

Influence of low-tube current in combination with simultaneous iterative reconstruction algorithm on bone mineral density of T12 and image quality of chest in phantom

JIANG Yaojun, WU Yan, ZHANG Yonggao, DONG Junqiang, LIU Jie,
HOU Ping, GAO Jianbo*

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of
Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the influence of low-tube current in combination with simultaneous iterative reconstruction algorithm on bone mineral density (BMD) of T12 and image quality with a chest phantom. **Methods** An adult male chest phantom was selected. CT scan of the chest was performed at tube voltage of 120 kV and five different tube currents (20, 30, 40, 50, 60 mAs) in combination with filtered back projection (FBP), iDose⁴ (Level 4) and iterative model reconstruction (IMR, Level 2), respectively. BMD of T12 in chest phantom and objective evaluation results on different tube currents and simultaneous iterative reconstruction techniques were compared. The subjective scoring of mediastinum and lung window imaging qualities at tube current of 20 mAs with IMR and tube current of 60 mAs with FBP were compared. The consistency between two observers was evaluated. **Results** There was no significant difference between BMD values nor CT values on different tube currents and simultaneous iterative reconstruction techniques of chest phantom (all $P > 0.05$), but the differences between SD values were statistically significant ($P < 0.001$). SD values obtained with IMR were lower than those of iDose⁴ and FBP at same tube currents (all $P < 0.001$). At tube current of 60 mAs with FBP, the consistency of two observers in mediastinum window was the best ($Kappa=1, P < 0.001$), while in lung window was medium ($Kappa=0.64, P=0.002$). At tube current of 20 mAs with IMR, the consistency of two observers in mediastinum window was medium ($Kappa=0.64, P=0.002$), while in lung window was the best ($Kappa=1, P < 0.001$). **Conclusion** Low-tube current in combination with simultaneous iterative reconstruction algorithm can reduce radiation dose without affecting the accuracy of BMD.

[Key words] Phantom; Quantification; Bone mineral density; Tomography, X-ray computed; Iterative reconstruction; Image processing, computer-assisted

DOI:10.13929/j.1003-3289.201709067

低管电流联合迭代重建算法对胸部体模 T12 骨密度值准确性和胸部图像质量的影响

蒋耀军, 吴艳, 张永高, 董军强, 刘杰, 侯平, 高剑波*

(郑州大学第一附属医院放射科, 河南 郑州 450052)

[摘要] **目的** 探讨低管电流联合迭代重建算法对仿真胸部体模 T12 骨密度(BMD)的准确性和胸部图像质量的影

[基金项目] 国家自然科学基金联合基金(U1504821)。

[第一作者] 蒋耀军(1985—),男,河南平顶山人,硕士,技师。研究方向:医学影像技术。E-mail: jiangyaojun_3526@163.com

[通信作者] 高剑波,郑州大学第一附属医院放射科,450052。Email: cjr.gaojianbo@vip.163.com

[收稿日期] 2017-09-13 **[修回日期]** 2017-11-09

响。**方法** 选用成年男性胸部体模,管电压 120 kV,管电流分别为 20、30、40、50、60 mAs,联合滤波反投影算法(FBP)、混合迭代重建技术(iDose⁴, Level 4)及迭代模型重建(IMR, Level 2)行胸部扫描。比较采用不同管电流和重建技术时胸部体模 T12 的 BMD 及客观评价结果;比较管电流 20 mAs、采用 IMR 算法与管电流 60 mAs、采用 FBP 迭代算法的纵隔窗和肺窗图像质量的主观评分,并评价观察者间的一致性。**结果** 管电流、重建技术不同时,胸部体模 T12 的 BMD 和 CT 值差异均无统计学意义(P 均 >0.05),而 SD 值差异有统计学意义(P 均 <0.001)。相同管电流下,采用 IMR 算法获得的 SD 值明显低于 iDose⁴ 和 FBP(P 均 <0.001)。管电流 60 mAs、采用 FBP 算法时,2 名观察者观察纵隔窗的一致性较好($Kappa=1, P<0.001$),观察肺窗的一致性中等($Kappa=0.64, P=0.002$);管电流 20 mAs、采用 IMR 时,2 名观察者观察纵隔窗的一致性中等($Kappa=0.64, P=0.002$),观察肺窗的一致性较好($Kappa=1, P<0.001$)。**结论** 低管电流联合迭代重建算法可降低辐射剂量,同时满足骨密度测值的准确性及胸部图像诊断。

