

✧ 影像技术学

Improve image resolution in low-dose pediatric chest CT scans with combination of adaptive statistical iterative reconstruction and sharp recon kernel

SUN Jihang, WANG Fanning, DUAN Xiaomin, LIU Yong,
LIU Zhimin, SONG Lei, PENG Yun*

(Imaging Center, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University,
Beijing 100045, China)

[Abstract] **Objective** To explore the value of adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR) and a sharp recon kernel to obtain high resolution pulmonary images in low-dose pediatric chest CT scans. **Methods** Totally 42 children underwent low-dose chest CT scans with ASIR were included. Age-dependent noise index (NI) was used for dose optimization: NI=12 for 0—12 months old, NI=15 for >1—2 years old, NI=17 for 3—6 years old and NI=20 for ≥ 7 years old. Images were reconstructed to 0.625 mm using different recon kernels: Soft, Standard, Lung, and Chest kernel. ASIR blending was varied from 0—100% to provide balanced image noise and spatial resolution. Two radiologists independently evaluated images for normal lung structures, abnormal CT findings and image noise on a 5-point scale with 3 being clinically acceptable. The best kernel, as well as the match with the best ASIR weight were analyzed statistically. **Results** CT images with lung kernel and ASIR 60% were rated substantially better than those kernel. **Conclusion** ASIR 60% with a sharp lung kernel can significantly improve image quality in low-dose pediatric chest CT scans.

[Key words] Tomography, X-ray computed; Adaptive statistical iterative reconstruction; Child; Chest

DOI:10.13929/j.1003-3289.201610011

自适应迭代重建技术结合高分辨算法提高儿童低剂量胸部 CT 肺脏病变显示的能力

孙记航,王帆宁,段晓岷,刘 勇,刘志敏,宋 蕾,彭 芸*

(首都医科大学附属北京儿童医院影像中心,北京 100045)

[摘要] **目的** 探讨自适应迭代重建技术(ASIR)结合高分辨算法对儿童低剂量胸部 CT 肺部结构显示的影响。**方法** 回顾性分析接受低剂量胸部 CT 检查且存在肺内病变的患儿 42 例,0~12 个月预设噪声指数 12,>1~2 岁预设噪声指数 15,3~6 岁预设噪声指数 17, ≥ 7 岁预设噪声指数 20。将所有图像应用 Soft、Standard、Lung、Chest 分辨率模式重建为层厚 0.625 mm 的图像。以 10% 为步长值,重建 ASIR 权重为 0%~100% 的 11 组图像。由 2 名医师分别用 5 分制评分法主观评价肺窗图像质量,包括图像主观噪声、正常肺结构及病变的显示能力,5 分为最佳。统计学分析比较最佳的后处理算法,以及与之匹配的最佳 ASIR 权重。**结果** Lung 模式为观察肺部病变最佳的高分辨算法,ASIR 60% 权重重建图像主观评分最佳。**结论** 采用 ASIR 60% 权重结合 Lung 高分辨算法可更好地显示儿童低剂量胸部 CT 的肺部结构。

[关键词] 体层摄影术,X 线计算机;自适应迭代技术;儿童;胸部

[中图分类号] R725.6; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2017)05-0773-05

[基金项目] 首都临床特色应用研究(Z141107002514005)、北京儿童医院苗圃项目(BCH-YIPB-2016-06)。

[第一作者] 孙记航(1982—),男,北京人,硕士,主治医师。研究方向:儿科影像学。E-mail: jihangsuns@163.com

[通信作者] 彭芸,首都医科大学附属北京儿童医院影像中心,100045。E-mail: ppengyun@yahoo.com

[收稿日期] 2016-10-07 **[修回日期]** 2016-12-07

CT 是临床常用的检查方法,适用于检出胸部病变,但由于放射线会对人体,特别是儿童造成损伤,故放射医师对图像的要求从单纯的显示病变过渡到应用尽可能少的辐射剂量而达到满足诊断的目的^[1]。自适应迭代重建技术(adaptive statistical iterative reconstruction, ASIR)以其显著降低辐射剂量的能力而迅速得到普及^[2-5],但其有明显的边缘模糊效应^[6],故需与传统滤过反向投影(filtered back projection, FBP)结合达到最佳的图像效果。既往研究^[6-7]表明,儿童胸部 CT 检查时采用 ASIR 权重 30%~70%的低剂量图像可以在降低辐射剂量的同时达到满足诊断的要求。但主要针对常规分辨率算法,未针对高分辨率算法,而儿童肺部病变经常需要高分辨扫描及重建算法来满足显示细小结构的要求。目前,关于高分辨率算法结合迭代重建算法(iterative reconstruction, IR)对图像质量影响的研究鲜见。本研究对接受胸部低剂量扫描的患儿,采用较为常用的 Soft、Standard、Lung、Chest 进行后处理,比较其与不同权重的 ASIR 结合后图像质量的差异。

