

· 超低剂量 CTA 研究专题 ·

70 kV 低剂量 CT 血管成像在儿童胡桃夹综合征中的应用

吴爽, 周长圣, 张龙江, 顾海峰, 祁丽, 黄伟

【摘要】 目的:评价 70 kV 管电压 CT 血管成像在诊断儿童胡桃夹综合征中的应用价值。**方法:**27 例临床疑似胡桃夹综合征的患者进行了新双源 CT 70 kV CT 动静脉混合期血管成像(70 kV 组),另 37 例患者行 120 kV 腹部增强双期扫描(120 kV 组)。测量患者左肾静脉、肠系膜上动脉、腹主动脉、腰大肌的 CT 值及皮下脂肪的标准差并计算图像的信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)。两名放射科医师对所有病例以四分法进行评分。计算有效剂量(ED)。比较两组间的图像质量及辐射剂量。**结果:**70 kV 组左肾静脉的 CT 值、SNR 及 CNR 明显高于 120 kV 组,差别有统计学意义($P < 0.01$),70 kV 组肠系膜上动脉、腹主动脉的 CT 值、SNR 及 CNR 与 120 kV 动脉期组比较差别无统计学意义($P > 0.05$),与 120 kV 静脉期组比较明显提高,差别有统计学意义($P < 0.001$)。70 kV 组图像质量主观评分高于 120 kV 组,与 120 kV 动脉期组比较差别无统计学意义($P = 0.137$),与 120 kV 静脉期组比较差别有统计学意义($P < 0.001$)。70 kV 组辐射剂量与 120 kV 组比较明显降低,有效辐射剂量降低了 93.7%,差异有统计学意义($P < 0.001$)。**结论:**临床疑似胡桃夹综合征的儿童 70 kV 动静脉混合期 CT 血管成像在保证图像质量满足诊断的同时大幅降低了辐射剂量。

【关键词】 血管造影术; 辐射剂量; 体层摄影术, X 线计算机; 儿科学

【中图分类号】 R814.42; R692 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2014)06-0606-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2014.06.007

The application of CT angiography at 70kV for diagnosis of nutcracker syndrome in children WU Shuang, ZHOU Chang-sheng, ZHANG Long-jiang, et al. Department of Medical Imaging, Jinling Hospital, Nanjing 210002, P. R. China

【Abstract】 Objective: To assess the diagnostic value of CT angiography at 70kV in children with nutcracker syndrome. **Methods:** 27 subjects with clinically suspected nutcracker syndrome underwent CT scanning at 70kV (70kV group) and the other 37 subjects underwent CT dual-phase abdominal enhancement scanning at 120kV (120kV group). The CT values of left renal vein, superior mesenteric artery, abdominal aorta, psoas muscle and the standard deviation of subcutaneous fat were measured and the signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of the images were also calculated for each patient. Two radiologists evaluated the image quality using a 4-point scale and calculated each effective dose (ED). The differences of radiation dose and image quality between two groups were compared. **Results:** The 70kV group showed higher CT values, SNR and CNR of left renal vein than the 120kV group ($P < 0.01$), and the CT values, SNR and CNR of superior mesenteric artery and abdominal aorta in 70kV group were significantly higher than those in 120kV venous phase group ($P < 0.001$), but there was no statistical difference between 70kV group and 120kV arterial phase group ($P > 0.05$). The subjective score of image quality in 70kV group was higher than 120kV group, but there was no significant difference between 70kV group and 120kV arterial phase group ($P = 0.137$), while there was significant difference between 70kV group and 120kV venous phase group ($P < 0.001$). Compared with 120KV group, the radiation dose was significantly lower in 70kV group, and the effective radiation dose was reduced by 93.7% ($P < 0.001$). **Conclusion:** 70kV mixed phase CT angiography can effectively reduce the radiation dose while maintaining image quality in children with clinically suspected nutcracker syndrome.

