

· 体质成分影像学专题 ·

基于不同管电压下腰椎定量 CT 骨密度测量临床研究

刘艳莹, 胡昊, 李万忠, 陈国栋, 王玲, 王岩

【摘要】 目的:探讨不同管电压下定量 CT(QCT)测量腰椎骨密度(BMD)结果的差异及校正方法。**方法:**招募 2021 年 10 月至 2022 年 1 月于我院进行低剂量肺 CT 联合腰椎 QCT 健康体检人群中检出疑似肺部炎性病变,进而需进一步 CT 复查者为志愿者,两次扫描时间间隔 1~4 周,共入组 122 例,根据两次检查管电压的不同记为 100 kV 组和 120 kV 组,其余扫描参数相同,分别进行骨密度测量,采用配对 *t* 检验对两次测量结果的差异进行比较,计算组内相关系数(ICC)评价两组间相关性,应用 Bland-Altman 分析两次测量结果之间的一致性,运用 Pearson 相关性分析、线性回归分析得出相关系数及回归方程。**结果:**保持其他扫描条件一致,采取不同管电压扫描,定量 CT 所测得的腰椎骨密度不同,100 kV 管电压下测得的骨密度大于 120 kV 管电压下的骨密度,差异具有统计学意义($P=0.000$),两组间测量结果一致性好、相关性好($ICC=0.996, P=0.000$);不同管电压下骨密度测量结果相关性强,且二者呈正相关($r=0.9961, P=0.000$),得出回归方程 $Y=0.9932X-2.160, R^2=0.9923$ 。**结论:**100 kV 和 120 kV 管电压条件下,定量 CT 骨密度测量结果存在差异,结果呈高度正性相关。当管电压为 100 kV 时,可通过回归方程进行校正,获得 120 kV 条件下的真实骨密度值。

【关键词】 管电压; 体层摄影术, X 线计算机; 辐射剂量; 骨密度; 骨质疏松

【中图分类号】 R814.4; R144; R336; R681 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2022)10-1217-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.10.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Clinical study of bone mineral density of lumbar vertebrae with QCT based on different tube voltages

LIU Yan-ying, HU Hao, LI Wan-zhong, et al. Department of Radiology, Graduate Training Base of Jinzhou Medical University, Panjin Liao Oil Gem Flower Hospital, Liaoning 124010, China

【Abstract】 Objective: To explore the correlation between the bone mineral density (BMD) results of lumbar measured by quantitative CT (QCT) under different tube voltages. **Methods:** From October 2021 to January 2022, a total of 122 subjects with two low-dose lung CT scans for detection of suspicious lung inflammation were enrolled, and the interval between two scans was 1 to 4 weeks. The tube voltage was set as 100kV and 120kV respectively for the two scans. Except for the different tube voltages, the scanning parameters were consistent in the two groups. Paired *t* test was used to determine the differences between the two measurement, and the ICC value was calculated to evaluate the inter-test agreement between the two groups. The consistency of the two measurement results is analyzed by Bland-Altman, and the correlation coefficient and regression equation are obtained by using Pearson correlation analysis and linear regression analysis. **Results:** The main results are as follows: the two tube voltage groups differed in BMD of lumbar vertebrae. The BMD in 100kV group was significantly higher than that in 120kV group ($P=0.000$). The measurement results of BMD under different tube voltage are consistent. The inter-test agreement was excellent, and there was a positive correlation between two test results ($ICC=0.996, P=0.000; r=0.996, P=0.000$). The correlation regression equation of BMD was obtained: $Y=0.9932X-2.160, R^2=0.9923$. **Conclusion:** BMD results were different under the condition of 100kV and 120kV tube voltage, but were highly correlated. The true value of BMD under the condition of 120kV can be calculated by using the regression equation and BMD results

作者单位: 124010 辽宁, 锦州医科大学盘锦辽油宝石花医院研究生培养基地放射线科(刘艳莹)、放射线科(胡昊, 李万忠, 陈国栋, 王岩); 100035 北京, 北京积水潭医院放射科(王玲)

作者简介: 刘艳莹(1996-), 女, 黑龙江省哈尔滨人, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事骨质疏松影像学研究。

通讯作者: 王岩, E-mail: 80927@163.com

under 100kV.

