

QCT 骨密度测量的准确性试验方法和意义

李大成 姜维平 黎本丰 罗刚 周维彬 尚家芸 鄢青

【摘要】 目的 目前国内尚未对 QCT(定量 CT 法)骨密度测量作准确性误差校正,笔者介绍了 QCT 准确度试验方法和为什么必须校正准确性误差。**方法** 用东芝 CT 机自带参考骨体模(称东芝体模)和软件为测量工具,对四川大学华西骨质疏松研究中心等研制的 QCT 骨体模(称四川体模)进行骨密度测量。将四川体模模拟被测人腰椎,置于 15 cm 深水浴中,东芝体模置于水浴和扫描台之间作参考标准。按照对人的腰 2、3、4 椎骨扫描测量的条件,东芝 QCT 骨密度测量的方法进行操作,直至测量出骨密度值和显现出 QCT 图像为止。由于四川 QCT 体模内 3 管羟磷灰石实际密度值为 50 mg/cm³、100mg/cm³ 和 200 mg/cm³,因而可以求出每管骨体模的测量值偏离实际值的 % 大小。测量值大于实际值误差为正,反之则为负。由于四川体模内有由大到小 3 管骨密度呈线性分布,可以求得回归方程,用回归方程校正准确性误差较好。**结果** 测量四川体模从小到大 3 管骨密度分别的准确性误差为 -13.0%、-5.26% 和 +3.85%,其分别的校正系数为 1.149、1.055 和 0.963,相关系数 $r = 0.998$,回归方程为 $Y = 12.075 + 0.907X$ (X 为测量骨密度, Y 为校正后骨密度)。在准确性试验期间 CT 机更换球管一支,更换球管后,四川体模从小到大 3 管骨密度的准确性误差变为 -30.54%、-9.97% 和 -0.01%,回归方程为 $Y = 18.43 + 0.910X$ 。**结论** 从准确性误差分布特殊性看密度低端误差明显大于高端(低端误差高达 30%),密度低端是病人集中的区域,以回归方程校正,可以照顾高密度及低密度端优于用校正系数。所以必须重视 QCT 的质量控制,否则资料缺乏可比性和一致性,病人则因此出现过多的假阳性、假阴性。目前四川大学已研制出自己的 QCT 体模,能够满足作骨密度测量参考体模和质控要求用。

【关键词】 QCT; 骨密度测量; 准确度; 质量控制

Methods and significance of accuracy test of bone densitometry by QCT Li Dacheng, JIANG Weiping, LI Benfeng, et al. Jianyang People's Hospital, Jianyang 641400, China

【Abstract】 Objective The correction of accuracy errors in bone densitometry by QCT has not been carried out yet at present in China. This article introduces the methods of QCT accuracy test and the reasons of accuracy error correction. **Methods** A referential bone phantom (named Toshiba phantom) with software contained in a Toshiba CT machine was used as measuring tools to measure the BMD of the QCT bone phantom made by West-China Osteoporosis Study Center of Sichuan University (named Sichuan phantom). The Sichuan phantom (mimicking human vertebrae) was put in a water bath 15cm deep while the Toshiba phantom was placed between the water bath and the scan table as a referential criterion. Then the machine was operated according to the measuring conditions of scanning human lumbar vertebrae 2, 3, 4 and the methods of Toshiba QCT densitometry until it measured out BMD values and obtained QCT images. Because the real densities of the three sections of hydroxyapatite in Sichuan QCT phantom are 50mg/cm³, 100mg/cm³, and 200mg/cm³, respectively, the measured value of each section's deviating from its real value can be calculated, and the accuracy error in percentage is acquired. The measured value larger than the real one is positive, and the contrary is negative. Also because the BMD of the three sections in the Sichuan phantom are distributed linearly from large to small, a regression equation can be calculated. Then the regression equation was used to correct the accuracy errors. **Results** The accuracy errors of the three sections measured from large to small in the Sichuan phantom were -13.0%, -5.26% and +3.85%, respectively; their correction coefficients were 1.149, 1.055 and 0.963, respectively, and the relative coefficient R was 0.998; the regres-

sion equation was $Y = 12.075 + 0.907X$ (X is the measured BMD, and Y the corrected one). During the test, one X-ray tube of the CT machine was replaced. After the replacement, the errors of Sichuan phantom from large to small changed to -30.54%, -9.97% and -0.01%, and the regression equation changed to $Y = 18.43 + 0.910X$.

