柱良、恶性病变中的应用价值 [J]. 临床放射学杂志, 2019, 38 (11): 2144-2147.
- [7] 林玉江, 林勇, 王德春, 等. 单光子发射计算机断层显像/CT 在脊柱外科精准诊断定位应用中的临床问题分析 [J]. 中国组织工程研究, 2019, 23 (12): 1915-1920.
- [8] Yamane T, Kuji I, Seto A, et al. Quantification of osteoblastic activity in epiphyseal growth plates by quantitative bone SPECT/CT [J]. Skeletal Radiol, 2018, 47 (6): 805-810.
- [9] Kim J, Lee HH, Kang Y, et al. Maximum standardised uptake value of quantitative bone SPECT/CT in patients with medial compartment osteoarthritis of the knee [J]. Clin Radiol, 2017, 72 (7): 580-589.
- [10] 张钦程, 张喜善. 脊柱转移性肿瘤微创治疗的研究现状 [J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29 (3): 245-248.
- [11] 杜芬, 罗小毛, 刘明, 等. 定量 SPECT/CT (SUV_{max}) 在骨良恶性病灶中的鉴别诊断及增益价值 [J]. 分子影像学杂志, 2021, 44 (3): 435-440.
- [12] Shibata H, Kato S, Sekine I, et al. Diagnosis and treatment of bone metastasis: comprehensive guideline of the Japanese Society of Medical Oncology, Japanese Orthopedic Association, Japanese Urological Association, and Japanese Society for Radiation Oncology [J]. ESMO Open, 2016, 1 (2): e000037.
- [13] 蒋伟刚, 刘耀升, 刘蜀彬. 脊柱转移瘤脊柱不稳研究进展 [J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24 (9): 822-825.
- [14] 代迪, 郝吉庆. 30 例消化道肿瘤骨转移患者的定量 SPECT/CT 显像分析 [J]. 现代肿瘤医学, 2021, 29 (19): 3415-3419.
- [15] 许阿磊, 徐慧琴, 汪会, 等. 精准定量 SPECT/CT 在乳腺癌骨转移诊断和疗效评价中的应用 [J]. 肿瘤影像学, 2020, 29 (2): 169-174.
- [16] 黄克敏, 冯彦林, 梁伟棠, 等. 基于 SPECT/CT 定量测量 ^{99m}Tc -MDP 骨显像腰椎标准摄取值的研究 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2019, 39 (4): 227-230.
- [17] 侯晓广, 刘国兵, 孙登琴, 等. 国人脊柱与骨盆 ^{99m}Tc -MDP 定量 SPECT/CT 标准化摄取值的正常分布特点 [J]. 中国临床医学, 2020, 27 (5): 750-755.
- [18] 翟威豪, 何薇. SPECT/CT 骨定量 SUV_{max} 分析在老年前列腺癌骨转移中的鉴别诊断价值 [J]. 分子影像学杂志, 2021, 44 (6): 983-987.
- [19] Kaneta T, Ogawa M, Daisaki H, et al. SUV measurement of normal vertebrae using SPECT/CT with Tc-99m methylene diphosphonate [J]. Am J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 6 (5): 262-268.
- [20] 余丰文, 冯彦林, 黄克敏, 等. ^{99m}Tc -MDP 骨显像腰椎标准摄取值与骨密度的相关性 [J]. 中国医学影像技术, 2020, 36 (7): 1070-1074.
- [21] Umeda T, Koizumi M, Fukai S, et al. Evaluation of bone metastatic burden by bone SPECT/CT in metastatic prostate cancer patients: defining threshold value for total bone uptake and assessment in radium-223 treated patients [J]. Ann Nucl Med, 2018, 32 (2): 105-113.
- [22] 吴梦婷, 尚靖杰, 程勇, 等. 前列腺癌骨转移瘤 ^{99m}Tc -MDP SPECT/CT 显像标准化摄取值测量的一致性 [J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29 (2): 171-176.
- [23] Yamane T, Fukushima K, Shirotake S, et al. Test-retest repeatability of quantitative bone SPECT/CT [J]. Ann Nucl Med, 2021, 35 (3): 388-346.
- [24] Ryoo HG, Lee WW, Kim JY, et al. Minimum standardized uptake value from quantitative bone single-photon emission computed tomography/computed tomography for evaluation of femoral head viability in patients with femoral neck fracture [J]. Nucl Med Mol Imaging, 2019, 53 (4): 287-295.
- [25] 曾丽妹, 张昊, 吴家文, 等. 肿瘤患者 SPECT/CT 骨显像中 SUV 定量对骨关节炎与骨转移的诊断价值 [J]. 中国骨与关节杂志, 2022, 11 (2): 152-157.

(收稿:2022-06-15 修回:2022-12-07)

(同行评议专家: 孟纯阳 栾兆生 周 雯 李艳玲)

(本文编辑: 郭秀婷)