

SPECT/CT 定量骨断层标准摄取值与骨矿物质密度的相关性研究

孟庆元, 王海岩, 阳依宏, 张新, 吴羽, 赵军

(同济大学附属东方医院核医学科, 上海 200120)

【摘要】目的 研究定量骨断层标准摄取值(standardized uptake value, SUV)与骨矿物质密度(bone mineral density, BMD)的相关性。**方法** 回顾性分析了84例于2019年6月1日—2020年2月1日接受骨密度测量及骨断层显像患者的数据,依照BMD结果分为骨质疏松、低骨量和骨量正常共3组,分析不同性别及诊断组间腰椎、股骨颈及全髋T值、BMD、平均SUV(mean SUV, SUVmean)及最大SUV(maximum SUV, SUVmax)差异,并比较SUV与各组数据的相关性。**结果** 男性腰椎BMD、SUVmean及SUVmax均显著高于女性[(1.075±0.191) g/cm² vs (0.950±0.200) g/cm², P=0.004; 4.72±0.84 vs 4.23±0.63, P=0.003; 9.65±2.10 vs 8.58±1.47, P=0.008]。骨质疏松组腰椎BMD、SUVmean及SUVmax[(0.818±0.080) g/cm², 4.26±0.56, 8.49±1.52]均显著低于低骨量组[(1.013±0.105) g/cm², 4.38±0.70, 9.02±1.68]及骨量正常组[(1.264±0.147) g/cm², 4.87±1.00, 10.03±2.25, P<0.01],腰椎SUVmean及SUVmax与BMD值呈正相关(r=0.451, 0.409, P<0.01),而股骨颈和全髋的SUVmean及SUVmax与BMD之间无相关性(P>0.05)。**结论** 骨质疏松症患者腰椎SUV显著降低,且与BMD呈正相关。提示SUV能够在一定程度上反映BMD,为临床提供更多诊断信息。

【关键词】 骨定量; 标准摄取值; 放射性核素显像; 骨密度; 骨质疏松

【中图分类号】 R445.5 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1008-0392(2022)05-0690-06

Correlation between standardized uptake value of bone quantitative tomography and bone mineral density

MENG Qingyuan, WANG Haiyan, YANG Yihong, ZHANG Xin, WU Yu, ZHAO Jun

(Department of Nuclear Medicine, Shanghai East Hospital, School of Medicine, Tongji University, Shanghai 200120, China)

【Abstract】Objective To investigate the correlation between the standardized uptake value(SUV) of quantitative bone SPECT/CT and bone mineral density(BMD). **Methods** The clinical data of 84 subjects who received BMD and bone SPECT/CT examination in the same days were analyzed retrospectively. According to the results of BMD, the subjects were divided into osteoporosis, osteopenia and normal groups. The differences of T value, BMD, SUVmean, SUVmax of the lumbar spine, femoral neck and total hip in different genders and diagnosis groups were analyzed. The correlations between SUV and other indicators were studied. **Results** The values of BMD, SUVmean and SUVmax of lumbar spine in males were significantly higher than those in females(1.075±0.191 g/cm² vs 0.950±0.200 g/cm², P=0.004; 4.72±0.84 vs 4.23±0.63, P=0.003; 9.65±2.10 vs 8.58±1.47, P=0.008). The osteoporosis group had significantly lower values of BMD, SUVmean and SUVmax of lumbar spine(0.818±0.080 g/cm², 4.26±0.56, 8.49±1.52) than those of osteopenia

收稿日期: 2022-03-16

基金项目: 上海市科学技术委员会项目(19DZ1930703); 上海市浦东新区卫生系统重点专科建设项目(PWZzk2017-24)

作者简介: 孟庆元(1992—), 男, 技师, 本科, E-mail: mengqynuclear@126.com

通信作者: 赵军. E-mail: petcenter@126.com

group ($1.013 \pm 0.105 \text{ g/cm}^2$, 4.38 ± 0.70 , 9.02 ± 1.68) and normal group ($1.264 \pm 0.147 \text{ g/cm}^2$, 4.87 ± 1.00 , 10.03 ± 2.25 , all $P < 0.01$). The SUVmean and SUVmax of lumbar spine were positively correlated with BMD values ($r = 0.451$, 0.409 , $P < 0.01$). There was no significantly correlation of SUVmean and SUVmax in femoral neck and whole hip with BMD values ($P > 0.05$).