[关键词] 体模;定量;骨密度;体层摄影术,X 线计算机;迭代重建;图像处理,计算机辅助

[中图分类号] R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2018)03-0000-05

骨密度(bone mineral density, BMD)可反映 75%以上的骨强度,无创测量 BMD 可诊断骨质疏松症^[1]。研究^[2]发现,我国 50 岁以上男性与女性罹患骨质疏松症的比例为 10.4%与 31.2%。随着低剂量胸部 CT 在早期肺癌筛查中的广泛应用^[3],肺结节、尤其最大径 <10 mm 的结节检出率明显提高^[4]。目前定量 CT(quantitative CT, QCT)采用腰椎序列扫描测量 BMD,但辐射剂量较大。本研究采用低管电流联合迭代模型重建(iterative model reconstruction, IMR)重复测量仿真胸部体模 T12 的 BMD^[5],探讨低管电流联合 IMR 测量 BMD 的准确性及其对胸部图像质量的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选用 Lungman N1 成年男性胸部体模(日本岛津公司),大小约 43 cm \times 40 cm \times 45 cm,胸围约 94 cm,重约 18 kg,其软组织和骨骼的 X 线衰减性与真人相同,内部结构可拆卸,包括支气管树和纵隔等结构。模拟结节具有 3 种密度(CT 标准设置值分别为 -800、-630 和 100 HU),每种包括 5 种直径(最大径标准设置 3、5、8、10 和 12 mm),共计 15 个结节,固定于胸部体模肺纹理上。

1.2 仪器与方法 采用 Philips Brilliance iCT Elite FHD CT 仪,螺旋扫描方式,扫描范围自肺尖至横膈。扫描参数:管电压 120 kV,管电流分别为 20、30、40、50、60 mAs,螺距 0.976,扫描层厚和层间距均为 5 mm,球管转速 0.5 s/rot,矩阵 512 \times 512,FOV 500 mm。重复进行 10 次扫描。重建方式:采用滤波反投影算法(filtered back projection, FBP)、混合迭代重建技术(iDose⁴, Level 4)及 IMR(Level 2)重建,层厚和层间距均为 1 mm。将重建数据统一传到 Philips Portal 后处理工作站进行相关胸部图像评价。

1.3 图像分析 将重建数据上传至 Mindways QCT PRO 工作站,采用工作站软件的自动功能(自动探测边界及生成 ROI 等)测量体模 T12 松质骨 BMD。由 2 名具有 5 年以上工作经验的资深影像医师观察 CT 图像,意见不一时经协商统一。管电流 20 mAs 时,选取结节最大横截面测量其最大径^[6],取平均值;根据公式计算结节最大径的偏差度,计算公式:模拟结节最大径偏差度=[(模拟结节最大径平均测值-标准设置最大径)/标准设置最大径] \times 100%。

通过扫描完成后设备自动生成的剂量报告单记录容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)和放射剂量长度乘积(dose length produce, DLP)。

1.4 图像质量评价

1.4.1 客观评价 由上述其中 1 名医师于体模气管杈处(前纵隔)放置 ROI,圆形区域面积约占轴位图像的 2/3,测量 CT 值,记为 CT₁。在同层面椎体背侧竖直线(左右两侧,取其平均值)放置 ROI,避开 T12 椎体高密度区,圆形区域面积约占竖直线区域图像的 2/3,测量 CT 值,记为 CT₂;其相应标准差记为 SD。对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)=(CT₁-CT₂)/SD。

1.4.2 主观评价 由上述 2 名医师以盲法独立评价管电流 60 mAs、采用 FBP 迭代算法与管电流 20 mAs、采用 IMR(Level 2)迭代算法的体模胸部纵隔窗(窗宽 350 HU,窗位 40 HU)和肺窗(窗宽 1500 HU,窗位 -700 HU)图像,评价标准见表 1。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 21.0 统计分析软件。CTDIvol、DLP 与管电流之间均满足正态分布,采用 Pearson 相关分析观察 CTDIvol、DLP 与管电流的相关性。对不同管电流、重建技术下胸部体模 T12 的 BMD 及客观评价结果采用单因素方差分析进行比较;以 Mann-whitney U 秩和检验比较胸部体模图像质量

表 1 胸部体模图像质量主观评分标准(分)

评分	主观噪声	肺血管、气管树及组织结构清晰度	模拟结节可见度与形态
1	噪声大	显示不清,无法诊断	结节不可见
2	噪声较大	显示欠清,基本满足临床诊断	结节尚可见,边界不清
3	噪声较小	显示较清,满足临床诊断	结节可见,边界稍模糊
4	噪声小	显示清晰,完全满足临床诊断	结节清晰可见

