

• 方法技术学 •

Application of spectral filtration and advanced modeled iterative reconstruction for adult chest low-dose CT scan

TANG Lei, LIU Li, ZENG Xianchun*, WANG Yuquan, WANG Rongpin

(Department of Radiology, Guizhou Provincial People's Hospital, Guiyang 550002, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the application value of spectral filtration and advanced modeled iterative reconstruction (ADMIRE) of adult chest low-dose CT using third-generation CT scanner. **Methods** One hundred adults of physical examination were randomly divided into group A and B (each $n=50$). Low-dose CT chest scanning was performed on all subjects using Siemens Force dual-source CT scanner. In group A, CT scans were done with normal 100 kV combining with ADMIRE (strength level 3) for getting A-ADMIRE images. In group B, CT scans were done with spectral filtration (Sn 100 kV) combining with ADMIRE (strength level 1—5) for getting B-ADMIRE1, B-ADMIRE2, B-ADMIRE3, B-ADMIRE4 and B-ADMIRE5 images. ROI in lung window and mediastinal window images included lung tissue, thoracic aorta, spine muscle, subcutaneous fat of the back and background air. The differences of radiation dose indexes between the two groups, and the objective and subjective image quality scores between the six ADMIRE images were compared. **Results** CT dose index volume (CTDI_{vol}), dose length product (DLP) and effective dose (ED) in group B were significantly lower than those in group A (all $P<0.01$). The differences of noise in lung window and mediastinal window between the six ADMIRE images were statistically significant (all $P<0.01$), and the noise in B-ADMIRE1 image was the highest. Statistically significant differences of signal-to-noise ratio (SNR) of lung tissue, thoracic aorta and spine muscles, as well as contrast-to-noise ratio (CNR) of lung tissue-back subcutaneous fat, thoracic aorta-spine muscle and thoracic aorta-back subcutaneous fat were found among six ADMIRE images (all $P<0.01$), and A-ADMIRE image had the highest SNR and CNR. The image noise showed a progressively decreasing trend for B-ADMIRE1—5 images (all $P<0.01$), while SNR and CNR showed a progressively increasing trend for B-ADMIRE1—5 images (all $P<0.01$). The differences of image quality scores of lung window and mediastinal window among the six ADMIRE images were statistically significant (all $P<0.01$), and the image quality score of A-ADMIRE image was the highest. In group B, the image quality scores of lung window and mediastinal window of B-ADMIRE3 image were the highest, that was (3.89 ± 0.26) scores and (3.00 ± 0.15) scores, respectively, which could meet the diagnostic requirement. **Conclusion** For chest low-dose CT scan in adult, spectral filtration scanning with ADMIRE technology can effectively reduce radiation dose and meet the diagnostic requirement. The image quality of ADMIRE 3 image is the best.

[Key words] Thorax; Spectral filtration; Advanced modeled iterative reconstruction; Radiation dosage; Image quality; Adult

DOI: 10.13929/j.1672-8475.201802025

[基金项目] 贵州省科技计划项目(黔科合 LH 字[2016]7144)、贵州省高层次创新型人才计划(GZSYQCC[2015]001号)。

[第一作者] 唐雷(1982—),女,贵州瓮安人,硕士,主治医师。研究方向:胸部影像诊断与CT新技术的应用研究。E-mail: tanglei7213@126.com

[通信作者] 曾宪春,贵州省人民医院放射科,550002。E-mail: zengxianchun04@foxmail.com

[收稿日期] 2018-02-26 [修回日期] 2018-07-11

能谱纯化结合高级模拟迭代重建在成人胸部低剂量 CT 中的应用

唐 雷, 刘 莉, 曾宪春*, 王玉权, 王荣品

(贵州省人民医院放射科, 贵州 贵阳 550002)

