

多模型迭代重建对胸部体模 CT 图像质量的影响

刘小琴¹ 李小虎¹ 束宏敏¹ 赵 韧² 束晶菁¹ 胡 翀¹ 宋 健¹ 刘 斌¹ 余永强¹

摘要 目的 探讨前置及后置自适应统计迭代重建技术 (ASiR-V) 对于胸部 CT 图像质量的影响。方法 采用 GE revolution CT 对胸部仿真体模进行扫描,前置 ASiR-V 的权重分别设置为 0%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%。之后在前置 ASiR-V 为 0%、30% 及 60% 的基础上,依次重建后置 ASiR-V 权重间隔为 10% (0% ~ 100%) 的图像。原始图像重建类型选择标准算法,重建层厚 1.25 mm,分别记录不同层面不同组织的 CT 值及 SD 值,同时评估不同权重下肺窗和纵膈窗的主观评分,用以评价图像质量。结果 随着前置 ASiR-V 权重的增加,纵膈窗及肺窗主观评分在 30% 时均达到最佳,纵膈窗的主观评分在 70% 前均 ≥ 3 分,肺窗的主观评分在 90% 前均 ≥ 3 分,不同组织的 CT 值及 SD 值均未见明显变化。在前置 ASiR-V 权重分别为 0%、30%、60% 的基础上,随着后置 ASiR-V 的增加,不同组织(除肺组织) SD 值均呈明显下降趋势,CT 值未见明显变化。在前置 ASiR-V 为 0% 及 30% 组,当后置 ASiR-V 权重不高于 80% 时,图像的纵膈窗及肺窗的主观评分较好,能满足诊断需求。在前置 ASiR-V 为 60% 组,当后置 ASiR-V 权重在 60% ~ 80% 时,图像的纵膈窗及肺窗的主观评分较好,能满足诊断需求。结论 过高权重的前置 ASiR-V 会导致图像主观评分的下降,过高或过低的后置 ASiR-V 权重同样会导致图像质量的下降。在预设噪声指数 (NI) 值为 14 时,胸部 CT 扫描 ASiR-V 推荐 60% 前置联合 60% ~ 80% 的后置。

关键词 迭代重建; 体模; 噪声; 图像质量

中图分类号 R 814.4

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2020)04-0592-05
doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2020.04.021

CT 扫描技术自问世以来,降低扫描辐射剂量与提高图像质量一直是研究进展过程中备受关注的两个重点。通常,降低管电压及管电流可以在一定程

度上降低扫描辐射剂量^[1-2],但是往往会导致图像质量的下降^[3]。迭代重建通过对图像原始投影、图像切片投影或两者同时进行多次迭代数据重建,在保持图像细节的同时降低图像噪声,改善图像质量。与传统的解析算法如滤波反投影法 (filtered back projection, FBP) 相比,迭代算法突破了解析算法在降低剂量辐射方面的限制。随着计算机处理技术的发展,迭代算法正在逐步取代解析算法。2014 年 GE 公司推出了基于多模型的迭代重建技术 (adaptive statistical iterative reconstruction Veo, ASiR-V),其在运算时同时运用了系统噪声模型、物体和物理模型,目的在于降低噪声、提高密度分辨率、抑制伪影。现通过噪声及主观评分探讨 ASiR-V 对于胸部 CT 图像质量的影响。

1 材料与方法

1.1 仪器与方法 采用 GE revolution 256 排 CT 对仿真体模(成都华科)进行扫描,体模内部仿真材料 X 线衰减性能等效于真实人体软组织及骨骼组织。扫描参数如下:管电压 120 kV,管电流采用自动毫安秒计数,螺距: 0.992 : 1,噪声指数 (noise index, NI) 值 14,前置 ASiR-V 权重分别设置为 0%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%。在对不同权重前置 ASiR-V 图像质量进行评估后,分别在前置关闭 (ASiR-V 权重为 0%)、纵膈窗及肺窗主观评分均达到最佳 (ASiR-V 权重为 30%)、纵膈窗及肺窗均能满足诊断的最高前置权重 (ASiR-V 权重为 60%) 基础上,依次重建后置 ASiR-V 权重间隔为 10% (0% ~ 100%) 的图像。不同百分比代表迭代重建所占比例,0% 代表完全采用 FBP 算法,100% 代表完全采用 ASiR-V 算法。图像重建类型选择标准算法,重建层厚 1.25 mm。