的主观评分, $Kappa$ 检验比较 2 名医师图像质量主观评分的一致性, $Kappa < 0.4$ 为一致性较差, $0.4 \leq Kappa \leq 0.74$ 为一致性中等, $Kappa > 0.74$ 为一致性较好。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 辐射剂量 管电压不变、管电流递增时,胸部体模扫描的辐射剂量见图 1,其中 CTDIvol 呈线性递增趋势,DLP 呈线性递增趋势,CTDIvol 和 DLP 均与管电流呈正相关(r 均 = 1, P 均 < 0.001)。

2.2 T12 的 BMD 管电流、重建技术不同时,胸部体模 T12 的 BMD 比较见表 2,差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)。

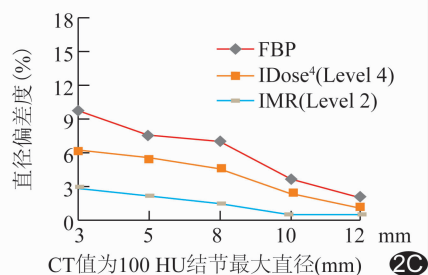
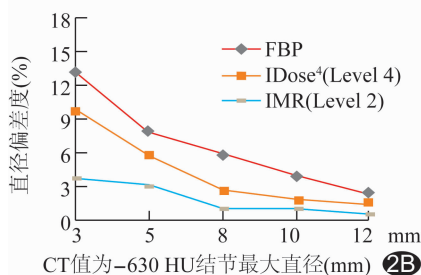
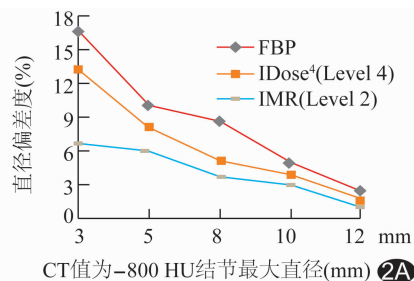
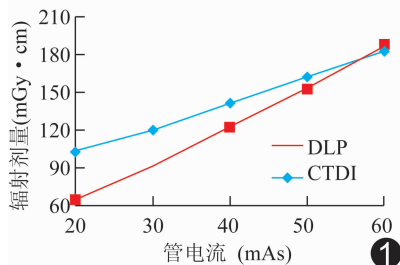


图 1 管电压不变、管电流递增时胸部体模扫描的辐射剂量图 图 2 管电流 20 mAs 时,采用 3 种重建算法获得 15 个模拟结节的最大径偏差度图 A. CT 值 -800 HU 的结节; B. CT 值 -630 HU 的结节; C. CT 值 100 HU 的结节

表 2 不同管电流、重建技术下胸部体模 T12 的 BMD 比较(mg/cm³)

管电流 (mAs)	重建技术		
	FBP	iDose ⁴ (Level 4)	IMR (Level 2)
20	295.47	295.85	294.32
30	292.65	293.67	292.84
40	293.90	294.27	294.07
50	292.90	294.09	292.61
60	292.84	292.29	292.57
F 值	1.36	2.15	0.56
P 值	0.26	0.09	0.69

2.3 模拟结节的观察结果 管电流 20 mAs 时,15 个模拟结节的最大径偏差度见图 2。最大径 3 mm 和 5 mm 的结节最大径偏差度较大($P = 0.02$);CT 值为 -800 HU 时结节最大径偏差度较 CT 值为 -630 HU 和 100 HU 大($P = 0.03$);3 种重建算法相比,采用 IMR 重建技术的结节最大径偏差度小于 FBP 和 iDose⁴ ($P = 0.03$),结节边缘更为清晰(图 3)。

2.4 客观评价结果 不同管电流、重建技术下的 CT 值、SD 值比较见表 3,CT 值差异无统计学意义(P 均 > 0.05),而 SD 值差异有统计学意义(P 均 < 0.001),且管电流越小,SD 值越大。而管电流相同、重建技术不同时,SD 值差异有统计学意义(P 均 < 0.001),且采用 IMR 迭代算法获得的 SD 值明显低于 iDose⁴ 和 FBP (P 均 < 0.001)。管电流为 20 mAs 时,采用 IMR 迭代算法较 FBP 的图像噪声降低了 79.3%,CNR 提高至 645%。

2.5 主观评价结果 胸部体模图像质量主观评分见表 4。管电流 20 mAs、采用 IMR 算法与管电流 60 mAs、采用 FBP 算法的纵隔窗和肺窗图像质量主观评分差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)。