Conclusion In view of the Characteristic of the accuracy error distribution, errors at the lower density ends are larger than those of the higher ones (the error at the lowest end reaches as high as 30%). Most patients' bone densities are concentrated at the lower ends. In consideration of both the higher and lower density ends, using the regression equation for correction is superior to using the correction coefficient. Therefore, we should take the quality control of QCT seriously, otherwise the data will have poor comparability and conformity, leading to excessive false positive and false negative results. Recently, Sichuan University has researched and produced Chinese QCT phantoms, which can be used as referential phantoms to meet the needs of measuring BMD and quality controls.

【Key words】 QCT; Bone densitometry; Accuracy; Quality control

骨密度测量是骨质疏松症诊断的重要依据。骨定量测量方法多种 (SPA、SXA、DXA、QCT、QUS 和 X 线片等方法), 都存在质量控制问题。在我国 QCT 腰椎骨密度测量中的准确度误差尚未引起重视, 笔者对其进行试验, 本方法比较简易可靠, 介绍出来供参考。准确度误差经校正后, 不同 CT 仪器测量的骨密度数据可比性增强, 保证测量结果的可靠性和一致性^[1]。否则在未作质量控制前, 两地区流调人群间的骨密度差异很可能是仪器测量的误差, 甚至骨质疏松的诊断会出现假阴性或假阳性。

材料和方法

1. 参考骨体模

本准确度试验用两个参考骨体模, 一个是东芝 CT 机自带, 另一个是四川大学研制。它们的结构类似, 形似板状, 由固体水和嵌于固体水内的不同密度的羟磷灰石构成。东芝 CT 机自带的 QCT 参考骨体模 (称东芝体模), 体积 $30\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 。固体水的密度与蒸馏水无差异。东芝体模是在固体水中嵌入 5 管不同密度的羟磷灰石, 其骨密度分别是 0 mg/cm^3 、 50 mg/cm^3 、 100 mg/cm^3 、 150 mg/cm^3 和 200 mg/cm^3 , 包括了从低到高的不同骨密度范围。另一个是由四川大学华西骨质疏松研究中心和成都华科测试新技术开发研究所共同研制的, 全名为 HK-2000 型 DXA 骨密度测量质量保证体模 (称四川体模)。其结构与东芝体模基本类似 (不同的是嵌入固体水内的 3 管骨体模的羟磷灰石骨密度分别为 50 mg/cm^3 、 100 mg/cm^3 和 200 mg/cm^3 及一个密度为 0 的软组织体模)。当用作准确度试验时, 则四川体模拟作被测体模置于 15 cm 深的水浴中, 东芝体模拟作测量参考体模置于水浴容器与扫描床面之间。

2. CT 机和扫描应用条件

日本东芝 Xvision 全身螺旋 CT 机, 腰椎骨密度

的应用条件为: 120 kV 、 110 mA 、厚度 10 mm , 扫描时间 1 s 。

3. 人体的 QCT 技术

病人仰卧于扫描床上, 东芝体模置于腰下方, 便于在扫描腰椎时同时扫描体模。先取定位片, 根据定位片确定腰 2、3、4 椎的扫描层面, 扫描层面定在每个椎骨的上下终板连线的中点上, 平行于终板。扫描后在椎体断面图像上放置椭圆形的感兴趣区 (ROI), ROI 横放于椎体前 $2/3$ 部, 后 $1/3$ 由椎静脉隐窝占据, 因其变异很大, 所以不进入 ROI, ROI 的前缘平行于椎体的前侧边缘, 不能包括皮质; 当 ROI 遇到腰椎压缩性骨折, 大的骨岛或硬化则出现假性骨密度增大, 此时该椎体不能纳入骨密度测量。然后在骨体模的圆形横切面上取尽可能大的圆形 ROI。软件自动采集各 ROI 中的 Hu 值, 由 CT 机自己的软件计算出被测对象各椎体的骨密度值 (mg/cm^3) 和各椎体平均骨密度值 (mg/cm^3)。原始计算骨密度方程, $\text{BMD} = \text{CK} \times (\text{Hb} - \text{Hw}) / \text{Hk} - \text{Hw}$, CK 是参考标准体模中羟磷灰石的密度, Hb 为松质骨的 CT 值, Hk 是骨体模的 CT 值, Hw 是固体水的 CT 值^[2]。

4. QCT 准确度误差试验

用聚乙烯壁的容器, 大小能平放参考骨体模, 内盛水的深度为 15 cm (一般模拟软组织厚度用 15 cm), 将四川体模平放于水中, 下面两端垫以小方块支撑, 使其距水底 6.5 cm (6.5 cm 是椎体后缘距人背部皮肤的距离)。体模上面两侧端压上一定重量的小石块, 防止体模飘移。并使四川体模位于水浴正中, 水浴的长轴与扫描台轴线一致, 置于扫描台的中部, 四川骨体模轴线与扫描台轴线一致。在扫描台和水浴之间放置东芝体模。然后按 QCT 腰椎扫描技术的要求, 每间隔 3.5 cm 扫 1 个层面, 约相当于人体的 2 个腰椎层面间距, 共扫 3 个层面, 连续扫描, 测量 10 次平均^[1]。