1.2 图像质量评价

1.2.1 客观测量 将胸部体模图像传至 AW4.6 工作站进行观察,在轴位 CT 图像上选取上、中、下 3 个层面,分别为胸锁关节层面、肺静脉层面、近膈肌层面,每个层面上分别于双侧肺野、主动脉、脊柱旁软组织及椎体各放置一个感兴趣区 (region of inter-

2019-11-27 接收

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 81970446、81771817); 安徽高校自然科学研究项目(编号: KJ2018A0197); 安徽省重点研究和开发计划项目(编号: 201904a07020060)

作者单位: 安徽医科大学第一附属医院¹ 放射科、² 心血管内科,合肥 230022

作者简介: 刘小琴,女,硕士研究生;

余永强,男,教授,主任医师,博士生导师,责任作者, E-mail: cjr.yuyongqiang@vip.163.com

est ROI) (100 mm²), 每个图像对应的所有 ROI 位置保持一致, 记录各 ROI 的 CT 值及 SD 值。肺组织、主动脉、脊柱旁软组织及椎体的 CT 值及 SD 值结果取 3 个层面的平均值。所有数据测量均由同一名放射科医师完成。

1.2.2 主观评估 由 2 名具有 5 年以上工作经验的放射科医师对图像进行主观评价, 分别在纵膈窗(窗宽 350、窗位 40)及肺窗(窗宽 1000、窗位 -600)观察, 得出主观评分。评分标注如下: 1 分: 图像质量差, 完全不能用于临床诊断; 2 分: 图像质量较差, 不能完全达到临床诊断要求; 3 分: 图像质量中等, 基本达到临床诊断要求; 4 分: 图像质量良好, 可以达到临床诊断要求; 5 分: 图像质量优, 完全满足在临床诊断要求。 ≥ 3 分的图像才可以应用于临床诊断。当 2 名医师意见不一致时共同商讨决定。

2 结果

2.1 前置 ASiR-V 权重对于图像质量的影响 随着前置 ASiR-V 权重的变化, 图像的主观评分有所改变。在前置 ASiR-V 权重为 0% ~ 80% 之间时, 肺窗的图像主观评分 ≥ 3 分, 而纵膈窗图像在 0% ~ 60% 之间。肺窗及纵膈窗的图像主观评分均在前置 ASiR-V 权重为 30% 时达到最佳状态(5 分)。随着前置 ASiR-V 权重的变化, 不同组织 CT 值及 SD 值未见明显差异。见图 1、2。图像的主观评分见表 1。前置 ASiR-V 权重分别为 0%、30%、60% 时纵膈窗显示软组织图像清晰, 肺窗显示肺纹理脉络分明, 见图 3A ~ C、3E ~ G。当前置 ASiR-V 权重为 100% 时纵膈窗出现明显蜡条样伪影, 肺窗显示胸膜下细小结构边缘模糊, 图像质量明显变差, 见图 3D、3H。

2.2 后置 ASiR-V 权重对于图像质量的影响 对前置 ASiR-V 权重为 0%、30%、60% 的 3 组原始数据进行后置 ASiR-V 的重建。随着后置 ASiR-V 的增加, 脊旁软组织、椎体及主动脉的 SD 值均呈明显下降趋势, 肺组织的 SD 值及各组织 CT 值均未呈现明显变化趋势。见表 2、3。以前置 ASiR-V 权重为 0% 组为例, 各组织 SD 值随后置 ASiR-V 增加的变化趋势见图 4。在前置 ASiR-V 为 0% 组, 当后置 ASiR-V 设置为 50%、100% 时, 相比于后置 ASiR-V

为 0% 的图像, 脊旁软组织的 SD 值分别下降 0.41、0.80 椎体的 SD 值分别下降 0.37、0.69, 主动脉的 SD 值分别下降 0.41、0.78。类似的, 在前置 ASiR-V 为 30% 组, 脊旁软组织的 SD 值分别下降 0.41、0.78 椎体的 SD 值分别下降 0.34、0.65, 主动脉的 SD 值分别下降 0.41、0.78。在前置 ASiR-V 为 60% 组, 脊旁软组织的 SD 值分别下降 0.51、0.77, 椎体的 SD 值分别下降 0.35、0.68, 主动脉的 SD 值分别下降 0.49、0.80。在前置 ASiR-V 为 0% 及 30% 的 2 组图像中, 当后置 ASiR-V 权重在 0% ~ 80% 时, 图像的纵膈窗及肺窗的主观评分较好, 能满足诊断需求。在前置 ASiR-V 为 60% 组, 后置 ASiR-V 权重在 60% ~ 80% 时, 图像的纵膈窗及肺窗的主观评分较好, 能满足诊断需求。

