

Optimized combination of pre- and post-adaptive statistical iterative reconstruction-V in low dose abdominal CT scanning

LI Ying¹, LYU Peijie¹, GUO Ying², ZHANG Liying¹, WANG Huixia¹, GAO Jianbo^{1*}

(1. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China; 2. GE China CT Research Center, Guangzhou 510623, China)

[Abstract] **Objective** To observe the impact of adaptive statistical iterative reconstruction-V (ASiR-V) on image quality and radiation dose in abdominal CT imaging, and to optimize combination of pre- and post-ASiR-V percentage. **Methods** Totally 160 patients underwent plain and contrast-enhanced abdominal CT were randomly divided into study group or control group (each $n=80$). In study group, plain images were reconstructed with 20% pre-ASiR-V combined with 20%, 40%, 60% and 80% post-ASiR-V, the arterial phase images were reconstructed with 40% pre-ASiR-V combined with 40%, 60% and 80% post-ASiR-V, while the venous phase images with 60% pre-ASiR-V combined with 60% and 80% post-ASiR-V, and the delayed phase images with 80% pre-ASiR-V combined 80% post-ASiR-V. In control group, images were reconstructed with filtered back projection (FBP) and 0 pre-ASiR-V combined post-ASiR-V (20% in plain, 40% in arterial phase, 60% in venous phase and 80% in delayed phase imaging). The objective parameters (image noise [SD] and CNR) and image quality scores were analyzed and compared. **Results** CT dose index, dose length product and effective dose of each phase in study group were lower than those in control group (all $P<0.001$). In study group, with the increasing of post-ASiR-V percentage, SD values gradually decreased ($P<0.01$), and CNR gradually increased or did not change. With the increasing of post-ASiR-V (20%—60%), image quality scores increased, and image quality of 80% post-ASiR-V was low. In study group, image quality of 20% pre-ASiR-V combined 40% or 60% post-ASiR-V was similar to 20% post-ASiR-V image in control group in plain, and that of 40% pre-ASiR-V combined 60% post-ASiR-V was similar to 40% post-ASiR-V image in control group in arterial phase (all $P>0.05$), while image quality scores of other combinations of pre- and post-ASiR-V percentages were lower than those in control group. **Conclusion** ASiR-V can improve abdominal CT image quality, and 40% pre-ASiR-V combined 60% post-ASiR-V is recommended.

[Key words] Iterative reconstruction; Tomography, X-ray computed; Abdomen; Radiation dosage

DOI:10.13929/j.1003-3289.201708094

优化前后置全模型迭代重建技术低剂量腹部 CT 扫描

李莹¹, 吕培杰¹, 郭英², 张丽英¹, 王会霞¹, 高剑波^{1*}

(1. 郑州大学第一附属医院放射科, 河南 郑州 450052; 2. GE 中国 CT 影像研究中心, 广东 广州 510623)

[摘要] **目的** 观察全模型实时迭代重建技术(ASiR-V)对腹部 CT 图像质量和辐射剂量的影响, 优化 ASiR-V 前置联合后置百分比方案。 **方法** 将 160 例接受上腹部 CT 扫描的患者随机分为试验组或对照组, 各 80 例。试验组在平扫、动脉期、门静脉期和延迟期分别采用前置 20% ASiR-V 扫描联合后置 20%、40%、60%、80% ASiR-V 重建, 前置 40% 联合后置 40%、60%、80%, 前置 60% 联合后置 60%、80% 及前置 80% 联合后置 80% 扫描及重建方法; 对照组采用前置 0% ASiR-V 扫描, 并分别采用 FBP 和后置 20%、40%、60% 和 80% ASiR-V 两种方式进行重建。对所有图像进行客观评价

[第一作者] 李莹(1991—), 女, 湖北武汉人, 在读硕士。研究方向: 胃肠道肿瘤诊断及 CT 新技术的临床应用。E-mail: ly1554381753@163.com

