

· 临床研究 ·

胸椎 QCT 诊断骨质疏松 BMD 阈值的临床研究

刘斋 赵君禄 赵保根 任庆云*

河北医科大学第一医院放射科,河北 石家庄 050031

中图分类号: R814.42 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2023)10-1442-05

摘要: **目的** 分析下部胸椎与腰椎骨密度的相关性并确定诊断骨质疏松及骨量减少的胸椎骨密度阈值。**方法** 回顾性分析因临床需要进行腹部 CT 扫描的患者 276 名。测量 $T_{10} \sim L_3$ 各椎体的 BMD, 使用 Pearson 相关分析各椎体间的 BMD 及胸椎 ($T_{10} \sim L_{12}$) 与腰椎 ($L_1 \sim L_3$) 平均 BMD 的相关性, 应用线性回归方程计算诊断骨质疏松及骨量减少的胸椎平均 BMD 阈值。**结果** T_{10} 至 L_3 椎体 BMD 逐渐减低, BMD 范围 (120.49 ± 35.96) $\text{mg}/\text{cm}^3 \sim (95.62 \pm 35.95)$ mg/cm^3 , $T_{10} \sim L_3$ 各椎体之间 BMD 均呈明显正相关 ($r = 0.894 \sim 0.967, P < 0.05$), $T_{10} \sim L_{12}$ 平均 BMD 与 $L_{1 \sim 3}$ 平均 BMD 相关系数为 0.957。胸椎诊断骨质疏松及骨量减少的平均 BMD 阈值分别是 $96.59 \text{ mg}/\text{cm}^3$ 及 $134.75 \text{ mg}/\text{cm}^3$ 。**结论** 胸椎与腰椎 BMD 呈明显相关性, 胸椎 BMD 测量可以作为诊断骨质疏松及骨量减少的方法。

关键词: CT; 胸椎; 骨质疏松; 定量 CT; 骨密度

The clinical study on diagnostic BMD thresholds of thoracic vertebral for osteoporosis

LIU Zhai, ZHAO Junlu, ZHAO Baogen, REN Qingyun*

Department of Radiology, The First Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050031, China

* Corresponding author: REN Qingyun, Email: ren_qingyun@163.com

Abstract: **Objective** To analyze the correlation between thoracic and lumbar bone mineral density and to identify specific diagnostic thresholds of osteoporosis and osteopenia for the thoracic spine. **Methods** Retrospective analysis of 276 patients who received abdomen non-contrast-enhanced CT scan for other indication. BMD of each vertebra spanning $T_{10} \sim L_3$ was measured, the correlation between BMD of each vertebral body, mean $T_{10} \sim T_{12}$ BMD and mean $L_1 \sim L_3$ BMD were analyzed using Pearson analysis. The cut-off values of thoracic spine ($T_{10} \sim L_{12}$) averaged BMD for osteoporosis and osteopenia were calculated using linear regression. **Results** The BMD of vertebral body from T_{10} to L_3 gradually decreased, with the highest BMD in the T_{10} ($120.49 \pm 35.96 \text{ mg}/\text{cm}^3$) and lowest at L_3 ($95.62 \pm 35.95 \text{ mg}/\text{cm}^3$). Significant correlations in BMD among all measured thoracic and lumbar levels were observed ($r = 0.894 \sim 0.967, P < 0.05$), and a Pearson's correlation coefficient between mean $T_{10} \sim T_{12}$ BMD and mean $L_1 \sim L_3$ BMD was 0.957. Respective cut-off values of mean $T_{10} \sim T_{12}$ BMD for osteoporosis and osteopenia was $96.59 \text{ mg}/\text{cm}^3$ and $134.75 \text{ mg}/\text{cm}^3$. **Conclusion** There is a high correlation between mean $L_1 \sim L_3$ BMD and mean $T_{10} \sim T_{12}$ BMD, BMD measurement of thoracic spine can be used as a method for diagnosis of osteoporosis and osteopenia.