Conclusion The SUV of lumbar spine is markedly declined in patients of osteoporosis, and it is significantly correlated with BMD, indicating that SUV could reflect BMD to a certain extent and may provide more diagnostic information in clinical practice.

【Key words】 bone quantification; standardized uptake value; radionuclide imaging; bone mineral density; osteoporosis

随着 SPECT/CT 定量技术的发展,定量骨断层显像在骨病变的诊断及鉴别诊断中应用十分广泛^[1-2]。严重的骨质疏松症通常伴随骨质破坏,可导致骨显像上异常的放射性浓聚^[3],且恶性肿瘤骨转移患者,由于自身原因及长期治疗,通常更易出现继发性骨质疏松^[4-8]。骨矿物质密度(bone mineral density, BMD)测量可以反映骨的强度,双能 X 线吸收骨密度测量仪(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)是测量 BMD 的“金标准”^[9-11]。本研究通过对定量断层显像与骨密度之间的相关性分析,研究骨质疏松对骨定量 SUV 的影响,为临床诊断提供更多信息。

1 资料与方法

1.1 研究对象

回顾性分析同济大学附属东方医院 2019 年 6 月 1 日—2020 年 2 月 1 日接受骨密度及骨显像检查的 84 例患者。其中男性 41 例,年龄(64.84 ± 7.19)岁,女性 43 例,年龄(60.23 ± 11.33)岁。74 例(88%)受检者存在恶性肿瘤病史(肺癌 35 例、乳腺癌 22 例、结直肠癌 5 例、前列腺癌 4 例、其他肿瘤 8 例),其余 10 例患者为不明原因腰背痛(骨质增生、椎体退变、骨髓水肿等)。入组标准:(1)绝经期妇女及 50 岁以上男性;(2)所有受检者全身平面显像及定量断层显像在腰椎、髌部均无放射性异常浓聚灶;(3)受检者在腰椎及髌部无手术史;(4)受检者全身骨显像、定量骨断层显像及骨密度测定的操作、所得结果均符合质控要求。分组标准:将受检者依照骨密度诊断结果分为骨质疏松组($T \leq -2.5$)、低骨量组($-2.5 < T < -1.0$)及骨量正常组($T \geq -1.0$)。

1.2 临床资料收集

所有受检者均采集相关临床信息:性别、年龄、身高、体质量、既往病史、临床诊断及有无外伤史等。

1.3 仪器与检查方法

1.3.1 骨密度仪器及检查方法 仪器为美国通用公司 DPX-NT 双能 X 线骨密度仪。受检者仰卧于检查床,足内旋,固定于足部支架上,行腰椎及髌部骨密度检测。检测完成后,由 3 位高年资骨密度诊断医师勾画 L1~4、股骨颈及全髌感兴趣区,取 3 次均值,作为受检者 L1~4 椎体、股骨颈及全髌的 T 值和 BMD 值。依照骨密度诊断标准^[9],给出骨质疏松、低骨量、骨量正常的诊断。

1.3.2 全身骨显像仪器及检查方法 SPECT/CT 为德国西门子公司的 symbia intevo 16。受检者静脉注射 20~25mCi (740~925 MBq) 锝标记亚甲基二膦酸盐(^{99m}Tc-MDP,上海欣科药业集团提供,放化纯度 $\geq 90\%$),饮水 500~1 000 mL,3~4 h 后行全身骨显像,受检者取仰卧位,双手置于躯体两侧,脚尖并拢,脚后跟分开,采集速度 20 cm/min。完成后即刻进行腰椎及全髌部位定量断层显像,利用低能高分辨率准直器采集核医学数据,单探头旋转 180°,20 s/帧,共 60 帧,矩阵 256×256,放大倍数 1.0,CT 管电压 130 kV,管电流 160 mA,准直器 16 mm×1.2 mm,螺距 0.75,矩阵 512×512。数据经 OSCG+Ehanced 重建,8 次迭代,15 个子集,高斯 8.40。定量断层图像利用西门子 Volumetric Analysis 程序勾画容积感兴趣区(volume of interest, VOI)。由 3 位高年资核医学医生分别测量第一腰椎~第四腰椎(a)、股骨颈(b)及全髌(c)的 SUVmean 及 SUVmax,取三者平均值,作为该部位 SUV 数据,见图 1。