[通信作者] 高剑波, 郑州大学第一附属医院放射科, 450052。E-mail: cjr.gaojianbo@vip.163.com

[收稿日期] 2017-08-14 **[修回日期]** 2018-01-30

[噪声(SD)和 CNR]和主观评分,并进行比较。**结果** 试验组各期相 CT 剂量指数、剂量长度乘积及有效剂量均低于对照组($P < 0.001$)。相同期相内,随后置迭代比例增加,SD 值逐渐减小($P < 0.01$),而 CNR 值无变化或增加;试验组图像随后置 ASiR-V(20%~60%)增高,图像主观评分增加,ASiR-V 为 80%时图像质量较差。试验组平扫前置 20%联合后置 40%、60%图像与对照组平扫 ASiR-V 重建图像、试验组动脉期前置 40%联合后置 60%图像与对照组动脉期 ASiR-V 重建图像质量评分差异无统计学意义($P > 0.05$),其余试验组图像质量评分均小于对照组 ASiR-V 图像。**结论** 一定比例 ASiR-V 重建可提高腹部 CT 图像质量,推荐使用 ASiR-V 前置 40%联合后置 60%扫描方案。

[关键词] 迭代重建;体层摄影术,X 线计算机;腹部;辐射剂量

[中图分类号] R814.42 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2018)04-0605-05

CT 所带来的辐射剂量已成为业界关注热点^[1]。全模型实时迭代重建技术(adaptive statistical iterative reconstruction Veo, ASiR-V)既可通过前置迭代调节管电流直接降低辐射剂量^[2-3],又可通过后置迭代降低图像噪声而间接降低辐射剂量^[4-5]。本研究观察腹部 CT 扫描中 ASiR-V 对图像质量和辐射剂量的影响,探讨前、后置 ASiR-V 的最优组合方式。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2016 年 12 月—2017 年 5 月本院 160 例接受上腹部 CT 扫描的患者,随机分为试验组或对照组,各 80 例。试验组男 43 例,女 37 例,年龄 31~78 岁,平均(56.9 ± 13.0)岁,体质指数(body mass index, BMI)为(23.91 ± 4.08) kg/m^2 ;对照组男 48 例,女 32 例,年龄 30~80 岁,平均(57.5 ± 12.3)岁, BMI 为(22.87 ± 3.59) kg/m^2 。本研究通过本院伦理委员会批准,所有患者均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 GE Revolution CT 扫描仪,管电压 120 kVp,自动管电流(200~500 mA),探测器宽度 80 mm,转速 0.5 s/r,螺距 0.992:1,扫描层厚、层间距均为 5 mm。对比剂(450 mgI/kg 体质量)注射总量根据患者体质量计算获得,注射流率根据对比剂总量设定;分别于对比剂注射 30 s、60 s 及 90 s 后行动脉期、门静脉期和延迟期扫描^[6]。

图像重建层厚、层间距均为 1.25 mm。试验组 CT 平扫图像采用 ASiR-V 前置 20%分别联合后置 20%、40%、60%和 80%进行重建(SP20、SP40、SP60 和 SP80 图像);动脉期图像采用前置 40%分别联合后置 40%、60%和 80%进行重建(SA40、SA60、SA80 图像);门静脉期图像采用前置 60%分别联合后置 60%和 80%进行重建(SV60、SV80 图像);延迟期图像采用前置 80%联合后置 80%进行重建(SD80 图像)。对照组 CT 平扫及增强各期图像前置 ASiR-V 均设置为 0,采用滤波反投影法(filtered back projection, FBP)重建后,获得平扫、动脉期、门静脉期和延迟期 FBP 图像(CPF、CAF、CVF 和 CDF 图像);采用 ASiR-V 技术

进行图像重建,平扫、动脉期、门静脉期和延迟期的重建百分比分别为 20%、40%、60%和 80%,获得各期 ASiR-V 图像(CP20、CA40、CV60 和 CD80 图像)。

