

论著·临床研究

自适应迭代重建应用于胸部 CT 低剂量扫描的体模研究

潘思静, 吕东博, 高国超, 王会霞, 岳松伟

(郑州大学第一附属医院放射科, 河南 郑州 450052)

[摘要] **目的** 探讨 Revolution CT 低管电压联合自适应迭代重建(ASIR)对胸部体模低剂量扫描图像质量的影响。**方法** 分别采用 70 kV(低剂量, 试验组)、80 kV(常规剂量, 对照组)管电压, 50 mAs 自动管电流调节(ATCM)对体模进行多次扫描。胸部图像包括纵隔窗、肺窗 2 种。每组均进行 0%、30%、50%、80%、100% ASIR 权重重建。测量不同管电压及 ASIR 值下心影、前胸壁的 CT 值及客观噪声, 计算信噪比(SNR), 并记录不同扫描条件中 CT 剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP), 计算有效辐射剂量(ED)。客观因素分析辐射剂量, 由两位影像科高年资医生对图像进行主观评价。应用 SPSS22.0 统计软件进行分析, 采用 Kappa 检验, 两位放射科医生主观评价的一致性。**结果** 随着 ASIR 权重增加, 心影, 前胸壁噪声(SD)减少, SNR 增加。试验组 SNR、CTDIvol、DLP、ED、主观评价得分均低于对照组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$), 两组影像主观评分均大于 3 分。**结论** Revolution CT 管电压 70 kV, 管电流 50 mAs, 结合 ASIR 技术可降低辐射剂量和噪声, 同时使图像质量能满足诊断的要求。

[关键词] 自适应迭代重建; 体层摄影, X 线计算机; 体模; 胸部; 低剂量; 扫描

DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2023.11.013

中图法分类号: R445.3

文章编号: 1009-5519(2023)11-1857-04

文献标识码: A

**Study on body mode of adaptive statistical iterative reconstruction
in the low dose chest CT scanning**

PAN Sijing, LYU Dongbo, GAO Guochao, WANG Huixia, YUE Songwei

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University,
Zhengzhou, Henan 410100, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the effect of revolution CT low tube voltage combined with adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) on the image quality of low dose scanning of chest model. **Methods** The 70kV (low dose, the experimental group) and 80kV (conventional dose, the control group) tube voltages and 50mAs auto tube current modulation (ATCM) were used for multiple scanning of the body mold. Chest images included mediastinum window and pulmonary window. Asir reconstruction of 0%, 30%, 50%, 80% and 100% were performed in each group. The heart shadow, CT values and objective noise of anterior chest wall under different tube voltages and ASIR values were measured to calculate the signal to noise ratio (SNR). CT dose index (CTDIvol), dose length product (DLP) were recorded under different scanning conditions. Effective radiation dose (ED) was calculated. To analyze the radiation dose for objective factors, the images were subjectively evaluated by two experienced doctors in the department of imaging. SPSS 22.0 software was used for statistical analysis and Kappa was used to test the consistency of subjective scores of the two radiologists. **Results** With the increase of ASIR value, heart shadow and anterior chest wall noise (SD) decreased and SNR increased. SNR, CTDIvol, DLP, ED and subjective evaluation scores in the experimental group were lower than those in the control group, the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The subjective evaluation scores of both groups were more than three points. **Conclusion** The voltage of revolution CT tube voltage is 70 kV, tube current is 50 mAs. Combined with ASIR technology, radiation dose and noise can be reduced, while making the image quality can meet the diagnostic requirements

[Key words] Adaptive statistical iterative reconstruction; Tomography, X-ray computed; Manikins; Chest; Low radiation dose; Scan