1.4 统计学分析

所得数据经 SPSS 26.0 软件处理,采用单因素方差分析:(1)男性及女性相同部位 BMD、T 值、SUVmean 及 SUVmax 间差异;(2)腰椎、股骨颈、全髌 3 个不同检测部位 BMD、T 值、SUVmean 及 SUVmax 间差异;(3)骨质疏松、低骨量、骨量正常三

种诊断 BMD、T 值、SUVmean 及 SUVmax 间差异。采用皮尔逊相关性检验分析在相同部位 SUV、T 值、BMD 之间的相关性, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

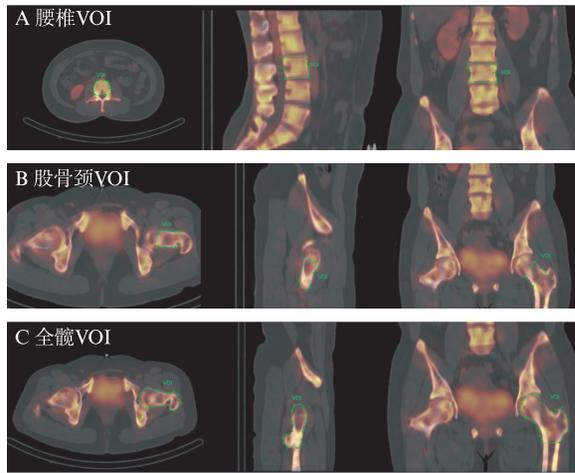


图 1 腰椎、股骨颈及全髋感兴趣区 (VOI)

Fig. 1 VOI of lumbar spine, neck of femur and total hip

A、B、C 分别为腰椎、股骨颈及全髋在横断位、矢状位及冠状位三个层面上的 VOI 勾画,全髋包含股骨头、大转子及股骨干近端

2 结 果

2.1 不同性别腰椎、股骨颈及全髋差异

对不同性别腰椎、股骨颈及全髋数据进行分析,结果见表 1,发现男性腰椎 T 值、BMD、SUVmean 及 SUVmax 均显著高于女性 [-0.87 ± 1.59 vs -1.88 ± 1.67 , $P = 0.006$; (1.075 ± 0.191) g/cm^2 vs (0.950 ± 0.200) g/cm^2 , $P = 0.004$; 4.72 ± 0.84 vs 4.23 ± 0.63 , $P = 0.003$; 9.65 ± 2.10 vs 8.58 ± 1.47 , $P = 0.008$ 。在股骨颈部位,男性 T 值及 BMD 值显著高于女性 ($P = 0.008$, $P = 0.006$),而 SUVmean 及 SUVmax 则相较于女性更低 ($P = 0.005$, $P = 0.035$)。同样在全髋部位,男性 T 值及 BMD 显著高于女性 ($P = 0.011$, $P = 0.011$),但是不同性别间 SUVmean 与 SUVmax 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

2.2 不同部位数据差异

不同部位间 T 值、BMD、SUVmean 及 SUVmax 值均差异有统计学意义 ($P = 0.043$, $P < 0.01$, $P < 0.01$, $P < 0.01$),其中腰椎 T 值显著低于股骨颈及全髋, BMD、SUVmean 及 SUVmax 显著高于股骨颈及全髋,见表 2。

2.3 骨量正常、低骨量与骨质疏松数据比较

根据骨密度测定结果将研究对象分为骨量正常 ($n = 22$)、低骨量 ($n = 33$)、骨质疏松 ($n = 29$) 三组。不同诊断组中,腰椎处 BMD ($P < 0.01$), T 值