1.3 图像分析

1.3.1 客观评价 采用 GE AW 4.6 工作站,将 ROI 分别置于各期图像肝脏、胰腺、背部肌肉及动脉期腹主动脉、静脉期门静脉及延迟期下腔静脉,测量 CT 值;将 ROI 放置于腹壁皮下脂肪,其像素平均值标准差(standard deviation, SD)为图像噪声值;ROI 大小、形状和位置尽量保持一致,并避开伪影及病变区域。在连续 3 个相邻层面中测量数据,每层测量 3 次,取平均值。计算各脏器及血管的 CNR, $\text{CNR} = (\text{脏器或血管 CT 值} - \text{背部肌肉 CT 值}) / \text{SD}$ 。记录各组图像 CT 剂量指数(CT dose index, CTDI)和剂量长度乘积(dose length product, DLP),并计算有效剂量(effective dose, ED)。

1.3.2 主观评价 由 2 名分别具有 3 年和 5 年工作经验的放射科医师以 5 分法(表 1)^[6]对图像质量进行评分,意见不一致时经协商达成统一。

表 1 腹部 CT 图像质量评分标准

评分	解剖细节	图像噪声	整体质量	影响诊断
1 分	差	极明显	差	是
2 分	模糊	明显	较差	是
3 分	可	较大,可接受	中等	否
4 分	尚清晰	稍增加	良好	否
5 分	清晰	不明显	优异	否

1.4 统计学分析 采用 SPSS 17.0 统计分析软件。符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组间比较采用独立样本 t 检验;多组间比较采用单因素方差分析,两两比较采用 SNK 检验。计数资料用频数表示,组间比较采用 χ^2 检验。各组间图像质量评分比较采用 Mann-Whitney U 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 辐射剂量 平扫及增强各期,试验组 CTDI、DLP

表 2 试验组与对照组辐射剂量比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	CTDI(mGy)			
	平扫	动脉期	门静脉期	延迟期
试验组	10.31±3.10	8.03±1.92	6.85±0.17	6.80±0.00
对照组	12.80±2.95	13.05±2.70	13.06±2.67	12.45±3.02
t 值	4.74	11.21	15.62	12.55
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

组别	DLP(mGy·cm)			
	平扫	动脉期	门静脉期	延迟期
试验组	290.14±126.67	224.91±90.67	191.45±32.52	190.50±32.46
对照组	388.45±156.44	395.03±152.78	395.46±151.99	366.59±146.83
t 值	3.68	6.73	8.87	7.92
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

组别	ED(mSv)			
	平扫	动脉期	门静脉期	延迟期
试验组	4.35±1.90	3.37±1.36	2.87±0.49	2.86±0.49
对照组	5.83±2.35	5.93±2.29	5.93±2.28	5.49±2.20
t 值	3.68	6.73	8.87	7.92
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

及 ED 均小于对照组 (P 均 <0.001 , 表 2), 其平扫、动脉期、门静脉期和延迟期 ED 较对照组分别下降 25.39%、43.17%、51.60% 和 47.91%。试验组门静脉期 ED 与延迟期差异无统计学意义 ($P>0.05$); 随前置 ASiR-V 增加, ED 逐渐减低 (P 均 <0.05)。

2.2 客观评价 相同期相内, 随着后置 ASiR-V 比例增加, 试验组各脏器及血管 CNR 无变化或增大, SD 值逐渐减小, 两两比较差异均有统计学意义 (P 均 <0.01)。对照组中, CP20 与 CPF 图像各脏器及血管 CNR、CA40 与 CAF 肝脏 CNR 差异均无统计学意义, 余 ASiR-V 组各脏器及血管 CNR 均高于、SD 值均低于相同扫描期相 FBP 组图像 (P 均 <0.01)。见

表 3~6。

试验组与对照组 ASiR-V 图像比较: 在相同期相内, 除 SP20、SP40、SA80 和 SV80 部分 CNR 与对照组 ASiR-V 图像相应部位 CNR 差异无统计学意义 (P 均 >0.05) 外, 试验组 SP60、SP80、SA80 及 SV80 图像各组织及器官 CNR 均高于对照组 ASiR-V 图像 (P 均 <0.05)。相同期相内, 除 SA60 与 CA40 SD 比较差异无统计学意义 ($t=1.64, P=0.10$) 外, 其余试验组与对照组相应图像 SD 值差异均有统计学意义 (P 均 <0.05); SP20、SA40、SV60、SD80 图像 SD 值大于相应对照组图像, 其余试验组图像 SD 值均小于对照组 ASiR-V 图像。见