管电流 60 mAs、采用 FBP 算法时,2 名观察者观察纵隔窗的一致性较好($Kappa = 1, P < 0.001$),观察肺窗的一致性中等($Kappa = 0.64, P = 0.002$);在管电流 20 mAs、采用 IMR (Level 2) 时,2 名观察者观察

表 3 不同管电流、重建技术下胸部体模前纵隔的 CT 值、SD 值比较($\bar{x} \pm s$)

管电流 (mAs)	CT 值			SD 值		
	FBP	iDose ⁴ (Level 4)	IMR(Level 2)	FBP	iDose ⁴ (Level 4)	IMR(Level 2)
20	35.53±3.90	35.31±3.68	34.44±3.52	25.36±2.21	17.49±1.58	5.25±0.70
30	34.76±4.22	34.84±3.92	34.04±3.29	20.50±2.84	14.61±20.5	5.26±1.92
40	35.68±3.22	35.68±3.18	34.04±3.29	16.28±0.844	11.56±0.61	4.04±0.39
50	35.70±4.19	35.61±4.02	35.33±3.86	14.85±0.70	10.70±0.54	3.94±0.39
60	38.16±3.75	38.08±3.70	37.77±3.87	13.60±1.01	9.84±0.82	3.66±0.41
F 值	1.10	1.15	1.61	76.34	62.25	6.27
P 值	0.37	0.34	0.19	<0.001	<0.001	<0.001

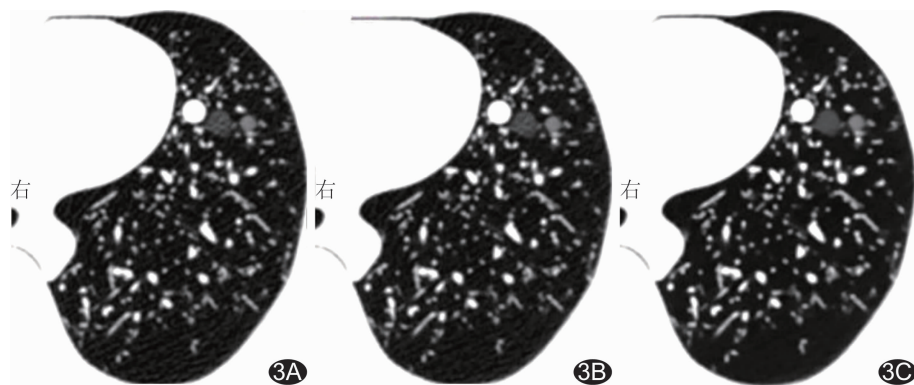


图 3 管电流 20 mAs 时,置入模拟结节的胸部体模轴位图像 (Level 4)重建图像; C. IMR(Level 2)重建图像

表 4 胸部体模图像质量主观评分比较(分, $\bar{x} \pm s$)

参数	纵隔窗	肺窗
20 mAs/IMR(Level 2)	3.80±0.41	3.90±0.31
60 mAs/FBP	3.85±0.37	3.85±0.37
Z 值	0.47	0.41
P 值	0.914	0.942

纵隔窗的一致性中等($Kappa = 0.64, P = 0.002$),观察肺窗的一致性较好($Kappa = 1, P < 0.001$)。

3 讨论

骨质疏松症常发生于老年人,60 岁以上发病率超过 60%^[7]。常用检查骨质疏松的方法是双能 X 线吸收测定法(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)和 QCT。DXA 受体位影响较大,而 QCT 测量 BMD 的敏感度高、准确率好及重复性强,且受骨体积影响较小^[8],但辐射剂量较大。有学者^[9]测得腰椎 CTDIvol 为 25 mGy,胸部 CTDIvol 为 15 mGy。本组采用胸部条件扫描体模,结果显示辐射剂量与管电输出呈正相关,提示管电压不变时,降低管电流能降低辐射剂量,与胡敏霞等^[10]报道一致。本组以不同管电流测得胸部体模 T12 的 BMD 差异均无统计学意义,而管电

流 20 mAs 时的 CTDIvol 较管电流 60 mAs 低,提示 QCT 采用胸部序列,既可满足测量 BMD 的准确性,又可大幅度降低辐射剂量。

迭代重建技术通过降低图像噪声以提高低密度分辨率。iDose⁴ 是第 4 代重建算法,分为 7 级^[11],混合了 FBP 及迭代重建 2 种成分。最新迭代算法不含 FBP 成分,通过在数据空间和图像空间上不断优化数据统计模型、图像统计模型以及系统模型而达到降噪目的。IMR 对低剂

