

• 技术与方法 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2016.16.024

# 头颅双能量 CTA 扫描参数组合与重建算法对图像质量影响的实验研究\*

彭刚,曾勇明<sup>△</sup>,郁仁强,王杰

(重庆医科大学附属第一医院放射科 400016)

**[摘要]** **目的** 应用不同重建算法行头颅双能量 CT 血管造影(DECTA)的图像质量,评价不同管电压组合行 DECTA 的辐射剂量。**方法** 对置入模拟脑血管的头颅仿真体模,采用 80/140 kV 和 100/140 kV 行双能量 CT 扫描后,分别进行滤波反投影法(FBP)及迭代重建技术(SAFIRE)两种算法重建图像,测量 CT 值及 CT 值标准差(SD)计算信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR),记录剂量长度乘积(DLP)并计算有效剂量,评价不同成像条件的图像质量及辐射剂量。**结果** 在相同扫描参数条件下,SAFIRE 重建算法的图像噪声明显低于 FBP 重建算法;随着管电流量从 100 mAs 增加至 300 mAs,图像质量呈改善趋势,260 mAs 以上图像质量趋于稳定;采用 SAFIRE 重建算法,对两组管电压的图像质量进行比较,CT 值 SD 差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),CNR 和 SNR 差异无统计学意义( $P > 0.05$ );80/140 kV 组的有效剂量较 100/140 kV 组明显降低。**结论** 双能量头颅 CTA 采用 80/140 kV 管电压组合结合 SAFIRE 算法能保证图像质量并显著降低辐射剂量。

**[关键词]** 体层摄影术;X 线计算机;双能;迭代重建;图像质量

**[中图分类号]** R814.42

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-8348(2016)16-2236-03

## Impact of image quality with scan parameters and reconstruction algorithms in head dual-energy computed tomography angiography\*

Peng Gang, Zeng Yongming<sup>△</sup>, Yu Renqiang, Wang Jie

(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

**[Abstract]** **Objective** To study the difference of image quality which based on different reconstruction in head dual-energy computed tomography angiography (DECTA) scanning, and evaluate the radiation dose which using different tube voltage in DECTA. **Methods** An anthropomorphic head phantom with simulated arteries was used for DECTA scanning by different scan parameters (tube voltage 80/140 kV and tube voltage 100/140 kV), the data was reconstructed with filtered back projection (FBP) and Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction (SAFIRE). The CT values with SD were measured and calculate to SNR and CNR, the dose length product (DLP) was recorded and invert to effective dose. The image quality and radiation dose were evaluated in different imaging condition. **Results** The image noise of SAFIRE reconstruction was lower than FBP reconstruction in same scan parameters. The increase of tube current-time product from 100 mAs to 300 mAs, it shows the characteristics of linear tendency. When it was on 260 mAs, the image quality become stable. The difference between the two groups (80/140 kV, 100/140 kV) of SD of CT value by SAFIRE was significant ( $P < 0.05$ ), the difference of SNR and CNR between the two groups was not significant ( $P > 0.05$ ). The effective doses of group A (80/140 kV) was significantly lower than group B (100/140 kV). **Conclusion** Using tube voltage of 80/140 kV combine with SAFIRE algorithm in head DECTA can ensure the image quality, which can significantly reduce radiation dose.

**[Key words]** tomography; X-ray computed; dual energy; iterative reconstruction; image quality

传统 CT 的图像重建算法主要是滤波反投影法(filtered back projection, FBP),随着 MSCT 不断发展,迭代重建技术成为研究热点,西门子公司开发了第二代迭代重建技术(sinogram affirmed iterative reconstruction, SAFIRE)<sup>[1-2]</sup>。本研究采用仿真头颅体模,通过改变不同成像参数行双能量 CT 血管造影(dual energy computer tomography angiography, DECTA),定量分析双源 CT 不同双能量扫描参数组合和重建算法对图像质量及辐射剂量的影响。

### 1 材料与方法

**1.1 材料** 采用日本 Kyoto Kagaku 公司 PBU-60 型 CT 头部仿真体模,高约 33 cm,质量约 6.5 kg,该体模逼真地模拟了成人男性的头骨、脑组织、脑室及左半部动脉,由与人体软组织同等 X 线吸收率的等效材料制成,见图 1。