[摘要] 目的 探讨第 3 代双源 CT 能谱纯化结合高级模拟迭代重建(ADMIRE)技术在成人胸部低剂量 CT 检查中的应用价值。方法 将 100 名成年体检者随机均分为 A 组和 B 组, 采用 Siemens Force 双源 CT 扫描仪行胸部 CT 检查。对 A 组采用常规 100 kV 扫描结合 ADMIRE(强度 3 级)重建(获得 A-ADMIRE 图像), B 组采用能谱纯化(Sn 100 kV)扫描结合 ADMIRE(强度 1~5 级)重建(分别获得 B-ADMIRE1、B-ADMIRE2、B-ADMIRE3、B-ADMIRE4、B-ADMIRE5 图像)。肺窗及纵隔窗图像 ROI 包括肺组织、胸主动脉、竖脊肌、背部皮下脂肪及背景空气。比较 2 组间辐射剂量指标的差异及 2 组不同 ADMIRE 图像间客观评价指标、主观图像质量评分的差异。结果 B 组 CT 剂量指数(CTDI_{vol})、剂量长度乘积(DLP)及有效剂量(ED)均较 A 组明显下降(P 均 <0.01)。2 组不同 ADMIRE 图像间肺窗及纵隔窗各 ROI 图像噪声差异均有统计学意义(P 均 <0.01), 其中 B-ADMIRE1 图像噪声最高; 肺组织、胸主动脉、竖脊肌信噪比(SNR)及肺组织-背部皮下脂肪、胸主动脉-竖脊肌、胸主动脉-背部皮下脂肪对比噪声比(CNR)差异均有统计学意义(P 均 <0.01), 其中 A-ADMIRE 图像 SNR、CNR 最高。B 组中 ADMIRE1~5 图像噪声呈逐级递减趋势, SNR 及 CNR 均呈逐级递增趋势(P 均 <0.01)。2 组不同 ADMIRE 图像间肺窗及纵隔窗图像质量评分差异均有统计学意义(P 均 <0.01), 其中 A-ADMIRE 图像质量评分最高。B 组中 B-ADMIRE3 图像肺窗及纵隔窗图像质量评分最高, 分别为(3.89±0.26)分和(3.00±0.15)分, 均可满足诊断要求。结论 成人胸部低剂量 CT 检查中, 采用能谱纯化结合 ADMIRE 技术可在满足诊断要求的同时有效减低辐射剂量, 且 ADMIRE 3 级强度重建图像质量最佳。

[关键词] 胸部; 能谱纯化; 高级模拟迭代重建; 辐射剂量; 图像质量; 成年人

[中图分类号] R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8475(2018)08-0496-05

胸部低剂量 CT(low-dose CT, LDCT)除可用于筛查肺癌高危人群外, 还可用于其他肺部疾病(如感染性病变、肺气肿、转移瘤等)的筛查及随访、胸部外伤的诊断及复查以及特殊人群(如婴幼儿、孕妇、老年人)的肺部检查等^[1-3]。针对不同人群、不同疾病, 如何合理选择适宜的胸部 LDCT 扫描方案是目前研究的热点。第 3 代双源 CT 配备能谱纯化技术及高级模拟迭代重建(advanced modeled iterative reconstruction, ADMIRE)技术进一步拓展了 LDCT 的临床应用^[3-5]。本研究探讨能谱纯化结合 ADMIRE 技术在成人胸部 LDCT 的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2017 年 1 月 1 日—9 月 30 日于我院接受胸部 CT 扫描的成年体检者共 100 名, 随机均分为 A 组和 B 组。A 组男 27 名, 女 23 名, 年龄 39~83 岁, 平均(52.2±19.2)岁; B 组男 31 名, 女 19 名, 年龄 29~82 岁, 平均(54.3±13.3)岁。所有受检者 CT 检查前均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens Force 双源 CT 扫描

仪。对 A 组行常规方案扫描, 即 100 kV 扫描结合 ADMIRE(强度 3 级)重建^[6-7], 获得 A-ADMIRE 图像; B 组行能谱纯化(Sn 100 kV)方案扫描, 分别采用 ADMIRE 1~5 级强度进行重建, 获得 B-ADMIRE1、B-ADMIRE2、B-ADMIRE3、B-ADMIRE4、B-ADMIRE5 图像。A 组管电流 62 mAs, B 组管电流 96 mAs; 2 组其余扫描参数相同: 探测器宽度 192 mm×0.6 mm, 螺距 1.2, 球管旋转时间 0.5 s, 层厚 5.0 mm, 层间距 5.0 mm, 肺窗卷积核 BI57, 纵隔窗卷积核 Br40。

