

噪声指数结合多模型自适应迭代重建在学龄前儿童上腹部 CT 扫描中的应用价值

魏伟安, 杨吉钱, 熊胜, 易婷, 金科

【摘要】 目的:探讨噪声指数结合多模型自适应迭代重建(ASIR-V)在学龄前儿童上腹部低剂量 CT 扫描中的应用价值,探寻适合学龄前儿童上腹部 CT 的最佳扫描方案。**方法:**连续选取在我院行上腹部 CT 检查的学龄前儿童 50 例,按噪声指数(NI)值不同随机分为 5 组(NI 值分别设为 9、11、13、15、17),每组 10 例。CT 检查采用 GE Revolution CT 机,管电压 100 kV,管电流 50~350 mA,所有图像均行 ASIR-V(权重分别为 0%、20%、40%、60%、80%、100%,共 6 个亚组)。采用单因素方差分析比较不同 NI 和 ASIR-V 权重条件下图像 CT 容积剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)、标准差(SD)、信噪比(SNR)、对比信噪比(CNR)等客观指标,采用 Kruskal-Wallis H 检验比较图像主观评分。**结果:**随着 NI 值的增大,图像的 SD、CNR、CTDIvol、DLP 等逐渐降低,NI=15、17 组的滤波反投影(FBP)重建图像评分低于 3 分;随着 ASIR-V 权重的增大,图像的 SD、CNR 等值逐渐升高,权重为 40%和 60%的图像显示效果最佳。NI=15 且 ASIR-V 为 40%、60%图像的主观评分大于 3 分,CTDIvol 和 DLP 较 NI=9 组分别下降了约 55.5%和 54.4%。**结论:**学龄前儿童上腹部 CT 平扫采用低管电压 100 kV 结合 NI=15 及 ASIR-V40%的扫描方案,可以在明显降低辐射剂量的同时获取不影响临床诊断的图像。

【关键词】 儿童; 噪声指数; 多模型迭代重建; 体层摄影术, X 线计算机; 辐射剂量; 图像质量

【中图分类号】 R572; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)09-1137-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.09.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Exploration of noise index combined with ASIR-V in CT scanning of pre-school children's upper abdomen

WEI Wei-an, YANG Ji-qian, XIONG Sheng, et al. Department of Radiology, Hunan Children's Hospital, Changsha 410007, China

【Abstract】 Objective: To explore the application of noise index combined with adaptive statistical iterative reconstruction Veo (ASIR-V) in low-dose CT scanning of upper abdomen of pre-school children. **Methods:** Fifty children with upper abdominal CT scanning in our hospital were enrolled and randomly divided into 5 groups according to NI=9~17 (interval 2) with 10 children in each group. The tube voltage was 100kV and the tube current was 50~350 mA. All images were reconstructed with ASIR-V (0%~100%, interval 20%). The CTDIvol, DLP, SD, SNR, CNR and other indicators were analyzed and compared using one way ANOVA under the different conditions of NI and ASIR-V. And the subjective scores were compared by Kruskal-Wallis H test. **Results:** With the increase of NI level, the SD, CNR, CTDIvol and DLP decreased gradually, and the scores of FBP reconstructed images in NI=15 and 17 groups were lower than 3 points. With the increase of ASIR-V, the SD and CNR values gradually increased, and the images with ASIR-V 40%~60% were the best. The image of NI=15 with 40%~60% of ASIR-V scores were higher than 3 points, in comparison with NI=9 group, CTDIvol and DLP decreased by 55.5% and 54.4%, respectively. **Conclusions:** The low tube voltage 100kV combined with NI=15 and ASIR-V 40% used in upper abdomen CT scan of preschool children can significantly reduce the radiation dose and obtain the images without affecting the clinical diagnosis.

