·骨科专栏·

基于定量 CT 的机会性骨质疏松诊断:2 种定量 CT 骨密度测量软件临床应用比较分析

赵君禄,刘 斋,韩 康,赵德园,任庆云*
(河北医科大学第一医院放射与核医学科,河北 石家庄 050031)

[摘要] **目的** 探讨 FTHK 定量 CT 骨密度测量软件和 Mindways(MW)定量 CT Pro 骨密度测量软件测量腰椎骨密度(bone mineral density,BMD)的重复性、可靠性、一致性及其在临床中的应用价值。**方法** 选择临床需要进行常规腹部 CT 扫描患者 708 例,将扫描数据分别传到 FTHK 和 MW 骨密度测量软件进行测量,对 2 组测量结果采用配对样本 t 检验、Pearson 相关性分析、组内相关系数(intraclass correlation coefficient,ICC)、Bland-Altman 分析及 Cronbach's α 系数统计学方法进行分析。**结果** FTHK 和 MW 2 种软件测量 BMD 的 ICC 分别为 0.976 及 0.936。FTHK 软件 BMD 值(126.29±50.16) mg/cm^3 高于 MW 软件 BMD 值(112.85±46.02) mg/cm^3,两者的平均差值为 10.6%($P<0.05$)。FTHK 软件对 OP 的检出率(19.63%)低于 MW 软件测量(25.42%)($P<0.05$)。FTHK 软件 BMD 与 MW 软件测量 BMD 之间呈显著正相关($r=0.955$,$P<0.01$),Bland-Altman 分析显示 BMD 差值的 95%位于差值平均值±1.96 标准差范围内。FTHK 软件 Cronbach's α 系数=0.963,MW 软件 Cronbach's α 系数=0.988。**结论** FTHK 骨密度测量分析软件与 MW 骨密度测量软件的一致性及可信度好,可用于常规腹部 CT 扫描患者的机会性骨质疏松诊断。

[关键词] 骨质疏松;骨密度;体层摄影术,X 线计算机 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.01.005
[中图分类号] R681 [文献标志码] A [文章编号] 1007-3205(2024)01-0017-07

Quantitative computed tomography-based opportunistic osteoporosis diagnosis: a comparison of clinical applications of two quantitative CT softwares

ZHAO Jun-lu, LIU Zhai, HAN Kang, ZHAO De-yuan, REN Qing-yun*
(*Department of Radiology and Nuclear Medicine, the First Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang* 050031, *China*)

[**Abstract**] **Objective** To explore the reproducibility, reliability, and consistency of lumbar bone mineral density (BMD) measured by FTHK software and Mindways (MW) quantitative CT Pro software and its application in clinical practice. **Methods** A total of 708 patients who needed to undergo conventional abdominal CT scan were selected, and scan data were transmitted to FTHK and MW bone densitometry software for measurement. The paired-sample t-test, Pearson correlation analysis, intraclass correlation coefficient (ICC), Bland-Altman analysis, and Cronbach's α coefficient were used to analyze the measurement results of the two groups. **Results** ICC of both the FTHK and MW software for measurement of BMD was 0.976 and 0.936, respectively. The BMD value [(126.29±50.16) mg/cm^3] measured by FTHK was higher than that [(112.85±46.02) mg/cm^3] measured by MW, and the difference was 10.6% ($P<0.05$).

[收稿日期]2023-03-25
[基金项目]河北省财政厅政府资助专科能力建设和专科带头人培养项目(LS201804)
[作者简介]赵君禄(1978-),男,满族,河北平泉人,河北医科大学第一医院副主任技师,医学硕士,从事 CT 扫描及新技术应用研究。
* 通信作者。E-mail:ren_qingyun163.com

The detection rate of OP by FTHK software (19.63%) was lower than that measured by MW software (25.42%) ($P<0.05$). There was a significant positive correlation in BMD values between the FTHK and MW analyses ($r=0.955$, $P<0.01$). According to the results of Bland-Altman analysis, the difference of 95% was within the ± 1.96 standard deviation of the average difference value. The FTHK had a Cronbach's α coefficient = 0.963, and the MW had a Cronbach's α coefficient = 0.988. **Conclusion** The reliability and consistency of BMD measured by the FTHK and MW are good, and they can be used for the diagnosis of opportunistic osteoporosis.

