

· 综述 ·

# 体积骨密度评价骨质疏松症的价值和前景

孙蕾<sup>1</sup> 李晓丹<sup>2</sup> 张月华<sup>1</sup> 徐健<sup>1</sup> 王文志<sup>1\*</sup> 杨定焯<sup>1\*</sup>

1 四川大学华西第四医院骨质疏松科, 四川 成都 610041

2 四川大学华西医院消化科, 四川 成都 610041

中图分类号: 320.2440 文献标识码: A 文章编号: 1006-7108(2021)08-1227-05

**摘要:** 20 多年来面积骨密度 (areal bone mineral density, aBMD) 在骨质疏松症 (osteoporosis, OP) 的临床和科研中发挥了重要作用, 但是骨矿含量 (bone mineral content, BMC) 的不完全标准化及与骨生物力学负荷原则的不适应, 导致漏、误诊增多。因此, 骨生物力学研究中提出了更好的表观密度 (体积骨密度-volumetric bone mineral density, vBMD) 指标, vBMD 是适合骨生物力学要求的形态学指标, 可能是获得活体骨强度的过渡指标。vBMD 排除了个体骨大小不同对骨量的影响, 增强了个体间的可比性。vBMD 在临床应用上拓宽了正常参考值的应用范围 (儿童和成人共用), 提高了诊断 OP 的准确性 (避免了 BMD 指标引起的漏、误诊)。vBMD 具有多种优越性, 是值得进一步开发的中线骨骨质疏松诊断指标。

**关键词:** 骨质疏松; 骨矿含量; 标准化; 体积骨密度

## The value and prospect of vBMD in the evaluation of osteoporosis

SUN Lei<sup>1</sup>, LI Xiaodan<sup>2</sup>, ZHANG Yuehua<sup>1</sup>, XU Jian<sup>1</sup>, WANG Wenzhi<sup>1\*</sup>, YANG Dingzhao<sup>1\*</sup>

1. Department of Osteoporosis, No 4 West China Teaching Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041

2. Department of Digestive Internal, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

\* Corresponding authors: WANG Wenzhi, Email: 1124989091@qq.com; YANG Dingzhao, Email: dzyang1019@163.com

**Abstract:** Over the past 20 years, the area bone mineral density (aBMD) has played an important role in the clinical and scientific research of osteoporosis (OP). However, the incompletely standardization of bone mineral content (BMC) and its inadaptability to the principle in bone biomechanics lead to the increasingly rate of misdiagnosis or missed diagnosis. Therefore, volumetric bone mineral density (vBMD) which is a better index of bone biomechanics, has been put forward. vBMD is a morphological index to bone biomechanics, which may be a transitional index to obtain bone strength in vivo. In addition, vBMD can exclude the influence of different bone size on bone mass and enhance the comparability between individuals. In clinical application, vBMD widens the application range of normal reference value (shared by children and adults), and improves the accuracy of OP diagnosis. vBMD has many advantages, and it is worth further developing.

**Key words:** osteoporosis; bone mineral content; standardization; volumetric bone mineral density

## 1 评价骨质疏松症的骨材料定量方法

目前骨质疏松症 (osteoporosis, OP) 的评价方法有两种: 骨矿含量定量方法<sup>[1]</sup> (1994 年 WHO 建立的诊断标准) 和骨强度定量方法<sup>[2]</sup> (2001 年由 NIH 提出)。后者要求取出裸骨在压力机上测量骨力学强度才能实现, 邱贵兴等<sup>[2]</sup>认为, 骨受外力后在骨折前的最大力学负荷是骨强度, 然而这无法在活体上实施。

骨矿定量评价骨质疏松症的方法, 从 1994 年建立面积骨密度 ( $BMD = BMC/cm^2$ , 即  $g/cm^2$ ) 作为诊断骨质疏松症的标准以来, 该方法在临床流调、药物开发、骨密度仪研究、基础医学研究等方面, 为医学学科的发展提供了巨大的贡献, 并将继续作出贡献。

然而, 多年以来, 较多的专家、学者对不同的骨密度 ( $g/cm^2$  或  $g/cm^3$ ) 方法应用于骨质疏松症的评价有不同的意见。特别是 Carter 等<sup>[3]</sup>认为:  $g/cm^2$  是骨矿含量除以投射面积, 由于圆柱体的厚度没有得到校正, 因此体积大的圆柱体的  $g/cm^2$  明显高于体积小的圆柱体。Von C.Mow 等<sup>[4]</sup>认为在某种意义上 BMD ( $g/cm^2$ ) 反映的不是真正的骨密度, 仅仅是

