·骨骼肌肉影像学·

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

王勇朋，阳琰，何生生，钱堃，程晓光

【摘要】 **目的**：探讨低剂量胸部 CT 与定量 CT(QCT)骨密度测量一站式扫描的可行性。**方法**：腰椎 CT(250 mA)和低剂量胸部 CT(80 mA)两组扫描参数对欧洲脊柱体模(ESP)重复扫描 10 次，QCT 测量 ESP 椎体骨密度、计算准确度误差并进行统计学分析。搜集既行低剂量胸部 CT、又因其他原因行腰椎 CT 的 40 例患者，两次扫描间隔不超过 1 个月，QCT 测量 T_{12}～L_2 椎体骨密度并分析结果。一组 360 例无症状体检者 T_{12}～L_2 椎体骨密度资料，分析 T_{12}/L_1 椎体骨密度均值与 L_1/L_2 椎体骨密度均值间相关性、并比较筛查法(依据 T_{12}/L_1 椎体骨密度均值)与推荐法(依据 T_{12}/L_1 椎体骨密度均值)评估骨密度诊断结果的一致性。**结果**：250 mA 和 80 mA 两组间 ESP "L_1、L_2、L_3"椎体骨密度准确度误差及 40 例患者 T_{12}、L_1、L_2 椎体骨密度差异均无统计学意义($P>0.05$)。360 例无症状体检者 T_{12}/L_1 与 L_1/L_2 椎体骨密度均值分别为 157.104±33.480、153.352±33.299，二者具有明显相关性($r=0.988$，$P<0.05$)。筛查法与推荐法评估骨密度诊断结果一致性好(Kappa=0.747，$P<0.05$)。**结论**：低剂量胸部 CT 与 QCT 一站式扫描，能同时满足肺筛查和评估骨密度需求，并且能降低辐射剂量、节约医疗成本及患者检查时间。

【关键词】 骨密度；体层摄影术，X 线计算机；辐射剂量

【中图分类号】R814.42；R336；R681 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2018)11-1194-04

DOI：10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.11.017 开放科学(资源服务)标识码(OSID)：

Low-dose chest CT and QCT "one-stop-shop" scan technology: a feasibility study WANG Yong-peng, YANG Yan, HE Sheng-sheng, et al. Imaging Department, the Affiliated Hospital of Zunyi Medical College, Guizhou 563003, China

【Abstract】 **Objective**: To investigate the feasibility of "one-stop-shop" low-dose chest CT for lung screening and quantitative computed tomography (QCT) for bone mineral density (BMD) measurements. **Methods**: The European Spine Phantom (ESP) and 40 patients underwent routine lumbar CT scan (250mA) and low-dose chest CT scan (80mA). BMD was measured by QCT. The difference of diagnosis between screening method and classical method was compared in a total of 360 healthy persons from database of BMD. **Results**: There were no statistical differences between 250mA and 80mA in the accuracy errors of "L_1, L_2, L_3", and nor in BMD from T_{12} to L_2 ($P>0.05$). There was significant correlation ($r=0.988$, $P<0.05$) in mean BMD between T_{12}/L_1 (157.104±33.480) and L_1/L_2 (153.352±33.299). The diagnostic agreement between screening method and classical method in evaluating BMD was good (Kappa=0.747, $P<0.05$). **Conclusion**: Low-dose chest CT and QCT "one-stop-shop" scan can successfully obtain lung screening and assessment of BMD. Moreover, it can reduce the radiation dose, and save the medical cost and the patient's examination time.

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

低剂量胸部 CT 肺筛查能早期发现肺癌，显著降低病死率、又显著降低患者辐射剂量，广泛应用于健康体检[1]。骨质疏松为常见骨代谢疾病，表现为骨量减少及骨微小结构改变，导致骨脆性增加，容易发生骨折，早发现、早诊断、早治疗可以减少骨折的发生率及致残率。随着全民健康意识提升，健康体检同时要求低剂量胸部 CT 肺筛查、椎体骨密度测量人群不断增大。本研究探讨低剂量胸部 CT 筛查与定量 CT (quantitative computed tomography, QCT)骨密度测