[**Key words**] osteoporosis; bone mineral density; tomography, X-ray computed

骨质疏松症(osteoporosis,OP)是一种以骨量减少,骨组织微结构损坏,导致骨脆性增加,易发生骨折为特征的全身性骨病[1]。随着我国人口老龄化加剧,OP的防治已成为严重的社会问题。本病初期往往无明显的临床表现,因而容易被疏忽,病情进展后,骨量逐渐缩减、骨微结构损坏,继而造成疼痛及脊柱变形,但也有部分患者仍没有相应临床症状,仅在脆性骨折发生后,才得以诊断。所以骨质疏松的早期诊断早期治疗至关重要。测量骨密度(bone mineral density,BMD)是诊断OP的主要手段,目前测量BMD主要有2种方法,即双能X线吸收法(dual-energy X-ray absorptiometry,DXA)和定量CT(quantitative computed tomography,QCT)。基于常规CT的机会性筛查,主要包括机会性QCT和直接使用椎体CT值评估BMD。文献报道[2],通过借助因其他临床目的而进行常规CT成像,应用CT扫描的原始数据及校准体模进行QCT分析,在不额外增加患者辐射剂量的同时进行机会性OP诊断具有可行性。QCT测量BMD主要有2种体模,即磷酸氢二钾及羟基磷灰石体模,目前,对不同材料体模测量BMD可靠性、重复性及其在机会性OP诊断的临床研究报道较少。本研究旨在探讨基于羟基磷灰石体模的FTHK2000 QCT BMD测量软件和基于磷酸氢二钾体模的MW QCT BMD测量软件对腰椎BMD测量的一致性和可靠性及其在机会性OP诊断的临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2022年1—8月因腹部疾病在河北医科大学第一医院进行腹部CT检查的患者708例,其中,男性344例,女性364例;年龄18～93岁,平均(55.29±15.54)岁。纳入标准:年龄≥18岁以上,腹部CT检查同时进行QCT检查的患者。排除标准:多发性骨髓瘤、类风湿关节炎、强直性脊柱炎、系统性红斑狼疮、结缔组织疾病、代谢和内分泌疾病或骨肿瘤病史的患者。

本研究经医院伦理委员会批准通过,所有患者对CT扫描方案均知情同意并签署知情同意书。

1.2 扫描方法 采用Philips incisive 64层螺旋CT进行扫描,扫描患者腹部,扫描时患者取头先进仰卧位,FTHK测量软件的同步体模放置于患者腰部下方(范围覆盖L_1～L_4)。扫描参数:120 kVp,低剂量指数(dose right index,DRI)设置为23,机架旋转时间0.5 s/圈,pitch = 1,探测器宽度64 mm × 0.625 mm,视角(field angle of view,FOV)40 cm,标准算法重建,层厚、层间隔均设为5 mm,重建层厚、层间隔均设为0.625 mm。矩阵采用512×512。患者平均辐射剂量为(594.43±184.11) mGycm,平均有效辐射剂量(8.92±2.76) mSv。MW测量软件的非同步校准体模每月按照腹部CT扫描方案进行一次CT校准扫描。

1.3 BMD测量方法 将CT容积数据经PACS分别传至下述2个QCT测量软件中进行BMD分析,①华科FTHK2000 QCT BMD测量分析系统软件(四川成都华西华科研究所,同步校准体模);②MW QCT Pro version 6 BMD测量分析系统软件(Mindways Software Inc.,Austin,TX,USA,非同步校准体模)。在冠状位及矢状位平面上选取腰椎图像轴位的中间层面,在轴位上中心勾画兴趣区(region of interest,ROI),避开骨岛、骨皮质、及椎体后中央静脉,ROI尽可能多地包括松质骨,分别利用FTHK2000软件及MW软件测量L_1～L_3椎体松质骨的BMD,并计算出3个椎体的平均值(图1、2)。由2名高年资放射科主治医师在2种测量软件上分别在不同时间(相隔7 d)进行2次椎体BMD测量来判断2种测量方法的重复性和可靠性。