基金项目: 四川省科技厅重点项目 (2018SZ0396)

\* 通信作者: 王文志, Email: 1124989091@qq.com; 杨定焯, Email: dzyang1019@163.com

二维的估计值,因此,身材魁梧病人的 BMC 和 BMD 值大于身材瘦小的人,即使这两个病人的实际骨密度(vBMD)相等,对身材矮小病人作出骨质疏松症诊断的几率较高,而身材魁梧病人的严重骨丢失却往往被漏诊。Duan 等<sup>[5]</sup>报导第 3 腰椎的体积与 BMC 呈正相关, $r = 0.79$  ( $y = 2.38 + 0.29x$ ,  $x$  为骨体积),由于骨这个立体结构,用面积标准化 BMC (BMC/面积)是不完全标准化的,不完全标准化的 BMC 会随骨尺寸的大小而增大变小,会影响 OP 诊断的准确性。

因此,需要分析 DXA 测量数据(BMC)的合理标准化,探索最佳的骨质疏松症评价方法。

## 2 骨矿含量的标准化

在医学上为了准确的诊断疾病,确定病情的严重程度,观察治疗效果,每天都在对大量生物材料作定量检测。为了诊断骨质疏松症,多年来医学上开展了骨矿含量(BMC)定量。在理论上诊断 OP 最佳的定量指标是骨强度(骨强度=骨密度+骨质量,骨密度大约占骨强度 70%)<sup>[2]</sup>,因为只有从体内取出骨做实验方能测量骨强度,因而不可能在活体上施行,目前仍以测量 BMC 和 BMD 来诊断 OP。在检验医学上常用的两种标准化,即定量材料(骨是骨矿含量)体积标准化和重量标准化。骨重量标准化因不能获得活体骨重量而作罢,用骨大小标准化以消除骨大小不同对骨量的影响,在不同的人之间方可比较,该标准化用一个方程表示,即骨密度 = BMC ÷

骨大小。在物理上骨大小的表示方法有 3 种,即 BMC 的一维(cm)、二维( $\text{cm}^2$ )和三维( $\text{cm}^3$ )标准化,分别称为线密度( $\text{g/cm}$ )、面密度( $\text{g/cm}^2$ )和体积密度( $\text{g/cm}^3$ ),对同一个 BMC 值用 3 个不同的标准化方法,必然会影响 OP 的诊断效果。

如图 1 所示,对一个立体的骨件(上下为长度、前后为厚度、左右为宽度),图 1A 用一维标准化(高度标准化了,厚度和宽度随骨大小变化)、图 1B 用二维标准化(厚度和宽度标准化了,高度随骨大小变化),只有图 1C 的三维标准化使高度、宽度和厚度都标准化了,没有随骨大小变化的可能,所以三维标准化才可称得上是完全标准化,BMC 是未标准化值,而一维和二维标准化都为不完全标准化;虽然体积 BMD 相同,不完全标准化的线密度或面密度数据可以因骨的大小而变大或变小,变大则存在漏诊,变小则存在误诊。所以,推荐使用三维的体积骨密度,只有体积骨密度诊断 OP 的准确度高(漏、误诊降到最低),不同人之间的可比性明显增强。Nielsen<sup>[6]</sup>认为 BMD 并不是一个理想的真正骨密度指标,其准确度和线性都有一定的问题,BMD 的限度是基于 DXA 的物理缺点,当用 BMD ( $\text{g/cm}^2$ ) 和 BMC 来诊断 OP 和估计骨折危险度的时候,提议用体重和(或)骨大小、年龄、性别校正后才会好用。DXA 测量仪具有的高精度、无创伤、便捷、低射线量等优势很受欢迎,但  $\text{g/cm}^2$  指标诊断 OP 存在的漏诊误诊问题是应该重视的。因此,消除 BMC 之间的个体差异必须进行骨大小标准化。