作者单位：563000 贵州，遵义医学院附属医院影像科(王勇朋、何生生、钱堃)，内分泌科(阳琰)；100035 北京，北京积水潭医院放射科(程晓光)

作者简介：王勇朋(1975－)，男，河南开封人，硕士，副主任医师，主要从事骨关节及肿瘤影像诊断工作。

通讯作者：程晓光，E-mail：xiao65@263.net

基金项目：黔科合 LH 字(2017)7116 号

量一站式扫描的可行性。

材料与方法

1. 临床资料

搜集本院 2016 年 5 月－12 月在一个月内既行低剂量胸部 CT（80 mA）、又因其他原因行腰椎 CT（250 mA）的患者共 40 例（扫描范围均覆盖 T_{12}～L_2），其中男 23 例，女 17 例，年龄 27～75 岁，平均 48.4 岁。QCT 测量 T_{12}～L_2 椎体骨密度并分析结果。

回顾性分析本院 2016 年 5 月－2017 年 10 月 360 例无症状体检者骨密度资料，年龄 20～85 岁（平均 36.84 岁），其中男 313 例，女 47 例。分析 T_{12}/L_1 与 L_1/L_2 椎体骨密度均值的相关性、并比较筛查法（依据 T_{12}/L_1 椎体骨密度均值）与推荐法（依据 L_1/L_2 椎体骨密度均值）诊断骨密度结果的一致性。参照中国人骨质疏松症诊断标准专家共识（第三稿. 2014 版）[2]：QCT 骨密度绝对值≥120 mg/cm^3 为正常、80～120 mg/cm^3 提示骨量减少、≤80 mg/cm^3 诊断骨质疏松。

病例纳入标准：所有病例均经临床和其他相关检查排除影响骨代谢的慢性病（如甲状旁腺病变、恶性肿瘤等）、陈旧性椎体骨折及服用引起骨代谢的药物（如激素类等）者。

低剂量胸部 CT 扫描：一组（北京等 7 家医院）多中心低剂量 CT 肺筛查资料，抽取每家医院检查尾号为 1、5 的前 100 例筛查者（共 700 例），看图软件（RadiAnt DICOM Viewer）冠状面、矢状面重建其原始图像，观察图像最低层面位置。位置定义：椎体平均分为四等份，中间两份为中部；椎间隙平均分两份，椎体上 1/4＋相邻 1/2 椎间隙为上部；椎体下 1/4＋相邻 1/2 椎间隙为下部。扫描范围至 L_1 下部或以下者，就满足 T_{12}、L_1 椎体骨密度测量要求。

欧洲脊柱体模（European Spine Phantom，ESP）（编号 N0145，德国 ORM 公司生产）：由环氧树脂制成的塑料加上其他各种成分达到水和骨等效的固体材料组成，三个标准椎体的松质骨的羟基磷灰石密度分别是：L_1 50 mg/cm^3、L_2 100 mg/cm^3、L_3 200 mg/cm^3。QCT 测量椎体骨密度并计算骨密度准确度误差。

2. 检测设备及方法

CT 扫描：选用 GE Optima CT680 Series CT 机，ESP 及患者头先进，目标区域置于校准体模上，体模区域无任何异物。扫描参数：管电压 120 kV，机架转速 0.6 s/r，层厚 5 mm，螺距 0.984，扫描视野（scanning field of view，SFOV）50 cm，床高 130 cm（固定），ESP 及 40 例患者管电流：250 mA 和 80 mA；360 例体检者管电流为 80 mA。重建方式：矩阵 512×512，标准算法，显示视野（displaying field of view，DFOV）40 cm，重建层厚 1.25 mm。

骨密度测量：将 1.25 mm 重建数据传送到 Mindways 工作站，QCT PRO TM 3D 脊柱骨密度应用模块（版本 4. 0）椎体骨密度测量，自动设置兴趣区（ROI），三平面定位，ROI 尽可能位于椎体中部松质骨区，避开骨岛、椎体后中央沟等影响骨密度值区域。