【Key words】 Child; Noise index; Adaptive statistical iterative reconstruction veo; Tomography, X-ray computer; Radiation dose; Image Quality

作者单位: 410007 长沙, 湖南省儿童医院放射科

作者简介: 魏伟安(1989-), 男, 福建人, 硕士, 主管技师, 主要从事儿童低剂量 CT 扫描工作。

通讯作者: 金科, E-mail: jinke001@sina.com

CT 因具有快速、精确、经济等诸多优势,成为临床不可或缺的一种重要检查手段,然而对于射线异常敏感的低龄儿童,如何做到最大程度降低辐射剂量的同时又不影响图像质量,这一难题一直困扰着放射科医生。多模型迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction Veo, ASIR-V)作为一种新型自适应性迭代重建技术,在低剂量扫描下保证了图像质量并且明显降低图像噪声,在体模及成人 CT 检查中已得到证实^[1-2],然而针对儿童的研究相对较少。因此,本研究旨在探讨 100 kV 低管电压条件下,不同的噪声指数(noise index, NI)结合 ASIR-V 重建技术在学龄前儿童上腹 CT 检查中的应用价值,并探寻不影响图像质量的最佳扫描方案。

材料与方法

1. 病例资料

连续搜集 2020 年 1~3 月因腹腔肿物、外伤等在我院行上腹部 CT 平扫或增强检查的患儿 61 例,年龄范围 2~8 岁。病例排除标准:①图像运动伪影较大;②肝内有占位性病变或明显影响数据测量。最终将符合要求的 50 例患儿纳入本研究,其中男 30 例,女 20 例,平均年龄(5.75 ± 1.46)岁,根据 NI 值不同(NI 值分别设为 9、11、13、15、17)将 50 例患儿分为 5 组,每组 10 例。

2. 检查方法

CT 检查采用 GE Revolution CT 机,扫描范围为膈顶至双肾下缘,选择 Pediatric body 模式,NI 值分别设为 9、11、13、15、17。采用低管电压 100 kV,自动管电流 50~350 mA,转速 0.5 s/r,螺距 0.992:1,准直器宽度 80 mm,扫描层厚和层间距均为 2.5 mm,采用滤波反投影(filtered back-projection, FBP)模式重建。所得原始图像均行 ASIR-V(0%~100%,间隔 20%,共 6 个亚组),图像重组层厚和层间距均为 2.5 mm。

3. 图像分析

客观评价:将图像传至 AW4.7 后处理工作站上进行分析,所有数据测量均由同 1 位放射科技师完成。选取显示肝门的 3 个连续层面测量肝实质和左侧竖脊肌的 CT 值和标准差(SD)值,ROI 面积为(60.24 ± 3.81) mm² 并采用 compare 功能,选取 3 组数据的平均值作为最终测量数据。分别计算各组图像的信噪比(signal to noise ratio, SNR)和对比信噪比(contrast noise ratio, CNR),计算公式:肝脏 SNR = 肝脏 CT 值/图像 SD 值,肝脏 CNR = (肝脏 CT 值 - 肌肉 CT 值)/图像 SD 值,以左侧竖脊肌 SD 值作为图像背景噪声;同时计算各组图像质量系数(figure of merit, FOM), $FOM = \text{肝脏 CNR}^2 / ED^{[3]}$ 。

主观评分:图像(W200, L40)由 2 位儿科影像医师(8 年以上工作经验)采用 5 分法进行评分:1 分,图像质量极差,噪声大,空间分辨率低,解剖结构显示不全且无法作出诊断;2 分,图像质量较差,噪声较多,空间分辨率较低,解剖结构部分模糊,仍不能满足诊断要求;3 分,图像质量一般,噪声中等,解剖结构可以分辨,尚能作出诊断;4 分,图像质量良好,噪声较少,空间分辨率较高,解剖结构细节显示较好;5 分,图像质量极好,无噪声,空间分辨率高,解剖结构显示清晰。

记录每例患儿的 CT 容积剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)和剂量长度乘积(dose length product, DLP),并计算有效辐射剂量(effective dose, ED), $ED = DLP \times k$,其中 k 为组织权重因子,k 值取 0.020 mSv/mGy · cm。

4. 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2 位医师测量结果的一致性分析采用 Kappa 检验,Kappa 系数 k 值 > 0.75 为一致性良好,0.40~0.75 为一致性一般,0.40 为一致性差;取 2 位医师主观评分的平均值作为最终数据。各指标参数的组间比较采用单因素方差分析,组内两两比较采用 LSD 法。采用 Kruskal-Wallis H 检验比较图像的主观评分,组内两两比较采用 Mann-Whitney U 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 患儿一般资料