1.3 辐射剂量评估 扫描完成后仪器自动生成辐射剂量表。记录 CT 剂量指数(CT dose index volume, CTDI_{vol})、剂量长度乘积(dose length product, DLP); 计算有效剂量(effective dose, ED), $ED = k \times DLP$, 其中胸部转换系数 $k = 0.014 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$ ^[8]。

1.4 图像分析及评价 所有图像数据均传至医学影像存档与传输系统(picture archiving and communication systems, PACS)进行测量分析。在气管杈水平肺窗图像中, 选择一侧肺组织(尽量避开较大

血管、支气管及肺内病灶)、背部皮下脂肪、背景空气为 ROI, 并于纵隔窗图像选择胸主动脉、竖脊肌、背部皮下脂肪及背景空气为 ROI, 大小均为 $30\sim32 \text{ mm}^2$ 。分别记录平均 CT 值及噪声, 并计算图像信噪比(signal-to-noise ratio, SNR 及对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)。

由 2 名高年资影像诊断医师对肺窗及纵隔窗重建图像质量进行主观评价。基于肺窗图像重点观察肺纹理、亚段支气管及远端细支气管、叶间裂、肺部病变显示的清晰程度及边缘锐利度，基于纵隔窗图像主要观察纵隔内解剖结构、纵隔淋巴结显示的清晰程度。采用 5 分法进行评分：1 分，肺内、纵隔内解剖结构及病变显示不清，边缘模糊，伪影严重，无法用于诊断；2 分，肺内、纵隔内解剖结构及病变边缘模糊，存在伪影，不符合诊断要求；3 分，肺内、纵隔内解剖结构及病变边缘较锐利，存在轻度伪影，基本满足诊断要求；4 分，肺内、纵隔内解剖结构及病变边缘显示清晰，无明显伪影，图像质量良好；5 分：肺内、纵隔内解剖结构及病变显示清晰、边缘锐利，无明显伪影，图像质量优。取 2 名医师评分的平均值作为最终评分， ≥ 3 分时认为图像可用于临床诊断。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 19.0 统计分析软件。A 组与 B 组间辐射剂量指标比较采用两独立样本 t 检验,2 组不同 ADMIRE 图像间客观评价指标(噪声、SNR、CNR)、主观图像质量评分比较采用单因素方差分析(ANOVA),两两比较采用 SNK-q 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 辐射剂量 A 组与 B 组间 $CTDI_{vol}$ 、DLP 及 ED 差异均有统计学意义(P 均 <0.01 ,表 1)。

2.2 噪声 2组不同 ADMIRE 图像间肺窗及纵隔窗各 ROI 图像噪声差异均有统计学意义(P 均 <0.01 ,

表 1 2 组间辐射剂量指标比较($\bar{x} \pm s$)

组别	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy · cm)	ED(mSv)
A 组	3.03±0.59	108.16±23.10	1.51±0.32
B 组	0.62±0.20	22.18±8.04	0.31±0.11
<i>t</i> 值	18.111	16.489	16.489
P 值	<0.01	<0.01	<0.01

表 2)。B-ADMIRE1 图像各 ROI 噪声均高于其他 ADMIRE 图像 (P 均 <0.05)；B 组中 ADMIRE1~5 图像噪声呈逐级递减趋势 (P 均 <0.05)。

2.3 SNR 及 CNR 2 组不同 ADMIRE 图像间肺组织、胸主动脉、竖脊肌 SNR 及肺组织-背部皮下脂肪、胸主动脉-竖脊肌、胸主动脉-背部皮下脂肪 CNR 差异均有统计学意义 (P 均 <0.01 , 表 3)。A-ADMIRE 图像 SNR、CNR 均高于其他 ADMIRE 图像 (P 均 <0.05)；B 组中 ADMIRE1~5 图像 SNR 及 CNR 均呈逐级递增趋势 (P 均 <0.05)。