目前,CT 在临床影像分析中扮演着举足轻重的角色,但随之而来的电离辐射也引起了公众和专家的关注,如何衡量辐射剂量和图像质量之间的关系,是国内外学者关注的重点。胸部 CT 普通扫描具有一定辐射剂量,所以 CT 扫描的未来发展趋势更偏向低照射剂量 CT(LDCT)。本研究采用 Revolution CT 联合自适应迭代重建(ASIR)^[1]扫描仿真体模观察肺部影像。体模能代替患者进行 CT 检查,从而减少不必要的照射量,也能避免扫描过程中受检者产生的伪影。近年来,随着计算机技术的快速发展,ASIR 算法成了 CT 研究的重点^[2]。研究表明,ASIR 算法不仅能有效地降低辐射剂量还能保证图像诊断质量^[3-4]。

1 材料与方法

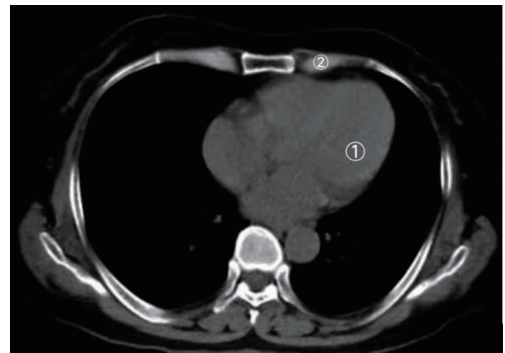
1.1 材料

1.1.1 材料来源 模拟胸部体模(日本岛津公司)高度 45 cm,胸围 94 cm,重量 17 kg,肺、椎体、胸壁和纵隔等部位体积大小及 X 线衰减功能与人体软组织和骨骼相同^[5],能精准模拟胸部器官。通过 CT 扫描,能获得与人体相近的器官 CT 值。

1.1.2 设备与参数 选用 GE Revolution 256 排 CT,8 cm 探测器,螺旋扫描模式,旋转速度 0.5 s/rot,螺距 1.531:1,显示视野 36.0 cm,初始层厚 5 mm,层间距 5 mm,管电压 70、80 kV,对仿真胸部体模重复扫描,ASIR 权重分别设置 0、30%、50%、80%、100%,扫描范围自肺尖至肺底,共得到 30 组肺算法与纵隔图像。扫描结束后记录不同管电压下容积 CT 剂量指数 CTDIvol(mGy)、CT 剂量长度乘积 DLP(mGy·cm),通过公式有效辐射剂量(ED)=DLP×K(胸部转换系数 K=0.014)计算出两组患者的吸收剂量。

1.2 方法 影像传到 GE AW4.7 后处理工作站,2 名年长技师测量数据。于左心室最大横断面及其上下相邻 2 层 CT 图像上^[6],在左心室中部及前胸壁勾画圆形感兴趣区(ROI),选择密度均匀的区域测量,避开大血管^[7],左心室 ROI 面积大小为 120.0~130.0 mm²,前胸壁为 22.0~25.0 mm²(图 1)。CT 影像上测量的 ROI 范围、层面、位置一致。测量再记录左心室及前胸壁 CT 值及噪声(SD),以前胸壁 SD 值作为背景噪声,计算信噪比(SNR): $SNR_{前胸壁} = 前胸壁 CT 值 / 前胸壁 SD 值$, $SNR_{左心室} = 左心室 CT 值 / 前胸壁 SD 值$ 。由 2 名具有 5 年以上放射科诊断经验的医生对影像质量分别进行评分,最终得分取两者的均值,参考国家有关研究文献^[8]的评分管理方法,将图像质量按 5 分制进行综合评分:1 分,影像噪声大,质量差,不能及时诊断;2 分,大部分影像噪声大,质量较差,影响医生诊断;3 分,大部分影像解剖细节能显示清楚,

有一定的影像噪声,但不影响主要部分诊断;4 分,影像质量好,噪声小,解剖细节能显示清晰;5 分,影像质量非常好,解剖细节显示非常清晰。 ≥ 3 分的影像即为满足诊断需求,检查能顺利完成。