Key words: computed tomography; thoracic spine; osteoporosis; quantitative computed tomography; bone mineral density

骨质疏松是一个以低骨量和骨的微结构破坏导致脆性增加, 容易发生脆性骨折为特征的骨骼疾病^[1]。研究显示我国 50 岁以上人群中, 女性和男性年龄标准化骨质疏松症患病率分别为 29.13% 和 6.46%, 目前我国现有男性及女性骨质疏松症患者分别超过 1000 万和 4000 万^[2-3]。骨质疏松性骨折是骨质疏松最严重的并发症, 严重影响患者的生活

质量, 而且具有很高的死亡率, 已经成为全球的公共卫生问题。骨质疏松可以通过筛查进行早期诊断及早期治疗防止骨折并发症的出现。骨密度 (bone mineral density, BMD) 测量是诊断骨质疏松的主要方法。目前常用的 BMD 测量技术主要包括双能 X 线吸收仪 (dual energy X-ray absorptiometry, DXA) 和定量 CT (quantitative computed tomography, QCT) 检查。

DXA 是测量 BMD 的金标准, DXA 已被广泛用于临床诊断骨质疏松及骨折风险性预测, 但我国现

基金项目: 河北省财政厅基金项目 (LS201804)

* 通信作者: 任庆云, Email: ren_qingyun@163.com

有 DXA 骨密度测量仪的数量远不能满足临床需求^[4]。QCT 是利用临床 CT 扫描的数据,结合 QCT 的质量控制和分析系统测量 BMD 的方法。QCT 检查诊断骨质疏松的标准是以腰椎 QCT 的 BMD 绝对值进行诊断,腰椎 BMD 低于 80 mg/cm^3 为骨质疏松^[5],应用 QCT 测量胸椎 BMD 已有文献报道^[6-7],但是,对胸椎 QCT BMD 诊断骨质疏松的阈值研究鲜见报道,本研究通过应用 QCT 测量胸腰段 BMD 值,分析胸椎与腰椎 BMD 的相关性及探讨下部胸椎诊断骨质疏松及骨量减少的 BMD 阈值。

1 材料和方法

1.1 一般资料

选取 2021 年 7 月至 2022 年 10 月在河北医科大学第一医院因腹部疾病行腹部 CT 扫描的患者 276 名,其中,男性 159 名,平均年龄(58.4 ± 14.3)岁,女性 117 名,平均年龄(62.3 ± 58.4)岁。排除标准:所测椎体存在骨折、手术史、原发性或转移性肿瘤,强直性脊柱炎、弥漫性特发性骨质增生症及影响骨代谢的慢性疾病,服用影响骨代谢的药物(如糖皮质激素、抗癫痫药物等)的患者。

1.2 CT 扫描及 BMD 测量方法

采用飞利浦 64 排 CT 扫描仪(Incisive CT Essentials, Philips, 苏州, 中国)行腹部 CT 扫描。扫描参数如下:扫描范围:膈肌上缘至耻骨联合下缘,电压为 120 kV,电流为自动毫安秒技术,剂量指数为 23,探测器宽度 $64 \text{ mm} \times 0.625 \text{ mm}$,FOV $35 \sim 40 \text{ cm}$ 。标准算法重建,层厚及层间隔均为 0.625 mm 。迭代算法采用 iDose 技术,权重为 3。

QCT 测量软件为美国 mindways(MW)QCT PRO

V6.1 骨密度分析软件。将 CT 容积数据从 PACS 传到 MW QCT 软件中,通过多平面重组(multi-plane reformation, MPR)的方式,参考冠状面及矢状面,选取椎体中心层面的轴位图像,选择兴趣区(region of interest, ROI),避开骨皮质、骨岛、骨质增生硬化区及椎体后中央静脉沟,ROI 尽可能多的包括松质骨(见图 1),ROI 的厚度均为 9 mm 。MW 软件分别对 $T_{10} \sim L_3$ 椎体松质骨 BMD 进行测量,得出每个椎体的 BMD 值。根据中国腰椎定量 CT 骨密度诊断骨质疏松标准^[5],腰椎 QCT 体积骨密度 $>120 \text{ mg/cm}^3$ 为正常, $80 \text{ mg/cm}^3 \leq \text{体积骨密度} \leq 120 \text{ mg/cm}^3$ 为骨量减少,体积骨密度 $<80 \text{ mg/cm}^3$ 为骨质疏松。