2.4 主观图像质量评分 2组不同 ADMIRE 图像间肺窗及纵隔窗图像质量评分差异均有统计学意义(P 均 <0.01 ,表4)。A-ADMIRE 图像质量评分均高于其他 ADMIRE 图像(P 均 <0.05);B 组中 ADMIRE1~5 图像质量评分差异均有统计学意义(P 均 <0.05),评分由高到低依次为:B-ADMIRE3>B-ADMIRE5>B-ADMIRE4>B-ADMIRE2>B-ADMIRE1,B-ADMIRE3 图像肺窗及纵隔窗图像质量评分均 ≥ 3 分(图 1)。

3 讨论

胸部 CT 检查广泛应用于胸部健康体检、外伤及肺部疾病的筛查及随访。长期、多次、重复 CT 检查对受检者存在潜在的危害，可能导致白血病及一些实体肿瘤(如甲状腺癌、乳腺癌和肺癌等)。通过改良设备硬件性能、降低 kV、降低 mAs、增大螺距、采用不同的迭代重建算法等，可不同程度减低 CT 辐射剂量^[9-11]。

表 2 2 组间不同 ADMIRE 图像噪声比较 ($\bar{x} \pm s$)

表 3 2 组间不同 ADMIRE 图像 SNR 及 CNR 比较($\bar{x} \pm s$)

组别	SNR			CNR		
	肺组织	胸主动脉	竖脊肌	肺组织-背部皮下脂肪	胸主动脉-竖脊肌	胸主动脉-背部皮下脂肪
A 组(A-ADMIRE)	52.25±12.15	11.07±3.27	14.65±4.77	46.02±10.97	3.58±2.48	16.07±5.21
B 组						
B-ADMIRE1	17.72±2.94	3.46±0.76	3.98±0.57	15.77±2.74	0.53±0.59	4.31±1.23
B-ADMIRE2	20.79±3.48	3.77±0.85	4.35±0.71	18.54±3.27	0.59±0.64	4.69±1.42
B-ADMIRE3	27.12±5.13	4.22±0.97	4.89±0.85	24.20±4.77	0.67±0.71	5.25±1.62
B-ADMIRE4	32.37±5.83	4.98±1.17	5.78±1.02	28.91±5.43	0.80±0.82	6.15±1.87
B-ADMIRE5	45.66±8.89	6.29±1.81	7.32±1.83	40.82±8.28	1.03±1.08	7.75±2.76
F 值	86.297	72.484	78.982	79.815	23.724	71.017
P 值	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表 4 2 组间不同 ADMIRE 图像主观图像质量评分比较(分, $\bar{x} \pm s$)

组别	肺窗	纵隔窗
A 组(A-ADMIRE)	4.52±0.44	4.29±0.25
B 组		
B-ADMIRE1	3.16±0.24	2.45±0.34
B-ADMIRE2	3.23±0.25	2.59±0.37
B-ADMIRE3	3.89±0.26	3.00±0.15
B-ADMIRE4	3.36±0.28	2.77±0.30
B-ADMIRE5	3.75±0.26	2.98±0.11
F 值	85.644	236.348
P 值	<0.01	<0.01