1 资料与方法

1.1 一般资料 连续选取 2012 年 2 月—5 月于院接受儿童低剂量胸部 CT 检查且存在肺内病变的患儿 42 例,其中男 32 例,女 20 例,年龄 2 个月~11 岁,中位年龄 4.5 岁。

1.2 仪器与方法 采用 GE Discovery 750 HDCT 机,电压 120 kV,转速 0.8 s/rot,螺距 1.375:1,电流采用自动管电流调节(automatic tube current modulation, ATCM)技术,设置噪声指数(noise index, NI)后自动选取,0~12 个月婴儿 NI 值设置为 12, >1~2 岁幼儿设置为 15, 3~6 岁学龄前儿童设置为 17, ≥7 岁儿童设置为 20。将采集的 CT 原始数据重建为 0.625 mm 图像,并根据分辨率模式重建为 Soft、Standard、Lung、Chest 算法的 4 组图像,4 种分辨率图像分别重建为 0%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100% ASIR 的 11 个亚组图像,将所有亚组图像传至 GE AW4.5 工作站,比较不同分辨率模式与不同 ASIR 权重结合后图像质量的主观评价。

由 2 名儿科影像学医师(分别具有 11 年及 9 年工作经验)根据肺窗图像进行图像质量的主观评分。评分过程中掩盖扫描参数以及患儿信息,为便于比较,所有亚组图像随机给出,使用固定窗位 -500 HU,窗宽 1 500 HU 观察。评价分为图像主观噪声评价及肺脏结构评价,分别采用 5 分制评分,5 分为最好, ≥3 分认

为可以满足临床诊断要求。图像主观噪声的评价标准:图像噪声过多难以做出为 1 分;噪声过多,对诊断信心不足为 2 分;图像噪声稍多,但可以接受,不影响做出诊断为 3 分;图像噪声较少,不会对诊断造成影响为 4 分;图像噪声很少,对诊断无影响为 5 分。肺脏结构的评价主要基于图像对解剖结构(肺野、肺纹理、叶间胸膜、支气管壁)及病变的显示情况,还包括图像锐利清晰程度:1 分为图像对肺内结构显示不完全,无法做出诊断;2 分为图像可以显示肺脏结构和病变的位置、范围,但不能满足诊断要求;3 分为图像可以满足诊断要求;4 分为图像质量较好,支气管壁等细小结构显示清晰;5 分为所有肺结构显示清晰,中外带肺纹理及细小支气管显示良好,病变显示清晰。由于本次研究针对于高分辨模式的肺窗图像设计,故未包括纵隔结构的评价。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 20.0 统计分析软件。评分结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用 Mann-Whitney U 检验评价 4 种算法图像的评分差异,统计分析时使用 2 名医师对所有 11 组 ASIR 权重的主观评分结果平均值进行统计;并采用单因素方差分析不同 ASIR 权重图像肺组织结构评分的差异,两两比较采用 LSD 方法。采用 Kappa 检验比较 2 名观察者的评分一致性: $Kappa \leq 0.4$ 为一致性较差, $0.40 < Kappa < 0.75$ 为一较好, $Kappa \geq 0.75$ 为一致性好。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

4 种分辨率模式在不同 ASIR 权重下重建图像噪声主观评分结果见图 1, Soft 算法图像噪声最小, Standard 与 Lung 次之, Chest 图像噪声较高;4 种分辨率模式重建图像噪声主观评分随 ASIR 权重增高均有上升趋势, Standard 与 Lung 差异均无统计学意义 ($Z = 1.77, P = 0.08$), Standard、Lung 与 Soft 及 Standard、Lung、soft 与 Chest 后处理方法差异均有统计学意义 ($Z = 3.97 \sim 14.73, P$ 均 < 0.05), 见表 1。

