

论 著

儿童胸部低剂量CT扫描中最佳KARL迭代重建等级的研究*

延安大学附属医院影像科

(陕西 延安 716000)

赵凡惠 王雷 李建龙

郭佑民 黄晓旗

【摘要】目的 比较不同KARL迭代重建等级(1~9级)对儿童胸部低剂量CT图像噪声和质量的影响,寻找不同年龄段儿童图像重建的最佳迭代等级。**方法** 回顾性分析90例儿童胸部低剂量CT图像,按年龄分为三组,分别为0~12个月组,1~2岁组,3~6岁组。将原始数据进行肺窗和纵隔窗的KARL迭代重建(1~9级)和滤波反投影法重建,共得到20组重建图像。分别测量各组图像肺动脉分支层面升主动脉的CT值及噪声值,计算信噪比。同时由两名医师对图像质量进行主观评分,≥3分为满足诊断需求的图像。通过单因素方差分析,均数间差别多重比较采用LSD检验,比较各年龄组不同KARL迭代等级的图像质量差异。**结果** 滤波反投影法重建图像和不同等级KARL迭代图像的噪声值、信噪比差异有统计学意义,CT值差异无统计学意义。随着KARL迭代等级的增高,信噪比增高,噪声减低。0~12个月组最佳迭代等级肺窗为5,纵隔窗为4。1~2岁组和3~6岁组图像最佳迭代等级肺窗为6,纵隔窗为5。**结论** 在儿童胸部低剂量CT扫描中,KARL迭代重建技术可降低图像噪声,提高图像质量,迭代等级为4~6时图像质量最好。

【关键词】 儿童;胸部;低剂量CT;X线计算机;迭代重建技术

【中图分类号】 R814; R734

【文献标识码】 A

【基金项目】 延安市科技攻关计划项目(编号:2018KS-11)

延安市科技惠民计划

(编号:2017-HM-07-01)

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2020.11.018

通讯作者:黄晓旗

Study of Best KARL Iterative Reconstruction Level in Children's Chest Low Dose CT Scanning*

ZHAO Fan-hui, WANG lei, LI Jian-long, et al., Department of Image, The Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an 716000, Shaanxi Province, China

[Abstract] Objective To compare the quality and noise of children's chest low-dose CT images which reconstructed by different KARL levels (1 to 9), to find the best iterative reconstruction level of children in different age groups. **Methods** A total of 90 children's chest images scanned by low dose CT were analyzed retrospectively, and were divided into three groups according to age, set to 0 to 12 months old, 1 to 2 years old, 3 to 6 years old. The original data of lung and mediastinal window reconstructed by different KARL iterative reconstruction levels (1 to 9) and filter back projection, received 20 groups of reconstruction image, measured ascending aorta's CT and noise value in pulmonary artery branch level, calculated the signal-to-noise ratio. The subjective images were assessed by two radiologists, images of 3 points or higher could meet the demand of diagnostic. Through the single factor analysis of variance, mean difference between multiple comparison of LSD test to compare the differences between different KARL iteration levels and image quality in different age groups. **Results** Image noise and signal-to-noise ratio are different between different iterative reconstruction levels, there was no difference between CT values. As KARL iteration level higher, signal-to-noise ratio is higher but image noise is lower. To 0 to 12 months group, the best iterative reconstruction level for lung window image is 5 and for mediastinal window is 4, to 1 to 2 and 3 to 6 years old group, the best iterative reconstruction level for lung window image is 6 and for mediastinal window is 5. **Conclusion** In children's chest low-dose CT scan, the application of KARL iterative reconstruction technique can reduce the noise and improve the quality of image significantly, the best iterative reconstruction level is 4 to 6.

[Key words] Children; Chest; Low-dose CT; X-rays Computed; Iterative Reconstruction Technique

CT扫描越来越多地用于检查儿童胸部疾病。儿童器官尚未发育完善,细胞分裂更新快,对电离辐射的致癌作用更敏感,尤其是眼晶状体、甲状腺、性腺、血液等组织器官,受到射线照射后发生癌变的概率大为提高^[1]。如何在获得良好的CT图像质量的同时尽可能减少患儿所受剂量已成为当前的研究重点。降低扫描剂量会导致滤波反投影(filtered back projection, FBP)法重建的图像噪声增大,不利于检出细微病变^[2]。KARL迭代重建技术是联影公司开发的新型图像重建技术,可在降低辐射剂量的同时获得高质量图像^[3],但KARL迭代等级尚无统一标准。本研究采用联影uCT-760 128层螺旋CT机对儿童胸部进行低剂量扫描,使用不同等级(KARL1~9)迭代技术与FBP法进行图像重建,比较各组图像的质量和噪声,找到儿童胸部低剂量CT扫描中最佳KARL迭代等级。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2018年2月至11月间在我科进行胸部CT检查的患儿,根据年龄分为3组,分别为0~12个月组,1~2岁组,3~6岁组。每组30例,共90例;男52例,女38例,年龄5周~6岁(中位年龄