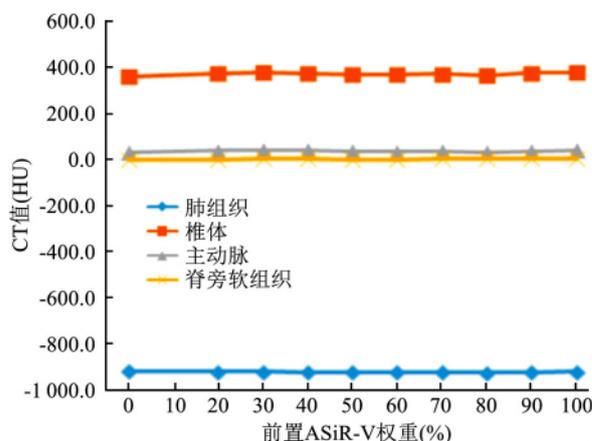


图 1 CT 值随前置 ASiR-V 权重增加变化的趋势

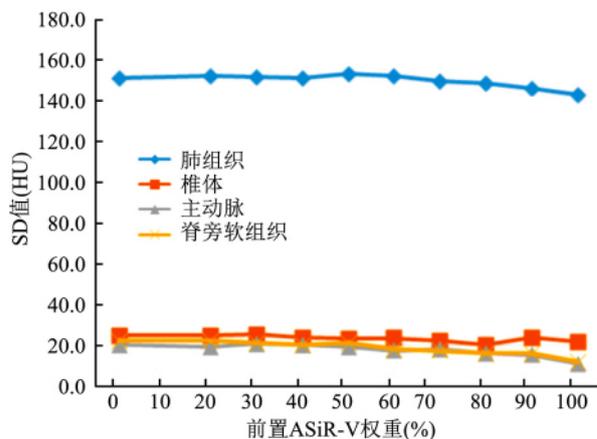


图 2 SD 值随前置 ASiR-V 权重增加变化的趋势

表 1 不同权重前置 ASiR-V 下纵膈窗及肺窗的主观评分比较 (分)

检查窗	0%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
纵膈窗	4	4	5	4	3	3	2	1	1	1
肺窗	4	5	5	4	4	3	3	3	2	1

