

• 方法技术学 •

Evaluation on impact of iDose⁴ on dose reduction and image quality of low dose contrast-enhance chest CT

LI Qiong, LIU Shi-yuan*, YU Hong, ZHANG Li, ZHANG Chen-shi, JIANG Song
(Department of Radiology, Changzheng Hospital, the Second Military Medical University, Shanghai 200003, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the feasibility of using iterative reconstruction (IR) algorithm (iDose⁴) in low dose contrast-enhanced chest CT. **Methods** Seventy-one patients with normal body mass index (BMI, 18.5—25.0 kg/m²) underwent contrast-enhanced chest CT. The patients were randomly assigned into 3 groups: group A, 120 kVp/100 mAs; group B, 80 kVp/100 mAs; group C, 120 kVp/50 mAs. All images were reconstructed using conventional filtered back projection (FBP) and IR. The mean image noise, SNR, CNR and effective dose (ED) with each protocol were assessed. Image quality were graded (scale: 1—3) and compared among 3 groups. **Results** For the same patient, IR significantly decreased the mean image noise, improved SNR and CNR compared with FBP. The mean image noise, SNR and CNR using IR in group B and C were improved or comparable to those in group A using FBP (all $P > 0.05$). No significant difference was found in subjective image quality between groups B and C using IR, nor with group A using FBP ($P > 0.05$). **Conclusion** It is feasible to obtain images qualified for diagnosis using IR in low dose contrast-enhanced chest CT examination.

[Key words] Radiation dosage; Tomography, X-ray computed; Chest; Iterative reconstruction; Image quality

应用 iDose⁴ 软件对低剂量胸部 CT 增强扫描图像质量的影响

李 琼, 刘士远*, 于 红, 张 丽, 张沉石, 姜 松
(第二军医大学附属长征医院影像科, 上海 200003)

[摘要] **目的** 评价将 iDose⁴ 迭代重建(IR)技术用于胸部低剂量增强扫描的可行性。**方法** 选取 71 例体质量指数(BMI)正常($18.5 \leq \text{BMI} < 25.0 \text{ kg/m}^2$)且接受胸部 CT 增强扫描的患者, 随机分为 A 组(120 kVp, 100 mAs)、B 组(80 kVp, 100 mAs)、C 组(120 kVp, 50 mAs), 分别采用 iDose⁴ IR 技术和 FBP 进行重建, 记录各组的噪声、SNR、CNR 和有效剂量(ED)。按 1~3 分评价各组总体图像质量, 并对 3 组结果进行比较。**结果** 比较同一个患者的 FBP 和 IR 图像, IR 技术明显降低了图像的噪声, 提高了图像的 SNR、CNR。B、C 组 IR 后的图像噪声、SNR 和 CNR 与 A 组 FBP 图像比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。B、C 组 IR 后的图像总体质量与 A 组 FBP 重建图像质量差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 运用 IR 技术进行低剂量胸部 CT 增强扫描可获得满足诊断要求的图像。

[关键词] 辐射剂量; 体层摄影术, X 线计算机; 胸部; 迭代重建; 图像质量

[中图分类号] R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8475(2012)10-0762-04

[基金项目] 国家自然科学基金(81071155、81171333)、上海市科委科研计划重点项目(10411952800)。

[作者简介] 李琼(1986—), 女, 江西吉安人, 在读博士。研究方向: 胸部疾病的影像诊断。E-mail: liqiong2003@yahoo.com.cn