表 3~6。

2.3 主观评价 对照组 ASiR-V 图像中, CP20、CA40、CV60 图像评分随后置 ASiR-V 百分率 (20%~60%) 增加而增加, 且均 >3 分, CD80 图像评分低于 3 分。相同期相内, 试验组图像中 SP40 与 SP60 评分差异无统计学意义, 其余随后置 ASiR-V (20%~60%) 增高, 图像主观评分增加, ASiR-V 为 80% 时图像质量较差, 其中 SD80 图像评分低于 3 分, 无法满足临床诊断需求。相同期相内, 除 SP40、SP60 与 CP20, SA60 与 CA40 图像评分差异无统计学意义 (P 均 >0.05) 外, 余试验组图像质量评分均小于对照组 ASiR-V 图像 (P 均 <0.05 , 图 1~3)。

表 3 试验组与对照组平扫图像 CNR 及 SD 值比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	肝脏 CNR	胰腺 CNR	腹主动脉 CNR	门静脉 CNR	下腔静脉 CNR	SD(HU)
试验组						
SP20	0.86±0.61	0.59±0.58	0.73±0.41	0.76±0.54	0.84±0.53	13.77±3.50*
SP40	1.08±0.75	0.74±0.67	0.90±0.49*	0.94±0.67	1.03±0.61*	11.00±2.44*
SP60	1.41±1.01*	0.96±0.88*	1.17±0.64*	1.21±0.84*	1.33±0.78*	8.55±2.18*
SP80	1.98±1.49*	1.33±1.22*	1.60±0.89*	1.65±1.13*	1.83±1.07*	6.33±1.99*
F 值	13.64	8.03	20.93	13.10	18.44	89.31
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01
对照组						
CPF	0.71±0.65	0.51±0.43	0.56±0.31	0.70±0.37	0.63±0.38	14.69±2.09*
CP20	0.84±0.82	0.57±0.53	0.65±0.40	0.75±0.49	0.71±0.48	12.35±1.79
t 值	-0.84	-0.54	-1.18	-0.62	-0.91	5.65
P 值	0.402	0.592	0.241	0.536	0.368	<0.001

注: *: 与对照组 CP20 比较, $P<0.05$

表 4 试验组与对照组动脉期图像 CNR 及 SD 值比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	肝脏 CNR	胰腺 CNR	腹主动脉 CNR	SD(HU)
试验组				
SA40	1.14 ± 0.72	3.01 ± 1.45 *	16.38 ± 5.91	13.47 ± 3.82 *
SA60	1.49 ± 0.96	3.89 ± 1.90	20.97 ± 6.50 *	10.16 ± 1.89
SA80	2.05 ± 1.33	5.36 ± 2.75 *	29.06 ± 9.85 *	7.45 ± 1.66 *
F 值	11.80	18.86	41.86	76.69
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
对照组				
CAF	1.12 ± 0.91	2.62 ± 1.14 *	12.44 ± 4.78 *	15.56 ± 2.61 *
CA40	1.56 ± 1.38	3.71 ± 1.81	18.01 ± 7.66	10.81 ± 2.16
t 值	-1.78	-3.45	-4.19	9.29
P 值	0.079	0.001	<0.001	<0.001