3. 统计学方法

采用 SPSS 21.0 进行统计学分析。骨密度、骨密度准确度误差均以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示。250 mA和 80 mA 两组 CT 扫描参数间 ESP“L_1、L_2、L_3”椎体骨密度准确度误差比较，采用独立样本 t 检验；250 mA 和 80 mA 两组间 40 例患者的 T_{12}、T_1、L_2 椎体骨密度比较，采用配对 t 检验。比较筛查法与推荐法诊断结果一致性，采用 Kappa 检验。检验水准：$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结　果

ESP 不同椎体骨密度准确度误差均呈正态性分布，250 mA 和 80 mA 两组间 ESP“L_1、L_2、L_3”椎体骨密度准确度误差差异均无统计学意义（表 1）。

表 1　ESP 椎体骨密度准确度误差结果　（%）

椎体	80mA	250mA	t 值	P 值
L_1	16.142±4.746	16.522±5.145	－0.172	0.866
L_2	7.652±1.137	8.726±1.836	－1.573	0.133
L_3	0.138±1.307	0.977±1.333	－1.421	0.173

250 mA 和 80 mA 两组 40 例患者椎体骨密度数据均呈正态性分布，两组间 T_{12}、T_1、L_2 骨密度差异均无统计学意义（表 2）。

表 2　40 例患者椎体骨密度结果　（mg/cm^3）

椎体	80mA	250mA	t 值	P 值
T_{12}	138.570±37.396	139.713±39.554	－1.356	0.183
L_1	132.790±35.186	133.445±36.207	－0.833	0.410
L_2	128.210±35.614	127.938±35.798	0.536	0.595

360 例无症状体检者 T_{12}/L_1 与 L_1/L_2 骨密度均值均呈正态性分布，骨密度均值分别为 157.104±33.480、153.352±33.299，二者具有明显相关性（r＝0.988，$P<0.05$）。筛查法与推荐法评估骨密度一致性好（Kappa＝0.747，$P<0.05$，表 3）。

表 3　筛查法与推荐法诊断骨密度结果

筛查法	推荐法		
	正常	骨量减少	骨质疏松
正常	301	9	0
骨量减少	10	32	0
骨质疏松	0	3	5

700 例肺筛查者低剂量胸部 CT 底部层面位置结果（图 1）：59%覆盖至 L_1 下部或以下（比例位于饼内），36.57%覆盖至 T_{12} 中部～L_1 中部（比例位于饼外非分