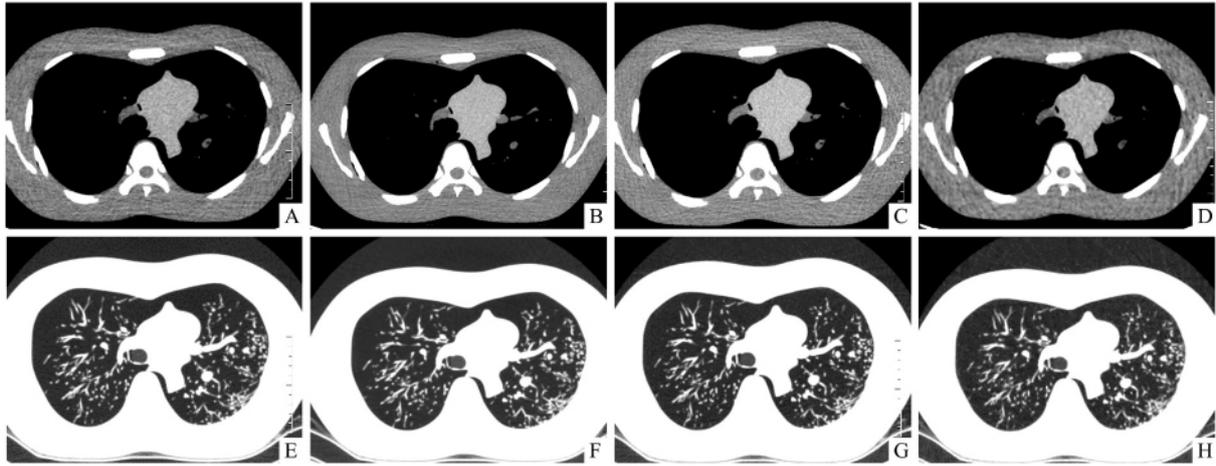


图3 不同前置权重下纵膈窗和肺窗的影像

表2 不同前置 ASiR-V 条件下各组织随后置变化的 SD 值

前置	组织	后置										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0%	肺	151.1	151.1	151.2	151.2	151.2	151.3	151.1	151.3	151.3	151.4	151.2
	椎体	25.1	23.0	21.3	19.7	17.5	15.8	14.0	12.4	10.6	9.3	7.8
	主动脉	20.4	18.8	16.9	15.3	13.5	12.0	10.1	8.6	7.0	5.6	4.4
	脊旁软组织	22.5	20.7	18.7	17.0	15.0	13.3	11.3	9.6	7.8	6.2	4.6
30%	肺	151.8	151.9	151.9	151.9	152.0	152.0	152.0	152.0	152.0	152.1	151.8
	椎体	31.6	29.5	27.1	25.2	23.0	20.9	18.5	16.8	14.8	13.0	11.1
	主动脉	27.5	25.2	22.8	20.7	18.3	16.1	13.7	11.7	9.6	7.7	6.1
	脊旁软组织	28.2	26.0	23.5	21.3	18.9	16.7	14.4	12.3	9.9	8.0	6.2
60%	肺	151.8	151.9	152.0	152.0	152.1	152.1	152.2	152.3	152.3	152.3	150.9
	椎体	41.3	38.5	35.3	32.6	29.3	26.7	23.6	21.2	18.3	15.9	13.3
	主动脉	34.5	31.8	28.8	26.0	23.0	20.4	17.5	14.9	12.2	9.8	7.8
	脊旁软组织	36.6	33.6	30.3	27.4	24.1	21.2	18.1	15.3	12.4	10.0	7.4

表3 不同前置 ASiR-V 条件下各组织随后置变化的 CT 值

前置	组织	后置										
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0%	肺	-917.6	-917.8	-918.0	-918.2	-918.4	-918.6	-918.7	-918.9	-919.1	-919.2	-919.3
	椎体	363.6	364.4	364.6	365.1	364.9	365.4	365.3	365.2	365.4	365.2	365.2
	主动脉	34.5	34.6	34.5	34.5	34.7	34.9	34.9	34.9	34.9	34.8	34.8
	脊旁软组织	2.1	2.1	2.0	2.0	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.5
30%	肺	-917.6	-917.9	-918.9	-918.4	-918.6	-918.8	-919.1	-919.3	-919.4	-919.6	-919.6
	椎体	378.8	378.6	378.9	378.8	378.9	378.8	378.8	378.2	378.5	378.2	378.1
	主动脉	43.1	43.0	42.9	42.8	42.7	42.6	42.3	42.0	42.1	42.2	42.2
	脊旁软组织	4.4	4.3	4.3	4.2	4.1	3.9	3.7	3.8	3.8	3.7	3.6
60%	肺	-916.8	-917.3	-917.8	-918.2	-918.7	-919.0	-919.4	-919.7	-920.0	-920.2	-920.2
	椎体	369.6	370.3	370.5	370.3	370.3	370.4	370.6	370.7	370.6	370.3	370.4
	主动脉	35.6	35.7	35.6	35.7	35.6	35.7	35.7	35.9	36.1	36.2	36.0
	脊旁软组织	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6

3 讨论

在 CT 成像的过程中,干扰有效信号的噪声无法避免。迭代重建运用的噪声模型通过采用多种数学方法对噪声的特性进行描述和表达,从而实现对

噪声的控制,并在图像噪声一定的情况下降低辐射剂量,尽可能生成可以接受的图像^[4-6]。早期的自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction, ASiR)运算时仅纳入系统噪声模型。基于模型的迭代算法(model based iterative reconstruc-