注: *: 与对照组 CA40 比较, $P < 0.05$ 表 5 试验组与对照组门静脉期图像 CNR 及 SD 值比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	肝脏 CNR	胰腺 CNR	门静脉 CNR	SD(HU)
试验组				
SV60	4.71 ± 1.59	2.80 ± 1.36 *	8.73 ± 2.37 *	10.84 ± 1.74 *
SV80	6.58 ± 2.28 *	3.87 ± 1.93	12.26 ± 3.64 *	7.89 ± 1.95 *
t 值	-5.17	-3.91	-6.25	8.47
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
对照组				
CVF	3.11 ± 1.27 *	2.05 ± 0.94 *	5.73 ± 1.82 *	15.95 ± 3.04 *
CV60	5.33 ± 2.27	3.55 ± 1.65	9.99 ± 3.72	8.68 ± 1.88
t 值	-5.82	-5.33	-7.02	13.52
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: *: 与对照组 CV60 比较, $P < 0.05$ 表 6 试验组与对照组延迟期图像 CNR 及 SD 值比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	肝脏 CNR	胰腺 CNR	下腔静脉 CNR	SD(HU)
试验组				
SD80	4.40 ± 1.67	2.32 ± 1.39	5.82 ± 1.89 *	8.06 ± 1.50 *
对照组				
CDF	2.02 ± 0.90 *	1.12 ± 0.72 *	2.85 ± 1.11 *	16.30 ± 3.07 *
CD80	4.69 ± 2.25	2.67 ± 1.65	6.81 ± 3.10	6.50 ± 1.81
t 值	-7.54	-5.88	-8.19	18.24
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

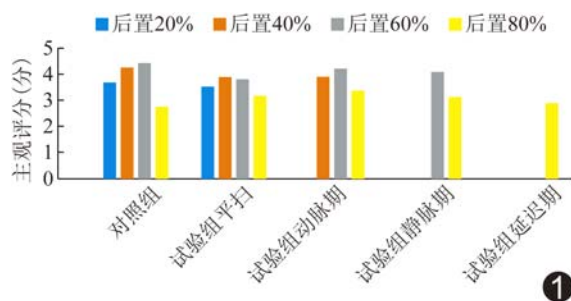
注: *: 与对照组 CD80 比较, $P < 0.05$ 

图 1 对照组 ASiR-V 组和试验组不同期相迭代百分比主观评分

3 讨论

FBP 是传统 CT 图像重建方式,因便捷等优点广泛应用于临床,但其图像噪声较大,辐射剂量相对较高^[7-8]。传统迭代重建算法,如目前常用的自适应统计迭代重建 (adaptive statistical iterative reconstruction, ASiR)^[9-10]仅能在图像重建时进行降噪处理,而无法在扫描时对图像质量和辐射剂量进行干预。而 ASiR-V 不仅可通过后置技术降低重建图像噪声、从而降低辐射剂量、提高图像质量,还可通过前置技术于扫描时调整管电流,进而降低扫描的辐射剂量。

本研究结果显示,与对照组前置 ASiR-V 0% 相比,试验组 (前置 ASiR-V 为 20%、40%、60% 和 80%) ED 降低 (P 均 < 0.001),且随前置 ASiR-V 在 20%~60% 间变化,图像 ED 逐渐减低。前置比例一定时,随后置 ASiR-V 比例增高,图像噪声逐渐减低,脏器及血管 CNR 呈增加趋势;后置 ASiR-V 在 20%~60% 间变化时,图像主观评分无明显改变或增加,而后置 ASiR-V 增加至 80% 时,图像主观评分下降,甚至出现蜡状伪影而影响诊断,与既往研究^[11-12]结果一致。研究^[13]发现,后置 ASiR-V 降低图像噪声的效果较 ASiR 更显著,但过高比例的

ASiR 及 ASiR-V 可影响图像的主观评分,产生水墨画感,可能与软组织或腹腔内病变噪声值过低、导致图像细微结构显示不清有关。目前 ASiR 40% 被作为常规参数^[14],而本研究显示后置 ASiR-V 60% 图像质量较好,推荐临床使用。

本研究试验组前置 20% 联合后置 40% 或 60% 图像与对照组后置 20% 图像、前置 40% 联合后置 60% 图像与对照组后置 40% 图像质量评分差异无统计学意义