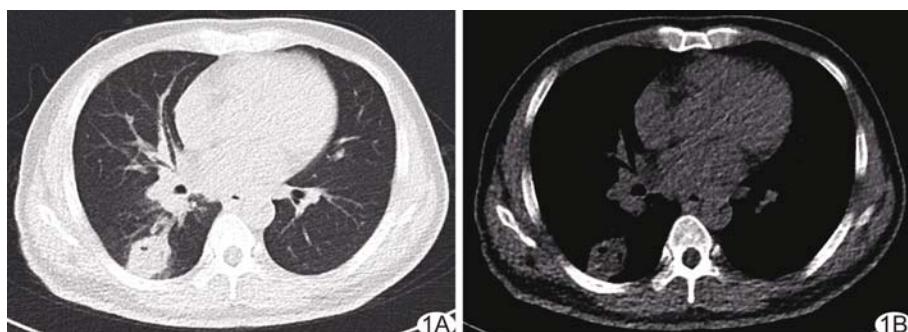


图 1 男性,34岁,能谱纯化结合 ADMIRE 技术胸部 LDCT 图像 A. ADMIRE 3 级强度重建肺窗图像,右肺下叶肿块显示良好,边缘光滑、锐利,可见空泡征,主观图像质量评分为 4 分; B. ADMIRE 3 级强度重建纵隔窗图像,右肺下叶肿块显示清晰,纵隔结构稍模糊,但仍可清楚显示增大的右下肺门影,主观图像质量评分为 3 分

Siemens Force 双源 CT(第 3 代双源 CT)针对 LDCT 配有一系列新技术,其中能谱纯化技术的原理是利用放置在 X 线球管前方的特殊锡滤过板选择性滤过低能级光子,提高 X 线利用率,从而减少人体的吸收剂量^[12]。能谱纯化技术扫描有 2 种管电压模式可供选择,即 Sn 100 kV 和 Sn 150 kV;其中 Sn 150 kV 较 Sn 100 kV 具有更高的 X 线穿透能力,可用于扫查颅底、颞骨等部位,Sn 100 kV 穿透能力较弱,

适用于肺部扫查^[12-13]。有学者^[13]采用 Sn 100 kV 对 60 例患者行胸部 CT 检查,与第 2 代双源 CT(100 kV 扫描)对比,发现辐射剂量降低约 90%。本研究采用 Sn 100 kV 能谱纯化方案进行成人胸部 LDCT 检查,结果显示 CTDI_{vol}、DLP 及 ED 均明显低于 100 kV 常规扫描方案(P 均<0.05),表明能谱纯化技术可显著减低人体吸收的辐射剂量;但大幅度降低辐射剂量必然导致图像噪声增大、空间分辨率降低,影响图像质量。本研究中,B-ADMIRE1 图像肺组织、胸主动脉、竖脊肌、皮下脂肪、背景空气的噪声均明显高于 A-ADMIRE 图像,同时其 SNR、CNR 及主观图像质量评分均明显减低(P 均<0.05)。

LDCT 检出肺部病灶有赖于病灶与周围正常肺组织的对比度,而病灶清晰程度、病灶边缘的锐利度则与图像噪声有关。

ADMIRE 技术具有良好的降噪功能,采用“统计模型”和迭代解码芯片,对虚拟数据域、图像域、模型域的统计数据进行高效整合,通过多次迭代法去除伪影、减少噪声,可实现实时高清迭代成像^[14-15]。本研究结果显示,能谱纯化结合 ADMIRE 技术进行重建后,随重建强度逐级增大,图像噪声逐渐减低,图像 SNR、CNR 逐渐增高,提示 ADMIRE 技术具有在低剂量条件下显著降噪、改善图像质量的潜能。

本研究2组所有ADMIRE图像中肺窗图像质量评分均>3分,满足诊断要求;纵隔窗图像中,虽然由于纵隔结构、心脏大血管、胸背部软组织之间对比度较低,且在低辐射剂量条件下更为显著,但能谱纯化结合ADMIRE技术进行重建后仍然可显示1例肺内肿块及增大的肺门影,且B-ADMIRE3图像质量评分达(3.00±0.15)分,可满足临床诊断需要。

本研究B组ADMIRE重建强度分为1~5级,而国外研究^[6-7]多推荐选择3级重建。本研究结果显示,随重建强度逐级增大,B组ADMIRE图像噪声逐级递减,SNR、CNR逐级递增,提示ADMIRE重建强度越高,对噪声的抑制能力越强。主观图像质量评分方面,本研究发现B组中不同ADMIRE图像肺窗及纵隔窗图像质量评分由高至低依次为:B-ADMIRE3>B-ADMIRE5>B-ADMIRE4>B-ADMIRE2>B-ADMIRE1,其中B-ADMIRE3图像质量最佳,与国外研究^[6-7]结果一致。