表1 0~12个月组FBP法与不同等级KARL迭代重建法图像质量

重建方法	肺窗			纵隔窗		
	SD	SNR	主观评分	SD	SNR	主观评分
FBP	45.48 ± 3.47	1.09 ± 0.29	2.66 ± 0.77	10.68 ± 2.25	3.71 ± 1.26	2.83 ± 0.76
KARL1	41.10 ± 4.45	1.20 ± 0.40	2.79 ± 0.76	10.326 ± 2.10	3.81 ± 1.25	3.13 ± 0.66
KARL2	40.43 ± 3.24	1.35 ± 0.41	3.53 ± 0.63	9.66 ± 2.00	4.10 ± 1.32	3.87 ± 0.74
KARL3	39.18 ± 4.53	1.38 ± 0.56	3.96 ± 0.84	9.06 ± 2.18	4.45 ± 1.64	3.97 ± 0.57
KARL4	36.18 ± 4.76	1.43 ± 0.64	4.11 ± 0.36	8.78 ± 1.89	4.51 ± 1.55	4.25 ± 0.50
KARL5	33.23 ± 5.32	1.47 ± 0.88	4.18 ± 0.33	8.20 ± 1.78	4.84 ± 1.65	4.16 ± 0.59
KARL6	29.15 ± 3.54	1.79 ± 0.35	3.97 ± 0.89	7.67 ± 1.73	5.19 ± 1.76	3.95 ± 0.54
KARL7	27.98 ± 3.68	1.86 ± 0.84	3.76 ± 0.68	7.12 ± 1.75	5.61 ± 1.92	3.54 ± 0.89
KARL8	25.58 ± 4.78	1.99 ± 0.65	2.73 ± 0.64	6.70 ± 1.47	5.96 ± 1.98	2.86 ± 0.69
KARL9	23.73 ± 3.26	2.15 ± 0.57	2.56 ± 0.49	6.12 ± 1.48	6.47 ± 2.17	2.73 ± 0.56
F	3.79	2.98	32.46	12.77	5.83	29.67
P	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

表2 1~2岁组FBP法与不同等级KARL迭代重建法图像质量

重建等级	肺窗			纵隔窗		
	SD	SNR	主观评分	SD	SNR	主观评分
FBP	39.78 ± 4.87	1.36 ± 0.98	2.74 ± 0.98	10.15 ± 3.47	4.15 ± 1.13	2.99 ± 0.55
KARL1	36.57 ± 3.76	1.45 ± 0.56	3.06 ± 0.46	9.61 ± 2.74	4.32 ± 1.14	3.13 ± 0.84
KARL2	34.53 ± 4.33	1.55 ± 0.74	3.37 ± 0.99	9.24 ± 2.76	4.53 ± 1.32	3.54 ± 0.67
KARL3	33.92 ± 3.87	1.73 ± 0.49	3.69 ± 0.76	8.91 ± 3.09	4.80 ± 1.44	3.91 ± 0.86
KARL4	28.49 ± 4.85	1.82 ± 0.44	4.02 ± 0.56	9.13 ± 3.88	4.82 ± 1.63	4.32 ± 0.39
KARL5	27.31 ± 4.31	1.88 ± 0.85	4.33 ± 0.84	8.35 ± 3.19	5.11 ± 1.59	4.55 ± 0.97
KARL6	26.55 ± 3.66	1.97 ± 0.47	4.52 ± 0.38	7.84 ± 2.81	5.46 ± 1.66	4.38 ± 0.84
KARL7	24.79 ± 3.97	2.28 ± 0.94	4.26 ± 0.44	7.62 ± 2.83	5.83 ± 1.89	3.98 ± 0.46
KARL8	24.34 ± 3.42	2.37 ± 0.32	3.09 ± 0.60	7.46 ± 4.22	6.17 ± 1.96	3.15 ± 0.57
KARL9	22.98 ± 4.76	2.48 ± 0.54	2.69 ± 0.31	6.61 ± 2.56	6.96 ± 2.21	2.98 ± 0.88
F	6.74	7.11	26.69	2.27	4.93	30.45
P	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