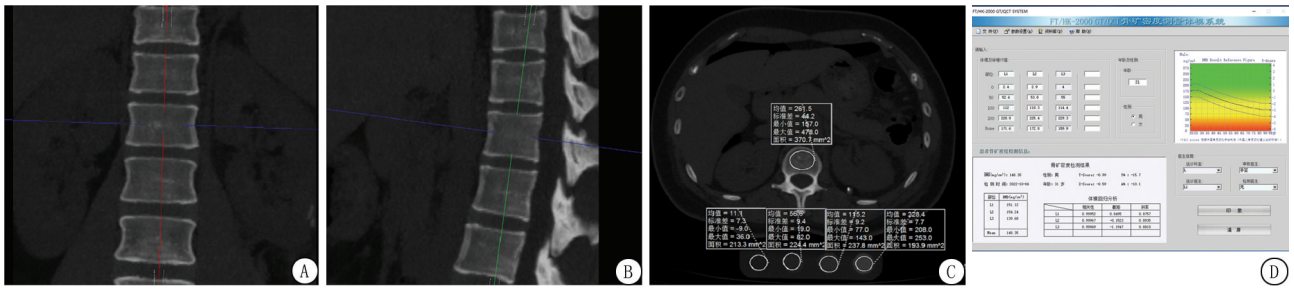


图 1　FTHK2000 BMD 测量软件测量 BMD

A.冠状面选择椎体中间层面；B.矢状面上选择椎体中间层面；C.横断面上分别测量体模及椎体 ROI 的 CT 值；D 将测量的 CT 值输入 FTHK2000 软件转化为 BMD 值