本研究的不足之处:①未分析受检者体质量指数对辐射剂量及图像质量造成的影响;②观察对象为健康体检者,未能就LDCT对肺部具体病变的诊断效能进行评价。

综上所述,对以肺部疾病筛查为主要目的的成人胸部LDCT检查,采用第3代双源CT能谱纯化结合ADMIRE技术可在满足诊断要求的前提下有效降低辐射剂量,且ADMIRE重建强度为3级时图像质量最佳。

〔参考文献〕

- [1] 中华医学会放射学分会心胸学组. 低剂量螺旋CT肺癌筛查专家共识. 中华放射学杂志, 2015(5):328-335.
- [2] 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.
- [3] Martini K, Barth BK, Nguyen-Kim TD, et al. Evaluation of pulmonary nodules and infection on chest CT with radiation dose equivalent to chest radiography: Prospective intra-individual comparison study to standard dose CT. Eur J Radiol, 2016, 85(2):360.
- [4] Gordic S, Morsbach F, Schmidt B, et al. Ultralow-dose chest computed tomography for pulmonary nodule detection: first performance evaluation of single energy scanning with spectral shaping. Invest Radiol, 2014, 49(7):465.
- [5] 曾宪春, 陈静, 王玉权, 等. 超大螺距Turbo Flash扫描模式在学龄前儿童胸部检查中不用镇静剂的可行性. 中国医学影像技术, 2017, 33(8):1221-1225.
- [6] Mangold S, Cannaó PM, Schoepf UJ, et al. Impact of an advanced image-based monoenergetic reconstruction algorithm on coronary stent visualization using third generation dual-source dual-energy CT: A phantom study. Eur Radiol, 2015, 26(6):1-8.
- [7] Saltybaeva N, Martini K, Frauenfelder T, et al. Organ dose and attributable cancer risk in lung cancer screening with low-dose computed tomography. PLoS One, 2016, 11(5):e0155722.
- [8] Gordic S, Husarik DB, Desbiolles L, et al. High-pitch coronary CT angiography with third generation dual-source CT: Limits of heart rate. Int J Cardiovasc Imaging, 2014, 30(6):1173-1179.
- [9] 徐岩, 贺文, 钟朝辉, 等. 迭代算法与辐射剂量对低剂量胸部CT图像质量的影响. 中国介入影像与治疗学, 2014, 11(6):397-401.
- [10] Booij R, Dijkshoorn ML, Van SM. Efficacy of a dynamic collimator for overranging dose reduction in a second- and third-generation dual source CT scanner. Eur Radiol, 2017, 27(9):3618.
- [11] Yamamura S, Oda S, Imuta M, et al. Reducing the radiation dose for CT colonography: Effect of low tube voltage and iterative reconstruction. Acad Radiol, 2016, 23(2):155-162.
- [12] Braun FM, Johnson TRC, Sommer WH, et al. Chest CT using spectral filtration: Radiation dose, image quality, and spectrum of clinical utility. Eur Radiol, 2015, 25(6):1598-1606.
- [13] Haubenreisser H, Meyer M, Sudarski S, et al. Unenhanced third-generation dual-source chest CT using a tin filter for spectral shaping at 100kVp. Eur J Radiol, 2015, 84(8):1608-1613.
- [14] Rompel O, Glöckler M, Janka R, et al. Third-generation dual-source 70-kVp chest CT angiography with advanced iterative reconstruction in young children: Image quality and radiation dose reduction. Pediatric Radiology, 2016, 46(4):462-472.
- [15] Newell JD Jr, Fuld MK, Allmendinger T, et al. Very low-dose (0.15 mGy) chest CT protocols using the COPDGene 2 test object and a third-generation dual-source CT scanner with corresponding third-generation iterative reconstruction software. Invest Radiol, 2015, 50(1):40-45.