($P < 0.01$), SUVmean ($P = 0.014$), SUVmax ($P = 0.012$), 股骨颈处 BMD ($P < 0.01$), T 值 ($P < 0.01$), 全髋处 BMD ($P < 0.01$), T 值 ($P < 0.01$), SUVmean ($P = 0.044$), SUVmax ($P = 0.034$) 差异均有统计学意义,其余各组数据无明显统计学差异 ($P > 0.05$),见表 3。骨质疏松组腰椎 T 值、BMD、SUVmean 及 SUVmax 均显著低于骨量正常及低骨量组 ($P < 0.05$)。股骨颈及全髋 T 值、BMD 在骨质疏松组中明显下降,全髋 SUVmean 及 SUVmax 在骨质疏松组中低于正常骨量组,但是股骨颈处 SUVmean 及 SUVmax 在三组之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 1 不同性别腰椎、股骨颈及全髋数据比较
Tab. 1 Data comparison of lumbar spine, femoral neck and total hip by gender

项目	男性	女性	F	P
T 值				
腰椎	-0.87 ± 1.59	-1.88 ± 1.67	8.078	0.006
股骨颈	-1.04 ± 0.92	-1.63 ± 1.04	7.395	0.008
全髋	-0.56 ± 1.14	-1.24 ± 1.24	6.751	0.011
BMD/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)				
腰椎	1.075 ± 0.191	0.950 ± 0.200	8.561	0.004
股骨颈	0.893 ± 0.127	0.809 ± 0.147	7.904	0.006
全髋	0.937 ± 0.143	0.850 ± 0.160	6.837	0.011
SUVmean				
腰椎	4.72 ± 0.84	4.23 ± 0.63	9.260	0.003
股骨颈	3.31 ± 0.31	3.56 ± 0.48	8.254	0.005
全髋	3.41 ± 0.39	3.58 ± 0.42	3.551	0.063
SUVmax				
腰椎	9.65 ± 2.10	8.58 ± 1.47	7.431	0.008
股骨颈	5.70 ± 1.42	6.47 ± 1.83	4.588	0.035
全髋	7.17 ± 2.30	7.50 ± 1.97	0.509	0.478

表 2 腰椎、股骨颈及全髋数据比较
Tab. 2 Data comparison of lumbar spine, femoral neck and total hip

部位	T 值	BMD/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	SUVmean	SUVmax
腰椎	-1.39 ± 1.70	1.011 ± 0.204	4.47 ± 0.78	9.10 ± 1.87
股骨颈	-1.34 ± 1.02	0.850 ± 0.143	3.44 ± 0.42	6.09 ± 1.68
全髋	-0.91 ± 1.23	0.892 ± 0.157	3.50 ± 0.41	7.34 ± 2.13
F	3.198	20.285	87.830	52.964
P	0.043	<0.001	<0.001	<0.001

2.4 相同部位间 SUV 与 T 值及 BMD 相关性分析

在腰椎处, SUVmean 及 SUVmax 均与 BMD ($r = 0.451$, $P < 0.01$; $r = 0.409$, $P < 0.01$)、T 值 ($r = 0.446$, $P < 0.01$; $r = 0.400$, $P < 0.01$) 呈中等程度正相关,见图 2。而在股骨颈及全髋处, SUVmean、SUVmax 与 BMD 均无统计学相关性 ($P > 0.05$)。

表3 骨量正常、低骨量与骨质疏松数据比较
Tab.3 Data comparison of normal, osteopenia and osteoporosis

项目	骨质疏松	低骨量	骨量正常	F	P
年龄	61.99±12.18	62.74±8.16	62.71±8.75	0.053	0.948
身高/cm	161.59±7.71	165.45±6.43	168.86±7.25	6.666	0.002
体质量/kg	58.91±11.71	62.11±6.00	71.23±10.38	11.096	<0.001
BMD/(g·cm ⁻²)					
腰椎	0.818±0.080	1.013±0.105	1.264±0.147	102.794	<0.001
股骨颈	0.726±0.100	0.847±0.083	1.018±0.079	68.146	<0.001
全髋	0.758±0.119	0.894±0.092	1.066±0.097	55.840	<0.001
T值					
腰椎	-2.98±0.71	-1.37±0.86	0.70±1.23	98.952	<0.001
股骨颈	-2.22±0.71	-1.37±0.61	-0.14±0.56	67.091	<0.001
全髋	-1.96±0.91	-0.90±0.73	0.46±0.77	56.767	<0.001
SUVmean					
腰椎	4.26±0.56	4.38±0.70	4.87±1.00	4.502	0.014
股骨颈	3.51±0.47	3.36±0.41	3.46±0.36	0.991	0.376
全髋	3.51±0.41	3.38±0.35	3.66±0.45	3.239	0.044
SUVmax					
腰椎	8.49±1.52	9.02±1.68	10.03±2.25	4.682	0.012
股骨颈	6.18±1.64	5.75±1.77	6.49±1.55	1.365	0.261
全髋	7.04±1.91	6.93±1.92	8.34±2.46	3.539	0.034