【Key words】 Angiography; Radiation dosage; Tomography, X-ray computed; Pediatrics

如何降低受检者不必要的辐射剂量日益受到国际上的关注^[1]。儿童有更快速的细胞分裂和更长的生存周期,检查过程中减少辐射剂量对儿童而言更为重要^[2,3],研究表明 X 线低管电压时可以获得更高的碘化对比度^[4],因此能够提高血管 CT 值,弥补低管电压所带来的较高的图像噪声^[5]。本研究是从辐射剂量、图像质量上评估 70 kV CT 血管成像在评价儿童胡桃

夹综合征的应用价值。

材料与方法

1. 临床资料

2013 年 6 月—2014 年 2 月采用第二代 128 排双源 CT 行 70 kV 腹部 CT 血管成像检查对临床疑似胡桃夹综合征的患者 27 例(70 kV 组)进行检查,其中男 12 例,女 15 例,年龄 3~13 岁,平均 7.96 岁,平均体重 29.1 kg,平均 BMI 指数为 16.23。其中镜下血尿 16 例,肉眼血尿 7 例,蛋白尿 11 例,皮肤紫癜 2 例,浮肿 2 例,皮疹 2 例,腰痛 1 例。7 例行肾穿刺活检,其

作者单位: 210002 南京,南京军区南京总医院医学影像科(吴爽、周长圣、张龙江、顾海峰、祁丽、黄伟); 221004 江苏,徐州医学院研究生学院(吴爽)

作者简介: 吴爽(1988—),女,江苏徐州人,硕士,主要从事儿童低辐射剂量 CT 血管成像工作。

通讯作者: 黄伟, E-mail: radiology@126.com

中 2 例为过敏性紫癜性肾炎,2 例系膜增生性肾小球肾炎,1 例局灶性节段肾小球硬化,2 例肾小球微小病变。另外回顾性搜集 2012 年 1 月—2014 年 2 月在第一代 64 排双源 CT 行 120 kV(120 kV 组)腹部增强检查的患者 37 例,男 28 例,女 9 例,年龄 6~12 岁,平均 10.05 岁,其中肾脏囊肿 4 例,肾盂积水 6 例。以上患者均无肾及肾血管畸形、恶性肿瘤、腹膜后淋巴结肿大等可能影响左肾静脉、肠系膜上动脉等血管走行及位置的病变^[6]。

2. 扫描方法

扫描设备为德国西门子生产的第一代 64 排双源 CT 及第二代 128 排双源 CT。密闭式静脉留置针埋于肘前静脉。患者仰卧于扫描床上,足先进,扫描范围包括全肾。70 kV 组在第二代双源 CT 上进行,管电压为 70 kV,螺距为 1.2;采用团注示踪触发扫描,即按照体重团注 1 mL/kg 非离子型对比剂碘必乐 300 mg I/mL,流率为 2 mL/s,感兴趣区设在腹主动脉肾动脉水平处,70 kV 组在感兴趣区 CT 值达 100 HU 后延迟 15 s 后触发扫描获得动静脉混合期;图像重建采用 SAFIRE 迭代重建算法。120 kV 组在第一代双源 CT 上进行腹部 CT 增强双期扫描,管电压为 120 kV,螺距 1.2;采用高压注射器注射非离子型对比剂碘必乐 300 mg I/mL,用量 60~80 mL。注射对比剂后延时 25 s 扫描获得动脉期,动脉期结束后延时 25 s 获得静脉期。所有病例扫描时均采用自动管电流调节技术(Care Dose 4D),重建层厚为 1 mm。

3. 图像质量评估

将 70 kV 组分别与 120 kV 动脉期和静脉期图像质量进行比较,图像质量的评价包括主观评估和客观评估,客观评估包括各血管 CT 值、信噪比(SNR)、对比度噪声比(CNR)、噪声,由 1 名医师在工作站上测量并记录每一例左肾静脉近肾门处、左肾静脉跨腹主动脉与肠系膜上动脉处 CT 值,两者取平均值作为左肾静脉平均 CT 值,并测量左肾静脉跨腹主动脉与肠系膜上动脉处层面的肠系膜上动脉、腹主动脉 CT 值,同时测量腰部肌肉的 CT 值及图像的背景噪声(腹部皮下脂肪的标准差),计算图像的信噪比(signal-to-noise ratio,SNR)和对比噪声比(contrast-to-noise ratio,CNR)。SNR=各血管 CT 值/背景噪声;CNR=(血管 CT 值—腰部肌肉 CT 值)/背景噪声;感兴趣区面积为 50 mm²,儿童血管内径较成人小,测量血管管腔 CT 值时感兴趣区置于管腔中央并适应管腔的大小。

两名有经验的放射科医师独立观察上述各段血管的横断面图像,根据血管强化程度、噪声大小及运动伪影对血管进行评分。图像质量主观评价方法为四分法:4 分,图像质量非常好,无运动伪影,血管边缘锐