肺脏结构评分见图 2, 图像质量由好至差依次为 Lung、Standard、Chest、Soft, 总体差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。ASIR 权重为 60% 的 Lung 算法图像评分最高, 其次为 70% ASIR 的 Lung 算法图像。图像质量最好的 Lung 算法中, 0 ASIR、10% ASIR、20% ASIR 三组图像主观评分两两比较差异无统计学意义 (P 均 > 0.05); 60% ASIR、70% ASIR、80% ASIR 3 组图像主观评分两两比较差异无统计学意义 (P 均 > 0.05); 其他权重图像差异均有统计学意义

($P<0.05$), 见表 2。2 名医师图像质量主观评分一致性较好($Kappa=0.67$)。

3 讨论

儿童处于生长发育期, 细胞代谢旺盛, 分裂速度快, 对射线的敏感性是成人的 10 多倍, 故减少儿童辐射损伤受备关注。改变扫描方案, 引用 ATCM 技术等

方法可以减少辐射损伤。研究^[8-9]表明 ASIR 算法的应用可在降低辐射剂量的同时获得可满足诊断的图像质量, 目前已广泛应用于胸部。研究^[6-7]显示, 儿童胸部 CT 应用 70% ASIR 权重获得较好的图像质量。但既往关于不同分辨率算法结合 ASIR 权重方面的研究鲜见。如果应用高分辨率算法与 ASIR 算法相结合, 既

表 1 不同分辨率后处理方法所得图像在不同 ASIR 权重下的主观噪声评分($\bar{x} \pm s$)

方法	图像 ASIR 权重					
	0	10%	20%	30%	40%	50%
Soft	3.00±0.00	3.07±0.26	3.18±0.39	3.29±0.46	3.57±0.50	3.79±0.42
Stand	3.00±0.00	3.04±0.19	3.11±0.31	3.21±0.42	3.43±0.50	3.68±0.48
Lung	3.00±0.00	3.00±0.00	3.07±0.26	3.14±0.36	3.29±0.46	3.57±0.50
Chest	2.18±0.39	2.25±0.44	2.36±0.49	2.43±0.50	2.61±0.50	2.68±0.48

方法	图像 ASIR 权重				
	60%	70%	80%	90%	100%
Soft	4.07±0.47	4.25±0.44	4.54±0.51	4.89±0.31	4.96±0.19
Stand	3.79±0.50	4.07±0.26	4.25±0.44	4.43±0.50	4.64±0.49
Lung	3.64±0.49	3.82±0.39	4.04±0.19	4.25±0.44	4.64±0.49
Chest	2.75±0.44	2.82±0.39	2.93±0.26	3.00±0.00	3.00±0.00

表 2 不同分辨率后处理方法所得图像在不同的 ASIR 权重下的肺脏结构主观评分($\bar{x} \pm s$)

方法	图像 ASIR 权重					
	0	10%	20%	30%	40%	50%
Soft	2.32±0.48	2.39±0.50	2.36±0.49	2.50±0.51	2.68±0.48	2.68±0.48
Stand	3.04±0.19	3.11±0.31	3.25±0.44	3.39±0.50	3.82±0.39	3.93±0.26
Lung	3.14±0.36	3.29±0.46	3.57±0.50	3.89±0.31	4.07±0.26	4.11±0.31
Chest	2.64±0.49	3.00±0.00	3.18±0.39	3.54±0.51	3.61±0.50	3.64±0.49

方法	图像 ASIR 权重				
	60%	70%	80%	90%	100%
Soft	2.79±0.42	2.82±0.39	2.75±0.44	2.75±0.44	2.71±0.46
Stand	4.04±0.19	4.07±0.26	4.00±0.00	4.00±0.00	3.89±0.31
Lung	4.39±0.50	4.32±0.48	4.14±0.36	4.04±0.19	4.04±0.33
Chest	3.86±0.65	3.71±0.53	3.57±0.50	3.57±0.50	3.04±0.19