[通讯作者] 刘士远, 第二军医大学附属长征医院影像科, 200003。E-mail: cjr.liushiyuan@vip.163.com

[收稿日期] 2012-06-13 **[修回日期]** 2012-07-31

近年来,CT 电离辐射的致癌风险以及放射防护与安全已经成为关注的焦点,低剂量 CT 扫描方案的优化也由此成为研究热点^[1]。降低 CT 放射剂量的主要方法包括降低管电压、自动调制管电流、缩短扫描长度或改变螺距等^[2-5],而其最主要的后果就是图像噪声增加。传统滤波反投影(filtered back projection, FBP)是目前大多数商用 CT 机型采取的标准 CT 重建技术,利用滤过功能或卷积算法平衡最终重建图像的空间分辨力和图像噪声,限制辐射剂量的降低。iDose⁴ 软件所用的迭代重建(iterative reconstruction, IR)算法与 FBP 不同,系利用矩阵代数、通过数学模型选择性地识别并去除图像噪声^[6]。本研究采用 256 层螺旋 CT 对体质量指数(body mass index, BMI)正常患者进行低剂量胸部 CT 增强扫描,观察应用 iDose⁴ 软件的 IR 与 FBP 重建的图像质量差异,评价 IR 技术用于胸部低剂量增强扫描的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择我院 2011 年 8—11 月接受胸部 CT 增强扫描的 71 例 BMI 正常($18.5 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} < 25.0 \text{ kg/m}^2$)的患者,男 45 例,女 26 例,年龄 15~84 岁,平均(57.1 ± 1.5)岁,包括肺癌术后随访、食管癌、胸片发现可疑病变、临床以咳嗽或胸痛等症状就诊者。排除标准:碘对比剂过敏,肾功能不全(血肌酐 $> 120 \text{ mmol/L}$)及无法配合屏气者。将 71 例患者随机分为 A 组(25 例)和 B 组(24 例)和 C 组(22 例)。本实验经医院伦理委员会批准并在其监督下进行,所有患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Philips Brilliance iCT。患者仰卧,双臂上举,头先进。管电压和管电流:A 组:120 kVp、100 mAs;B 组:80 kVp、100 mAs;C 组:120 kVp、50 mAs,其余扫描条件一致:准直 $128 \times 0.625 \text{ mm}$,机架旋转时间 0.5 s,螺距 0.99 mm,层厚 5 mm,重建层厚 1 mm。对各组分别采用 iDose⁴ IR 技术和 FBP 进行重建,IR 中的 iDose 水平为 50%。扫描范围自胸廓入口至膈肌水平。选用非离子型对比剂碘佛醇(350 mgI/ml),应用双筒高压注射器经肘正中静脉团注对比剂,对比剂总量 80 ml,流率 3.5 ml/s,之后再以相同流率注射 20 ml 生理盐水,分别于注药后 30 s、55 s 行动脉期和静脉期扫描。

1.3 图像分析

1.3.1 SNR 及 CNR 由 1 名具有 5 年以上胸部 CT 阅片经验、对所用图像重建技术不知情的放射科医师定量测量 3 组图像动脉期肺动脉分叉层面的肺动脉、

双侧竖脊肌中央均匀区域的 CT 值均值及其标准差(SD),ROI 面积为 $100 \sim 110 \text{ mm}^2$ 。计算公式:SNR = $\text{SI}_{\text{肺动脉}} / \text{背景噪声}$;CNR = $(\text{SI}_{\text{肺动脉}} - \text{SI}_{\text{竖脊肌}}) / \text{背景噪声}$ 。其中 $\text{SI}_{\text{肺动脉}}$ 为肺动脉 CT 值均值; $\text{SI}_{\text{竖脊肌}}$ 为双侧竖脊肌 CT 值均值。背景噪声为肺动脉的 SD 平均值。

1.3.2 图像质量 由 2 名具有 10 年以上胸部阅片经验的放射科医师采用盲法分别对 3 组图像进行评价,意见不一致时再次共同阅片,达成一致意见。肺窗:窗宽 1400 HU,窗位 -450 HU;纵隔窗:窗宽 400 HU,窗位 60 HU。通过观察肺血管、主动脉、胸壁骨及肌肉边缘的锐利程度及纵隔内各结构如气管、食管等与周围组织的对比程度来评价纵隔窗图像;通过观察肺血管支气管、气管、肋膈角的锐利程度来评价肺窗图像。综合评价肺窗及纵隔窗,评分标准分为 3 个等级:1 分,图像质量较差,胸壁及纵隔内结构噪声较大,气管及纵隔内血管的边缘模糊,不能满足诊断;2 分,图像质量中等,噪声中等,不影响诊断;3 分,图像质量好,噪声较小,可满足诊断要求^[7]。