利;3 分,图像质量较好,运动伪影较小,血管边缘少量模糊影,充分提供了诊断信息;2 分,图像质量一般,有运动伪影,血管边缘略模糊,尚可用于诊断;1 分,图像质量很差,运动伪影较大,血管与周围组织界面不清晰,不能提供诊断信息,不可用于诊断。意见不一致时,共同商议确定最后评分。

4. 辐射剂量估算

记录每例受检者的剂量长度乘积(dose length product,DLP)、CT 容积剂量指数(volume computed tomography dose index,CTDIvol),并计算有效剂量(effective dose,ED)。120 kV 组的有效剂量为动脉期及静脉期的有效剂量之和。ED 为 DLP 与转换系数 k 的乘积(10 岁以上 $k=0.015\text{ mSv/mGy}\cdot\text{cm}$,5~10 岁 $k=0.020\text{ mSv/mGy}\cdot\text{cm}$,5 岁以下 $k=0.030\text{ mSv/mGy}\cdot\text{cm}$ ^[7])。

5. 统计学处理

采用 SPSS 18.0 软件包分析数据,计量资料数据以均数±标准差表示,计量资料包括 CT 值、SNR、CNR、噪声、CTDIvol、DLP、ED,采用两样本 *t* 检验,70 kV 组各血管的图像质量采用单因素方差分析(one-way ANOVA);主观图像质量用 Mann-Whitney 检验。观察者间的一致性采用 Kappa 分析($k0.81\sim1.0$ 为一致性非常好, $k0.61\sim0.80$ 为一致性好, $k0.41\sim0.6$ 为一致性一般, $k<0.4$ 为一致性差)以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

70 kV 组及 120 kV 动脉期组左肾静脉、肠系膜上动脉、腹主动脉的平均 CT 值前者较后者分别增加了 44.6%、14.3%和 11.7%,两组左肾静脉平均 CT 值差异有统计学意义($P<0.001$),肠系膜上动脉、腹主动脉平均 CT 值差异无统计学意义($P>0.05$)。70 kV 组图像噪声高于 120 kV 动脉期组,差异有统计学意义($P<0.05$);70 kV 组左肾静脉 SNR 及 CNR 高于 120 kV 动脉期组(P 分别为 0.004 及 <0.001),70 kV 组肠系膜上动脉及腹主动脉的 SNR 及 CNR 与 120 kV 动脉期组比较差异无统计学意义($P>0.05$,表 1)。

表 1 70 kV 组与 120 kV 动脉期组客观图像质量的比较

客观评估	70kV 组	120kV 动脉期组	<i>t</i>	<i>P</i>
左肾静脉				
CT 值(HU)	253.80±51.79	173.43±36.66	7.274	<0.001*
SNR	19.45±7.79	14.87±4.37	2.99	0.004*
CNR	13.90±6.04	9.22±3.46	3.92	<0.001*
肠系膜上动脉				
CT 值(HU)	265.25±81.91	232.14±51.08	1.854	0.071
SNR	19.87±7.60	19.79±5.22	0.049	0.961
CNR	14.32±6.31	14.13±4.54	0.142	0.888
腹主动脉				
CT 值(HU)	263.14±71.29	235.64±49.74	1.722	0.092
SNR	19.81±7.52	20.10±5.21	-0.179	0.859
CNR	14.27±6.07	14.44±4.47	-0.127	0.899
噪声	14.30±4.49	12.08±2.06	2.387	0.023*

注:* $P<0.05$,差异有统计学意义

70 kV 组及 120 kV 静脉期组左肾静脉、肠系膜上动脉、腹主动脉的平均 CT 值前者较后者分别增加了 97.7%、91.6%、88.9%，差异均有统计学意义($P<0.001$)。70 kV 组图像噪声高于 120 kV 静脉期组($P=0.006$)，但是 70 kV 组左肾静脉、肠系膜上动脉、腹主动脉的 SNR 及 CNR 均高于 120 kV 静脉期组，差值均有统计学意义($P<0.001$ ，表 2)。

表 2 70 kV 组与 120 kV 静脉期组客观图像质量的比较

客观评估	70kV 组	120kV 静脉期组	t 值	P 值*
左肾静脉				
CT 值(HU)	253.80±51.79	128.37±24.18	11.688	<0.001
SNR	19.45±7.79	11.49±2.98	5.044	<0.001
CNR	13.90±6.04	5.29±2.30	7.043	<0.001
肠系膜上动脉				
CT 值(HU)	265.25±81.91	138.47±26.75	7.746	<0.001
SNR	19.87±7.60	12.38±3.12	4.830	<0.001
CNR	14.32±6.31	6.18±2.48	6.356	<0.001
腹主动脉				
CT 值(HU)	263.14±71.29	139.29±24.75	8.655	<0.001
SNR	19.81±7.52	12.45±3.03	4.805	<0.001
CNR	14.27±6.07	6.25±2.34	6.5136	<0.001
噪声	14.30±4.49	11.55±2.37	2.89	0.006