各组患儿的年龄和身体质量指数(body mass index, BMI)差异均无统计学意义($P > 0.05$),各组的 CTDIvol、DLP、ED 值随着 NI 值的降低而逐渐减低,差异均有统计学意义($P < 0.05$,表 1)。

2. 图像质量评估

客观评价:不同噪声指数 NI 组相比,随着 NI 值的增高,肝实质和肌肉的 CT 值差异无统计学意义($P > 0.05$),而随着图像背景噪声逐渐增高,肝实质的 SNR 和 CNR 值呈大体减低趋势,差异有统计学意义($P < 0.05$),NI 为 9 的图像质量系数最优,其余四组 FOM 差异无统计学意义($P > 0.05$,表 1);同一 NI 值内的各亚组相比,随着迭代 ASIR-V 权重的升高,图像背景噪声逐渐减低,肝实质的 SNR 和 CNR 值逐渐升高,差异均具有统计学意义($P < 0.05$,表 2)。

主观评分:2 位放射科医师各主观评分的一致性良好,kappa 系数 k 值为 0.768。随着噪声指数 NI 的增高,图像主观评分逐渐降低。同一 NI 组内,在 ASIR-V 为 0~40% 时,主观评分随着迭代权重的增高呈略微升高的趋势且在 ASIR-V 为 40% 时达到最高,

表 1 不同 NI 图像的各项指标和辐射剂量结果比较

指标	NI=9	NI=11	NI=13	NI=15	NI=17	F 值	P 值
年龄(岁)	5.79±1.64	5.88±1.57	5.83±1.49	5.75±1.57	5.51±1.30	0.088	0.986
BMI(kg/m ²)	14.76±1.90	15.02±1.67	14.71±0.82	15.39±7.90	14.47±1.19	0.506	0.732
CTDIvol(mGy)	5.05±0.58	3.74±0.72	2.91±0.42	2.24±0.21	1.50±0.12	85.543	<0.001
DLP(mGy/cm)	97.81±14.94	75.91±17.25	60.44±11.26	44.55±4.32	28.99±3.32	52.965	<0.001
ED(mSv)	1.95±0.29	1.51±0.34	1.20±0.22	0.89±0.08	0.57±0.06	52.965	<0.001
图像噪声	10.26±1.05	12.60±0.76	14.24±0.58	16.09±1.19	19.18±1.36	109.463	<0.001
FOM	31.08±19.64	15.36±9.16	8.87±9.29	17.81±18.46	15.76±12.27	3.198	<0.05

而 NI 为 17 组的主观评分则在 ASIR-V 为 60%时达到最高。在 ASIR-V 为 40%~100%时,主观评分随着迭代权重的增高而呈逐渐降低趋势。各组 ASIR-V 为 40%的图像主观评分均优于 ASIR-V 为 0%(FBP)的图像,差异有统计学意义($P<0.05$),ASIR-V 为 40%与 60%两组之间的图像主观评分差异无统计学意义($P>0.05$,图 1、2)。NI 为 11 和 13 组的 ASIR-V100%图像、NI 为 15 组的 ASIR-V0%、20%、80%和 100%图像、NI 为 17 组的 ASIR-V0 100%图像的主观评分低于 3 分(表 2)。

讨 论

生长发育阶段的儿童对辐射损伤尤为敏感,如何降低辐射剂量,从而达到“合理可实现的最低水平”成为关注的热点。常规降低管电压、管电流等扫描方案,虽然能明显降低辐射剂量,但传统重建技术 FBP 中的高噪声将会导致图像伴有条纹伪影并明显降低对比度。近年来,自适应性迭代重建(iterative reconstruc-

tion,IR)的降噪能力得以证实,并逐步替代 FBP。最近,多模型迭代重建技术(ASIR-V)在迭代重建的基础上增加了物理模型,摒弃了复杂的光学模型,图像重建时间大幅缩短,同时又提高了降噪能力^[4],因此能在更低的辐射剂量条件下获取同等质量的 CT 图像,具备了更高的应用潜力^[5-7]。