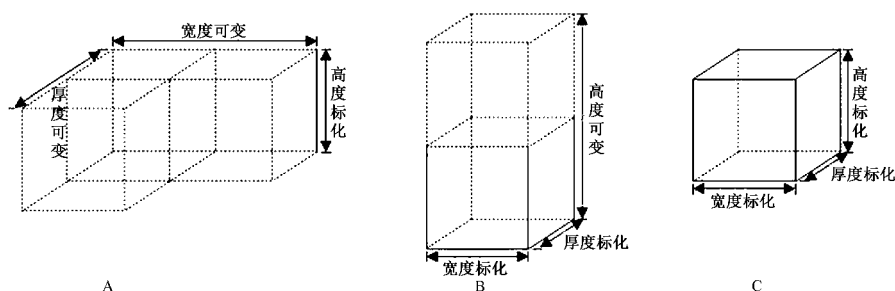


图 1 BMC 的一维、二维和三维标准化图解

Fig.1 One dimensional, two dimensional and three dimensional diagrams of BMC standardization

注:A:一维标准化;B:二维标准化;C:三维标准化。

### 2.1 采用 BMC 的骨面积( $\text{cm}^2$ )和骨体积( $\text{cm}^3$ )数学模型标准化( $\text{g/cm}^2$ 和 $\text{g/cm}^3$ )法分析

设有三个 vBMD 都是  $1.0 \text{ g/cm}^3$  的正方形骨件,边长分别是 3.0、2.0 和 1.0 cm,体积分别为 27、8、1  $\text{cm}^3$ ,面积分别是 9、4、1  $\text{cm}^2$ ,由此计算出三种不同大小骨件的 BMC 分别是 27.0、8.0、1.0 g, aBMD

分别是 3.0、2.0、1.0  $\text{g/cm}^2$ 。虽然大小不同的三种骨的 vBMD 相等,但其 aBMD 却不同。由此可见,  $\text{BMC/cm}^3$  与骨体积不相关,完全消除了骨大小的影响,达到标准化目的。 $\text{BMC/cm}^2$  与骨面积中度相关,部分消除了骨大小的影响。 $\text{g/cm}^2$  作为评价指标时,骨骼大的患者因 aBMD 测量值大而出现假阴

性(漏诊),骨骼小的则因 aBMD 值小而出现假阳性(误诊)大骨者值大而出现假阴性(漏诊);小骨者值小而出现假阳性(误诊)。应用  $\text{g}/\text{cm}^3$  指标评价骨质疏松,避免了出现过多的假阴性和假阳性。

## 2.2 骨生物力学分析

Wolff 定律是骨的功能决定骨形态的定律<sup>[7]</sup>,即骨的力学负荷功能决定形态和骨量(BMC、BMD),解释了骨为什么形成中空的管状结构而不是实心的圆柱结构。不管加于骨的是重力、肌力或地面冲击力,任何活动中所加于骨的力是复杂的,以三点弯曲实验举例<sup>[2,8-9]</sup>:当对柱状骨作3点弯曲试验时,其凹侧受压应力、凸侧受张应力(拉伸应力)两应力方向相反、力量相等,在中性轴上应力为“0”,各点受的应力大小与中性轴距离平方成正比,越靠近外围骨受的应力越大,在骨外膜下骨皮质受的应力最大;按照 Wolff 最大最小原则,管状骨中性轴受应力为零,靠近中性轴受应力低,通过骨的生物力学调控,这些零应力和低应力区的骨没有保留的价值,所以管状骨中空;远离中性轴的骨皮质是受高应力骨,应该保留,因而管状骨中空是生物力学的需要。

材料力学中的虎克定律表明,同样多的骨矿材料,管状骨外骨膜包围下的横切面积越大抗弯曲强度和刚度越大。刚度为杨氏模量方程  $E = \delta/\epsilon$ ,其中  $\delta$  为应力、 $\epsilon$  为应变, $E$  是改变1个应变所需要的应力,杨氏模量  $E$  越高则材料的硬度越大,极限强度、刚度和惯量矩都与管状骨的横切面积成正比,横切面积越大骨强度和刚度越大,则骨的抗骨折能力越强。因此,在生物力学上,中空管状骨材料的力学强度优于实心骨,横切面大的空管状骨骨强度优于横截面小的空管状骨骨强度<sup>[8]</sup>。