【Key words】 Tube voltage; Tomography, X-ray computed; Radiation dosage; Bone density; Osteoporosis

骨质疏松症是好发于中老年人的常见慢性疾病,导致中老年人的生活质量下降,同时也加重了医疗负担^[1,2]。定期对老年人群骨密度进行测量能及时监测骨量的变化,明确骨质疏松诊断,进而指导临床,达到预防、治疗的目的。定量CT(quantitative CT, QCT)和双能X线骨密度仪(dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)是目前国际社会广泛应用的骨密度测量方法,二者相较,QCT测得的骨密度结果更精准、操作更便捷^[3,4]。然而CT检查的辐射剂量一向是大众广泛关注的问题。目前临床工作中肺CT检查时管电压设置范围为100~140 kV,而QCT测量腰椎BMD诊断标准则规定以120 kV管电压进行腰椎扫描能获得腰椎BMD真值。管电压、管电流、图像噪声等作为CT检查的重要参数,一旦改变将会对患者的辐射剂量、图像质量及CT值测量结果产生影响^[5,6]。降低管电压是常用的低剂量扫描方法,学者研究发现肺CT联合椎体QCT一站式扫描有助于降低辐射剂量且降低医疗成本^[7]。本研究分别采用低管电压100kV和标准管电压120 kV两种扫描条件下对腰椎进行QCT骨密度测量,比较两种管电压条件下测量结果的差异,并探讨其校正方法,力求在减低患者辐射剂量的同时提供真实的腰椎骨密度值,为低剂量QCT扫描技术在临床骨密度测量提供参考依据。

材料与方法

1. 研究对象及分组

本研究为全国QCT疾病大数据多中心研究项目,并经盘锦辽油宝石花医院伦理委员会批准,招募2021年10月至2022年1月于本院进行低剂量肺CT联合腰椎QCT体检人群中检出疑似肺部炎性病变,进而需进一步CT复查的人群为志愿者,两次扫描时间间隔1~4周,签署知情同意书。志愿者排除标准:曾发生骨折或进行腰椎手术、患有恶性肿瘤、严重的代谢性疾病,近期使用过影响骨代谢的产品或药物,测量前1周内使用过碘对比剂、进行CT检查的患者。本研究共入组122例,其中男67例,女55例,年龄23~58岁,平均年龄(41.86±7.57)岁。根据两次检查管电压不同分为100 kV组和120 kV组。

2. 检查方法

使用联影128层螺旋CT扫描机(uCT760)、美国Mindways公司的QCT(model3)校准体模对研究对象进行先后两次扫描。两次扫描管电压分别设置为

100 kV和120 kV,其余扫描条件相同。管电流60 mA,螺距1.0875:1,床高145 cm,层厚1 mm,旋转时间0.5 s,FOV 500 mm×500 mm,采用体部重建。将校正体模平行于脊柱长轴放置于扫描床上,固定于胸、腰椎的位置,被检者仰卧于CT扫描床,双手上举并抱头,腰骶部与体模尽量贴紧,同时进行体模与人体的扫描,扫描范围自胸廓入口至腰2椎体下缘水平。

3. 骨密度测量方法

将容积数据传至QCT PRO工作站,使用Mindways公司的5.0.3 Version QCT PRO的3D spine exam analysis进行椎体松质骨的骨密度测量,半自动设置ROI,层厚为9 mm,尽量避免增生、硬化、骨岛、骨皮质、各椎小关节以及椎后静脉入口处骨小梁缺少区的测量,由两位高年资主治医师采取双盲法分别测量每个患者的L₁、L₂椎体骨密度,取两椎体骨密度的平均值作为腰椎的骨密度值。

4. 骨质疏松的诊断标准

根据中国定量CT(QCT)骨质疏松症诊断指南(2018):骨量正常者骨密度的绝对值应>120 mg/cm³,骨密度绝对值处于80~120 mg/cm³之间则为低骨量,骨密度绝对值<80 mg/cm³即可判定为骨质疏松^[8]。

5. 统计学方法

采用SPSS 22.0软件对数据进行统计学分析。符合正态分布的计量资料用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。计算组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC),评价两位医师测量结果的一致性、两组间测量结果的相关性及一致性。不同管电压下测得的骨密度值差异的比较采用配对样本 t 检验。运用Bland-Altman分析再次检验两次测量结果间是否具有的一致性。通过Pearson相关性分析得出两组间腰椎骨密度测量结果的相关系数。经一元线性回归分析得出回归方程。 $P < 0.05$ 有统计学意义。

结果

1. 不同管电压下腰椎骨密度均值的比较(图1)