1.3.3 计算辐射剂量 记录患者动脉期的 CT 剂量容积指数(CT dose index of volume, CT DIvol)、扫描长度(L),并计算剂量长度乘积(dose length product, DLP)及有效剂量(effective dose, ED)。计算公式: $\text{DLP}(\text{mGy} \cdot \text{cm}) = \text{CT DIvol}(\text{mGy}) \times L(\text{cm})$; $\text{ED}(\text{mSv}) = \text{DLP}(\text{mGy} \cdot \text{cm}) \times k$ 。参考最新欧盟委员会 CT 质量标准指南^[8],胸部扫描时,转换系数 $k = 0.014 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$ 。

1.4 统计学分析 应用 SPSS 16.0 统计软件。分别采用单因素方差分析和 Bonferroni 法进行组间比较(如资料不符合正态分布,采用 Kruskal-Wallis 检验),采用配对 *t* 检验分析各组图像的噪声、SNR 和 CNR 及 ED。以 Mann-Whitney 检验比较 3 组图像质量的差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

71 例患者均顺利完成检查。ED:A 组为 $(3.44 \pm 0.3) \text{ mSv}$;B 组为 $(1.01 \pm 0.08) \text{ mSv}$;C 组为 $(1.77 \pm 0.16) \text{ mSv}$,组间两两比较差异均有统计学意义(P 均 < 0.001)。

2.1 噪声、SNR 及 CNR 分析 各组在 FBP 和 IR 两种重建技术下所测得的图像噪声、SNR 及 CNR 差异均有统计学意义(P 均 < 0.001 ,表 1)。比较同一患者的 FBP 和 IR 图像,IR 技术可明显降低图像噪声,提高图像的 SNR、CNR(图 1、2)。将 A 组 FBP

分别与 B、C 组 IR 进行比较,各组间 SNR、CNR 差异均无统计学意义(P 均 >0.05),A 组 FBP 与 C 组 IR 的噪声比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。

表 1 采用两种不同重建技术时 3 组图像噪声、SNR 及 CNR 比较($\bar{x} \pm s$)

组别	噪声	SNR	CNR
A 组			
FBP	27.75±8.69	14.48±4.37	12.57±3.91
IR	20.28±7.58	20.40±7.26	17.72±6.55
t 值	-11.18	7.53	7.31
P 值	<0.001	<0.001	<0.001
B 组			
FBP	75.55±28.88	9.03±3.36	8.13±3.15
IR	47.8±13.17	13.51±4.07	12.16±3.89
t 值	-8.35	19.44	17.87
P 值	<0.001	<0.001	<0.001
C 组			
FBP	36.81±10.3	12.33±4.10	10.72±3.85
IR	24.52±7.53	19.11±8.14	16.65±7.38
t 值	-10.98	6.08	6.05
P 值	<0.001	<0.001	<0.001