1.3 统计学处理

采用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析。计量资料采用均数 $\pm$ 标准差表示,所有数据经正态性检验均符合正态分布,应用单因素方差分析法检测组间的差异,应用 Pearson 相关性检验分析各椎体间 BMD 的相关性,采用线性回归方程计算诊断胸椎骨质疏松及骨量减少的 BMD 阈值,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

本组 276 例患者中,骨量正常组 79 例,骨量减少组 125 例,骨质疏松组 72 例。男性及女性病例 3 组间年龄差异均有统计学意义($P < 0.01$),女性病例 3 组间身高、体重及 BMI 差异无统计学意义($P > 0.05$),而男性病例身高、体重及 BMI 差异有统计学意义($P < 0.01$),见表 1。

表 1 研究人群一般资料特征($\bar{x} \pm s$)

Table 1 General data characteristics of the study population($\bar{x} \pm s$)

组别	年龄/(岁)		身高/(cm)		体重/(kg)		BMI/(kg/m ²)	
	女	男	女	男	女	男	女	男
骨质疏松组	69.4 ± 10.2	69.8 ± 7.7	160.0 ± 4.5	167.6 ± 6.4	62.93 ± 11.43	65.89 ± 11.15	24.57 ± 3.56	23.46 ± 3.63
骨量减少组	61.0 ± 8.7	62.3 ± 13.8	161.0 ± 5.3	171.5 ± 4.9	62.08 ± 11.70	69.11 ± 9.53	23.93 ± 3.73	23.48 ± 2.91
骨质正常组	51.9 ± 10.3	49.7 ± 11.3	160.0 ± 4.8	172.9 ± 5.3	70.29 ± 18.53	79.22 ± 13.51	27.47 ± 6.58	26.41 ± 4.05
F 值	14.208	19.734	0.424	6.159	1.840	9.414	2.961	6.803
P 值	<0.001	<0.001	0.657	0.003	0.168	<0.001	0.060	0.002

2.2 各椎体间 BMD 相关性分析

$T_{10} \sim L_3$ 各椎体间 BMD 均呈明显相关($r = 0.894 \sim 0.967$, $P < 0.05$), $T_{10 \sim 12}$ 平均 BMD 与 $L_{1 \sim 3}$ 平均 BMD 相关系数为 0.957,详见表 2 及图 2。

2.3 胸腰椎各椎体 BMD

胸腰椎各椎体平均 BMD 见表 3, T_{10} 至 L_3 椎体 BMD 逐渐减低,除 T_{10} 与 T_{11} 、 T_{11} 与 T_{12} 、 T_{12} 与 L_1 、 L_1 与 L_2 及 L_2 与 L_3 间 BMD 差异无统计学意义外,各椎体间 BMD 差异有统计学意义($P < 0.05$)。男性及

表 2 胸腰椎不同椎体间 BMD 相关系数值

Table 2 BMD correlation coefficient values between different vertebrae of thoracic and lumbar

椎体	T ₁₁	T ₁₂	L ₁	L ₂	L ₃	L ₁ ~L ₃ 平均
T ₁₀	0.960	0.916	0.916	0.894	0.893	0.919
T ₁₁	-	0.950	0.947	0.923	0.918	0.947
T ₁₂	-	-	0.951	0.933	0.918	0.960
T ₁₀ ~T ₁₂ 平均	-	-	0.959	0.933	0.920	0.957
L ₁	-	-	-	0.963	0.942	0.982
L ₂	-	-	-	-	0.967	0.991
L ₃	-	-	-	-	-	0.984

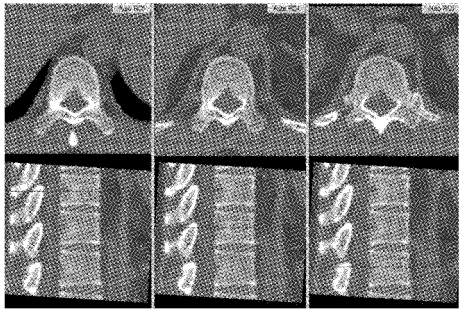


图 1 男, 53 岁, T₁₀~T₁₂ 椎体 QCT 骨密度测量示意图
Fig.1 Male, 53years, BMD measurement of T10-T12 vertebral bodies with QCT