准确度误差 = (四川体模测量值 - 四川体模实际值) ÷ 四川体模实际值 × 100%, 测量值小于实际值的误差为负 % 值, 反之为正 % 值。准确度校正的方法有二: 一为 % 误差校正法, 测量值乘一个校正系数等于被校正体模的实际值, 校正系数 = 体模实际值 ÷ 体模测量均值; 二为回归方程校正法, 1 日连续测量体模骨密度 10 次^[1], 测量值与实际值之间求相关和回归, 用 $y = a + bx$ 的回归方程校正, y 为校正后的值, x 为测量骨密度值。

结 果

1. 骨密度的准确度误差及校正方法

将已知实际骨密度(QCT 体模内 3 管不同羟磷灰石 mg/cm^3) 的四川体模, 置于 15 cm 深的水浴中为被测对象, 用东芝 CT 机和它的 QCT 部测量四川体模的骨密度(表 1), 四川体模 3 管实际骨密度分别为 50, 100, 200 mg/cm^3 。其测量骨密度分别为 43.5, 94.74 和 207.7 mg/cm^3 , 测量骨密度的准确度误差分别为 -13.00%、-5.26% 和 3.95%。校正误差可以用测量值乘校正系数, 也可以用回归方程校正(见表 1), 用回归方程校正误差可同时满足从低(50 mg/cm^3) 到高(200 mg/cm^3) 的各个骨密度层次要求。所以后者更有优越性。

表 1 东芝 CT 机测量骨密度的准确度误差

指标	骨体模密度管号		
	1	2	3
实际值(mg/cm^3)	50	100	200
测量值(mg/cm^3)			
1 次	41.1	91.8	203
2 次	43.5	93.3	212
3 次	42.7	93.9	203.1
4 次	44.0	98.4	214.8
5 次	44.9	99.0	213.6
6 次	42.4	92.2	207.5
7 次	43.4	94.8	209.4
8 次	43.9	95.1	201.8
9 次	43.9	94.4	206.3
10 次	45.0	94.5	206.2
平均值(SD)	43.5(1.113)	94.74(2.229)	207.7(4.346)
% 准确度误差	-13.00	-5.26	+3.85
校正系数	1.149	1.055	0.963

注: 相关与回归 $r = 0.998$, $a = 12.075$, $b = 0.907$ $y = a + bx = 12.075 + 0.907x$; 骨体模号指被测的四川骨体模 3 个不同密度骨管; 测量值 × 校正系数等于校正值; 回归方程校正是将测量值代入 x 计算的 y 值

2. CT 机更换球管对骨密度测量的影响

质量控制的要求提示, 测量仪部件的老化、硬件的更换、软件的更换都可能影响准确度误差, 该东芝

的 CT 机在 QCT 开始后更换了 X 线球管。更换球管之后的中、低密度端负性准确度误差明显增大(表 2)。

表 2 CT 机更换球管时准确度误差的影响

指标	骨体模密度管号		
	1	2	3
实际值(mg/cm^3)	50	100	200
测量值(mg/cm^3)			
换球管前平均(SD)	43.5(1.113)	94.74(2.229)	207.7(4.346)
换球管后平均(SD)	34.73(1.220)	90.03(1.32)	199.98(4.58)
准确度 % 误差			
换球管前	-13.0	-5.26	3.85
换球管后	-30.54	-9.97	-0.01

注: 换球管后相关与回归 $r = 0.999$; $a = 18.43$; $b = 0.910$ $y = 18.43 + 0.910x$

高密度端准确度误差减少(由原来的 3.85% 的误差减低为 -0.01%), 所以应该对 CT 机测量骨密度的重复性进行跟踪和校正。

3. 准确度误差对 20 例病人骨密度的影响。

20 例病人校正前的平均骨密度为 $(68.09 \pm 37.97) \text{mg}/\text{cm}^3$ ($3.1 \sim 139.63$) mg/cm^3 , 经用 $y = 18.43 + 0.91x$ 校正后, 20 例病人的平均骨密度为 $(80.41 \pm 34.54) \text{mg}/\text{cm}^3$ ($21.25 \sim 145.49$) mg/cm^3 。校正后骨密度增高了 15.32%, 约相当于半个标准差。如果不校正, 可能出现假阳性骨质疏松或流调中可将骨密度相同的两组人群误认为密度高于该组者。因而 QCT 亦应该进行质量控制试验。