目前,降低管电压和管电流仍然是降低辐射剂量的最有效手段。肺部因由大量含气的组织构成,具有天然的对比度,因而能在超低压下进行检查^[8]。而腹部拥有大量实质脏器,管电压的减低将会导致射线的穿透能力下降,从而严重影响图像质量。当检查对象个体较小时,光子穿透所需的能量较少,较低的管电压可提供足够的能量穿透,从而可以在较低的辐射剂量下保持图像质量^[9]。Sun 等^[10]通过对患儿的随访 CT 增强资料进行对比研究,认为 80 kV 管电压在体重小于 28 kg 患儿的增强扫描中可以得到较好的图像质量,而大于 28 kg 则选择 100~120 kV。本研究仅

表 2 不同 NI 结合 ASIR-V 的图像质量结果比较

组别/指标	ASIR-V 权重						F/Z 值	P 值
	0%	20%	40%	60%	80%	100%		
NI=9								
SNR _肝	7.23±0.64	8.48±0.95	10.47±1.15	13.32±1.56	17.53±2.52	24.79±4.80	76.168	<0.001
CNR _肝	1.43±0.49	1.72±0.67	2.12±0.82	2.83±1.07	3.55±1.32	5.45±2.22	14.455	<0.001
图像噪声	10.26±1.05	8.80±1.02	7.11±0.77	5.60±0.68	4.23±0.63	3.08±0.65	111.812	<0.001
主观评分	3.95±0.36	3.85±0.33	4.70±0.48	4.45±0.36	3.90±0.21	3.15±0.33	40.746	<0.001
NI=11								
SNR _肝	5.62±0.36	6.63±0.40	8.13±0.50	10.48±0.83	13.88±0.96	19.34±1.49	366.980	<0.001
CNR _肝	0.90±0.37	1.11±0.44	1.46±0.67	1.74±0.69	2.30±0.88	3.15±1.17	12.281	<0.001
图像噪声	12.60±0.76	10.65±0.65	8.68±0.53	6.75±0.36	5.08±0.34	3.66±0.33	423.646	<0.001
主观评分	3.45±0.43	3.55±0.36	4.35±0.24	4.00±0.23	3.50±0.33	3.00±0.33	38.126	<0.001
NI=13								
SNR _肝	4.80±0.31	5.53±0.27	7.03±0.66	8.97±1.18	11.88±0.99	16.90±2.19	161.264	<0.001
CNR _肝	0.59±0.36	0.67±0.36	0.86±0.46	1.11±0.57	1.51±0.80	2.14±1.09	7.911	<0.001
图像噪声	14.24±0.58	12.33±0.91	9.73±0.76	7.69±0.86	5.77±0.39	4.09±0.47	314.832	<0.001
主观评分	2.95±0.28	3.30±0.34	3.85±0.24	3.50±0.23	3.05±0.28	2.55±0.36	40.955	<0.001
NI=15								
SNR _肝	4.48±0.77	5.08±0.73	6.26±0.90	7.72±1.19	10.09±1.69	13.81±2.61	57.275	<0.001
CNR _肝	0.82±0.47	0.91±0.47	1.09±0.55	1.33±0.65	1.77±0.91	2.43±1.30	6.143	<0.001
图像噪声	16.09±1.19	14.03±0.71	11.36±0.52	9.24±0.61	7.07±0.49	5.21±0.66	316.864	<0.001
主观评分	2.40±0.45	2.65±0.47	3.45±0.43	3.20±0.42	2.70±0.42	2.15±0.33	32.508	<0.001
NI=17								
SNR _肝	3.80±0.39	4.58±0.52	5.48±0.62	6.98±0.91	9.43±1.51	13.74±3.00	64.214	<0.001
CNR _肝	0.72±0.34	0.91±0.41	1.06±0.51	1.33±0.63	1.82±0.91	2.69±1.48	7.994	<0.001
图像噪声	19.18±1.36	15.91±1.04	13.27±0.88	10.45±0.83	7.76±0.86	5.44±1.05	253.945	<0.001
主观评分	1.70±0.34	1.90±0.45	2.50±0.47	2.70±0.42	2.35±0.41	1.90±0.45	27.495	<0.001