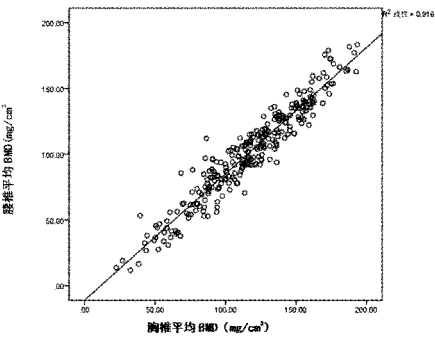


图 2 胸椎平均 BMD 与腰椎平均 BMD 的相关性
Fig.2 Correlation between thoracic measurements vs lumbar measurements for BMD

女性胸椎 (T₁₀~T₁₂) 平均 BMD 分别为 (123.33 ± 32.60) mg/cm³ 和 (106.11 ± 36.59) mg/cm³, 而腰椎 (L₁~L₃) 分别为 (108.54 ± 32.21) mg/cm³ 和 (89.28 ± 36.90) mg/cm³。男性及女性胸椎平均 BMD 比腰椎分别高 11.99 % 及 15.86 %。在 T₁₀ 至 L₃ 椎体中每个椎体 BMD, 男性均显著高于女性 (P < 0.05), T₁₀ 至 L₃ 椎体男女间同一椎体 BMD 差值范围 12.89~18.35 mg/cm³, 见图 3。

表 3 胸腰椎平均 BMD 比较

Table 3 Comparison of mean bone mineral density (BMD) in thoracic and lumbar

椎体	例数	BMD (mg/cm ³)	P 值					
			T ₁₀	T ₁₁	T ₁₂	L ₁	L ₂	L ₃
T ₁₀	276	120.49 ± 35.96	-	0.278	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
T ₁₁	276	117.19 ± 35.94		-	0.034	<0.001	<0.001	<0.001
T ₁₂	272	110.74 ± 35.90			-	0.140	0.001	<0.001
L ₁	272	106.21 ± 35.00				-	0.068	0.001
L ₂	276	100.64 ± 36.06					-	0.100
L ₃	272	95.62 ± 35.95						-

注: 总例数 276 例, 其中, 胸 12、腰 1、腰 3 椎体各有 4 个椎体由于椎体轻度楔形变或骨质疏松性骨折未纳入研究。

2.4 诊断骨质疏松的胸椎 BMD 阈值

以 L_{1~3} 椎体平均 BMD 为应变变量, 以每个胸椎及 T_{10~12} 椎体平均 BMD 为变量, 通过线性回归拟合方程获得胸椎诊断骨质疏松及骨量减少的 BMD 阈值 (表 4), 应用 T₁₀~T₁₂ 3 个椎体的平均 BMD 诊断骨质疏松及骨量减少的阈值分别为 96.59 mg/cm³ 及 134.75 mg/cm³。

3 讨论

骨质疏松症是最常见的代谢性骨骼疾病。骨质疏松性骨折是骨质疏松症的严重临床后果, 好发于腕部、脊柱和髌部等部位^[8]。DXA 及 QCT 检查通

表 4 胸 10-12 椎体及其平均 BMD 值诊断骨质疏松及骨量减少阈值

Table 4 BMD thresholds for osteoporosis and osteopenia for thoracic vertebra

项目	R ²	回归方程	胸椎骨量减少阈值 / (mg/cm ³)	胸椎骨质疏松阈值 / (mg/cm ³)
T ₁₀	0.845	0.932X + 26.884	138.72	101.44
T ₁₁	0.896	0.958X + 21.065	136.03	97.71
T ₁₂	0.921	0.971X + 12.855	129.38	90.54
T 平均	0.916	0.954X + 20.268	134.75	96.59