注：* $P<0.05$ ，差异有统计学意义

70 kV 组的左肾静脉、肠系膜上动脉、腹主动脉 3 组血管的平均 CT 值、SNR、CNR 的差值均无统计学意义(P 分别为 0.775、0.976、0.964，图 1、2，表 3)。

表 3 70kV 组 3 组血管客观图像质量比较

客观图像质量	左肾静脉	肠系膜上动脉	腹主动脉	F 值	P 值
CT 值(HU)	253.8±51.79	265.25±81.91	263.14±71.29	0.256	0.775
SNR	19.45±7.79	19.87±7.60	19.81±7.52	0.024	0.976
CNR	13.90±6.04	14.32±6.31	14.27±6.07	0.037	0.964

图像质量主观评估中 70 kV 组平均分(3.30 ± 0.87)均高于 120 kV 动脉期组(2.95 ± 0.97)及 120 kV 静脉期组(1.78 ± 0.75)，70 kV 与 120 kV 动脉期组的平均分差值无统计学意义($P=0.137$)，70 kV 与 120 kV 静脉期组的平均分差值有统计学意义($P<0.001$)。70 kV 组及 120 kV 动脉期组、120 kV 静脉期组两名读者一致性检验的 kappa 值分别为 0.815、0.647、0.569($P<0.001$)，提示读者间一致性好。

70 kV CTDIvol、DLP 分别为(1.01 ± 0.42) mGy、(18.74 ± 8.96) mGy·cm，120 kV 动脉期和静脉期的 CTDIvol、DLP 均为(5.68 ± 1.96) mGy、(180.81 ± 105.77) mGy·cm，70 kV 与 120 kV 动脉期和静脉期比较均明显降低，差异有统计学意义， $P<0.001$ 。70 kV 组辐射剂量与 120 kV 组总辐射剂量比较，DLP 及 ED 均明显降低，分别降低了 94.8% 及 93.7%，70kV 组平均全身有效剂量为(0.37 ± 0.18) mSv(表 4)。

表 4 70kV 组与 120kV 组总辐射剂量的比较

总辐射剂量	70kV 组	120kV 组	t	P 值*
扫描总长度	18.24±2.14	30.66±10.42	-7.05	<0.001
DLP(mGy·cm)	18.74±8.96	361.46±210.93	-9.87	<0.001
ED(mSv)	0.37±0.18	5.83±3.10	-10.68	<0.001

注：* $P<0.05$ ，差异有统计学意义。CTDIvol：CT 容积剂量指数；DLP：剂量长度乘积；ED：有效剂量。

讨 论

降低儿童 CT 及 CT 血管成像的辐射剂量的方法主要有降低管电流^[8]、低千伏技术^[3,9]、自动管电流调节技术^[10]、自动管电压调节技术^[1,11]等，而临床上应