Figure 1　BMD measured by FTHK2000 BMD measurement software

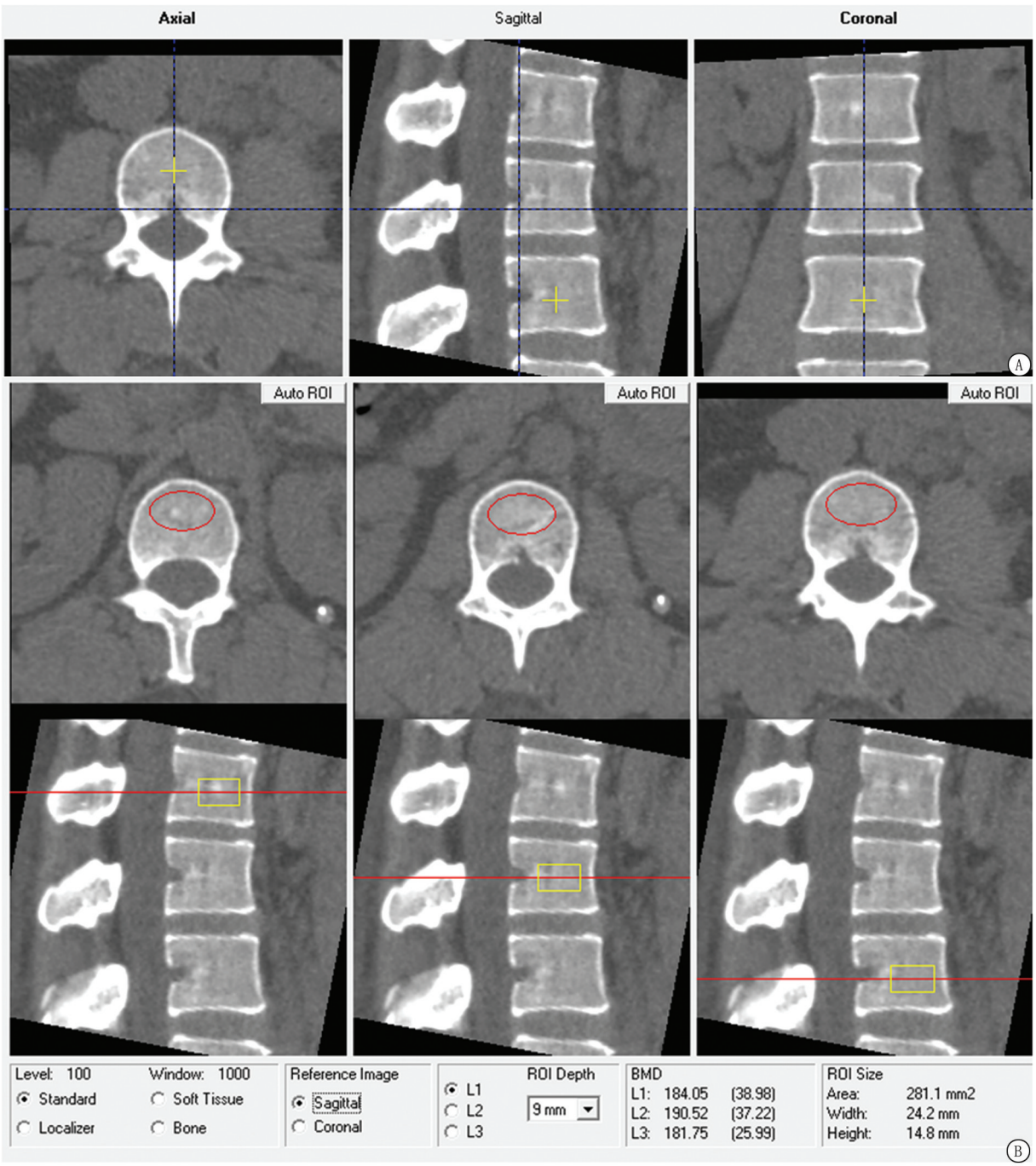


图 2　MW BMD 测量软件测量腰椎 BMD

A.分别从横断面、冠状面及矢状面选择腰椎中间层面；B.MW 软件自动测量腰椎 BMD 值

Figure 2 BMD measured by MW BMD measurement software

1.4 诊断标准 参照中国定量 CT(QCT)OP 症诊断指南(2018)的标准，BMD 绝对值＞120 mg/cm³ 为正常，80～120 mg/cm³ 为骨量减少，＜80 mg/cm³ 为 OP[3]。

1.5 统计学方法 应用 SPSS19.0 统计软件分析数据。应用组内相关系数(intraclass correlation coefficient，ICC)分析 2 种软件测量方法的重复性，ICC 值＜0.4 提示重复性差，0.4～0.75 提示重复性中等，＞0.75 提示重复性良好[4]。应用 Pearson 相关性检验分析 2 种软件测量结果的相关性，应用配对样本 t 检验分析 2 种方法测量结果平均值是否有差异，应用 Bland-Altman 图分析 2 种软件测量方法的一致性，采用 Medcalc 软件进行分析，以 2 种软件测得的 BMD 的平均值为横坐标，以二者的平均差值为纵坐标，并以差值的均数±1.96 倍差值的标准差为一致性界限，平均差值大部分位于±1.96 之间为一致性良好。2 位测量者间测量腰椎 BMD 值的可靠性分析用可靠性分析系数 Cronbach′s α 描述。P＜0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 FTHK 软件与 MW 软件 BMD 重复性及可靠性分析 应用组内相关系数对 2 次测量腰椎 BMD 值进行检验，结果发现 2 种软件的重复性均较好，FTHK 软件和 MW 软件的 ICC 分别为 0.936 和 0.976。可靠性分析显示 2 种测量软件均有很高的可靠性，FTHK 软件 2 位测量者间 BMD 测量值 Cronbach′s α 系数＝0.963，MW 软件 Cronbach′s α 系数＝0.988。

2.2 FTHK 和 MW 软件 BMD 比较 FTHK 软件的 BMD 为(126.29±50.16) mg/cm³，MW 软件的 BMD 为(112.85±46.02) mg/cm³，FTHK 软件的 BMD 值高于 MW 软件的 BMD 值，差异有统计学意义(t＝23.803，P＜0.05)。FTHK 软件与 MW 软件 BMD 的平均差值为 10.6%(图 3)。