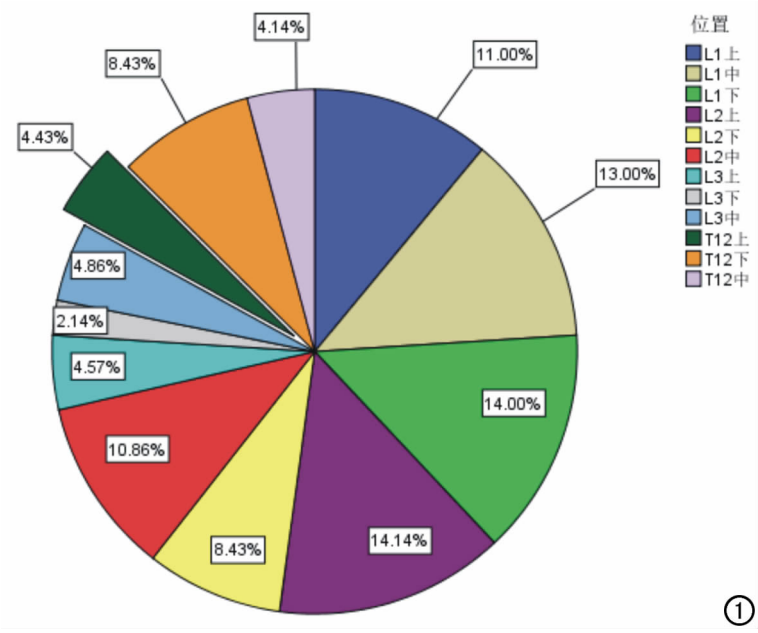

图 1 低剂量胸部 CT 底部层面位置饼状图。

离区)，仅 4.43%覆盖至 T_{12} 上部或以上(分离区)。

讨 论

1. QCT 骨密度测量原理[3]

利用临床 CT 机的 X 线吸收原理，通过扫描前的质量控制及扫描过程中被检测部位与校准体模一起行 CT 扫描，被检部位的 X 线衰减信息通过校准体模转化成羟基磷灰石(K_2HPO_4)等效密度(图 2、3)。QCT 骨密度测量相比双能量 X 线骨密度测量具有一定优势，临床用于诊断骨质疏松、评估骨折风险，以及评价临床用药后疗效等[4-6]。然而，辐射剂量大是限制其临床应用的主要因素。早期采用 CT 单层扫描降低辐射剂量，单层扫描不能满足 3D QCT 骨密度测量要求。随后，研究者通过改变扫描参数(降低管电压或管电流)以降低检查者的辐射剂量[7-8]。国际临床骨密度学会(the International Society for Clinical Densitometry, ISCD)2007 推荐[4]：通过减少扫描范围以降低辐射剂量，推荐扫描范围仅包含 L_1、L_2 椎体，测量 L_1、L_2 椎体骨密度并取均值进行评估全身骨密度，其中任何一个椎体病变，用 T_{12} 或 L_3 椎体代替病变椎体。

2. 低剂量胸部 CT 椎体骨密度测量评估全身骨密度的可行性

目前，国内外均采用腰椎扫描条件测量 L_1、L_2 椎体骨密度来用于估全身骨密度及预测骨折风险，低剂量胸部 CT 扫描条件的测量结果能否适合当前的诊断标准是本研究的前提。ESP 作为国际公认的骨密度测量评估标准，主要用于骨密度测量仪的标准化和不同仪器间的相互校准，也适用于同一仪器不同条件间的相互校准[9]。本研究中常规腰椎 CT、低剂量胸部 CT 两组间 ESP“L_1、L_2、L_3”椎体骨密度准确度误差均无统计学差异，说明管电流对 QCT 骨密度测量值影响不明显。临床 40 例患者 T_{12}、L_1、L_2 椎体骨密度结果也印证这一观点。管电流(mA)减低，噪声增加，CT 值将随之增加[10]，校准体模中 5 种不同标准密度能确保骨密度测量值的一致性。降低管电流，辐射剂量将随之减少，研究结果与文献结论相一致[8]。因此，低剂量胸部 CT 椎体骨密度测量可以用于评估全身骨密度及预测骨折风险，同时患者辐射剂量降低。

3. T_{12}/L_1 骨密度均值替代 L_1/L_2 骨密度均值评估全身骨密度的可行性

本研究中 T_{12}/L_1 与 L_1/L_2 骨密度均值间存在明显相关性，骨密度均值 T_{12}/L_1 稍高于 L_1/L_2，依据 T_{12}/L_1 骨密度均值的筛查法与依据 $L1/L_2$ 骨密度均值的推荐法对 360 例体检者评估骨密度结果的一致性好。而且，当前骨密度测量临床主要应用是筛查骨密度异常并评估骨折风险，而对于某一临界点诊断骨质疏松并不是主要的[11]。因此，T_{12}/L_1 骨密度均值可以替代 L_1/L_2 骨密度均值评估全身骨密度。

4. 一站式扫描法与传统方法剂量、医疗成本及患者时间的比较

一站式扫描法：仅行一次低剂量胸部 CT 扫描，扫

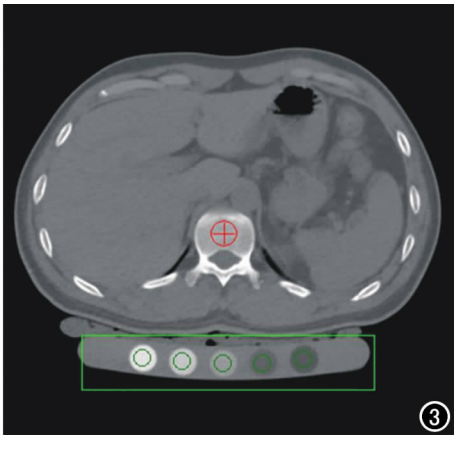

图 2 扫描前质控，上方椭圆状质控体模，下方平板状校准体模。 **图 3** 扫描时被检部位置于校准体模上，校准体模内包含 5 个不同标准密度圆柱体。

描范围最少至 L_1 下部，能同时完成低剂量胸部 CT 肺筛查及椎体骨密度测量。传统方法为分别行低剂量胸部 CT、腰椎 CT（范围仅包含 L_1、L_2）两次扫描。相比传统方法，一站式扫描可以节省患者 CT 检查费用及时间。