2.2 图像质量分析 B、C 组 IR 重建图像与 A 组

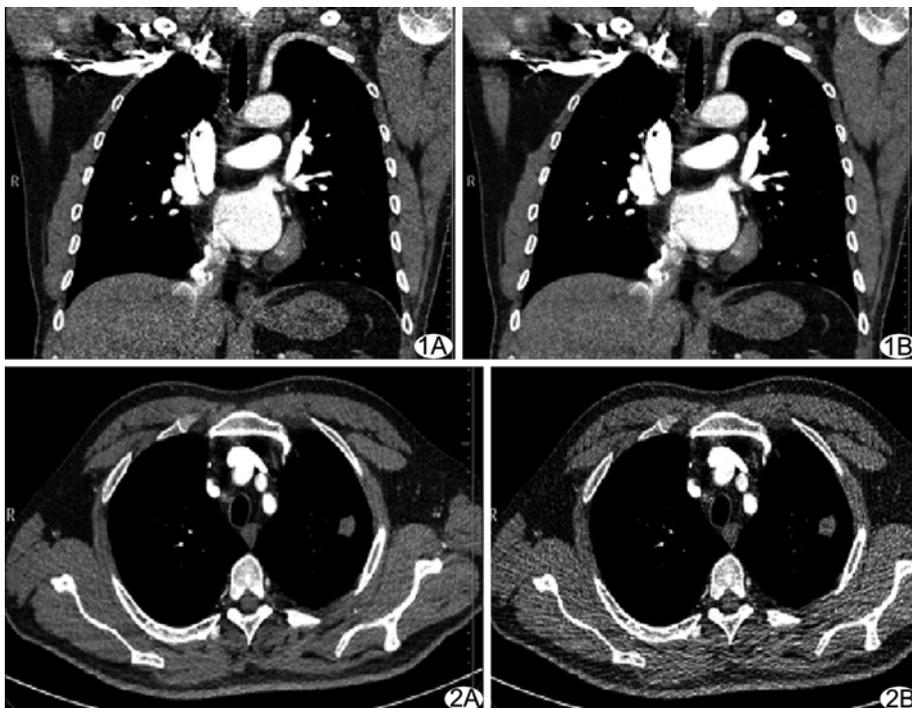


图 1 患者男,48 岁,BMI 23.0 kg/m²。扫描条件:管电压 120 kVp,管电流 100 mAs A. 常规 FBP 重建图像; B. IR 重建图像 图 2 患者男,65 岁,BMI 23.3 kg/m²。扫描条件:管电压 80 kVp,管电流 100 mAs A. 常规 FBP 重建图像; B. IR 重建图像

FBP 重建图像质量评分差异无统计学意义($P>0.05$,表 2)。

表 2 3 组图像主观评分比较(例)

组别	图像质量评分		
	1 分	2 分	3 分
A 组 FBP	0	0	25
B 组 IR	0	2	22
C 组 IR	0	0	22

3 讨论

对于肺部疾病,CT 是最有价值的检查方法之一。然而,单次 CT 扫描的辐射剂量虽处于国际规定的安全范围内,但 X 线对人体的伤害却是不争的事实,使 CT 成为医源性放射损伤的主要源头^[9]。Naidich 于 1990 年首次提出低剂量 CT 的概念。为最大限度地降低受辐射剂量,各种新的技术与装置被不断开发出来,如固体探测器、新型过滤板、剂量保护装置、心电门控技术以及各类降低噪声、抑制伪影的软件等。随着低剂量 CT 研究的深入,研究重点从前期单纯降低扫描条件进展到了近年的改变图像重建技术。Philips

iDose⁴ 软件的核心是对原始数据进行 IR 处理,新一代 IR 算法具有双空间、多噪声模型和解剖模型等特点,在对噪声予以精确刻画和处理的同时,采取解剖模型加速重建过程,可提高图像分辨力,并保持图像真实呈现,消除蜡像状伪影,以求在更低剂量下获得可满足诊断要求的图像。

X 线辐射剂量主要由球管电压和管电流所决定。管电流易于修改,且降低辐射剂量的作用较为显著,所以成为最常用的降低辐射剂量的方法。目前主要有以下两种方法来降低管电流:①固定毫安秒,即降低的毫安秒在整个扫描过程中固定不变;②自动毫安秒。本研究采用固定毫安秒的方法来降低管电流,分别设定 A 组(100 mAs)和 C 组(50 mAs),将管电压固定在 120 kVp;而对 B 组(80 kVp)则

通过降低管电压来降低辐射剂量。X 线的质量由管电压决定,管电压降低,X 线光子能量降低,更接近含有高原子序数元素的组织与结构(如骨、钙化、含碘剂的组织或血管),此时光电效应增强,CT 值升高,故更适用于 CT 血管成像^[10-11]。

本研究采用低剂量 CT 胸部增强扫描结合 iDose⁴ 软件,与传统 FBP 图像进行对比,来评价 IR 技术对低剂量图像的影响。本研究结果表明,同一患者的 IR 图像的噪声较传统 FBP 图像明显降低,SNR 及 CNR 提高,与文献^[12-14]报道一致。Leipsic 等^[7]认为,在低剂量胸部 CT 中,相比传统 FBP 算法,利用自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)技术可使图像质量更好,且噪声更低。Hara 等^[6]报道,ASIR 的辐射剂量比 FBP 降低 32%~65%时,图像质量仍不下降。Prakash 等^[15-16]发现,与 FBP 相比,胸部 ASIR 的辐射剂量降低 27.6%,且图像噪声下降 [(16.6 ± 6.2) HU vs (12.6 ± 2.9)HU];而腹部 ASIR 的辐射剂量降低 25.1%,同时图像噪声明显下降 [(9.5 ± 2.0) HU vs (6.9 ± 2.2)HU]。Marin 等^[17]应用低管电压行腹部 CT 扫描,发现应用 ASIR 可以在降低辐射剂量的同时保证图像质量。本研究也表明,不论通过降低管电流或降低管电压来降低辐射剂量,应用 IR 技术均可提高胸部 CT 的图像质量。本研究仅对 iDose 水平为 50%进行了分析,未对其他水平间进行比较,管电流固定仅降至 50 mAs,未将更低毫安秒纳入研究。