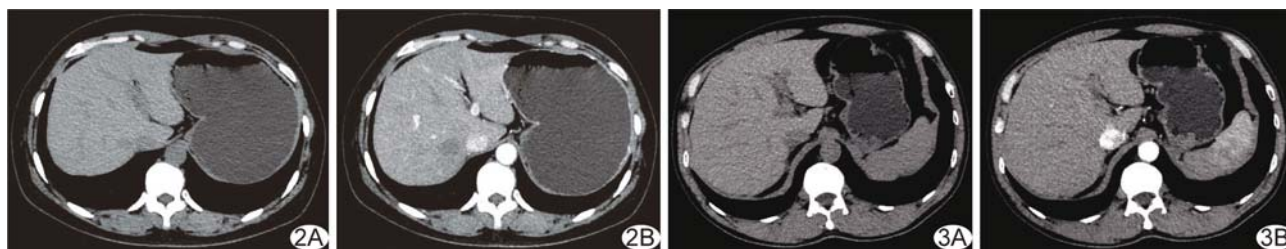


图 2 患者女, 53 岁, 对照组 CT 图像 A. CP20; B. CA40

图 3 患者男, 51 岁, 试验组 CT 图像 A. SP40; B. SA60

(P 均 > 0.05), 其余试验组图像质量评分均小于对照组 ASiR-V 图像 (P 均 < 0.05), 提示 ASiR-V 前置 40% 联合后置 60% 既能保证图像主观质量, 又可降低辐射剂量, 推荐临床应用。

本研究样本量较小, 且未评估对腹部疾病的检出率和诊断能力, 有待今后深入研究。

[参考文献]

- [1] Sodickson A, Baeyens PF, Andriole KP, et al. Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risks from CT of adults. *Radiology*, 2009, 251(1): 175-184.
- [2] 王倩, 赵心明, 宋俊峰, 等. 自动管电流调制技术对腹部 CT 图像质量及辐射剂量影响的体模研究. *中华放射学杂志*, 2013, 47(7): 648-653.
- [3] 颜利辉, 陈飞, 姚立, 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. *中国医学影像技术*, 2017, 33(3): 468-472.
- [4] 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. *医疗卫生装备*, 2016, 37(9): 103-105.
- [5] Lim K, Kwon H, Cho J, et al. Initial phantom study comparing image quality in computed tomography using adaptive statistical iterative reconstruction and new adaptive statistical iterative reconstruction V. *J Comput Assist Tomogr*, 2015, 39(3): 443-448.
- [6] 吕培杰, 柴亚如, 阎晓朋, 等. CT 能谱智能匹配技术联合自适应统计迭代重组技术对腹部低对比剂量扫描图像质量和辐射剂量的影响. *中华放射学杂志*, 2016, 50(2): 122-127.
- [7] Shuman WP, Chan KT, Busey JM, et al. Standard and reduced radiation dose liver CT images: Adaptive statistical iterative reconstruction versus model-based iterative reconstruction-comparison of findings and image quality. *Radiology*, 2014, 273(3): 793-800.
- [8] 王艳, 史大鹏, 朱绍成, 等. 比较以自适应统计迭代重建技术和滤过反投影重建的低剂量腹部 CT 的图像质量. *中国医学影像技术*, 2012, 28(10): 1902-1905.
- [9] Kim JH, Choo KS, Moon TY, et al. Comparison of the image qualities of filtered back-projection, adaptive statistical iterative reconstruction, and model-based iterative reconstruction for CT venography at 80 kVp. *Eur Radiol*, 2016, 26(7): 2055-2063.
- [10] Lee S, Kwon H, Cho J. The Detection of focal liver lesions using abdominal CT: A comparison of image quality between adaptive statistical iterative reconstruction V and adaptive statistical iterative reconstruction. *Acad Radiol*, 2016, 23(12): 1532-1538.
- [11] 于子川, 季倩, 黄黎香, 等. 活体肝移植婴幼儿腹部低剂量增强 CT 的最佳自适应统计迭代重组 V 迭代率研究. *中华放射学杂志*, 2017, 51(3): 192-196.
- [12] 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.
- [13] 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. *Br J Radiol*, 2015, 88(1054): 20150463.
- [14] 张祺丰, 彭芸, 段晓岷, 等. 应用自适应统计迭代重建技术降低儿童腹部多层螺旋 CT 辐射剂量. *中华放射学杂志*, 2013, 47(2): 112-115.