讨 论

1. QCT 的潜在发展空间较大

我国县级以上的医院超过万数。除了省会级城市的大医院购进国外的大型 DXA(双能 X 线吸收法) 仪以后, 地县、省辖市的医院绝大多数已有 CT 机。而且这些 CT 机工作都不饱和, 正等待增加新项目, QCT 是其中之一。普及 QCT 的 CT 机是现成的, 只要加上测量骨体模硬件就可以开展起来, 花费仅为 DXA 的 1/3 ~ 1/5。QCT 测量的是单纯的松质骨, 由于松质骨较密质骨的骨转换高 8 倍。所以测量的敏感性高于 DXA。程晓光报告妇女腰椎正位 DXA 每年骨密度降低 0.6%; QCT 的腰椎体骨密度每年降低 2%; 药物治疗后的 QCT 的骨密度也较 DXA 敏感^[3]。发展 QCT 测量骨密度的方法是发展我国农村骨质疏松学科的经济而易普及的方法。

2. 用 1 个体模校正另 1 个体模准确度简单易行

(下转第 256 页)

各部位 BMD 变化为 L_2 减少 0.1%, L_3 增加 0.29%, L_4 减少 2.8%, 股骨颈增加 0.4%, Ward 氏区减少 1.4%, 大转子减少 1.9%。腰椎 BMD 平均减少 0.03%, 股骨近端 BMD 平均减少 0.96%。病人腰腿痛、腓肠肌痉挛等症状无明显改善。

讨 论

关于原发性骨质疏松的防治, 目前愈来愈重视综合疗法, 即药物、运动、日照及合理饮食。而常用的药物治疗主要分为抑制骨吸收和促进骨形成两大类。在抑制骨吸收的药物当中, 对于绝经后妇女, 雌激素的应用较为广泛。而雌激素长期使用会产生一定的副作用。降钙素虽然具有较好的抑制骨量丢失、减少骨痛的作用, 但其价格昂贵, 基层患者经济上难以承受, 同时具有一定的副作用^[3]。另一个常用药物是活性维生素 D-1, 25(OH) $_2$ D $_3$, 它不但可以促进肠钙的吸收, 而且可以促进肾脏对钙、磷的重吸收, 有较多文献报道其具有增加人体骨量作用, 与钙剂联合应用比单独应用要好^[3,4]。在促进骨形成的药物中应用较多的是氟化物, 它虽然能增加小梁骨的骨密度, 且副作用小, 但长期大量应用可导致骨硬化, 骨强度下降^[3]。而骨质疏松治疗的最终目的是增加骨量、增加骨强度, 减少骨折的发生率。因此, 我们通过观察促进骨矿化药物钙尔奇 D 对骨质疏

松患者 BMD 的影响, 发现其能明显增加人体 BMD, 尤其在 Ward 氏区、股骨颈及 L_3 等部位增加明显。以上部位均为人体受力部位, 而非受力部位大转子则差异无显著性。说明增加运动量对骨量, 尤其是受力部位的 BMD 的增加有一定作用。股骨上端 BMD 较腰椎增加较多, 可能与下肢运动量较多也不无关系。在缓解腰腿疼痛及腓肠肌痉挛上, 疗效亦十分显著, 而长期疗效以及对严重骨质疏松患者的治疗效果还有待于继续观察。

钙尔奇 D 每片含元素钙 600 mg 及 125 IU 的维生素 D $_3$, 高浓度的钙元素及维生素 D $_3$ 的参与, 可有效促进人体钙的吸收。加上合理的饮食及适当的户外运动和日照, 可有效防止人体骨钙流失, 增加骨钙沉积、增加骨量, 延缓骨质疏松的进一步发展, 并且其价格便宜, 因此, 对基层医疗单位来说, 它不失为一种防治骨质疏松的经济有效的方法。

参 考 文 献

- 1 秦岭, 张戈, 梁秉中, 等. 美国国家卫生院有关骨质疏松症的预防、诊断和治疗的共识文件. 中国骨质疏松杂志, 2002, 8: 90-93.
- 2 刘忠厚, 杨定焯, 朱汉民, 等. 中国人原发性骨质疏松症诊断标准(试行). 中国骨质疏松杂志, 1999, 5: 1-3.
- 3 李勇, 季晖. 骨质疏松症的药物治疗进展. 中国骨质疏松杂志, 2002, 5: 84-85.
- 4 刘忠厚, 主编. 骨质疏松学. 北京: 科学出版社, 1998. 237.