注:①为左心室 ROI;②为前胸壁 ROI。

图 1 选择 ROI 横断面

1.3 统计学处理 采用 SPSS22.0 统计软件进行数据分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布。两组采用独立样本 *t* 检验,以 Kappa 分析检验 2 位医师间主观评分的一致性,Kappa 值 0.41~0.60 为一致性一般,0.61~0.80 为一致性良,0.81~1.00 为一致性优。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 客观评价 试验组左心室、胸壁的 SD 及 SNR 见表 1。对照组左心室、胸壁的 SD 及 SNR 见表 2。不同管电压及 ASIR 权重条件下左心室 SNR 比较情况见图 2。不同管电压,随着 ASIR 下降,体模影像噪声逐渐增高,SNR 逐渐降低,随着 ASIR 权重增大,试验组左心室噪声分别为 39.40 ± 0.10 、 31.23 ± 0.15 、 25.93 ± 0.15 、 18.40 ± 0.10 、 13.27 ± 0.12 ,SNR 分别为 0.81 ± 0.04 、 0.99 ± 0.05 、 1.15 ± 0.06 、 1.50 ± 0.11 、 1.94 ± 0.15 ;试验组胸部横断面影像比较见图 3。

表 1 管电压 70 kV 左心室、胸壁的 SD 及 SNR 情况

ASIR 权重	前胸壁	左心室	
	SD	SD	SNR
0	35.57±1.02	39.40±0.10	0.81±0.04
30%	29.17±1.04	31.23±0.15	0.99±0.05
50%	25.00±1.06	25.93±0.15	1.15±0.06
80%	19.20±1.08	18.40±0.10	1.50±0.11
100%	14.70±0.98	13.27±0.12	1.94±0.15

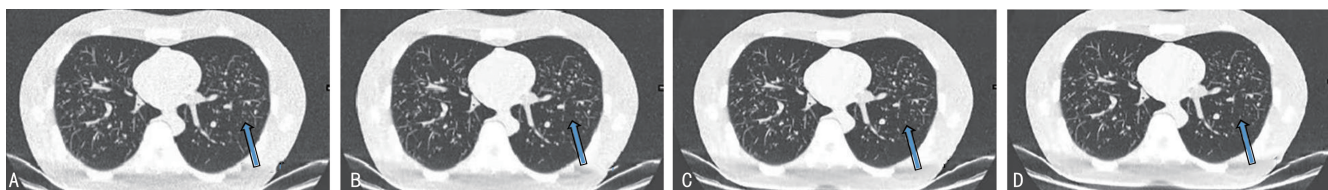
表 2 管电压 80 kV 心室,胸壁的 SD 及 SNR 情况

ASIR 权重	前胸壁	左心室	
	SD	SD	SNR
0	30.73±0.84	38.63±0.06	1.09±0.03
30%	24.23±0.67	30.13±0.12	1.37±0.04

续表 2 管电压 80 kV 心室, 胸壁的 SD 及 SNR 情况

ASIR 权重	前胸壁		左心室	
	SD	SD	SD	SNR
50%	20.07±0.46	24.70±0.10	1.66±0.04	
80%	14.03±0.32	16.90±0.10	2.39±0.06	
100%	10.47±0.15	11.47±0.21	3.21±0.08	

2.2 主观评价 试验组的主观评价得分比对照组影像低, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。然而两组图像



注: A. 30% ASIR 图; B. 50% ASIR 图; C. 80% ASIR 图; D. 100% ASIR 图。

图 3 试验组胸部横断面影像

质量主观评分均大于或等于 3 分。见表 3。

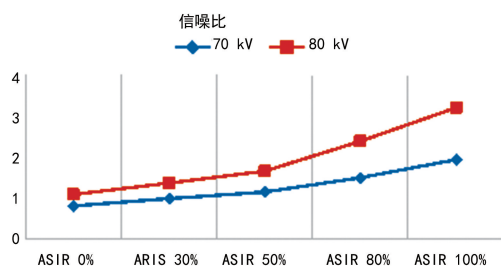


图 2 不同管电压及 ASIR 值条件下左心室 SNR 比较

表 3 胸部平扫影像质量主观评分比较 ($\bar{x} \pm s$, 分)