表3 3~6岁组FBP法与不同等级KARL迭代重建法图像质量

重建等级	肺窗			纵隔窗		
	SD	SNR	主观评分	SD	SNR	主观评分
FBP	34.46 ± 4.06	1.54 ± 0.33	3.11 ± 0.40	9.73 ± 1.83	4.23 ± 1.13	3.19 ± 0.49
KARL1	33.01 ± 4.11	1.62 ± 0.30	3.19 ± 0.73	9.59 ± 2.15	4.34 ± 1.22	3.28 ± 0.50
KARL2	31.01 ± 4.60	1.70 ± 0.32	3.54 ± 0.58	8.93 ± 1.86	4.67 ± 1.27	3.65 ± 0.47
KARL3	29.35 ± 4.50	1.83 ± 0.41	3.95 ± 0.44	8.56 ± 1.73	4.85 ± 1.42	3.95 ± 0.48
KARL4	27.65 ± 4.24	1.92 ± 0.38	4.32 ± 0.50	8.22 ± 2.04	5.13 ± 1.61	4.46 ± 0.50
KARL5	27.23 ± 3.95	2.06 ± 0.42	4.54 ± 0.59	7.59 ± 1.76	5.49 ± 1.64	4.78 ± 0.46
KARL6	26.41 ± 3.89	2.15 ± 0.39	4.69 ± 0.84	7.52 ± 2.13	5.68 ± 1.79	4.59 ± 0.51
KARL7	25.14 ± 3.68	2.24 ± 0.43	4.25 ± 0.89	6.97 ± 1.85	6.12 ± 1.87	3.99 ± 0.49
KARL8	23.87 ± 3.67	2.40 ± 0.43	3.45 ± 0.62	6.64 ± 1.80	6.37 ± 2.20	3.75 ± 0.45
KARL9	21.71 ± 3.54	2.66 ± 0.55	3.02 ± 0.39	6.25 ± 1.73	6.87 ± 2.35	3.03 ± 0.50
F	7.62	6.25	29.56	7.70	5.21	28.23
P	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05

表4 不同年龄组患者所受辐射剂量

年龄	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy)	ED (mSv)
<12个月	6.89 ± 0.53	125.45 ± 17.18	3.98 ± 0.67
1~2岁	8.07 ± 0.67	171.78 ± 19.23	4.58 ± 0.52
3~6岁	9.25 ± 0.46	221.17 ± 17.07	4.89 ± 0.31

3.2岁)。排除体质过胖或过瘦、肺部严重病变、双臂不能上举、患有心脏病及进行过胸部手术的患儿。

1.2 仪器与方法 采用联影uCT-760 128层螺旋CT机, 患儿仰卧位, 双臂上举并抱头, 扫描范围自胸廓入口至肋膈角。对于婴幼儿和不能配合的患儿, 镇静后进行扫描, 扫描时自由呼吸。扫描参数: 管电压100kV, uDose智能动态管电流, 准直40mm, 螺距1.0875, 0.5s/r, 层厚1mm, 重建间隔1mm, FOV35mm, 矩阵512×512。将原始数据经KARL迭代(1~9级)和FBP法进行肺窗和纵隔窗重建, 共得到20组图像。

1.3 图像质量评价

1.3.1 图像客观分析: 选取肺动脉分叉水平层面, 在升主动脉处设置感兴趣区(region of interest, ROI), 0~12个月组、1~2岁组、3~6岁组ROI的大小分别设定为0.2cm²、0.3cm²、0.5cm², 选取ROI的层面、大小、位置保持一致。测量升主动脉CT值及标准差(SD), SD代表客观噪声, 并计算信噪比(signal to noise, SNR), SNR=升主动脉CT值/SD。

1.3.2 图像主观评分: 由两位副主任医师对每组图像进行评分。肺窗主要观察肺野、肺纹理和细小支气管壁; 纵隔窗主要观察心脏、纵隔组织和胸壁。5分: 优秀, 结构显示满意, 对比良好; 4分: 良好, 结构显示尚清晰, 对比度尚可; 3分: 中等, 可显示组织结构, 但边缘模糊; 2分: 不良, 结构显示一般, 有伪

影; 1分: 差, 结构显示不清, 伪影明显。≥3分的图像可满足诊断需求。

1.4 统计学分析 应用SPSS20.0统计分析软件, 计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示。对各组图像的升主动脉CT值、SD、SNR及图像质量主观评分进行Levene方差齐性检验, $P > 0.05$ 表明方差齐。再进行单因素方差分析, 均数间差别多重比较采用LSD检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