量 CT 降噪效果非常显著,且可明显提高 CNR,从而保证在低剂量条件下获得良好图像质量^[12-13]。本组管电流 20 mAs 时,采用 IMR 算法的图像噪声明显降低,且 SD 值较 FBP 降低了 79.3%、CNR 提高至 645%;图像主观评分均在 3 分以上,图像质量总体优秀,带来较高的诊断信心。本组胸部图像肺窗评分均高于纵隔窗,管电流 20 mAs、采用 IMR 算法与管电流 60 mAs、采用 FBP 算法的纵隔窗和肺窗主观评分差异均无统计学意义,提示图像质量均可满足临床诊断要求。

早期肺癌多为小结节,为评估体积倍增时间,准确测量结节最大径十分必要。低剂量 CT 图像上最大横向轴线最大径 ≥ 4 mm 的结节提示肺癌可能^[14]。有学者^[15]将最大径 ≥ 5 mm 并快速增长的结节被定义为阳性。本组管电流 20 mAs 时,最大径 ≥ 3 mm 的结节(15 个)均被检出;且随着结节最大径增加,偏差度越小。本组 CT 值为 -800 HU 时结节最大径偏差度较大,提示密度越高,结节最大径偏差度越小;采用 IMR 技术的结节最大径偏

差度小于 FBP 和 iDose⁴, IMR 对低剂量 CT 降噪效果非常显著,可明显提高 CNR,从而保证在低剂量条件下获得良好的图像质量。

[参考文献]

- [1] [s.n.]. Osteoporosis: Review of the evidence for prevention, diagnosis and treatment and cost-effective analysis. *Osteoporos Int*, 1998, 8(Suppl 4):S3-S6
- [2] Adams JE. Quantitative computed tomography. *Eur J Radiol*, 2009, 71(3):415-424.
- [3] 胡钰,方进,邓达标,等.低剂量胸部 CT 对肺癌筛查的研究进展. *中国医学影像技术*. 2015, 31(1):146-149.
- [4] de Hoop B, De Boo DW, Gietema HA, et al. Computer-aided detection of lung cancer on chest radiographs: Effect on observer performance. *Radiology*, 2010, 257(2):532-540.
- [5] 陈祥述,程晓光,彭俊红,等.采用欧洲腰椎体模对多中心腰椎定量 CT 的精密度和准确度评估. *中国医学影像学杂志*, 2011, 19(12):912-917.
- [6] Eisenhauer EA, Therasse P, Bogaerts J, et al. New response evaluation criteria in solid tumors: Revised RECIST guideline (version 1.1). *Eur J Cancer*, 2009, 45(2):228-247.
- [7] 梁朝革,张国宁,王嘉,等.长宁区 50 岁以上人群髌部骨折的流行病学调查. *中国骨与关节损伤杂志*, 2013, 28(12):1122-1124.
- [8] Engelke K, Adams JE, Armbrrecht G, et al. Clinical use of quantitative computed and peripheral quantitative computed tomography in the management of osteoporosis in adults: The 2007 ISCD Official Positions. *J Clin Denstom*, 2008, 11(1):123-162.
- [9] 牛延涛,张永县,康天良,等.成年人 CT 扫描中辐射剂量和诊断参考水平的探讨. *中华放射医学与防护杂志*, 2016, 36(11):862-867.
- [10] 胡敏霞,赵心明,宋俊峰,等.64 层螺旋 CT 腹部扫描参数优化的初步研究. *中华放射学杂志*, 2011, 45(3):264-269.
- [11] Funama Y, Taguchi K, Utsunomiya D, et al. Combination of a low-tube-voltage technique with hybrid iterative reconstruction (iDose) algorithm at coronary computed tomographic angiography. *J Comput Assist Tomogr*, 2011, 35(4):480-485.
- [12] Chang W, Lee JM, Lee K, et al. Assessment of a model-based, iterative reconstruction algorithm (MBIR) regarding image quality and dose reduction in liver computed tomography. *Invest Radiol*, 2013, 48(8):598-606.
- [13] 蒋耀军,高剑波,刘杰,等.低管电压迭代重建模型在冠状动脉 CTA 中的应用. *中国医学影像技术*, 2016, 32(11):1753-1756.
- [14] National Lung Screening Trial Research Team, Aberle DR, Berg CD, et al. The National Lung Screening Trial: Overview and study design. *Radiology*, 2011, 258(1):243-253.
- [15] van Klaveren RJ, Oudkerk M, Prokop M, et al. Management of lung nodules detected by volume CT scanning. *N Engl J Med*, 2009, 361(23):2221-2229.