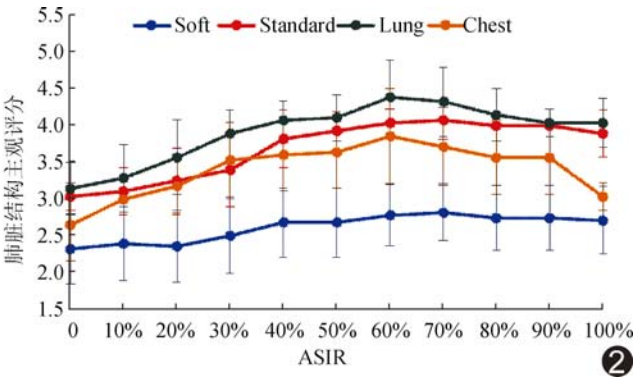
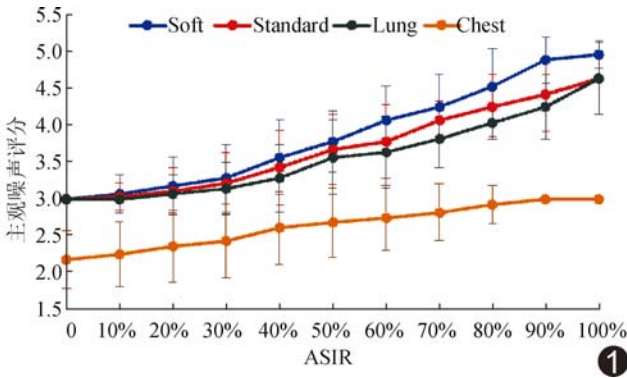


图 1 不同分辨率模式后处理方法所得图像在不同的 ASIR 权重下主观噪声评分的变化趋势

图 2 不同分辨率模式后处理方法所得图像在不同 ASIR 权重下主观肺脏结构主观评分的变化趋势

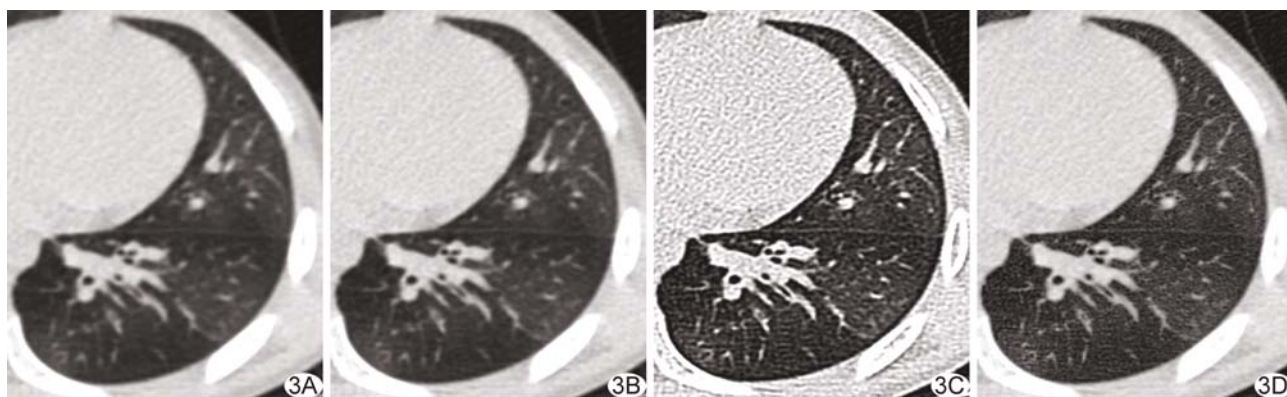


图3 患儿男,2岁,以反复咳嗽就诊,扫描原始数据重建为0.625 mm图像 A. Soft 算法; B. Standard 算法; C. Lung 算法; D. Chest 算法。C、D 图像组织边缘显示最清晰, A 图像噪声最低,但组织结构边缘较模糊, D 图像结构边缘最清晰,但图像主观噪声明显增高