100 kV组与120 kV组BMD均值分别为(166.69±33.63) mg/cm³、(163.39±33.53) mg/cm³,100 kV组BMD均值高于120 kV组,经配对 t 检验, $t = 12.330, P = 0.000$,两组间骨密度值差异具有统计学意义,即随着管电压的增高,腰椎骨密度值减低。两组不同管电压下BMD测量结果比较,ICC = 0.996,

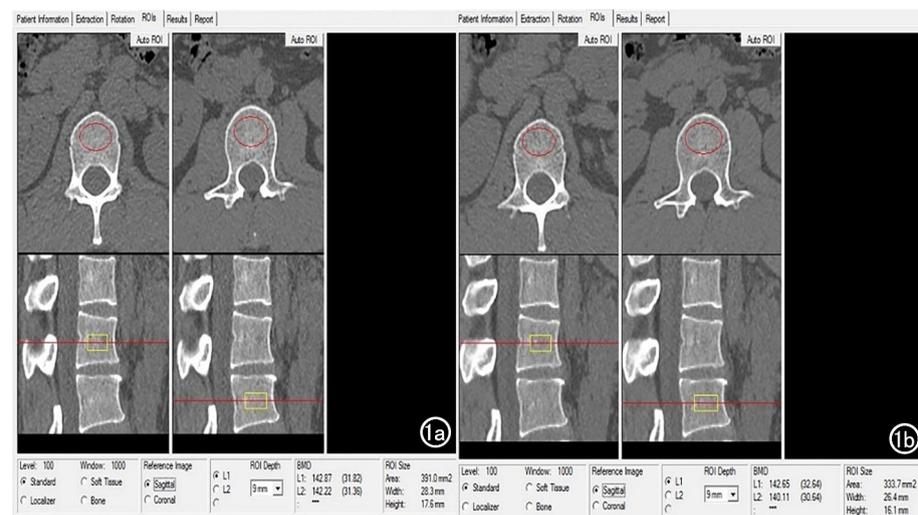


图1 体检人员间隔 20d 扫描测得的 L₁、L₂ 骨密度值。a) 100kV 管电压; b) 120kV 管电压。

$P=0.000$, 即两组间 BMD 相关性较好, 一致性高。

2. 不同管电压下骨密度测量结果一致性分析

不同管电压下骨密度测量结果 Bland-Altman 一致性分析(图 2)。在一致性界限范围以内, 100 kV 组与 120 kV 组腰椎 BMD 差值的绝对值最大值 12.51, 差值平均值 3.298, 95% 一致性界限(LoA) $\bar{x} \pm 1.96s$ 为(-2.493, 9.089), 96.7% (118/122) 的点位于 95% LoA 之内, 两次测量结果一致性较高。

3. 不同管电压下骨密度测量结果回归分析

100 kV 与 120 kV 扫描条件下测得的 BMD 值呈高度正相关, $r=0.9961$, 95% CI = (0.9945, 0.9973), $P<0.0001$ 。两组结果线性回归分析(图 3), 将 120 kV 下测得的腰椎 BMD 值设为因变量(Y), 100 kV 下的腰椎 BMD 值设为自变量(X), 根据 $Y=aX+b$, R^2 , 得出回归方程, 即 $BMD_{120kV}=0.9932 \times BMD_{100kV}-2.160$, $R^2=0.9923$ 。

讨论

骨质疏松症是一种以骨微结构改变导致的单位体积骨量较少、骨组织进行性破坏的一种全身代谢性疾病, 我国尤以中老年人多见。骨质疏松严重者最终可演变为脆性骨折, 甚至有致残风险, 严重影响了中老年患者的生活质量^[9]。定期检测骨密度能够及时反映骨量的变化, 指导临床预防、治疗骨质疏松, 提高患者的生活质量。研究表明腰椎 BMD 可用于评估总体骨骼健康的指标^[10], 本研究选取肺 CT 联合腰椎 QCT 健康体检患者中需进一步检查的人群, 在不额外

增加患者辐射剂量的同时进行不同管电压下的 QCT 腰椎 BMD 测定, 以评价不同管电压下的腰椎骨密度值间的相关关系, 进而实现体检人群低管电压下的腰椎骨密度精准测量, 降低患者的辐射风险。