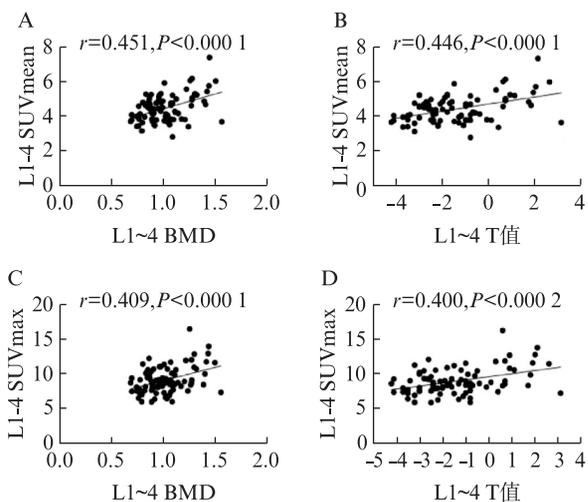


图2 腰椎 SUVmean 及 SUVmax 与 T 值、BMD 相关性分析
Fig.2 Correlation analysis of lumbar SUVmean, and SUVmax with T value and BMD

A: 腰椎 SUVmean 与 BMD 相关性分析; B: 腰椎 SUVmean 与 T 值相关性分析; C: 腰椎 SUVmax 与 BMD 相关性分析; D: 腰椎部位 SUVmax 与 T 值相关性分析

3 讨论

SPECT/CT 的定量评估在近些年越来越被临床认可,定量分析通过进行相对或绝对的数值评估,克服视觉分析的缺点,更加客观的分析图像数据,获得更高的诊断准确性。随着 SPECT/CT 融合技术、图

像重建算法等不断完善和应用,使得 SPECT/CT 全定量评估成为可能。在 PET 图像定量分析中,SUV 是非常重要的定量参数,被广泛应用于临床,在鉴别诊断良恶性肿瘤、监测肿瘤复发、评估疗效等方面发挥重要作用^[12]。

基于 SUV 在 PET 图像定量分析中的重要性,许多研究者在 SPECT 图像分析中同样应用 SUV 进行定量分析,发现了 SUV 在 SPECT 图像分析中的临床应用价值。Beck 等^[13] 回顾性分析了视觉评估与绝对定量在骨转移瘤诊断上的一致性,结果发现视觉评估在平面骨显像上的一致性不如定量 SPECT/CT($k=0.46$ vs $k=0.094$, $P<0.01$),由此说明,相较于视觉评估,定量骨显像在骨扫描诊断中具有更强的可信度。Ogura 等^[14] 证实,在下颌骨病变中,类风湿性关节炎的 SUVmax 显著高于放射性骨坏死和正常下颌骨的 SUVmax,说明定量骨断层在正常骨组织与病变骨组织的鉴别诊断中具有很好的应用。骨质疏松症可以导致患者腰背酸痛,脊柱变形及骨折等,降低患者生活质量,严重者可致残,给患者及其家庭带来沉重的经济负担。对骨质疏松症的早期发现可提早干预,降低骨折风险。有研究发现 SPECT 骨显像腰椎 SUV 可用于评价骨质疏松及

评估疗效^[15-17],但是对于其他部位如股骨颈、全髋的 SUV 值是否也可用于评价骨质疏松则没有研究,而且病例数相对较少,因此本课题增加病例数做了进一步研究。