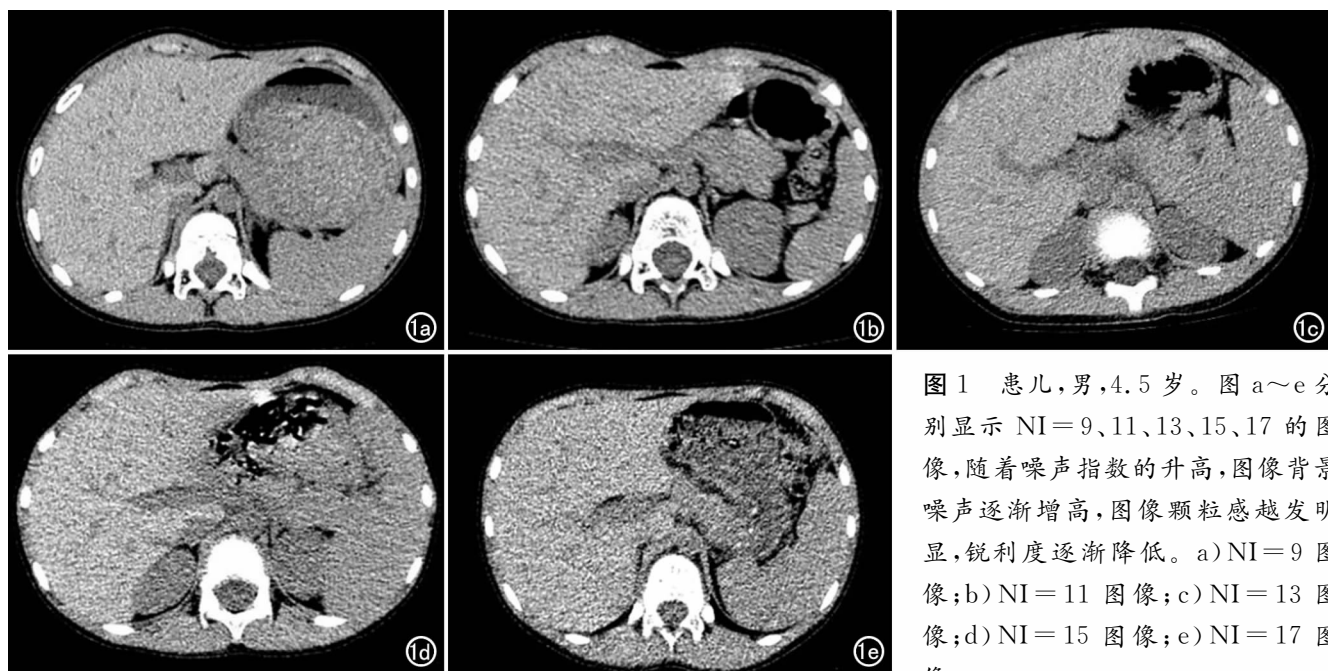


图 1 患儿,男,4.5 岁。图 a~e 分别显示 NI=9、11、13、15、17 的图像,随着噪声指数的升高,图像背景噪声逐渐增高,图像颗粒感越发明显,锐利度逐渐降低。a) NI=9 图像;b) NI=11 图像;c) NI=13 图像;d) NI=15 图像;e) NI=17 图像。

针对学龄前儿童的上腹部 CT 平扫,因此选择 100 kV,采用 Z 轴自动管电流调节技术,将初始的噪声指数(NI)设为 9,这是我科以往经 FBP 重建的图像噪声设置条件。以 2 为单位逐渐递增 NI 值,并采用 ASIR-V 进行图像后重建,重建间隔为 20%。多项体模研究显示,通过设置高 NI 值联合 ASIR-V 后重建可在优化图像的同时降低辐射剂量,但超过一定的 NI 值后图像质量则无法满足临床诊断要求^[1,11]。对于 NI 指

数大于 13 的患儿,笔者选取了检查项目为腹部 CT 增强的平扫作为研究序列,增强扫描采用能谱模式,并利用虚拟平扫结合平扫图像用于临床诊断,避免了因图像质量下降而导致重复扫描的情况发生。