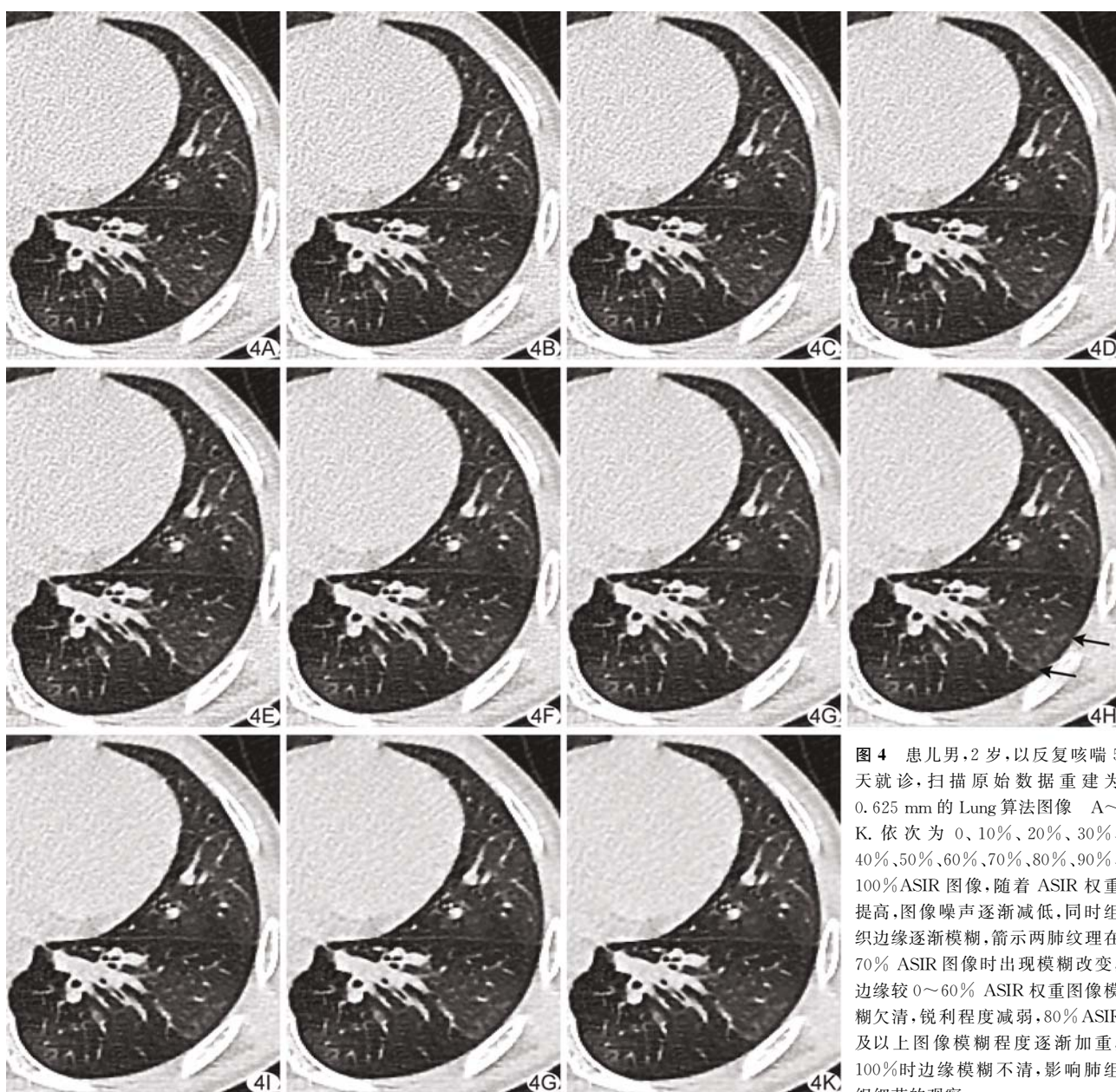


图4 患儿男,2岁,以反复咳嗽5天就诊,扫描原始数据重建为0.625 mm的Lung算法图像 A~K. 依次为0%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100% ASIR 图像,随着ASIR权重提高,图像噪声逐渐减低,同时组织边缘逐渐模糊,箭头两肺纹理在70% ASIR 图像时出现模糊改变,边缘较0~60% ASIR 权重图像模糊欠清,锐利程度减弱,80% ASIR 及以上图像模糊程度逐渐加重,100%时边缘模糊不清,影响肺组织细节的观察

可以提高空间分辨率,又可通过 ASIR 减低噪声的能力进一步改善图像质量,但 ASIR 的边缘模糊效应可能会影响高分辨率算法的效果^[10]。所以本研究旨在探讨 4 种常用分辨率算法结合 ASIR 对图像质量的影响。由于 ASIR 降噪能力已得到充分验证,并且高分辨算法对图像显示产生一定影响,通常会导致 CT 值的变化,故本研究未涉及客观图像质量评价,仅评价图像的主观质量。同时,本研究主要观察肺脏结构及病变的图像质量,且全部为平扫图像,所以未设置对于纵隔显示情况的评价体系。

不同的重建算法有各自的特点,Soft 算法空间分辨率最低,同时图像也最细腻,Standard、Lung、Chest 算法空间分辨率依次升高,在图像噪声依次升高的同时,对细节的显示能力逐渐提升,尤其对于对比度较高的组织,如肺脏及骨骼,可更好地显示其边缘、形态,Lung 和 Chest 算法属于高分辨算法(图 3)。本研究结果显示,虽然 Soft 算法图像最柔和,噪声最低,但组织边缘结构较为模糊,Lung、Chest 算法可清晰地显示组织边缘结构,但 Chest 算法噪声较高,综合考虑 Lung 算法为显示肺脏的最佳高分辨算法。