1.5 辐射剂量评价 以剂量长度乘积(dose length product, DLP)、容积CT剂量指数(volumetric CT dose index, CTDIvol)和有效剂量(effective dose, ED)作为评价辐射剂量的指标。DLP、CTDIvol可准确反映组织吸收的X线剂量, CT机可直接计算并显示其值。ED=DLP*k, 其中k为转换因子, 0~12个月组k值取0.039; 1~3岁组k值取0.026; 3~6岁组k值取0.018^[4]。

2 结果

2.1 客观评价结果 各年龄组1~9级KARL迭代与FBP法重建图像SD、SNR的差异有统计学意义($P < 0.05$) (表1-3), CT值差异无统计学意义($P = 1$)。KARL迭代组图像SD均低于FBP法组, SNR均高于FBP法组。随着KARL迭代等级的升高, SD减低, SNR升高。

2.2 主观评分结果 各年龄组1~9级KARL迭代与FBP法重建图像的主观评分差异有统计学意义($P < 0.05$) (表1-3)。纵隔窗图像评分高于肺窗, 高年龄组图像评

分高于低年龄组。0~12个月组肺窗图像迭代等级为5时评分最高, 纵隔窗为4; 1~2岁组和3~6岁组的肺窗图像迭代等级为6时评分最高、纵隔窗为5。高于最佳迭代等级的重建图像评分下降, 各组图像评分最低均为KARL9级(图1, 图2)。同一年龄组内两相邻迭代等级的图像评分、FBP组与KARL9组的图像评分差异均无统计学意义($P < 0.05$)。

2.3 辐射剂量评价 CTDIvol、DLP和ED均随年龄的增大逐渐上升(表4)。

3 讨论

降低管电压、管电流等方法已广泛应用于临床, 但易造成线束硬化伪影并增加噪声, 使图像质量下降^[5]。相关设备公司研发出迭代重建(iterative reconstruction, IR)技术, 它通过对原始数据进行迭代重建, 可提升低剂量扫描条件下的图像质量^[6-8]。IR技术应用于肺部^[9]和肺动脉^[10]的低剂量CT扫描可显著改善图像质量。联影uCT-760 128层螺旋CT使用uDose智能电流调节技术和KARL迭代重建技术, 且成像速度快, 呼吸运动伪影少, 可在大幅降低剂量的同时确保高清成像。KARL迭代共分为9个等级, 较其他IR分级更多, 对图像质量的调整更精确。较高等级的迭代使图像客观噪声降低、信噪比升高, 但同时可使图像边缘平滑、甚至模糊, 导致解剖结构难以分辨, 尤其对于发育差异大的儿童患者, 找到客观噪声最低且满足主观诊断需求的重建等级已成为目前临床工作中的迫切需求。已有学者研究了其他IR技术重建权重的最佳阈值^[4], 但国内外鲜有KARL迭代应用于儿童胸部CT的研

究。

图像客观评价：迭代等级为5、6和9时，肺窗图像噪声较FBP组分别下降了23.2%、30.8%和43.4%，纵隔窗图像分别下降了20.5%、25.3%和36.8%；肺窗图像SNR较FBP组分别上升了37.5%、42.5%和73.0%，纵隔窗图像分别上升了33.1%、36.4%和70.1%。小年龄组设定的剂量等级较低，管电流相对较低，且婴幼儿解剖结构小，纵隔组织的层次不明显，因此图像客观噪声值高于大年龄组。同一等级的迭代重建对肺窗图像降噪的程度优于纵隔窗，肺窗SNR的提升更为明显，可提高肺内病变的诊断率。图像主观评分：FBP组图像颗粒粗大，但边缘清晰锐利。随着迭代等级的升高，图像逐渐平滑，但过高等级可使图像质地纹理过于细腻，边缘模糊，不利于观察^[11]。0~12个月组患儿组织器官尚处于发育初期，解剖细节难以辨认，纵隔窗图像的组织分界不明显，迭代等级高于5时图像主观评分下降；其余两组患儿随年龄增大脂肪层逐渐增厚，组织分界较清晰，迭代等级高于6时图像主观评分下降。9级图像组织分界十分模糊，“蜡像感”明显，不满足诊断需求。最佳迭代等级应选择图像客观噪声较低且组织分界清晰的等级。因此，应降低0~12个月组的迭代等级以保证组织边缘清晰，其余两组则选用稍高等级。

辐射剂量方面：IR不仅可以提升图像质量，其更重要的意义在于大幅减少辐射剂量。既往研究^[12]将IR应用于婴儿、2岁、5岁和10岁儿童的胸部CT扫描，辐射剂量分别降至10%、58%、63%和74%。甚至有学者提出IR联合辐射剂量小于0.5mSv的极低剂量胸部CT扫描方案^[13]。彭薇等^[3]将KARL5