随着 NI 值的增高,图像背景噪声逐渐增高,客观指标和主观评分逐渐降低,虽然随着 ASIR-V 权重增高,各项客观指标均逐渐改善且明显优于 FBP 模式,但当达到一定权重时,主观评分开始下降,当权重大于

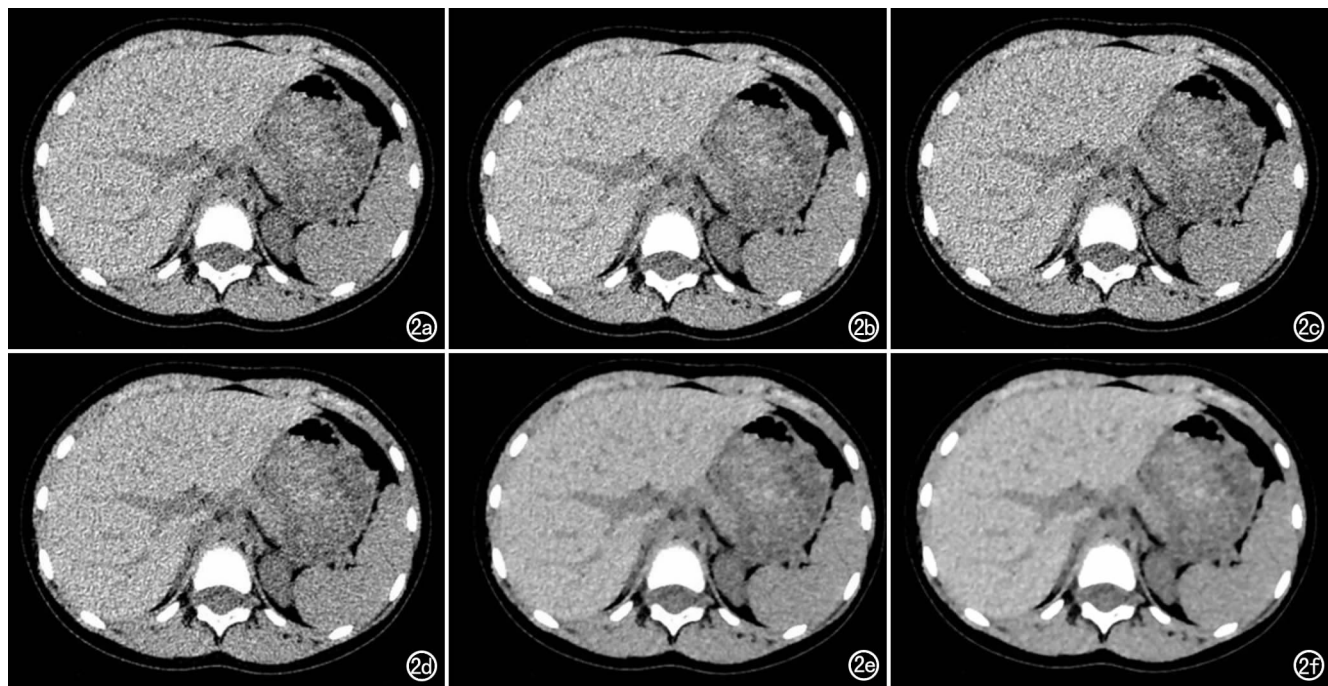


图 2 患儿,男,5 岁,NI=15 肝门层面 CT 图像,图 a~f 分别表示 ASIR-V 0~100%(间隔 20%)图像,随着权重的升高,图像背景噪声降低,权重 40%~60% 图像显示效果最佳,权重 >80% 肝实质出现“蜡质”纹理并图像逐渐失真。a) ASIR-V 为 0 图像;b) ASIR-V 为 20% 图像;c) ASIR-V 为 40% 图像;d) ASIR-V 为 60% 图像;e) ASIR-V 为 80% 图像;f) ASIR-V 为 100% 图像。