虽然图像主观噪声随着 ASIR 权重的升高持续改善。但在肺脏结构的主观评分方面,所有分辨率的重建算法均随着 ASIR 权重增高而出现边缘模糊加重的现象,本研究可接受的极限值出现在 60%~70%(图 4),之后随着权重的继续提高,虽然图像噪声改善,但过度的边缘模糊效应导致图像细小结构的失真,所以出现分值的下降。Standard 与 Lung 算法评分比较接近,但是较低的空间分辨率和 ASIR 的边缘模糊效应,并不适宜显示肺内细小病变,尤其是空间分辨率最低的 Soft 算法叠加上边缘模糊效应后影响更严重。所以 Lung 算法结合 60% 的 ASIR 图像可以获得较高的空间分辨率,同时保证了图像质量,并降低了图像噪声。

本研究的局限性:①病例数较少,包括的病种不全面,尤其未包括弥漫肺间质病变的病例,需继续扩大病例数以观察研究结果是否一致;②随着生长发育儿童肺脏的含气量不断变化,肺野透光度及肺脏病变的显示也会变化,虽然本研究已经针对不同年龄采用了不同的 NI 值,但受限于样本量,并未讨论组间的变化特点,今后需进一步明确;③Lung 高分辨算法及 ASIR 技术为 GE 设备独有,未对其他厂家的技术进行研究与对比;④迭代重建算法已经改进,基于模型的迭代重建算法等更高级的技术已经开始应用^[11-13],这些迭代重建算法结合高分辨率算法的图像质量也需进一步

研究。

总之,应用 Lung 高分辨算法结合 60% ASIR 可在低剂量儿童 CT 扫描方案中获得较高质量的肺部图像。

[参考文献]

- [1] Coakley FV, Gould R, Yeh BM, et al. CT radiation dose: What can you do right now in your practice? *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 196(3):619-625.
- [2] 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.
- [3] 徐姝,侯阳,郭启勇.应用迭代重建技术的低剂量增强 CT 评估肝脏肿瘤的可行性. *中国医学影像技术*, 2011, 27(8):1633-1636.
- [4] 吴瑶媛,王万勤,刘斌,等. FBP、ASiR 和 VEO 三种重建算法对常规剂量胸部 CT 图像质量的影响. *中国医学影像技术*, 2012, 28(3):575-578.
- [5] 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.
- [6] 孙记航,彭芸,张祺丰,等. 儿童低剂量胸部 CT 中 ASIR 权重最佳阈值的初步研究. *临床放射学杂志*, 2014, 33(4):64-68.
- [7] 孙记航,彭芸,张祺丰,等. 自适应迭代重建技术对儿童低剂量胸部 CT 图像质量的优化. *医学影像学杂志*, 2013, 23(12):1936-1940.
- [8] 贾楠,王新江,惠萍,等. 适应性统计迭代重建技术降低胸部扫描剂量的初步临床研究. *中国医学影像学杂志*, 2010, 18(6):551-553.
- [9] 杨尚文,何健,杨献峰,等. ASiR 算法结合自动管电流调制技术在胸部低剂量 CT 中的应用研究. *医学影像学杂志*, 2012, 22(1):58-61.
- [10] Sato J, Akahane M, Inano S, et al. Effect of radiation dose and adaptive statistical iterative reconstruction on image quality of pulmonary computed tomography. *Jpn J Radiol*, 2012, 30(2):146-153.
- [11] Sun JH, Zhang QF, Hu D, et al. Improving pulmonary vessel image quality with a full model-based iterative reconstruction algorithm in 80 kVp low-dose chest CT for pediatric patients aged 0—6 years. *Acta radiol*, 2015, 56(6):761-768.
- [12] Sun J, Peng Y, Duan X, et al. Image quality in children with low-radiation chest CT using adaptive statistical iterative reconstruction and model-based iterative reconstruction. *PLoS One*, 2014, 9(5):e96045.
- [13] 孙记航,于彤,段晓岷,等. 基于模型的迭代重建算法与自适应迭代重建算法对肺炎患儿胸部低剂量 CT 图像质量的优化. *中国医学影像技术*, 2014, 30(9):1414-1418.