### 1.2 方法

**1.2.1 扫描方法** 使用 Siemens Somatom Definition Flash 第

二代双源 CT。扫描参数:采用自动管电流调制(care dose 4D)技术,准直 128.0 mm×0.6 mm,螺距 0.7,层厚 5 mm,机架旋转速度为 0.28 秒/圈,分两组进行扫描, A 组:管电压 80/140 kV,参考管电流量 100~300 mAs,间隔 40 mAs。 B 组:管电压 100/140 kV,参考管电流量 100~300 mAs,间隔 40 mAs。图像重建参数:采用 FBP 及 SAFIRE(等级 3)两种重建方法对两组图像进行重建,重建层厚 0.75 mm,间隔 0.50 mm,双能混合比例 0.6,卷积核分别为 D30f 与 Q30f。

**1.2.2 图像质量评价** 使用 MMWP 图像后处理工作站,由两名有经验的医师分别对两管电压组的 FBP 和 SAFIRE 图像质量进行评价,客观评价指标<sup>[3]</sup>包括:噪声 CT 值标准差(standard deviation, SD)、信噪比(signal to noise, SNR)、对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)。具体评价方法为:将模拟脑血管分为 A 颈内动脉段、B 大脑中动脉段及 C 大脑前动脉段 3 段,测量不同参数下相同层面的 3 段脑血管及邻近脑组

\* 基金项目:国家临床重点专科建设项目([2013]544)。 作者简介:彭刚(1984—),初级技师,硕士,主要从事 CT 扫描技术参数优化工作。

<sup>△</sup> 通讯作者, Tel: (023)89012228; E-mail: zeng-ym@vip.sina.com。

织的 CT 值和噪声。脑血管测量面积为  $(0.04 \pm 0.01) \text{cm}^2$ , 脑实质测量面积为  $(1.00 \pm 0.05) \text{cm}^2$ , 每个层面各测 5 个点求平均值以减小误差, 见图 2。



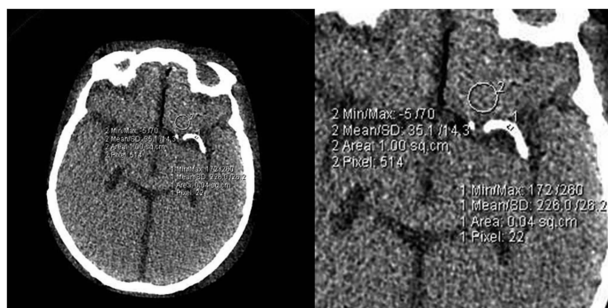
图 1 仿真头颅体模

**1.2.3 辐射剂量评价** 利用 CT 机的辐射剂量评估软件, 记录每组参数扫描后的容积 CT 剂量指数 (CTDIvol)、剂量长度乘积 (DLP)。参考欧洲共同体委员会 (CEC) 的剂量转换指数 K 值<sup>[3]</sup>, 根据公式  $E = \text{DLP} \times K$  计算头颅 CTA 检查所致患者的有效剂量。

**1.3 统计学处理** 采用 SPSS17.0 统计软件进行分析。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 比较采用 Dunnett *t* 检验; 对相同管电压下不同重建算法, 相同管电压下不同管电压 SAFIRE 重建方式的两组图像的客观评价指标比较采用配对 *t* 检验。检验水准  $\alpha = 0.05$ , 以  $P < 0.05$  差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 两种重建算法在不同管电流量下图像质量比较** 头颅 CTA 双能量扫描在 80/140 kV 组或 100/140 kV 组中, 相同管电流量下经 SAFIRE 重建的图像质量均优于 FBP 重建, 两者图像质量客观评价指标之间的差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。对不同管电流量组的图像质量进行分析, 当管电流量小于或等于 220 mAs 时, 随着管电流量不断增加, 图像客观评价指标 CT 值 SD 不断降低, 而 SNR 及 CNR 呈上升趋势。以管电流量 300 mAs 为对照, 相同重建算法的各组间的图像质量客观评价指标差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 当管电流量大于或等于 260 mAs 时, 各组图像质量改善趋于平缓, 各组图像质量与对照组比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表 1、2。



图像噪声: 脑实质的 CT 值 SD; SNR; 脑血管平均 CT 值/相应 CT 值 SD,  $\text{CNR} = (\text{脑血管 CT 值} - \text{脑实质 CT 值}) / \text{脑实质 CT 值 SD}$ 。

图 2 头颅 CTA 图像质量指标测量方法

**2.2 两组管电压 SAFIRE 重建算法图像质量比较** 在 80/140 kV 和 100/140 kV 条件下, 随着管电流量从 100 ~ 300 mAs 不断增大, CT 值 SD 逐渐减小, SNR 和 CNR 逐渐增加; 相同管电流量下, 两组管电压图像 CT 值 SD 比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), SNR、CNR 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表 3。