Carter 等<sup>[3]</sup>按骨生物学原则,当获取 vBMD 时必须包括高应力负荷的皮质骨及低应力负荷的松质骨、骨髓腔、管道和腔隙体积,此种骨体积计算的 vBMD 称为表观密度。用表观骨密度才符合骨生物力学决定骨形态和 vBMD 的原则,不同大小骨的密度才具有可比性。

## 2.3 峰值骨期(含生长期儿童)的 $\text{g}/\text{cm}^2$ 和 $\text{g}/\text{cm}^3$ 流调分析

Kazman 等<sup>[10]</sup>测量:标准化前 BMC 与  $\text{cm}^2$  和  $\text{cm}^3$  分别呈中度和强度相关,由于与  $\text{cm}^3$  呈强度相关,BMC 作为骨体积标准化是合理的。标准化后 BMC 与  $\text{g}/\text{cm}^2$  呈中度相关,仅部分消除骨大小影响;BMC 与  $\text{g}/\text{cm}^3$  无相关或弱相关,已消除了骨大小影响,避免了大骨出现假阴性(漏诊),小骨而出

现假阳性的缺点。

Lu 等<sup>[11]</sup>进行了一项针对股骨颈、股骨中和腰椎  $\text{g}/\text{cm}^2$  与  $\text{g}/\text{cm}^3$  的流行病学调查,收集了 209 例(男 109、女 100)5~27 岁儿童与青年的股骨颈和股骨中段感兴趣区的 BMC,用 Lunar 公司生产的 DPX 仪测量的投影面积(area)衍生出的骨体积 [ $v = \pi \times h \times (d/2)^2$ ], $h$  是 ROI 的高, $\pi(d/2)^2$  是 ROI 的横切面积,vBMD =  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。他们发现股骨中段和股骨颈的 vBMD 从 5 岁到 27 岁的每岁值都近似一个常数[男性股骨两部位 vBMD 分别为  $(0.73 \pm 0.11)$ 、 $(0.41 \pm 0.06) \text{ g}/\text{cm}^3$ ,女性分别为  $(0.70 \pm 0.12)$ 、 $(0.40 \pm 0.06) \text{ g}/\text{cm}^3$ ],见图 2。然而从 5 岁至 27 岁体重增加了约 3 倍,仅仅 5 岁时的 vBMD 是负荷不起 27 岁时体重的,只有横向骨体积随体重同步增长才可以负荷增大 3 倍的体重;根据骨密度测量方程  $\text{vBMD} = \text{BMC}/\text{骨体积}$ ,当 vBMD 为常数时,为适应生长期儿童体重不断增加的骨力学负荷,活体会自动调控横向骨体积与 BMC 按比例同步增长<sup>[12]</sup>。这种最佳骨结构可能是 vBMD。

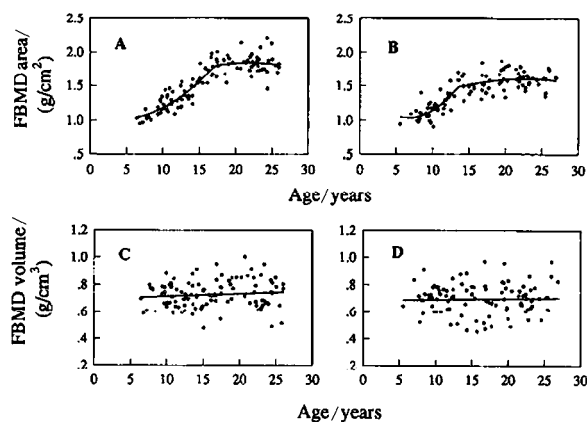


图2 生长期儿童到青年男女股骨中段的 BMD ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) 和 vBMD ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 的变化<sup>[11]</sup>

Fig.2 The changes of aBMD ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) and vBMD ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) in the femoral shaft from growing children to young men and women<sup>[11]</sup>

注:A:男性股骨中段 aBMD;B:女性股骨中段 aBMD;C:男性股骨中段 vBMD;D:女性股骨中段 vBMD。

伍贤平等<sup>[13]</sup>用 DXA 仪测量了 527 例 25~39 岁的健康女性,发现不同大、中、小骨的 BMD ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) 均值分别为 1.015、0.963 和 0.895  $\text{g}/\text{cm}^2$ ,随骨尺寸减小而减小;vBMD 3 个均值分别为 0.228、0.230 和 0.228  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,不随骨大小变化,其原因是 BMD 为不完全标准化,而 vBMD 则为完全标准化指标。也提示在 BMC、BMD 和 vBMD 3 个骨量指标中,vBMD 是