组别	影像评分	
	肺窗	纵隔窗
试验组	4.92±0.02	4.00±0.00
对照组	5.00±0.00	4.02±0.01
t	-7.125	-20.672
P	0.031	0.041

2.3 辐射剂量比较 两组的 DLP 分别为 172.03±13.28、267.32±12.42; ED 分别为 (2.41±0.19)、(3.74±0.17)mSv。两组比较, 差异均有统计学意义 ($P < 0.001$)。见表 4。

表 4 两组在 ASIR 权重为 0 时胸部照射剂量比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	CTDIvol(mGy)	DLP(mGy·cm)	ED(mGy)
试验组	4.17±0.92	172.03±13.28	2.41±0.19
对照组	7.21±1.15	267.32±12.42	3.74±0.17
t	-31.670	-24.461	-10.107
P	<0.001	<0.001	<0.001

3 讨论

本研究采用 X 射线组织等效模拟胸部体模, 避免了临床实践中患者身体大小和呼吸的影响, 有效避免了骨骼硬化伪影、呼吸心跳运动伪影^[9]。此外, 被检者身上携带的金属物可导致放射状伪影, 体模的运用正好避免了这种影响图像质量的因素。

调制管电流及管电压是降低患者所受辐射剂量比较直接的方法, 容易便捷, 临床研究中广泛应用。本研究通过降低管电压的方法来减少辐射剂量。由

于管电压的平方和辐射剂量成正比, 降低管电压可以显著降低辐射剂量^[10]。管电压可以决定 X 线穿透性, 降低管电压可降低 X 线穿透性, 也能降低 CT 扫描过程中的照射量。近年来, ATCM 技术和 ASIR 算法是临床实际工作中降低辐射剂量的新方法, 但在实际应用中, 经常考虑扫描层厚、层间距及探测器因素, 需结合设备条件综合采用多种技术^[11-15], 使扫描方案最佳, 才能尽可能降低辐射剂量。

CT 的空间分辨率及密度分辨率是成像质量的两大关键。空间分辨率即高对比度分辨率, 决定了区分邻近最小物体的能力。密度分辨率即低对比度分辨率, 决定了低对比度情况中分辨物体不同的能力。在某种程度上两者呈负相关。当增加扫描层厚密度分辨率增高, 而空间分辨率随之下降。矩阵越大, 像素小且多, 因此提高了空间分辨率, 但同时每个像素得到的光子数减少, 那么像素噪声增加, 使得密度分辨率降低。若需保持原有的密度分辨率, 此时需要增加 X 线量。本研究运用了 ASIR 算法, 可以减少 SD, 在低对比度情况下, 能提高区分物体差别的能力。

从以往文献可知, 随 ASIR 权重增大 (0~100%)^[16-19], 扫描 SD 及辐射剂量逐渐减小, SNR 增大, 且 ASIR 权重越大, 辐射剂量减少得越多, 所以本研究仅比较 ASIR 权重为 0 时 70 kV 与 80 kV 胸部照射剂量。

本研究将左心室中部及前胸壁作为 ROI, 再测量其 CT、SD 值, 计算出左心室中部和前胸壁的 SNR 值, 然后将两者的 SNR 值作为对比指标进行分析。左心室中部、前胸壁组织结构相对均匀, 因此, 其 CT

值具备一定的差异性和较高的可比性。本研究中,当两组的 ASIR 值相同时,70 kV 对应左心室的 SNR 要低于 80 kV 左心室,80 kV 的左心室更加清晰,图像质量佳。随着 ASIR 权重增大,两组图像清晰程度差距也逐渐加大。当 ASIR 权重为 100% 时,两组图像质量对比明显。

本研究存在一些不足之处:(1)体模不能代替真实人体,不同体质量指数得出的结论尚且未知;(2)体模研究只限于常规平扫,不能进行注射造影剂的增强扫描,现实工作中增强检查应用更广泛;(3)本次研究只针对 Revolution CT,未在其他设备类型中进一步探讨;(4)本研究采用固定管电流,只对比了 2 种管电压辐射剂量、SD 及 SNR,未能调节管电流,固定管电压情况下,对比不同管电流的图像质量及辐射剂量,这也是以后研究的方向。