CT 已成为目前临床检查中辐射占比较高的部分, 关于放射线检查的辐射剂量及防护问题愈发受到人们的重视^[11]。临床建议肺部及其他检查部位尽可能应用低剂量 CT 检查, 在保证图像质量及诊断需求的同时尽可能减轻患者检查过程中所受的辐射剂量^[5, 12]。既往研究表明^[13-15]通过降低管电压、管电流、缩短曝光时间和使用迭代算法等可有效减低辐射剂量。Kubo T 等^[11]研究发现管电压与患者的辐射剂量密切相关, 降低受检者辐射剂量, 核心在于降低管电流和管电压。本研究中通过将不同管电压下的腰椎 BMD 值对比发现, 管电压与 BMD 值呈反比, 与既往学者研究结果相一致。

不同管电压下 BMD 值改变, 推测其作用机理如下: 管电压与 X 线的穿透力呈正比, 即随着管电压的增加, X 线穿透力增加, 图像的空间分辨率随之增加, 另外, 因 X 线的辐射剂量与管电压的平方呈正比, 故而增加管电压的同时, 辐射剂量显著增加^[16, 17]; 改变管电压的同时, X 线通过人体组织产生的衰减程度不同, 进而导致局部组织 CT 值发生变化^[18]。当管电压减低时, X 线穿透力减弱, 光电效应增加而康普顿效应减小^[19], 图像质量减低, 同时探测器对 X 线光子的吸收也有所减低, 导致局部组织 CT 值增加, 因 QCT 腰椎 BMD 测量时是椎体与体模同时进行扫描, 利用 BMD 与 CT 值的换算公式: $BMD=[(Hb-Hw)/(Hk-Hw)] \times Ck$, Ck 为体模材料中骨矿替代物质浓度, Hb、Hk、Hw 分别为骨、体模、水的 CT 值^[20]。故而低

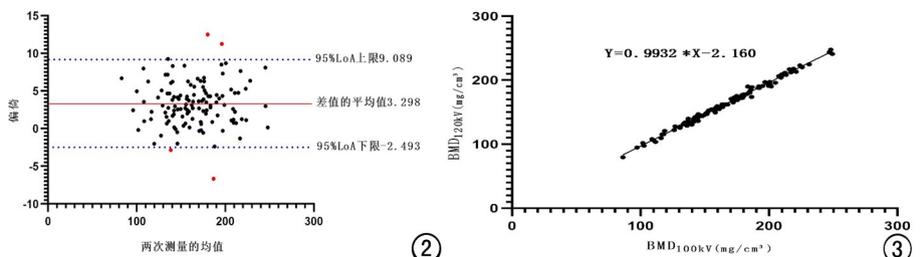


图2 不同管电压下骨密度测量结果一致性分析。图3 不同管电压下骨密度测量结果回归分析。注: BMD_{100kV} , 100kV 管电压下测得的腰椎骨密度; BMD_{120kV} , 120kV 管电压下测得的腰椎骨密度。

管电压 QCT 测得的腰椎 BMD 值略高于常规测量值^[21,22]。

相较王予生等^[22]对不同管电压下欧洲体模的 BMD 差异研究,本研究中两组管电压间 BMD 均值差异较小,仅 3 mg/cm³。这可能是因为本研究选取体检人群进行扫描,且志愿者多为中、青年,受 X 线能量的改变产生衰减变化较小,故而不同管电压下的 BMD 差异小。而体模受空气伪影和线束硬化等 CT 扫描条件影响较大,因而在管电压变化时可能相对测量结果差异较大。不同管电压下的 BMD 差值虽有统计学意义,但从临床角度上来说 3 mg/cm³ 的 BMD 差异对临床诊疗意义不大。在低剂量肺 CT 联合腰椎 QCT 体检中,100 kV 管电压下测得的腰椎 BMD 近似于常规 120 kV 管电压下的测量的腰椎 BMD 值,也可利用校正公式计算出真实的腰椎 BMD 值,进而按照国际骨质疏松诊断标准进行骨量分类,为体检人群定期骨量评估提供参考依据。

本研究不足之处:(1)本研究是基于既往学者进行的大量腰椎 BMD 与管电压间关系而展开的前瞻性研究,旨在探索不同电压下的腰椎骨密度值的差异、相关关系并得出回归方程,就本中心研究而言不同扫描条件下,采集的图像质量基本相同,对腰椎骨密度值的评估有参考价值,但目前国内外相关研究甚少,故而本研究可循参照较少;(2)本中心研究样本量相对较小、年龄组构成以青、中年为主,研究结果的准确性可能与全国多中心研究结果产生差异。故而,该项研究还需相关领域学者进行大样本、多中心研究,探讨适宜中国人群的不同管电压下的骨密度换算公式,得出更为科学、严谨的结论。

综上所述,据本研究结果表明 100 kV 与 120 kV 管电压下腰椎骨密度测量结果相近,且呈显著正相关,利用回归方程可实现 100 kV 低管电压下的腰椎 BMD 值测算,得出人体腰椎 BMD 真值。便于广泛应用到健康体检人群当中,在降低受检者辐射风险的同时实现骨密度的精确监测、评估,为骨质疏松的预防、也为今后多中心相关研究提供参考依据。

参考文献:

[1] 中华医学会骨科学分会骨质疏松学组.骨质疏松性骨折诊疗指南[J].中华骨科杂志,2017,37(1):1-10.