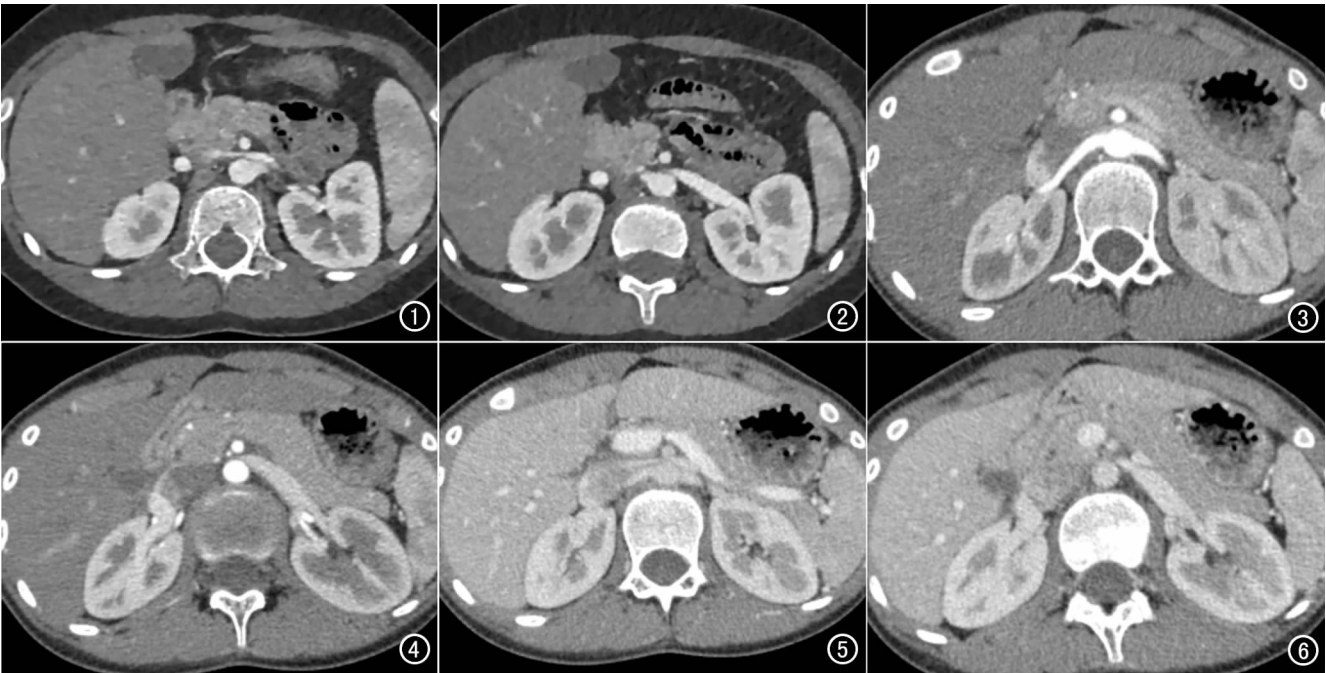


图 1、2 70 kV 动静脉混合期连续横断面图像，能够同时清晰显示左肾静脉、肠系膜上静脉及腹主动脉。图 3、4 120 kV 动脉期连续横断面图像见动脉强化程度较高，而左肾静脉强化程度较低，显影不清。图 5、6 120 kV 静脉期连续横断面图像见静脉显影，但血管显影较浅淡。

用 70kV 管电压进行儿童 CT 血管成像的报道甚少^[11]。研究表明降低管电压在进行儿童 CT 扫描时具有可行性,尽管毫安秒和图像噪声会相应增加,但是也会使辐射剂量大幅减低同时对比度噪声比(CNR)不会明显降低从而保证图像的质量^[11,12]。文献报道当管电压由 140 kV 降至 80 kV 时,在 CNR 保持不变的前提下辐射剂量可以降低 70%^[3]。本研究管电压由 120 kV 降至 70 kV 时,CTDIvol、DLP 和有效剂量分别降低了 82.2%、94.8% 及 93.7%,70 kV 组平均有效剂量仅为 0.37 mSv。而 70 kV 组左肾静脉的 CT 值、SNR、CNR 均较 120 kV 动静脉期明显增加;主观评分、肠系膜上动脉及腹主动脉的 CT 值、SNR、CNR 均较 120 kV 静脉期明显增加($P < 0.001$),但是较 120 kV 动脉期无明显差异($P > 0.05$),这可能与 120 kV 动脉期注射对比剂后延时时间较 70 kV 动静脉混合期短,从而前者动脉强化程度较高有关。此外,70 kV 组平均年龄较 120 kV 小,部分幼儿患者检查过程中屏气配合不佳,造成左肾静脉经过肠系膜上动脉与腹主动脉之间血管因运动伪影显示不清,从而造成主观评分偏低。但是 70 kV 左肾静脉的图像质量较 120 kV 动脉期高($P < 0.01$),并且辐射剂量较 120 kV 动脉期明显减低,因此 70 kV 扫描方案仍优于 120 kV。70 kV 组图像重建采用了 SAFIRE 迭代重建算法,该算法能够降低图像的噪声,从而提高信噪比和对比度噪声比,进而提高图像的质量^[13,14]。