综上所述,通过降低管电压且增加 ASIR 权重最少可降低 35% 辐射剂量,与 80 kV 相比,70 kV 胸部体模扫描获得满意的图像质量并能有效降低辐射剂量。

参考文献

[1] TANG H, YU N, JIA Y, et al. Assessment of noise reduction potential and image quality improvement of a new generation adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR-V) in chest computed tomography[J]. *Br J Radiol*, 2017, 91(1081):20170521.

[2] BEISTER M, KOLDITZ D, KALENDER W A. Iterative reconstruction methods in X-ray CT[J]. *Phys Med*, 2012, 28(11):94-108.

[3] 石清磊, 赵红梅, 张玲, 等. 自适应统计迭代重建算法对腹部 CT 扫描中图像质量和辐射剂量影响的模体研究[J]. *中华放射学杂志*, 2013, 47(4):326-329.

[4] 张丽, 于红, 刘士远, 等. 迭代重建技术对低剂量肺部平扫 CT 图像质量的影响[J]. *中华放射学杂志*, 2013, 47(4):316-320.

[5] MATHIEU K B, AI H, FOX P S, et al. Radiation dose reduction for CT lung cancer screening using ASIR and MBIR: A phantom study[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2014, 15(2):4515.

[6] 唐世龙, 刘波, 刘先凡, 等. 剂量指数在成人胸部低剂量 CT 扫描中的应用[J]. *国际医学放射学杂志*, 2019, 42(5):517-520.

[7] 王新莲, 贺文, 陈疆红, 等. 低管电压结合迭代重建腹部 CT 低剂量扫描的体模研究[J]. *放射学实践*, 2017, 32(9):951-955.

[8] LIM H J, CHUNG M J, SHIN K E, et al. The impact of iterative reconstruction in low-dose computed tomography on the evaluation of diffuse interstitial lung disease [J]. *Korean J Radiol*, 2016, 17:950-960.

[9] 段海峰, 贾永军, 马光明, 等. 低剂量 CT 结合自适应统计迭代重建测量体模肺结节[J]. *中国医学影像技术*, 2021, 37(2):278-283.

[10] 夏巍, 尹肖睿, 吴晶涛, 等. 自适应迭代重建技术在 CTPA 中降低辐射剂量且提高图像质量的研究[J]. *临床放射学*, 2015, 34(12):1989-1993.

[11] SHEN Y, SUN Z, XU L, et al. High-pitch, low-voltage and low-iodine-concentration CT angiography of aorta: Assessment of image quality and radiation dose with iterative reconstruction [J]. *PloS One*, 2015, 10(2):e0117469.

[12] HOPPER K D, KEETON N C, KASALES C J, et al. Utility of low mAs 1.5 pitch helical versus conventional high mA abdominal CT[J]. *Clin Imaging*, 1998, 22(1):54-59.

[13] SHIN H J, CHUNG Y E, LEE Y H, et al. Radiation dose reduction via sinogram affirmed iterative reconstruction and automatic tube voltage modulation (CARE kV) in abdominal CT [J]. *Korean J Radiol*, 2013, 14(6):886-893.

[14] MARIN D, NELSON R C, SCHINDERA S T, 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[J]. *Radiology*, 2010, 254(1):145-153.

[15] YU M H, LEE J M, YOON J H, et al. Low tube voltage intermediate tube current liver mdt: sinogram-affirmed iterative reconstruction algorithm for detection of hypervascular hepatocellular carcinoma [J]. *AJR*, 2013, 201(1):23-32.