[2] 李楠,曾静,张培,等.定量 CT 骨密度测定在中老年男性中的应用研究[J].中国骨质疏松杂志,2021,27(1):40-43.

[3] 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.骨质疏松的影像学及骨密度诊断专家共识[J].中华放射学杂志,2020,54(8):745-752.

[4] 翟建,吴雅琳,胡琴,等.基于定量 CT 对不同性别、年龄人群血尿酸与腰椎骨密度的相关性分析[J].放射学实践,2020,35(3):385-388.

[5] 孙羽.低管电压多时相头颈 CTA 的应用研究:图像质量及辐射剂量[J].继续医学教育,2021,35(4):129-130.

[6] 曹国全,蔡志敏,陈勇春,等.低管电压联合迭代重建算法对胸部 CT 血管造影图像质量及辐射剂量的影响[J].中华放射医学与防护杂志,2015,35(5):393-396.

[7] 王勇朋,阳琰,何生生,等.低剂量胸部 CT 与 QCT 椎体骨密度测量一站式扫描可行性研究[J].放射学实践,2018,33(11):1194-1197.

[8] 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.

[9] Coughlan T, Dockery F. Osteoporosis and fracture risk in older people[J]. Clin Med (Lond), 2014, 14(2):187-191.

[10] Salzmänn SN, Shirahata T, Yang J, et al. Regional bone mineral density differences measured by quantitative computed tomography: does the standard clinically used L₁-L₂ average correlate with the entire lumbosacral spine? [J]. Spine J, 2019, 19(4):695-702.

[11] Kubo T, Ohno Y, Kauczor HU, et al. Radiation dose reduction in chest CT-Review of available options[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(10):1953-1961.

[12] 唐坤,曹国全,李瑞,等.低管电压腹部 CT 扫描对图像质量及辐射剂量影响的体模实验[J].中国医学影像技术,2012,28(4):800-804.

[13] Goo HW. Is it better to enter a volume CT dose index value before or after scan range adjustment for radiation dose optimization of pediatric cardiothoracic CT with tube current modulation? [J]. Korean J Radiol, 2018, 19(4):692-703.

[14] Buls N, Gompel GV, Cauteren TV, et al. Contrast agent and radiation dose reduction in abdominal CT by a combination of low tube voltage and advanced image reconstruction algorithms[J]. Eur Radiol, 2015, 25(4):1023-1031.

[15] Schmidt BT, Hupfer M, Saltybaeva N, et al. Dose optimization for computed tomography localizer radiographs for low-dose lung computed tomography examinations[J]. Invest Radiol, 2017, 52(2):81-86.

[16] Costello JE, Cecava ND, Tucker JE, et al. CT radiation dose: current controversies and dose reduction strategies[J]. Am J Roentgenol, 2013, 201(6):1283-1290.

[17] Goo HW. CT radiation dose optimization and estimation: an update for radiologists[J]. Korean J Radiol, 2012, 13(1):1-11.

[18] 叶飞,徐彪,羊章哲,等.低管电压和低浓度对比剂对下肢动脉 CTA 检查的图像质量和辐射剂量的影响[J].医学理论与实践,2020,33(19):3262-3263.

[19] 孙继全,陈文新,吴志强,等.低管电压在降低肺动脉 CT 成像对比剂量及辐射剂量的研究[J].实用放射学杂志,2016,32(3):437-440.

[20] 刘瑞,汪方,张洁,等.定量 CT 测定骨矿物质密度研究进展[J].国际骨科学杂志,2012,33(4):234-236. 239.

[21] Genant HK, Cann CE, Ettinger B, et al. Quantitative computed tomography of vertebral spongiosa: a sensitive method for detecting early bone loss after oophorectomy[J]. Ann Intern Med, 1982, 97(5):699-705.

[22] 王予生,过哲,赵海竹,等.不同管电压对定量 CT 骨密度测量结果的影响[J].中国医学影像技术,2015,31(10):1475-1478.