80%时图像会出现模糊,当达到 100%权重时图像失真导致主观评分反而低于 FBP 模式图像。图 1 分别显示 NI=9、11、13、15、17 时患儿的肝门层面 FBP 图像,随着 NI 指数升高,管电流降低导致图像趋于模糊,当 NI=15 时图像的评分低于 3 分。图 2 显示 NI=15 时 5 岁儿童肝门层面的 ASIR-V0—100%(间隔 20%)图像,随着迭代权重的升高,肝内血管与肝实质的界限越发模糊,40%和 60%权重的图像显示效果最佳,这与以往的研究结论相似^[2,12]。Singh 等^[13]研究发现随着管电流降低,需提高迭代权重以获取满足临床诊断要求的图像,本研究中 NI=17 时,管电流可低至 60 mA,因此迭代权重达到 60%时图像显示最优,但仍无法满足临床诊断要求,与王新莲等^[11]的体模低剂量 CT 扫描研究结论相同。因此,笔者认为 NI=15 结合 ASIR-V40%的图像可作为学龄前儿童的最佳上腹部低剂量扫描方案,相对于 NI=9 时 CTDIvol 和 DLP 分别下降了约 55.5%和 54.4%。

本研究不足之处:①样本量偏小,年龄跨度较小;②ASIR-V 后重建间隔较大,需进一步细分;③未按不同的年龄段进行划分,以研究不同年龄段的 CT 最佳低剂量扫描方案;④需进一步开展 CT 增强扫描研究,探索不同增强期相的最佳低剂量扫描方案。

综上所述,学龄前儿童上腹部 100kV 结合 NI=15 与 ASIR-V40%的 CT 扫描方案,可在明显降低辐射剂量的同时得到临床可接受的图像。

参考文献:

- [1] 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):878-881.
- [2] 杨炎炎,黄予欣,黄福灵,等.不同 ASIR-V 重建级别重建低剂量上腹部 CT 图像的研究[J].临床放射学杂志,2019,38(1):179-184.
- [3] Kim SY,Cho JY,Lee J,et al. Low-tube-voltage CT urography using low-concentration-iodine contrast media and iterative recon-

- struction;a multi-institutional randomized controlled trial for comparison with conventional CT urography[J]. Korean J Radiol, 2018,19(6):1119-1129.
- [4] Marco PD,Origgi D. New adaptive statistical iterative reconstruction ASiR-V: Assessment of noise performance in comparison to ASiR[J]. J Appl Clin Med Phys,2018,19(2):275-286.
- [5] Ren ZL,Zhang XR,Hu ZJ,et al. Reducing radiation dose and improving image quality in CT portal venography using 80kV and adaptive statistical iterative reconstruction-V in slender patients [J]. Acad Radiol,2020,27(2):233-243.
- [6] Gatti M, Marchisio F, Fronda M, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction-V versus adaptive statistical iterative reconstruction: impact on dose reduction and image quality in body computed tomography[J]. J Comput Assist Tomogr, 2018,42(2):191-196.
- [7] Chen LH, Jin C, Li JY, et al. Image quality comparison of two adaptive statistical iterative reconstruction (ASIR, ASIR-V) algorithms and filtered back projection in routine liver CT[J]. Br J Radiol, 2018,91(1088):20170655.
- [8] 丁婕,何维恒,杨利莉,等. ASiR-V 联合 70kV 个性化轴扫在小儿肺炎 CT 扫描中的可行性探究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2018, 29(7):475-478.
- [9] Nagayama Y, Oda S, Nakaura T, et al. Radiation dose reduction at pediatric CT: use of low tube voltage and iterative reconstruction [J]. Radiographics, 2018,38(5):1421-1440.
- [10] Sun JH, Zhang QF, Zhou ZF, et al. Optimal tube voltage for abdominal enhanced CT in children: a self-controlled study[J]. Acta Radiol, 2020,61(1):101-109.
- [11] 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.
- [12] 李成龙,张欣贤. 不同权重自适应迭代算法重组对儿童腹部 CT 平扫图像质量的影响[J]. 影像诊断与介入放射学, 2018,27(1):23-26.
- [13] Singh S, Kalra MK, Hsieh J, et al. Abdominal CT: comparison of adaptive statistical iterative and filtered back projection reconstruction techniques[J]. Radiology, 2010,257(2):373-383.

(收稿日期:2020-07-10 修回日期:2020-08-31)