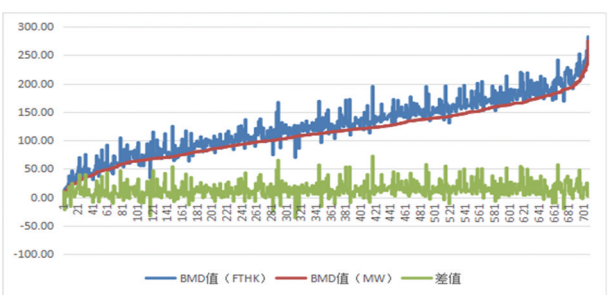


图 3 FTHK 软件与 MW 软件测量 BMD 差值图

Figure 3 Difference plot of BMD measurement between FTHK software and MW software

2.3 FTHK 软件与 MW 软件测量对 OP 及骨量异常检出率比较 FTHK 软件对骨量异常及 OP 的检出率低于 MW 软件测量，差异有统计学意义(P＜0.05)，见表 1。FTHK 软件对男性骨量异常及 OP 的检出率低于 MW 软件测量，差异有统计学意义(P＜0.05)，见表 2。FTHK 软件与 MW 软件测量对女性骨量异常及 OP 的检出率差异无统计学意义(P＞0.05)，见表 3。

表 1 FTHK 软件与 MW 软件对 OP 及骨量异常检出率比较

Table 1 Comparison of the detection rate of OP and bone mass abnormalities between FTHK software and MW software

(n＝708，例数，%)

组别	骨量		骨质疏松	
	正常	异常	是	否
FTHK 软件	387(54.66)	321(45.34)	139(19.63)	569(80.37)
MW 软件	314(44.35)	394(55.64)	180(25.42)	528(74.58)
χ^2 值	15.055		6.802	
P 值	＜0.001		0.009	

表 2 FTHK 软件与 MW 软件对男性 OP 及骨量异常检出率比较

Table 2 Comparison of the detection rate of OP and bone mass abnormalities in men between FTHK software and MW software

(n＝344，例数，%)

组别	骨量		骨质疏松	
	正常	异常	是	否
FTHK 软件	201(58.43)	143(41.57)	49(14.24)	295(85.76)
MW 软件	153(44.48)	191(55.52)	67(19.48)	277(80.52)
χ^2 值	13.407		4.206	
P 值	＜0.001		0.040	

表 3 FTHK 软件与 MW 软件对女性 OP 及骨量异常检出率比较

Table 3 Comparison of the detection rate of OP and bone mass abnormalities in women between FTHK software and MW software

(n＝364，例数，%)

组别	骨量		骨质疏松	
	正常	异常	是	否
FTHK 软件	186(51.10)	178(48.90)	90(24.73)	274(75.27)
MW 软件	161(44.23)	203(55.77)	113(31.04)	251(68.96)
χ^2 值	3.442		3.614	
P 值	0.064		0.057	

2.4 不同年龄段不同性别 FTHK 软件与 MW 软件测量结果比较 FTHK 软件测量的不同年龄段和不同性别 BMD 值均高于 MW 软件测量结果，差异有统计学意义(P＜0.05)，见表 4。

表 4　不同年龄段不同性别 FTHK 软件与 MW 软件测量结果比较

Table 4　Comparison of FTHK software and MW software measurements for different ages and genders

($\bar{x}\pm s$, mg/cm³)

组别	18～30 岁(n=52)	31～40 岁(n=92)	41～50 岁(n=99)	51～60 岁(n=184)	61～70 岁(n=157)
FTHK 软件	168.90±36.64	171.38±37.74	154.88±34.36	130.82±38.74	98.64±35.58
MW 软件	154.51±33.28	156.55±33.68	139.34±31.51	114.74±33.98	87.04±32.71
t 值	7.915	12.586	14.295	16.239	11.257
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