常测量腰椎及股骨近端的骨密度。椎体松质骨的面积是皮质骨的 8 倍, 其代谢活性明显高于骨皮质, 是反映骨强度变化更敏感的标志物^[9]。DXA 检查是

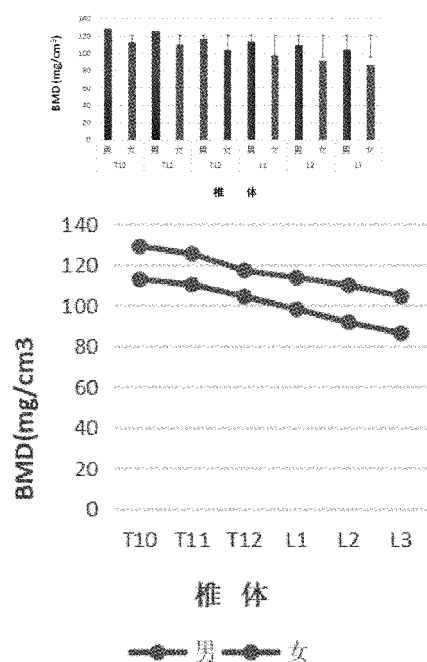


图3 男性及女性 $T_{10} \sim L_3$ 椎体 BMD

Fig.3 BMD of the $T_{10} \sim L_3$ vertebral bodies by gender

二维平面的测量,无法区分骨松质与骨皮质,另外,由于胸椎前方有胸骨及心脏等结构,DXA 检查不能用于胸椎 BMD 测量,定量 CT 是三维容积 BMD 测量技术,可以单独测量椎体松质骨的 BMD,且不受周围结构的影响,因此,胸椎定量 CT 有可能成为评估和监测骨强度的一种重要方法。机会性骨质疏松筛查是指借助因其他适应症而进行的常规 CT 检查,利用 CT 影像含有的信息对患者的 BMD 进行评估的方法,其优势在于不增加患者的费用、检查时间及辐射剂量,在诊断临床疾病的同时对患者的 BMD 进行评估^[10-12]。多数研究中机会性骨质疏松筛查的部位主要是测量腰椎、颈椎 BMD^[13-14],本研究显示胸椎 BMD 与腰椎 BMD 呈显著正相关,与文献报道一致^[6],胸椎 BMD 测量具有高度的准确性和可重复性,使用胸椎 BMD 筛查骨质疏松具有可行性^[15]。在我国,每年由于各种临床适应症及肺癌筛查进行大量的胸部 CT 检查,在诊断临床疾病的同时,进行 QCT 骨质疏松筛查,患者能够从这种机会性策略中获益。

本研究资料显示, $T_{10} \sim L_3$ 椎体 BMD 由头侧至尾侧呈逐渐减低趋势,与蒋新新等报道基本一致^[6];除相邻两椎体间 BMD 差异无统计学意义外,各椎体间 BMD 差异有统计学意义($P < 0.05$)。Wong 等^[16]研究显示胸椎平均 BMD 较腰椎 BMD 高 4.7%,Budoff 等^[15]研究结果为女性平均胸椎 BMD 较腰椎高 20.7

%,男性为 17%,本组病例结果为女性胸椎平均 BMD 较腰椎高 15.86%,男性为 11.99%。

端木羊羊等^[17]基于欧洲腰椎体模(ESP)的研究显示,不同 QCT 设备测量骨密度值有显著差异,但骨密度的准确度误差在合理范围,可以用于临床随访观察,此外不同种族、年龄等因素对于骨密度值也有一定影响。

我国诊断骨质疏松专家共识^[5]中骨质疏松的诊断标准是取 2 个腰椎椎体松质骨骨密度平均值(常用第 1 和第 2 腰椎) $< 80 \text{ mg/cm}^3$,由于胸椎与腰椎 BMD 绝对值差异较大,显然,胸椎 BMD 并不适用于这个标准。Rühling 等^[18]通过应用线性回归方程可以使胸椎与腰椎 BMD 互相转换,计算出胸 1 至胸 12 椎体中每个椎体与 L_{1-3} 椎体平均 BMD 的线性回归方程,获得每个椎体的骨质疏松及骨量减少的 BMD 阈值。本组研究计算出 $T_{10} \sim T_{12}$ 每个椎体 BMD 值的线性回归方程及其骨质疏松与骨量减少的 BMD 阈值,与前者结果基本一致,与前者不同的是,本组研究还计算出诊断骨质疏松与骨量减少的 $T_{10} \sim T_{12}$ 椎体 BMD 的平均阈值。笔者认为通过测量一个椎体 BMD 诊断骨质疏松时,出现 BMD 测量偏倚的概率较高,同时测量 $T_{10} \sim T_{12}$ 3 个椎体 BMD,测量值具有更高的可靠性。本组选择 $T_{10} \sim T_{12}$ 椎体 BMD 进行测量,主要基于以下因素考虑,其一,胸腰段 BMD 变化率较小,下部胸段椎体 BMD 更接近于腰椎 BMD^[18],其次,胸腰段椎体($T_{11} \sim L_1$)是脊柱承受压力负荷最大的节段,也是骨质疏松性骨折的最常见部位^[19-20],下部胸椎 BMD 测量对于预测骨质疏松性椎体骨折具有更大的临床意义,此外,常规胸部 CT 扫描的范围都包括了 $T_{10} \sim T_{12}$ 椎体,通过常规胸部 CT 平扫可以实现机会性骨质疏松筛查。