本研究通过对 SUV 与 BMD 的统计比较,发现定量骨断层显像在诊断骨质疏松上,相较于传统的骨密度测定更有其独到之处。传统 DXA 骨密度的平面投影成像容易受到体质量、脊柱侧弯、椎体骨质增生、腹主动脉钙化等影响。而定量骨断层显像不仅能够通过 CT 图像了解受检部位的显微结构,骨小梁变化等信息,SUV 的应用,更能对受检部位的骨量有定量的数据支持,有助于提升骨密度诊断的准确度。

本研究发现,骨质疏松患者腰椎 SUV_{max}、SUV_{mean} 相较于低骨量患者及正常受检者的 SUV_{max}、SUV_{mean} 均显著降低,与余丰文等^[16]研究一致,他们发现腰椎 SUV_{max} 和 SUV_{mean} 分别为 7.39 ± 1.84 和 4.90 ± 1.27 ,均与 BMD 呈正相关 ($r=0.64, 0.63, P$ 均 < 0.01)。本研究还发现股骨颈与全髋部位的 SUV 并差异无统计学意义,且在相关性分析中,腰椎的 SUV 与 BMD 存在正相关,而股骨颈与全髋部位的 SUV 与相应部位的 BMD 并无显著的相关性。马晓龙等^[18]的实验研究中说明,可能是由于腰椎部位的 BMD 下降程度较股骨颈及全髋高,腰椎处骨矿物质的丢失更早,更易监测到骨质疏松的发生。定量核素骨显像所提供的标准摄取值信息能够较为准确地反映椎体骨代谢情况^[19],而骨代谢异常也是骨质疏松症发病的重要原因之一^[20]。因此,定量 SPECT/CT 核素骨显像能够为骨质疏松的诊断提供更多信息。

本研究对不同性别 SUV 进行对比发现男性腰椎的 SUV 显著高于女性。既往有学者提出个体重心的提高会导致腰椎承重增加、局部骨骼更多的血液供应及骨盐代谢的增加,进而导致腰椎 SUV 的增高^[21]。本研究中,男性的身高显著高于女性可能是导致腰椎 SUV 差异的原因。然而与既往的一项研究结果不一致^[22],纳入研究病例的异质性(年龄结构)可能导致了结果的差异。

严重的骨质疏松会导致骨结构的破坏,也会导致放射性核素的浓聚。这给恶性肿瘤的骨转移及原发性骨肿瘤与骨质疏松导致的压缩性骨折间的鉴别诊断带来一定的困难。本研究团队前期在大样本人群中建立了正常椎体 SUV 的范围,并且发现正常椎

体、良性骨病变椎体、椎体骨转移灶的 SUV 差异有统计学意义,初步结果证实了 SUV 在鉴别骨良恶性病变中的潜在价值,可为临床诊断和评价椎体病变治疗效果提供定量参考^[23]。Ogura 等^[14]的研究也表明恶性肿瘤骨转移部位的 SUV 与正常部位或良性骨病变 SUV 存在明显差异。骨质疏松人群椎体的 SUV 与正常椎体及恶性肿瘤骨转移或原发性骨肿瘤患者病变部位的 SUV 是否存在差异,将会进一步研究。

本研究尚有局限性:(1) 由于进行骨扫描的患者中 88% 都有恶性肿瘤的病史,可能造成骨转移瘤本身及放疗、化疗及内分泌治疗等因素影响骨骼 SUV 的定量;(2) 由于病例数有限,未根据性别和年龄的骨密度进行分层研究 BMD 与定量骨断层 SUV 的相关性。

综上所述,骨质疏松患者腰椎、股骨颈及全髋 SUV_{max} 及 SUV_{mean} 均显著减低,且腰椎 SUV 与骨密度有显著相关性,可用于评价骨质疏松。骨质疏松可导致 SUV 降低,在骨定量显像用于骨良恶性鉴别诊断时应引起重视。