组别	71～80 岁(n=100)	>80 岁(n=24)	男性(n=344)	女性(n=364)
FTHK 软件	81.76±46.19	74.72±43.80	129.27±46.32	123.46±53.72
MW 软件	74.08±43.80	64.89±38.92	114.72±42.41	111.29±49.24
t 值	6.125	3.234	20.950	18.101
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

2.5　FTHK 软件　与 MW 软件测量结果的相关性及一致性评价：Pearson 相关分析结果显示，FTHK 和 MW 测量的 BMD 值有明显正相关性（r=0.955，P<0.01），散点图见图 4。以 MW 软件测量的 BMD 结果为因变量，FTHK 软件测量的 BMD 结果为自变量，得出 MW 与 FTHK BMD 测量值的线性回归方程为：BMD(MW)=BMD(FTHK)×0.876+2.23。一致性分析采用 Bland-Altman 图，Bland-Altman 图绘制方法为：横坐标为 2 种软件测得的 BMD 的平均值，纵坐标为二者的差值，一致性界限为差值的均数±1.96 倍差值的标准差。如图 5 所示，2 种方法测得的 BMD 一致性好（差值 95%位于一致性界限内）。

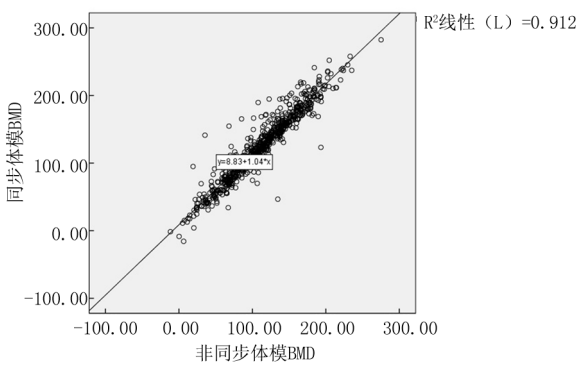


图 4　FTHK 与 MW 测量 BMD 值的相关性

Figure 4　Correlation between FTHK and BMD values measured by MW

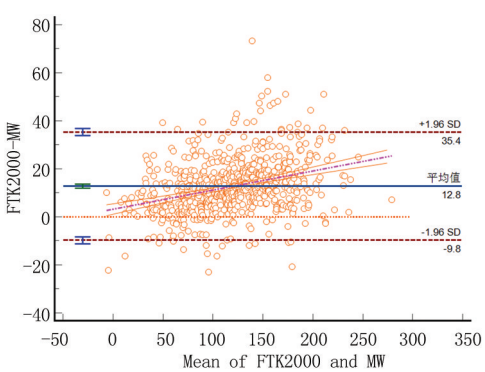


图 5　FTHK 与 MW 测量 BMD 一致性 Bland -Altman 散点图

Figure 5　Bland-Altman scatter plot of consistency in BMD measurement between FTHK and MW

3　讨　论

由于中国老龄化，OP 已成为严重威胁中国老年人身体健康的最常见疾病之一[5-6]。程晓光等[7]进行的一项大样本流行病调查显示，我国 50 岁以上人群中女性和男性年龄标准化 OP 患病率分别为 29.13%和 6.46%，目前我国现有女性 OP 患者超过 4 000 万，男性超过 1 000 万[8]，OP 最严重临床后果是脆性骨折，OP 的早期诊断、早期干预治疗，可显著降低患者脆性骨折的风险。DXA 是 OP 检查的金标准，但由于 DXA 检查的是面积 BMD，而不是体积 BMD，因此腰椎骨质增生，椎小关节硬化以及腹主动脉钙化都可能导致 BMD 假性升高[9-10]。QCT 是采用 CT 数据通过专用软件和校准体模将 CT 值转换为腰椎或髋部体积 BMD，是真正的体积 BMD，不受腰椎骨质增生、体重、血管钙化的影响，诊断 OP 较 DXA 更敏感[11]。