本研究有一定的限度。第一,为单中心回顾性研究,样本量较少,特别是 40 岁以下样本不足,存在一定的偏倚。其次,没有对预测骨质疏松性骨折的胸椎 BMD 阈值进行分析。

综上,胸椎 BMD 与腰椎 BMD 呈高度相关,胸椎 BMD 可以预测骨质疏松及骨量减少,胸椎诊断骨质疏松及骨量减少的平均 BMD 阈值分别是 96.59 mg/cm^3 及 134.75 mg/cm^3 。

【参考文献】

- [1] 邱敏丽,谢雅,王晓红,等.骨质疏松症患者实践指南[J].中华内科杂志,2020,59(12):953-959.

(下转第 1457 页)

- 27(7):1085-1090.
- [14] Liu C, Hua L, Liu K, et al. Impaired sensitivity to thyroid hormone correlates to osteoporosis and fractures in euthyroid individuals[J]. J Endocrinol Invest, 2023 Feb 16.
- [15] Akhoundzadeh K, Vakili A, Sameni HR, et al. Effects of the combined treatment of bone marrow stromal cells with mild exercise and thyroid hormone on brain damage and apoptosis in a mouse focal cerebral ischemia model[J]. Metab Brain Dis, 2017, 32(4):1267-1277.
- [16] 詹先琴. 甲亢患者骨钙素和甲状旁腺激素相关蛋白及脂代谢指标相关性[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2019.
- [17] 张雯雯. 促甲状腺激素对骨代谢的影响及机制研究[D]. 济南: 山东大学, 2022.
- [18] 干昇, 杨成会, 游泽丽. 探究围绝经期亚临床甲状腺功能减退症患者的糖脂代谢、骨密度的变化[J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25(9):1298-1302.
- [19] Lademann Franziska, Rauner Martina, Bonnet Nicolas, et al. Low bone turnover due to hypothyroidism or anti-resorptive treatment does not affect whole-body glucose homeostasis in male mice[J]. J Personal Med, 2022, 12(9):1462.
- [20] 周厚地, 黎黎, 刘瑶, 等. 单个或多个不同部位骨密度检测对骨质疏松症的诊断效果评价[J]. 西部医学, 2022, 34(1):104-108.
- [21] 傅媛, 王金华, 方莉萍, 等. 骨代谢四项标志物在甲状腺疾病中的意义[J]. 浙江实用医学, 2020, 25(4):252-254.
- [22] 米涌, 李路, 钟紫茹. L-T4 治疗结节性甲状腺肿对骨代谢的影响[J]. 实用医学杂志, 2000, 16(8):649-650.
- [23] Zou Y, Li B, Wang XD, et al. The risk between thyrotropin suppression and bone mineral density in differentiated thyroid cancer[J]. Medicine, 2022, 101(48):e31991-e31991.
- [24] Wang Shiwei, Wang Yu, Zhu Li, et al. Effects of TSH suppressive therapy on bone mineral density (BMD) and bone turnover markers (BTMs) in patients with differentiated thyroid cancer in Northeast China: a prospective controlled cohort study. [J]. Endocrine, 2023, 79(1):113-124.
- [25] 王晨怡. 外源性左甲状腺素补充或抑制治疗对骨代谢的影响及其机制的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2021.