综上所述,运用 IR 技术可在低剂量胸部 CT 增强扫描中获得满足诊断要求的图像。

[参考文献]

- [1] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography — an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*, 2007, 357(22): 2277-2284.
- [2] Valentin J. International commission on radiation protection. Managing patient dose in multidetector computed tomography (MDCT): ICRP Publication 102. *Ann ICRP*, 2007, 37(1): 1-79.
- [3] McNitt-Gray MF. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: Topics in CT-radiation dose in CT. *Radiographics*, 2002, 22(6): 1541-1553.
- [4] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Techniques and applications of automatic tube current modulation for CT. *Radiology*, 2004, 233(3): 649-657.
- [5] Campbell J, Kalra MK, Rizzo S, et al. Scanning beyond anatomic limits of the thorax in chest CT: Findings, radiation dose, and automatic tube current modulation. *AJR Am J Roentgenol*, 2005, 185(6): 1525-1530.
- [6] Hara AK, Paden RG, Silva AC, et al. Iterative Reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: Feasibility study. *AJR Am J Roentgenol*, 2009, 193(3): 764-771.
- [7] Leipsic J, Nguyen G, Brown J, et al. A prospective evaluation of dose reduction and image quality in chest CT using adaptive statistical iterative Reconstruction. *AJR Am J Roentgenol*, 2010, 195(5): 1095-1099.
- [8] European Study Group of Radiologists, physicists. European guidelines on quality criteria for computed tomography. [2009-09-12]. <http://www.drs.dk/guidelines/ct/quality/download/eur16262.w51>.
- [9] Berrington, De González A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: Estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet*, 2004, 363(9406): 345-351.
- [10] Bahner ML, Bengel A, Brix G, et al. Improved vascular opacification in cerebral computed tomography angiography with 80 kVp. *Invest Radiol*, 2005, 40(4): 229-234.
- [11] Szucs-Farkas Z, Kurmann L, Strautz T, et al. Patient exposure and image quality of low-dose pulmonary computed tomography angiography: Comparison of 100- and 80-kVp protocols. *Invest Radiol*, 2008, 43(12): 871-876.
- [12] Hu XH, Ding XF, Wu RZ, et al. Radiation dose of non-enhanced chest CT can be reduced 40% by using iterative Reconstruction in image space. *Clin Radiol*, 2011, 66(11): 1023-1029.
- [13] Hosch W, Stiller W, Mueller D, et al. Reduction of radiation exposure and improvement of image quality with BMI-adapted prospective cardiac computed tomography and iterative Reconstruction, 2011.
- [14] Pontana F, Pagniez J, Flohr T, et al. Chest computed tomography using iterative Reconstruction vs filtered back projection (Part 1): Evaluation of image noise reduction in 32 patients. *Eur Radiol*, 2011, 21(3): 627-635.
- [15] Prakash P, Kalra MK, Digumarthy SR, et al. Radiation dose reduction with chest computed tomography using adaptive statistical iterative Reconstruction technique: Initial experience. *J Comput Assist Tomogr*, 2010, 34(1): 40-45.
- [16] Prakash P, Kalra MK, Kambadakone AK, et al. Reducing abdominal CT radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction technique. *Invest Radiol*, 2010, 45(4): 202-210.
- [17] Marin D, Nelson RC, Schindera ST, et al. Low-tube-voltage, high-tube-current multidetector abdominal CT: Improved image quality and decreased radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction algorithm—initial clinical experience. *Radiology*, 2010, 254(1): 145-153.