本研究结果显示，2 种 QCT 软件测量的 BMD 具有强相关性（r=0.955，P<0.01）。二者测量一致性好（Bland-Altman 分析显示 2 种方法测得的 BMD 对数的平均差值 95%位于一致性界限内）[12]。本研究测量结果中，应用 ICC 对 2 次测量腰椎 BMD 值进行检验，FTHK 软件及 MW 软件 ICC 分别为 0.936 及 0.976。FTHK 软件 2 位测量者间 BMD 测量值 Cronbach′s α 系数=0.963，MW 软件 Cronbach′s α 系数=0.988。若 Cronbach′s α 系数>0.8 即认为有几乎完全的一致性，即可靠性很高[13]。表明 2 种软件测量结果的一致性、重复性及可靠性均较高，均可以进行机会性 OP 的诊断和随访。

通过借助因其他临床目的而进行常规 CT 成像来寻找潜在的 OP 患者的方法称为机会性 OP 诊断。已有研究显示应用常规胸腹部 CT 扫描测量椎

体CT值进行机会性OP诊断具有可行性，但是，不同制造商的CT设备及不同扫描千伏条件存在CT值的偏差[14]。基于常规CT影像数据的机会性QCT[13]BMD评价有以下优点[15-16]，首先，OP是一个无明显症状的疾病，仅在出现脆性骨折并发症时才被诊断，患者及临床医生对本病的知晓率低，机会性QCT诊断能够及时反馈患者OP的风险，其次，机会性QCT诊断OP在X线辐射剂量、检查时间和成本等方面没有给患者带来额外负担，克服了传统专用QCT(专门为腰椎或髋关节BMD测量获取的CT)的缺点。此外，机会性QCT能够回顾性分析既往CT影像数据，任何胸部、腹盆部扫描都适用于椎体BMD评估。在我国，每年都有因各种临床适应证进行大量的胸腹部CT检查，如果进行胸腹部CT检查的中老年患者进行机会性OP诊断，患者能够从这种机会性策略中获益。

本研究结果显示，FTHK软件测量的不同年龄段及不同性别组BMD值高于MW软件测量值，2种方法平均BMD差值为10.6%，与既往研究结果(8%)相似[17]。校准体模材料的不同可能是造成这2种测量方法BMD不同的主要原因，FTHK软件中用羟基磷灰石体模测量的所谓“骨矿”，就是羟基磷灰石当量；由MW软件用磷酸氢二钾体模量化得出的“骨矿”，为磷酸氢二钾当量，它们的平均原子序数分别为15.86和15.59，二种体模的放射线特性与人体骨矿一致性有一定的差异，因此，二者测量出来的BMD会有不同[18]。2种软件选择ROI大小不同也可能是BMD测量结果不同的原因，MW软件测量ROI的厚度为9 mm，而FTHK软件为5 mm。此外，本研究中，FTHK软件为同步体模，而MW为非同步体模，非同步体模测量BMD值要低于同步体模[19]，也是2种软件BMD不同的原因之一。

目前，国内的QCT的诊断标准是根据Mindways QCT，采用120 kV管电压测量结果数据制订的的[20]。参照中国QCT OP症诊断指南(2018)标准，椎体BMD＜80 mg/cm^{3}诊断为OP，本研究用FTHK软件、MW软件测量对OP的检出率分别为19.63%和25.42%，对男性OP的检出率为14.24%和19.48%，对女性OP的检出率为24.73%和31.04%，两者差异有统计学意义，以MW软件测量结果为标准，FTHK软件测量对OP检出率显著低于MW软件测量结果。由于2种软件测量BMD结果差异有统计学意义，说明两者测量结果不能进行直接比较，为了使2种软件测量BMD结果具有可比性，本研究以MW软件测量的BMD结果为因变量，FTHK软件测量的BMD结果为自变量，得出MW与FTHK BMD测量值的线性回归方程为：BMD(MW)＝BMD(FTHK)×0.876＋2.23。通过线性回归方程可以使2种测量方法的结果具有可比性。文献报道[7]，50岁以上人群年龄标准化的OP总患病率男性为6.46%，女性为29.13%，本研究显示2种软件测量均显示女性骨质疏松的检出率高于男性，与文献结果基本一致。

研究的局限性：本研究仅比较了相同千伏值，同一CT机2种不同BMD软件测量BMD值的不同，为单一性研究。在以后的研究中比较不同软件、不同CT机、不同千伏值对BMD值的影响。