(收稿日期: 2023-03-09; 修回日期: 2023-03-31)

(上接第 1445 页)

- [2] 程晓光, 董剩勇, 王亮, 等. 应用双能 X 线骨密度仪调查中国人群骨密度水平和骨质疏松症患病率-多中心大样本体检人群调查[J]. 中华健康管理学杂志, 2019, 13(1):51-58.
- [3] Zeng Q, Li N, Wang Q, et al. The prevalence of osteoporosis in China, a nationwide, multicenter DXA survey[J]. J Bone Miner Res, 2019, 34(10):1789-1797.
- [4] 程晓光, 王亮, 曾强, 等. 中国定量 CT (QCT) 骨质疏松症诊断指南 (2018) [J]. 中国骨质疏松杂志, 2019, 25(6):733-737.
- [5] 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. 骨质疏松的影像学及骨密度诊断专家共识[J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(16):1039-1046.
- [6] 蒋新新, 钱伟军, 李立. 中老年人群中不同胸腰椎骨密度的定量 CT 分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2022, 20(5):179-182.
- [7] Mao SS, Li D, Syed YS, et al. Thoracic quantitative computed tomography (QCT) can sensitively monitor bone mineral metabolism: comparison of thoracic QCT vs lumbar QCT and dual-energy X-ray absorptiometry in detection of age-related change in bone mineral density [J]. Acad Radiol, 2017, 24(12):1582-1587.
- [8] Clynes MA, Harvey NC, Curtis EM, et al. The epidemiology of osteoporosis[J]. Br Med Bull, 2020, 133(1):105-117.
- [9] Soliman HAG, Mac-Thiong JM, Levasseur A, et al. Assessment of Regional bone density in fractured vertebrae using quantitative computed tomography[J]. Asian Spine J, 2017, 11(1):57-62.
- [10] Boutin RD, Lenchik L. Value-added opportunistic CT: insights into osteoporosis and sarcopenia [J]. Am J Roentgenol, 2020, 215(3):582-594.
- [11] Fuggle NR, Curtis EM, Ward KA, et al. Fracture prediction, imaging and screening in osteoporosis[J]. Nat Rev Endocrinol, 2019, 15(9):535-547.
- [12] Löffler MT, Jacob A, Scharr A, et al. Automatic opportunistic osteoporosis screening in routine CT: improved prediction of patients with prevalent vertebral fractures compared to DXA[J]. Eur Radiol, 2021, 31(8):6069-6077.
- [13] 刘正华, 张玉婷, 孔江涛, 等. 年龄分层在女性腰椎骨密度与肥胖相关研究中的必要性[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(2):259-262.
- [14] 张勇, 程晓光, 田伟, 等. 健康国人颈椎和腰椎体积骨密度的定量 CT 研究[J]. 中华解剖与临床杂志, 2020, 25(1):1-7.
- [15] Budoff MJ, Hamirani YS, Gao YL, et al. Measurement of thoracic bone mineral density with quantitative CT [J]. Radiology, 2010, 257(2):434-440.
- [16] Wong M, Papa A, Lang T, et al. Validation of thoracic quantitative computed tomography as a method to measure bone mineral density[J]. Calcif Tissue Int, 2005, 76(1):7-10.
- [17] 端木羊羊, 王玲, 张勇, 等. 骨密度测量的准确度和精密的评价[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(4):359-364.
- [18] Rühling S, Scharr A, Sollmann N, et al. Proposed diagnostic volumetric bone mineral density thresholds for osteoporosis and osteopenia at the cervicothoracic spine in correlation to the lumbar spine[J]. Eur Radiol, 2022, 32(9):6207-6214.
- [19] Van Der Klift M, De Laet CEDH, McCloskey EV, et al. The incidence of vertebral fractures in men and women: The Rotterdam study [J]. J Bone Miner Res, 2002, 17(6):1051-1056.
- [20] Bruno AG, Burkhart K, Allaire B, et al. Spinal loading patterns from biomechanical modeling explain the high incidence of vertebral fractures in the thoracolumbar region [J]. J Bone Miner Res, 2017, 32(6):1282-1290.

(收稿日期: 2023-02-27; 修回日期: 2023-08-01)