【参考文献】

- [1] HETZEL M, HETZEL J, ARSLANDEMIR C, et al. Reliability of symptoms to determine use of bone scans to identify bone metastases in lung cancer: prospective study[J]. *BMJ*, 2004,328(7447): 1051-1052.
- [2] 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.
- [3] 梁春蕊,王茜,赵赟赟,等.骨质疏松性骨折与骨转移瘤的骨显像鉴别诊断[J]. *中国骨质疏松杂志*, 2021, 27(2): 248-251.
- [4] YIP C H W, LIEM G S, MO F K F, et al. Bone health in premenopausal Chinese patients after adjuvant chemotherapy for early breast cancer[J]. *Breast Care (Basel)*, 2020,15(6): 655-666.
- [5] MAILLEFERT J F, SIBILIA J, MICHEL F, et al. Bone mineral density in men treated with synthetic gonadotropin-releasing hormone agonists for prostatic carcinoma[J]. *J Urol*, 1999,161(4): 1219-1222.
- [6] COHEN B, HILLER N, SZALAT A, et al. Opportunistic evaluation of bone mineral density by pet-ct in Hodgkin lymphoma patients[J]. *Endocr Pract*, 2019,

- 25(9): 869-876.
- [7] 夏英鹏,王辉. 唑来膦酸(密固达)治疗绝经后无骨转移乳腺癌患者骨质疏松的效果观察[J]. 中国骨质疏松杂志,2015,21(4): 463-466.
- [8] 黄晓红,智生芳,毕伟. 乳腺癌术后化疗对骨质密度的影响[J]. 中国肿瘤临床与康复,2014,21(3): 355-357.
- [9] 中华医学会放射学分会骨关节学组,中国医师协会放射医师分会肌骨学组,中华医学会骨科学分会骨质疏松学组,等. 骨质疏松的影像学与骨密度诊断专家共识[J]. 中华骨科杂志,2020,40(16): 1039-1046.
- [10] CLÒ A, GIBELLINI D, DAMIANO D, et al. Calcaneal quantitative ultrasound(QUS) and dual X-ray absorptiometry(DXA) bone analysis in adult HIV-positive patients[J]. *New Microbiol*, 2015,38(3): 345-356.
- [11] KANIS J A, COOPER C, RIZZOLI R, et al. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women[J]. *Osteoporos Int*, 2019,30(1): 3-44.
- [12] SARIKAYA I, SARIKAYA A. Assessing PET parameters in oncologic ¹⁸F-FDG studies[J]. *J Nucl Med Technol*, 2020,48(3): 278-282.
- [13] BECK M, SANDERS J C, RITT P, et al. Longitudinal analysis of bone metabolism using SPECT/CT and (99m)Tc-diphosphono-propanedicarboxylic acid: comparison of visual and quantitative analysis [J]. *EJNMMI Res*, 2016,6(1): 60.
- [14] OGURA I, SASAKI Y, SUE M, et al. Tc-99m hydroxymethylene diphosphonate SPECT/CT for the evaluation of osteonecrosis of the jaw: preliminary study on diagnostic ability of maximum standardised uptake value[J]. *Clin Radiol*, 2020,75(1): 46-50.
- [15] 楼菁菁,刘江,董科. 骨显像半定量分析在骨质疏松疗效监测中的应用[J]. 中国医药导报,2014,11(16): 97-100.
- [16] 余丰文,冯彦林,黄克敏,等. ⁹⁹Tc^m-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.
- [17] 樊鑫,秦珊珊,张佳佳,等. SPECT/CT 骨显像作为肿瘤患者随访检查的临床价值[J]. 同济大学学报(医学版),2019,40(2): 157-161.
- [18] 马晓龙,刘强,吴斗,等. 骨质疏松显微骨折早期发生发展过程的实验研究[J]. 中华老年骨科与康复电子杂志,2016,2(3): 129-135.
- [19] CHAKRABORTY D, BHATTACHARYA A, METE U K, et al. Comparison of 18F fluoride PET/CT and 99mTc-MDP bone scan in the detection of skeletal metastases in urinary bladder carcinoma [J]. *Clin Nucl Med*, 2013,38(8): 616-621.
- [20] DAS A K, RAJKUMAR V. Effect of different fat level on microwave cooking properties of goat meat patties [J]. *J Food Sci Technol*, 2013,50(6): 1206-1211.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] QI N, MENG Q Y, YOU Z W, et al. Standardized uptake values of ^{99m}Tc-MDP in normal vertebrae assessed using quantitative SPECT/CT for differentiation diagnosis of benign and malignant bone lesions [J]. *BMC Med Imaging*, 2021,21(1): 39.