有效剂量＝ 剂量长度乘积（dose length product，DLP）×权重因子；DLP＝容积 CT 剂量指数（CTDI-VOI）×扫描长度，由公式得出：扫描长度与有效剂量成正相关，减少扫描长度，辐射剂量将随之减少。笔者抽取北京等 7 家医院体检中心共 700 例肺筛查者低剂量胸部 CT 底部层面位置（图 1），其中 59％的筛查者扫至 L_1 下部或以下，此类筛查者无需增加剂量，直接可以完成肺筛查及全身骨密度评估；36.57％筛查者扫至 T_{12} 中部～L_1 中部，相比传统法可以减少一次定位像及重叠区域扫描，剂量降低；剩余仅 4.43％的筛查者，虽然没有减少扫描范围，骨密度测量采用低剂量扫描条件，相比传统法剂量没有明确增加。因此，一站式扫描法相比传统法，既可以节约医疗成本及患者的时间，还可以降低有效辐射剂量。

综上所述，低剂量胸部 CT 与 QCT 椎体骨密度测量一站式扫描，即能同时完成肺筛查及评估全身骨密度，又可以降低辐射剂量、节约医疗成本及患者的时间。本研究不足之处在于，360 例椎体骨密度资料中女性仅 47 例，需在今后进一步研究中补充女性骨密度数据。

参考文献：

[1] 刘又宁. 低剂量 CT 筛查肺癌功不可没[J]. 中华结核和呼吸杂志，2017，40(4)：241-242.

[2] 张智海，刘忠厚，李娜，等. 中国人骨质疏松症诊断标准专家共识（第三稿. 2014 版）[J]. 中国骨质疏松杂志，2014，20(9)：1007-1010.

[3] 徐黎，端木羊羊，张勇，等. 定量 CT 测量动物肝脏脂肪含量的实验研究[J]. 放射学实践，2017，32(5)：466-470.

[4] Engelke K, Adams JE, Armbrecht G, et al. Clinical use of quantitative computed tomography and peripheral quantitative computed tomography in the management of osteoporosis in adults: the 2007 ISCD official positions[J]. J Clin Densitom, 2008, 11(1): 123-162.

[5] Bruno AG, Broe KE, Zhang X, et al. Vertebral size, bone density, and strength in men and women matched for age and areal spine BMD[J]. J Bone Miner Res, 2014, 29(3): 562-569.

[6] Rianon NJ, Lang TF, Siggeirsdottir K, et al. Fracture risk assessment in older adults using a combination of selected quantitative computed tomography bone measures: a subanalysis of the Age, Gene/Environment Susceptibility-Reykjavik Study[J]. J Clin Densitom, 2014, 17(1): 25-31.

[7] Engelke K. Quantitative computed tomograph-current status and new developments[J]. J Clin Densitom, 2017, 20(3): 1-13.

[8] Museyko O, Heinemann A, Krause M, et al. A low-radiation exposure protocol for 3D QCT of the spine[J]. Osteoporosis International, 2014, 25(3): 983-992.

[9] Kalender WA, Felsenberg D, Genant HK, et al. The European Spine Phantom a tool for standardization and quality control in spinal bone measurements by DXA and QCT[J]. Eur J Radiol, 1995, 20(2): 83-92.

[10] 杨峰，查云飞. 低剂量 CT 尿路造影应用[J]. 放射学实践，2015，30(6)：696-699.

[11] Siris ES, Adler R, Bilezikian J, et al. The clinical diagnosis of osteoporosis: a position statement from the National Bone Health Alliance Working Group[J]. Osteop Int, 2014, 25(5): 1439-1443.

（收稿日期：2018-05-03 修回日期：2018-07-16）