级迭代应用于成人胸部CT扫描，低剂量组(120kV, 83mAs)的ED较标准剂量(120kV, 150mAs)组减少了51.1%；本研究将该技术应用于儿童胸部CT扫描，0~12个月组、1~2岁组和3~6岁组的ED较标准剂量分别减少了77.22%、61.86%和50.89%。所以KARL迭代技术应用于儿童胸部CT扫描可大幅减低辐射剂量。

本研究未按照体重进行更细致的分类，仅初步研究了最佳KARL迭代等级，下一步研究团队将针对不同年龄和不同体重的儿童做更细致的调整剂量等级研究。

综上所述，KARL迭代技术应用于儿童胸部低剂量CT扫描可降低图像噪声、提高SNR，迭代等级为4~6时图像质量最佳。

参考文献

- [1] Sun JH, Zhang QF, Hu D, et al. Improving pulmonary vessel image quality with a full model-based iterative reconstruction algorithm in 80kV low-dose chest CT for pediatric patients aged 0-6 years [J]. *Acta radiol*, 2015, 56(6): 761-768.
- [2] Mitsumori LM, Shuman WP, Busey JM, et al. Adaptive statistical iterative reconstruction versus filtered back projection in the same patient: 64 channel liver CT image quality and patient radiation dose [J]. *Eur Radiol*, 2012, 22(1): 138-143.
- [3] 彭薇, 李琛玮, 杨利霞, 等. Karl迭代技术降低16层CT胸部扫描辐射剂量的水模和临床研究 [J]. *放射学实践*, 2015, 30(4): 328-331.
- [4] 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): 604-608.
- [5] Kubo T, Ohno Y, Kauczor HU, et al. Radiation dose reduction in chest CT—review of available options [J]. *Eur J Radiol*, 2014, 83(10): 1953-1961.

- [6] Brady SL, Moore BM, Yee BS, et al. Pediatric CT: implementation of ASIR for substantial radiation dose reduction while maintaining pre-ASIR image noise [J]. *Radiology*, 2014, 270(1): 223-231.
- [7] MoscarIELlo A, Takx RA, Schoepf UJ, et al. Coronary CT angiography: image quality, diagnostic accuracy, and potential for radiation dose reduction using a novel iterative image reconstruction technique—comparison with traditional filtered back projection [J]. *Eur Radiol*, 2011, 21(10): 2130-2138.
- [8] Wang R, Schoepf UJ, Wu R, et al. Image quality and radiation dose of low dose coronary CT angiography in obese patients: sinogram affirmed iterative reconstruction versus filtered back projection [J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(11): 3141-3145.
- [9] 孙记航, 王帆宁, 段晓岷, 等. 自适应迭代重建技术结合高分辨率算法提高儿童低剂量胸部CT肺脏病变显示的能力 [J]. *中国医学影像技术*, 2017, 33(5): 773-777.
- [10] 王素雅, 万娅敏, 刘杰, 等. 超低剂量下不同迭代重建技术在肺动脉成像中的优化 [J]. *中国医学影像技术*, 2016, 32(5): 790-794.
- [11] 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 [J]. *AJR*, 2010, 195(5): 1095-1099.
- [12] Greffier J, Pereira F, Macri F, et al. CT dose reduction using Automatic Exposure Control and iterative reconstruction: A chest paediatric phantoms study [J]. *Phys Med*, 2016, 32(4): 582-589.
- [13] McLaughlin PD, Ouellette HA, Louis LJ, et al. The emergence of ultra-low-dose computed tomography and the impending obsolescence of the plain radiograph [J]. *Can Assoc Radiol J*, 2013, 64(4): 314-318.

(本文图片见封二)

(本文编辑: 谢婷婷)

【收稿日期】2018-12-23

儿童胸部低剂量CT扫描中最佳KARL迭代重建等级的研究*

(图片正文见第 55 页)



图1 不同KARL迭代等级的肺窗图像质量: 女, 5岁, 咳嗽1周。随着KARL迭代等级的增高, 图像噪声减低, 肺野及支气管壁显示更清晰, KARL6级以上的图像边缘逐渐模糊, KARL9级图像细小支气管壁显示不清。**图2** 不同KARL迭代等级纵隔窗图像质量: 女, 5岁, 咳嗽1周。随着KARL迭代等级的增高, 图像噪声减低, 解剖结构清晰, KARL5级以上图像边缘逐渐模糊, KARL9图像组织结构分界不清。