[16] SMARDA M, EFSTATHOPOULOS E, MAZOTI A, et al. High-resolution computed tomography examinations for chronic(下转第 1865 页)

- [4] JIMENEZ J J, IRIBARREN J L, LORENTE L, et al. Tranexamic acid attenuates inflammatory response in cardiopulmonary bypass surgery through blockade of fibrinolysis: A case control study followed by a randomized double-blind controlled trial [J]. *Crit Care*, 2007, 11 (6): R117.
- [5] 王丽红, 周守静, 王炫. 氨甲环酸对先天性心脏病患儿术后出血和抑制炎症反应的随机对照研究 [J]. *中国循证儿科杂志*, 2011, 6(6): 420-424.
- [6] 石佳. 乌司他丁和氨甲环酸对心脏外科手术中凝血和炎症反应的影响 [D]. 北京: 中国协和医科大学, 2010.
- [7] 刘延芹, 李素玲, 赵海涛, 等. 小儿室间隔缺损修补术中乌司他丁及氨甲环酸联用的效果及临床意义 [J]. *山东医药*, 2015, 55(42): 4-6.
- [8] NG W, JERATH A, WASOWICZ M. Tranexamic acid: A clinical review [J]. *Anaesthesiol Intensive Ther*, 2015, 47(4): 339-350.
- [9] XIE C M, YAO Y T, HE L X, et al. Anti-inflammatory effect of tranexamic acid on adult cardiac surgical patients: A PRISMA-compliant systematic review and meta-analysis [J]. *Front Surg*, 2022, 9: 951835.
- [10] TIBI P, MCCLURE R S, HUANG J, et al. STS/SCA/AmSECT/SABM update to the clinical practice guidelines on patient blood management [J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 112 (3): 981-1004.
- [11] BOER C, MEESTERS M I, MILOJEVIC M, et al. 2017 EACTS/EACTA Guidelines on patient blood management for adult cardiac surgery [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2018, 32(1): 88-120.
- [12] TAAM J, YANG Q J, PANG K S, et al. Current evidence and future directions of tranexamic acid use, efficacy, and dosing for major surgical procedures [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2020, 34(3): 782-790.
- [13] GUO J, GAO X, MA Y, et al. Different dose regimens and administration methods of tranexamic acid in cardiac surgery: A meta-analysis of randomized trials [J]. *BMC Anesthesiol*, 2019, 19(1): 129.
- [14] 田丽娟, 张昱, 陈芳, 等. 两种抗纤溶治疗方案对体外循环心脏手术患者围术期血浆纤维连接蛋白水平的影响 [J]. *中国循环杂志*, 2020, 35(2): 384-389.
- [15] 中国心胸血管麻醉学会. 心血管外科手术围术期血液管理-抗纤溶指南 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2016, 32(11): 1137-1140.
- [16] 周勇, 胡文军, 郭镜飞, 等. 不同剂量氨甲环酸减少心脏手术体外循环后出血和输血的有效性和安全性比较 [J]. *中国分子心脏病学杂志*, 2018, 18(2): 31-34.
- [17] MOORE K W, DE WAAL MALEFYT R, COFFMAN R L, et al. Interleukin-10 and the interleukin-10 receptor [J]. *Annu Rev Immunol*, 2001, 19: 683-765.

(收稿日期: 2022-10-12 修回日期: 2023-01-14)

(上接第 1860 页)

- suppurative lung disease in early childhood: Radiation exposure and image quality evaluations with iterative reconstruction algorithm use [J]. *Can Assoc Radiol J*, 2016, 67: 218-224.
- [17] 唐世龙, 刘先凡, 周瑜, 等. 噪声指数在学龄前儿童胸部低剂量 CT 扫描中的应用 [J]. *临床放射学*, 2017, 36(8): 1508-1512.
- [18] 唐世龙, 兰永树. 低剂量 CT 扫描在儿童胸部检查中的应用 [J]. *国际医学放射学杂志*, 2017, 40 (3): 287-290.
- [19] SONG J S, LEE J M, SOHN J Y, et al. Hybrid iterative reconstruction technique for liver CT scans for image noise reduction and image quality improvement: Evaluation of the optimal iterative reconstruction strengths [J]. *Radiol Med*, 2015, 120(3): 259-267.

(收稿日期: 2022-08-06 修回日期: 2023-01-23)