诊断 OP 的最佳指标,其诊断 OP 的准确性较 BMC 和 BMD 指标更高。

#### 2.4 50 岁以上人群 $\text{g}/\text{cm}^2$ 和 $\text{g}/\text{cm}^3$ 的骨质疏松评价比较分析

程晓光等<sup>[14]</sup>收集了 2012 年 6 月至 2014 年 6 月在北京积水潭医院就诊的老年人,共计纳入研究对象 614 名,DXA (腰椎正位、髌部)对老年人群骨质疏松症的检出率低于腰椎 QCT ( $\chi^2 = 177.96, P < 0.01$ )。其另一项研究<sup>[15]</sup>,从多中心合作数据库中选择 11 443 名成年志愿者数据进行  $L_{2-4}$  椎体骨密度(BMD)分析,DXA 测量椎体间 BMD 值差异有统计学意义(男性:  $F = 74.450, P < 0.05$ ; 女性:  $F = 605.388, P < 0.05$ ),从  $L_2 \sim L_4$  呈增加趋势;QCT 测量椎体间 BMD 值差异无统计学意义(男性:  $F = 1.291, P > 0.05$ ; 女性:  $F = 1.653, P > 0.05$ )。研究<sup>[16]</sup>表明,DXA 无法测定骨骼厚度,并且由于身体自身重负作用,起支撑作用的脊柱骨常会报告为具有高的面积骨密度,而体积骨密度者可能正常或降低。QCT 是一种真实的体积骨密度测量技术,能更准确地测量骨密度<sup>[17]</sup>。

王文志等<sup>[18]</sup>进行一项 3 354 例 >50 岁的女性样本流行病学调查,参考 Katzman 等<sup>[10]</sup>与 Lu 等<sup>[11]</sup>报道的方法,用 DXA 仪给出的  $\text{area}(\text{cm}^2)$ ,通过数学模式计算骨体积和 vBMD。研究发现,运用 vBMD 诊断腰椎 OP,避免了因 BMD 诊断引起的小骨误诊及 7% 的大骨漏诊,在股骨颈避免了因 BMD 诊断引起的 11.6% 的小骨误诊、18.0% 的大骨漏诊。见图 3、图 4。

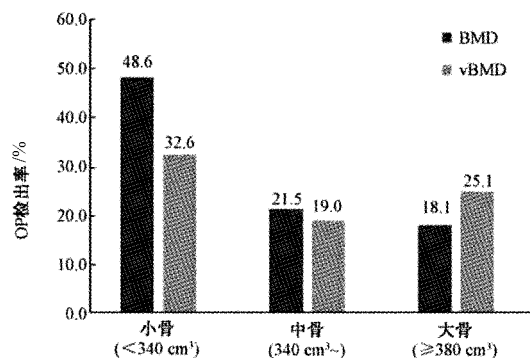


图3 腰椎大、中、小骨体积对 OP 检出率的影响 (≥ 50 岁)<sup>[18]</sup>

Fig.3 The influence of lumbar volume ( large bone, medium bone and small bone) on OP detection rate ( ≥ 50 years)<sup>[18]</sup>

因此,DXA 测量的 BMC 需进行骨大小标准化。vBMD ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 是完全骨大小标准化指标,是诊断

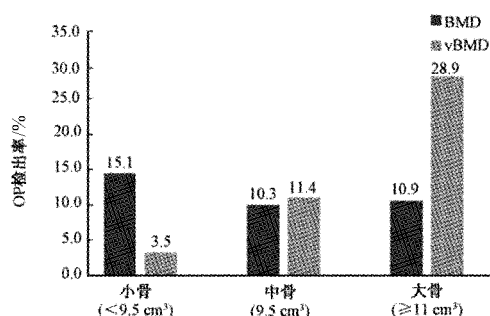


图4 股骨颈大、中、小骨体积对 OP 检出率的影响 (≥ 50 岁)<sup>[18]</sup>

Fig.4 The influence of femoral neck volume ( large bone, medium bone and small bone) on OP detection rate ( ≥ 50 years)<sup>[18]</sup>