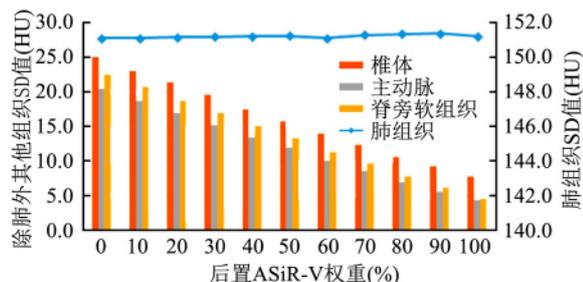


图4 不同组织 SD 值变化趋势

tion, MBIR, 商品名 Veo) 在噪声模型之外, 纳入了光学、物体及物理模型^[7]。其中, 系统光学模型作用在于提高空间分辨率, 但增加了运算的时长, 限制了 MBIR 在临床的投入使用。与 ASiR 和 MBIR 相比, ASiR-V 包含改进的噪声和对象建模^[8], 改善了高权重 ASiR 时容易出现的蜡条样伪影, 在降低噪音和提高对比度方面作用优于 ASiR^[9], 同时由于在建模过程中排除了复杂的系统光学, 使得 ASiR-V 可以以接近 ASiR 的重建速度获得接近 MBIR 的重建图像。作为一种新的迭代重建技术, GE revolution CT 的多模型迭代重建有前置和后置两种模式, 前置可以在维持图像质量条件下直接降低辐射剂量, 后置虽然不能直接降低辐射剂量, 但是可以在不影响图像质量的前提下, 可联合高的 NI 值以降低一定辐射剂量^[10-11]。

CT 图像质量评估包括主观和客观 2 个方面。本研究的结果表明, 胸部 CT 图像的客观指标随着前置 ASiR-V 权重的增加并没有明显变化, 但是当前置权重增加到一定程度时图像主观评分开始下降, 部分不能满足诊断, 考虑是因为过高的 ASiR-V 权重会导致蜡条样伪影及模糊效应^[7]。颜利辉等^[12]的一项针对体模及 120 例患者的同类型研究的结果显示, 纵隔窗图像在前置 ASiR-V 权重为 40% 之前, 肺窗图像在 80% 之前图像主观评分均 ≥ 3 分, 并推荐胸部 ASiR-V 扫描的权重设置在 40%。此外, 颜利辉等^[12]指出, 肺窗的合适权重范围较纵隔窗宽, 对于体检病人或者以肺组织病变检出为主要目的的病人, ASiR-V 前置权重可以设置到 80%。从本研究结果来看, 虽然肺窗及纵隔窗的主观评分在 30% 达到最佳, 但是考虑到前置 ASiR-V 会降低扫描的辐射剂量, 为了兼顾质量及剂量 2 个要素, 胸部 CT 扫描 ASiR-V 适宜前置的权重建议在 60%, 与前面的结果接近。

在前置条件固定的前提下, 后置 ASiR-V 权重的增加会改善图像客观指标, 即除肺组织以外其他组织 SD 值均呈明显下降趋势。然而当后置 ASiR-V 的权重过高或过低时, 所得图像的主观评分会有所下降, 无法用于临床诊断。本研究在前置为 0% 组中, 当后置 ASiR-V 权重高于 80% 时, 图像质量的主观评分不再满足于临床诊断需求, 对比与杨利莉等^[13]的体模研究指出的在 NI 值预设 10, HD-LUNG 重建方式下, 20% ~ 70% 图像肺窗才能满足诊断的结果存在的差异, 考虑是因为重建类型及预设 NI 值也会影响图像质量。另外, 本研究结果中关于肺组织的 SD 值随后置权重的增加呈稳定状态, 与腹部及胸部的同类研究中的结果存在差异^[10, 13], 可能是因为在本文中, 重建图像的噪声对测得肺组织 SD 值贡献较小, 尚存在其它更显著因素, 比如 ROI 内包含的肺间质及纹理过少, 肺组织本身的不均质性, 不同实验采用的体模材质的差异有关。

本研究尚存在一些不足之处: ① 数据量少, 仅限于体模研究, 未涉及临床患者; ② NI 值固定, 不能体现后置 ASiR-V 的优势, 即结合高 NI 值在降低辐射剂量的同时提高图像质量。在后面的研究中需要进一步扩充样本量, 此外, 可以预设不同的管电压及 NI 值, 探究 ASiR-V 技术下胸部 CT 图像质量与辐射剂量的最佳平衡点。综上, 过高的 ASiR-V 权重设定, 无论是前置还是后置模式, 都会损害图像质量, 合适的权重选择对于 ASiR-V 重建技术下的图像质量至关重要。