综上所述，于FTHK软件与MW软件分别所测BMD值具有可靠性和重复性，2种软件所测BMD值之间具有明显的相关性和一致性，均能够用于OP的机会性筛查及诊断，但两者测量BMD值差异有统计学意义，2种方法的结果不能直接比较，但可以通过回归方程计算后进行结果比较分析。

[参考文献]

[1] No authors listed. Consensus development conference: diagnosis, prophylaxis, and treatment of osteoporosis[J]. Am J Med, 1993, 94(6): 646-650.

[2] Michalski AS, Besler BA, Michalak GJ, et al. CT-based internal density calibration for opportunistic skeletal assessment using abdominal CT scans[J]. Med Eng Phys, 2020, 78: 55-63.

[3] 《中国定量CT(QCT)骨质疏松症诊断指南》工作组，程晓光，王亮，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.

[4] 徐一铭，袁梅，邱琳，等.影像组学鉴别肺腺癌中的脉管侵犯[J].实用放射学杂志，2021，37(5)：727-731.

[5] 李蕊，刘有军，乔爱科，等.骨质疏松与血管钙化[J].中国骨质疏松杂志，2021，27(11)：1646-1650.

[6] 王一凤，董巍，汤丽健，等.应用定量CT检测骨密度评估抗骨质疏松治疗效果[J]. 河北医科大学学报，2020，41(1)：34-36，41.

[7] 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.

[8] 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.

[9] Malekzadeh M, Asadi M, Abbasi-Rad S, et al. MDCT-QCT, QUS, and DXA in healthy adults: An intermodality comparison[J]. Med J Islam Repub Iran, 2019, 33: 156.

[10] Paggiosi MA, Debono M, Walsh JS, et al. Quantitative computed tomography discriminates between postmenopausal women with low spine bone mineral density with vertebral fractures and those with low spine bone mineral density only:

the SHATTER study[J]. Osteoporos Int，2020，31(4)：667－675.

[11] Li N，Li XM，Xu L，et al. Comparison of QCT and DXA：osteoporosis detection rates in postmenopausal women[J]. Int J Endocrinol，2013，2013：895474.

[12] 陈民，张艳，袁慧书.快速千伏切换能谱 CT 与 QCT 测定羊椎体骨密度的相关性及一致性研究[J].中国骨质疏松杂志，2019，25(3)：326－329，370.

[13] 张望，彭松林，镇万新，等.无体模法定量 CT 测量腰椎骨密度的可信度及可重复性研究[J].骨科，2016，7(6)：390－393.

[14] Alacreu E，Moratal D，Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in southern europe [J]. Osteoporos Int，2017，28(3)：983－990.

[15] 陈明月，张雪丽，汤光宇.基于 CT 的机会性筛查评估骨质疏松症的研究进展[J].国际医学放射学杂志，2022，45(4)：459－465.

[16] Ziemlewicz TJ，Binkley N，Pickhardt PJ. Opportunistic osteoporosis screening：addition of quantitative CT bone mineral density evaluation to CT colonography[J]. J Am Coll Radiol，2015，12(10)：1036－1041.

[17] Woisetschläger M，Hägg M，Spångeus A. Computed tomography-based opportunistic osteoporosis assessment：a comparison of two software applications for lumbar vertebral volumetric bone mineral density measurements[J]. Quant Imaging Med Surg，2021，11(4)：1333－1342.

[18] 杨定焯，鄢清，鄢中付.不同 QCT 体模材料对骨密度测量值的影响[J].中华 OP 和骨矿盐疾病杂志，2009，2(1)：45－49.

[19] Brunnquell CL，Winsor C，Aaltonen HL，et al. Sources of error in bone mineral density estimates from quantitative CT [J]. Eur J Radiol，2021，144：110001.

[20] 中华医学会放射学分会骨关节学组.骨质疏松的影像学与骨密度诊断专家共识[J].中国骨质疏松杂志，2020，26(9)：1249－1256.

（本文编辑：赵丽洁）