OP 的最佳指标。vBMD 能避免评价骨质疏松出现的假阴性和假阳性的缺点,其诊断 OP 的准确性较 BMC 和 BMD 指标更高。但 DXA 测量仪  $\text{g}/\text{cm}^3$  开发的最大困难是该仪器尚不能获得真实骨体积。

### 3 体积骨密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 在评价骨质疏松症中的应用价值

峰值骨期的体积骨密度基本不变,消除了骨大小的影响,避免了面积骨密度与骨大小呈正比、用于评价骨质疏松时大骨者引起过多的假阴性及小骨者引起的假阳性的缺点。

体积骨密度在峰值骨期和儿童生长期 (Lu 等<sup>[11]</sup>报道 >5 岁)基本不变,儿童与健康成人可共用正常参考值评价骨质疏松症,解决了 DXA 测量儿童骨密度无正常参考值的问题。

沈临江等<sup>[19-20]</sup>通过对 48 例尸体胸 3~腰 5 的椎体进行 pQCT 测定,分别测定每个椎体高度的 25%、50% 和 75% 三个层面的骨密度,层厚为 2 mm,将每个椎体的 3 个层面骨密度均值作为该椎体体积骨密度值 ( $\text{vBMD} = \text{BMC}/\text{cm}^3$ )。结果发现,从胸 3~腰 5 的 BMC 渐渐增高 (由 165 mg 到 183 mg),而它们的 vBMD ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 从胸 3~腰 5 均为  $191 \text{ mg}/\text{cm}^3$ ,各椎体  $\text{g}/\text{cm}^3$  的均值基本不变。腰 5 椎体承受较胸 3 明显更大的重力负荷,但与胸 3 相同的体积骨密度不能承受该负荷。研究者从 X 线椎骨照片中发现,胸 3~腰 5 椎体横切面积逐渐增大,即椎体骨体积会同步增长以弥补逐渐增大的重力负荷,即重力负荷与椎体横切面积成正比。这提示用重力负荷与骨横切面积有相关性,预测被测骨密度者的个体化骨密度正常值并用于评价骨质疏松,可能比用峰值骨量均

值评价更准确,值得进一步深入研究。

#### 4 总结

体积骨密度排除了骨大小的影响,能避免 BMD 诊断 OP 引起小骨漏诊和大骨误诊的弊病,也符合骨生物力学原则,诊断 OP 敏感度高,应是诊断 OP 的最佳指标。目前,QCT 是唯一能进行椎体体积骨密度测定的技术,具有不受身高体重的影响,也具有不受脊柱退变和侧弯影响的优势,QCT 比 DXA 更能敏感地反映骨密度变化,减少骨质疏松症诊断的假阴性诊断,是更准确的骨密度测量方法<sup>[14,21-23]</sup>。程晓光教授等<sup>[24]</sup>建立的中国 QCT 体积骨密度诊断骨质疏松症标准,值得推广应用。但 QCT 相对于 DXA 辐射剂量较大,检查费用较高,实际操作过程中需要严格的质量控制<sup>[25]</sup>,需要在临床工作中结合具体情况合理应用。

另一方面,国际上应用广泛的 DXA 仪测定面积骨密度,因 DXA 测量技术的简便、快速、敏感性高,而被 WHO 推荐为诊断骨质疏松症的金标准。但是如上所述,DXA 在测量 BMD 中有一定的局限性,因为 DXA 是面密度测量。虽然已有用 DXA 仪给出的骨面积衍生的体积骨密度方法,但还不是真实体积骨密度测量方法,如在股骨颈的变异度明显增大,导致诊断 OP 的敏感度低,因而 OP 的检出率也较低<sup>[18,26]</sup>,股骨颈数学模式 vBMD 值因敏感度太低尚不能用于 OP 诊断。因此,有必要进一步研究开发真实体积骨密度的 DXA 测量方法。