参考文献

- [1] Li X, Yu Y, Liu B, et al. Radiation dose reduction at multidetector CT[J]. Radiology, 2013, 268(3): 925-6.
- [2] Kwon H, Cho J, Oh J, et al. The adaptive statistical iterative reconstruction-V technique for radiation dose reduction in abdominal CT: comparison with the adaptive statistical iterative reconstruction technique[J]. Br J Radiol, 2015, doi: 10.1259/bjr.20150463.
- [3] 孙记航, 彭芸, 张祺丰, 等. 儿童低剂量胸部 CT 中自适应迭代重建权重最佳阈值的初步研究[J]. 临床放射学杂志, 2014, 33(4): 604-8.
- [4] Fontarensky M, Alfidja A, Perignon R, et al. Reduced radiation dose with model-based iterative reconstruction versus standard dose with adaptive statistical iterative reconstruction in abdominal CT for diagnosis of acute renal colic[J]. Radiology, 2015, 276(1): 156-66.
- [5] 李小虎, 余永强, 王万勤, 等. CT 能谱成像对肾结石成分分析的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(12): 1216-9.

- [6] 束宏敏, 李小虎, 宋建, 等. 低剂量 CT 技术在泌尿系结石诊断中的应用价值[J]. 安徽医科大学学报, 2015, 50(11): 1657-60.
- [7] 刘卓, 张诚. ASiR 与 ASiR-V 重建算法对 CT 图像质量影响的体模研究[J]. 医疗卫生装备, 2016, 37(9): 103-5.
- [8] Euler A, Solomon J, Marin D, et al. A third-generation adaptive statistical iterative reconstruction technique: phantom study of image noise, spatial resolution, lesion detectability, and dose reduction potential[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2018, 210(6): 1301-8.
- [9] 张卓璐, 刘卓, 慕维维, 等. 基于多模型的迭代重建算法在胸部低剂量 CT 筛查中的应用[J]. 中国介入影像与治疗学, 2015, 12(11): 691-5.
- [10] 王同明. 前置与后置多模型迭代重组算法在腹部体模 CT 扫描中的对比研究[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(5): 878-81.
- [11] 左雪石, 唐慧, 刘振堂, 等. Revolution CT 低剂量联合 ASiR-V 在胸部扫描相关性研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2019, 28(2): 134-8.
- [12] 颜利辉, 陈飞, 姚立正, 等. 前置自适应统计迭代重建技术对胸部 CT 辐射剂量和图像质量的影响: 体模与临床研究[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(3): 468-72.
- [13] 杨利莉, 刘风娇, 高永斌, 等. 后置基于多模型的自适应统计迭代重建技术对肺部图像质量的影响[J]. 宁夏医学杂志, 2018, 40(10): 868-70, 864.

The influence of ASiR-V on the CT image quality of chest phantom

Liu Xiaoqin, Li Xiaohu, Shu Hongmin, et al

(Dept of Radiology, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022)

Abstract Objective To explore the impact of pre- and post-set adaptive statistical iterative reconstruction Veo (ASiR-V) on imaging quality in the chest phantom. **Methods** The chest phantom had been scanned by GE revolution CT with the different weight of pre-set ASiR-V, which was set to 0% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% and 100% successively. Then on the basis of pre-set ASiR-V set as 0%, 30% and 60%, images were reconstructed with post-set ASiR-V weight interval of 10% (from 0% to 100%) consecutively. A standard algorithm was used for original image reconstruction. The slice was 1.25 mm. The CT and SD value of various tissues at different level were recorded. Simultaneously, assessing subjective scores of lung and mediastinal windows under different proportions were evaluated to evaluate the discrepancy of image quality. **Results** With the increase of pre-ASiR-V weight, subjective scores of mediastinal and pulmonary window reached the best both at 30%. The subjective score of mediastinal window could ≥ 3 before 70%, while pulmonary window before 90%. There was no obvious change in the CT and SD values of various tissues. On the basic condition of pre-ASiR-V set to 0%, 30% and 60%, with the increase of post-ASiR-V, SD values of different tissues (except lung) showed a clear decreasing trend, while no significant difference was observed in CT values. The subjective scores of mediastinal and pulmonary window could meet the diagnostic requirements while post-set ASiR-V was no higher than 80% in the group of pre-set ASiR-V on 0% and 30%. The subjective scores of mediastinal and pulmonary window displayed fairly well and could meet the diagnostic requirement while post-set ASiR-V had been set on 60% ~ 80% in the group of pre-set ASiR-V on 60%. **Conclusion** Excessive high pre-ASiR-V will generate the decline of image subjective scores. And excessive high or low post-ASiR-V weight will both do so. 60% pre-position combined with 60% ~ 80% post-position ASiR-V is recommended for Chest CT scan while the default NI value is 14.

Key words iterative reconstruction; phantom; noise; imaging quality