Bazeed 等^[15]研究发现扫描时期恰当可以在单一期相内同时显示动静脉和排泄系统,在满足诊断需要同时使辐射剂量大幅减低。本研究利用腹主动脉感兴趣区达阈值后(100 HU)经 15 s 的延时时间获得动静脉混合期,可在一期内同时显示左肾静脉、腹主动脉及肠系膜上动脉,通过对 3 者的空间关系评估对胡桃夹综合征进行诊断。本研究发现 70 kV 组左肾静脉、肠系膜上动脉、腹主动脉 3 者的 CT 值、SNR、CNR 均无统计学差异($P > 0.05$),说明在动静脉混合期时 3 段血管图像显影程度较一致,可在单一期相内对 3 段血管进行处理和评估,从而满足胡桃夹综合征的诊断需求,而不必进行双期扫描,导致患儿辐射剂量成倍增加。

此外,增强 CT 所用的碘化对比剂具有肾毒性,有发生对比剂诱导肾病继而引起肾功能衰竭的风险^[16,17]。本研究 70 kV 组病例均采用 1 mL/kg 的对比剂用量,较以往文献报道对比剂用量少^[6,10,11]。

参考文献:

[1] Siegel MJ, Ramirez-Giraldo JC, Hildebolt C, et al. Automated low-kilovoltage selection in pediatric computed tomography angiography: phantom study evaluating effects on radiation dose and image quality[J]. Invest Radiol, 2013, 48(8): 584-589.

[2] Brenner D, Elliston C, Hall E, et al. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT[J]. AJR, 2001, 176(2): 289-296.

[3] Dong F, Davros W, Pozzuto J, et al. Optimization of kilovoltage and tube current-exposure time product based on abdominal circumference: an oval phantom study for pediatric abdominal CT[J]. AJR, 2012, 199(3): 670-676.

[4] Huda W, Scalzetti EM, Levin G. Technique factors and image quality as functions of patient weight at abdominal CT[J]. Radiology, 2000, 217(2): 430-435.

[5] Wintersperger B, Jakobs T, Herzog P, et al. Aorto-iliac multidetector-row CT angiography with low kV settings: improved vessel enhancement and simultaneous reduction of radiation dose[J]. Eur Radiol, 2005, 15(2): 334-341.

[6] Arthurs OJ, Mehta U, Set PA. Nutcracker and SMA syndromes: what is the normal SMA angle in children[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(8): 854-861.

[7] McCollough CH, Primak AN, Braun N, et al. Strategies for reducing radiation dose in CT[J]. Radiol Clin North Am, 2009, 47(1): 27-40.

[8] Wormanns D, Diederich S, Lenzen H, et al. Abdominal spiral CT in children: which radiation exposure is required[J]. Eur Radiol, 2001, 11(11): 2262-2266.

[9] Siegel MJ, Schmidt B, Bradley D, et al. Radiation dose and image quality in pediatric CT: effect of technical factors and phantom size and shape[J]. Radiology, 2004, 233(2): 515-522.

[10] Herzog C, Mulvihill DM, Nguyen SA, et al. Pediatric cardiovascular CT angiography: radiation dose reduction using automatic anatomic tube current modulation[J]. AJR, 2008, 190(5): 1232-1240.

[11] Siegel MJ, Hildebolt C, Bradley D. Effects of automated kilovoltage selection technology on contrast-enhanced pediatric CT and CT angiography[J]. Radiology, 2013, 268(2): 538-547.

[12] Funama Y, Awai K, Nakayama Y, et al. Radiation dose reduction without degradation of low-contrast detectability at abdominal multisecton CT with a low-tube voltage technique: phantom study[J]. Radiology, 2005, 237(3): 905-910.

[13] Schindera ST, Diedrichsen L, Muller HC, et al. Iterative reconstruction algorithm for abdominal multidetector CT at different tube voltages: assessment of diagnostic accuracy, image quality, and radiation dose in a phantom study[J]. Radiology, 2011, 260(2): 454-462.

[14] Singh S, Kalra MK, Shenoy-Bhangle AS, et al. Radiation dose reduction with hybrid iterative reconstruction for pediatric CT[J]. Radiology, 2012, 263(2): 537-546.

[15] Bazeed MF, Fooshang FF, Ahmed MA. Low-radiation-dose dual-phase MDCT protocol with split contrast media dose and time optimization: protocol design for renal donors evaluation[J]. Acta radiologica (Stockholm, Sweden), 2011, 52(8): 927-932.

[16] Helck A, Bamberg F, Sommer WH, et al. Optimized contrast volume for dynamic CT angiography in renal transplant patients using a multiphase CT protocol[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(3): 692-698.

[17] Davidson C, Stacul F, McCullough PA, et al. Contrast medium use[J]. Am J Cardiol, 2006, 98(6A): 42K-58K.