#### 【参 考 文 献】

- [1] Kanis JA, Melton LJ, Christiansen C, et al. Diagnosis of osteoporosis[J]. Journal of Bone and Mineral Research, 1994,9: 1137-1141.
- [2] 邱贵兴,林守清,罗先正,等. 骨质疏松误诊与漏诊原因分析[J]. 当代医学, 2000,6(10):44-49.
- [3] Carter JR, Bouxsein ML, Murcu SR. Near approaches for interpreting projected bone densitometry data[J]. Journal of Bone and Mineral Research, 1992,7:137-145.
- [4] Von C.Mow, Rik Huiskes. Basic orthopaedic biomechanics and machano-biology.Third Edition[M]. 主译汤亭亭,裴国献,李旭,等. 山东科学技术出版社, 2009: 18-25, 114-167, 131-133.
- [5] Duan YB, Parfitt AM, Seeman E. Vertebral bone mass, size, and volumetric density in women with spinal fractures[J]. Journal of Bone and Mineral Research, 1999,14:1796-1802.
- [6] Nielsen SP. The fallacy BMD: Critical review of the diagnostic use of dual X-ray absorptiometry[J]. Clinical Rheumatology, 2000,19,19(3):171-173.
- [7] Wolff J. The law of bone remodeling[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1986:126.
- [8] 顾志华,高瑞亭. 骨伤生物力学基础[M]. 天津:天津大学出版社, 1990:71-73,104-108.
- [9] 郭世绶,罗先正,邱贵兴,等. 骨质疏松基础与临床[M]. 天津:天津科学技术出版社, 2001:107-126,233-261.
- [10] Katzman DK, Bachrach LK, Carter DR, et al. Clinical and anthropometric correlates of bone mineral acquisition in healthy adolescent girls[J]. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 1991,73(6): 1332-1339.
- [11] Lu PW, Cowell CT, L Loyd-Jones SA, et al. Volumetric bone mineral density in normal subjects, aged 5-27 years[J]. Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 1996,81: 1589-1590.
- [12] Heikki K, Antero K, Pauli V, et al. Bone densitometry of the spine and femur in children by dual-energy X-ray absorptiometry[J]. Bone and Mineral, 1992,17:75-85.
- [13] 伍贤平,廖二元,黄千,等. 女性腰椎峰值骨量与骨骼大小的关系[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2003,19:380-383.
- [14] 李凯,李新民,闫东,等. 腰椎 QCT 与 DXA 对老年骨质疏松的诊断差异[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2017,10(3):271-276.
- [15] 张昕,王峻,苏晋生,等. 定量 CT 与双能 X 线吸收测定仪测量腰椎各椎体间骨密度差异性研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2011, 19(12):884-886.
- [16] Seeman E. From density to structure: growing up and growing old on the surfaces of bone[J]. Journal of Bone and Mineral Research, 1997, 12(7): 509-521.
- [17] Zmuda JM, Cauley JA, Glynn NW, et al. Posterior-anterior and lateral dual-energy x-ray absorptiometry for the assessment of vertebral osteoporosis and bone loss among older men[J]. Journal of Bone and Mineral Research, 2000, 15(7): 1417-1424.
- [18] 王文志,罗丽霞,徐健,等. 骨密度与体积骨密度诊断腰椎、股骨颈骨质疏松效果比较研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2018, 24(10):1310-1316.
- [19] 沈宁江, Kuhn V, Eckstein F,等. 老年及不同年龄段脊柱椎体骨密度测定研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2002, 8(8): 222-225.
- [20] 沈宁江, Kuhn V, Eckstein F 等. 老年人不同年龄段脊柱椎体 PQCT 测定研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2003, 9(23): 17-20.
- [21] Yu W, Qin M, Xu L, et al. Normal changes in spinal bone mineral density in a Chinese population: assessment by quantitative computed tomography and dual-energy X-ray absorptiometry[J]. Osteoporosis International, 1999, 9(2): 179-187.
- [22] Li N, Li XM, Xu L, et al. Comparison of QCT and DXA: osteoporosis detection rates in postmenopausal women[J]. International Journal of Endocrinology, 2013, 2013(8): 895474.
- [23] Xu XM, Li N, Li K, et al. Discordance in diagnosis of osteoporosis by quantitative computed tomography and dual energy X-ray absorptiometry in Chinese elderly men[J]. Journal of Orthopaedic Translation, <https://doi.org/10.1016/j.jot.2018.11.003>.
- [24] 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.
- [25] 苏永彬,许玉峰,程晓光,等. 采用 CT 能谱成像测量体模骨密度的精密度及准确度[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48: 923-925.
- [26] Cheng XG, Yang DZ, Zhou Q, et al. Age-related bone mineral density, bone loss rate, prevalence of osteoporosis, and reference database of women at multiple centers in China[J]. Clinical Densitometry, 2007, 10(3):276-284.

(收稿日期:2020-02-23;修回日期:2020-03-14)