表 1 80/140 kV 组两种重建算法图像质量比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

管电流量 (mAs)	CT 值 SD		SNR		CNR	
	FBP	SAFIRE	FBP	SAFIRE	FBP	SAFIRE
100	28.20 ± 3.50*	26.29 ± 3.45*	7.42 ± 1.09*	8.33 ± 1.26*	9.94 ± 1.38*	10.96 ± 1.74*
140	25.62 ± 3.22*	23.77 ± 3.47*	8.03 ± 0.94*	9.09 ± 1.80*	11.57 ± 0.77*	14.14 ± 1.35*
180	23.57 ± 2.71*	20.85 ± 3.30*	8.97 ± 1.34*	11.05 ± 2.11*	12.89 ± 0.71*	16.67 ± 2.71*
220	20.67 ± 2.91*	18.20 ± 2.69*	9.97 ± 1.60*	12.13 ± 2.18*	15.93 ± 2.09*	20.97 ± 2.15*
260	18.29 ± 3.49	16.16 ± 2.17	11.16 ± 2.76	13.17 ± 2.13	20.53 ± 2.31	27.01 ± 3.41
300	16.55 ± 3.02	14.86 ± 2.67	12.76 ± 2.72	14.48 ± 2.38	22.71 ± 3.91	30.97 ± 5.74
F/P	19.90 / < 0.05	22.02 / < 0.05	12.70 / < 0.05	16.48 / < 0.05	52.23 / < 0.05	52.93 / < 0.05
t/P	13.17 / < 0.05		-8.16 / < 0.05		-4.21 / < 0.05	

\* :  $P < 0.05$ , 与 300 mAs 比较。

表 2 100/140 kV 组两种重建算法图像质量比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

管电流量 (mAs)	CT 值 SD		SNR		CNR	
	FBP	SAFIRE	FBP	SAFIRE	FBP	SAFIRE
100	24.63 ± 2.21*	22.51 ± 2.85*	7.10 ± 0.83*	8.32 ± 1.23*	9.51 ± 0.48*	10.80 ± 1.16*
140	22.11 ± 3.60*	20.20 ± 3.36*	7.87 ± 1.19*	9.71 ± 2.67*	11.23 ± 1.32*	13.19 ± 0.98*
180	19.66 ± 3.93*	17.15 ± 3.63*	9.07 ± 2.08*	11.19 ± 2.90*	13.41 ± 1.87*	15.94 ± 1.43*
220	16.89 ± 2.39*	15.01 ± 1.88*	10.29 ± 1.95*	12.19 ± 1.86*	15.68 ± 2.13*	20.97 ± 3.04*
260	15.36 ± 2.11	13.37 ± 2.17	11.22 ± 1.98	13.42 ± 2.26	20.31 ± 2.48	27.02 ± 4.55
300	13.56 ± 1.48	12.27 ± 1.05	12.87 ± 1.65	14.71 ± 1.47	22.61 ± 3.39	30.47 ± 5.11
F/P	23.28 / < 0.05	22.86 / < 0.05	19.46 / < 0.05	14.59 / < 0.05	49.87 / < 0.05	52.64 / < 0.05
t/P	12.05 / < 0.05		-13.16 / < 0.05		-3.84 / < 0.05	

\* :  $P < 0.05$ , 与 300 mAs 比较。

表 3 两种管电压组合 SAFIRE 算法图像质量比较( $\bar{x}\pm s$ )

管电流量(mAs)	CT 值 SD		SNR		CNR	
	80/140 kV	100/140 kV	80/140 kV	100/140 kV	80/140 kV	100/140 kV
100	26.29±3.45	22.51±2.85	8.33±1.26	8.32±1.23	10.96±1.74	10.80±1.16
140	23.77±3.47	20.20±3.36	9.09±1.80	9.71±2.67	14.14±1.35	13.19±0.98
180	20.85±3.30	17.15±3.63	11.05±2.11	11.19±2.90	16.67±2.71	15.94±1.43
220	18.20±2.69	15.01±1.88	12.13±2.18	12.19±1.86	20.97±2.15	20.97±3.04
260	16.16±2.17	13.37±2.17	13.17±2.13	13.42±2.26	27.01±3.41	27.02±4.55
300	14.86±2.67	12.27±1.05	14.48±2.38	14.71±1.47	30.97±5.74	30.47±5.11
t/P	16.12/<0.05		-3.15/>0.05		2.37/>0.05	

2.3 头颅 CTA 双能量扫描两组管电压扫描辐射剂量的比较 随着管电流量增大,头颅 CTA 双能量扫描两管电压组的有效剂量均呈上升趋势,在相同管电流量下,80/140 kV 组的有效剂量较 100/140 kV 组明显降低,见图 3。

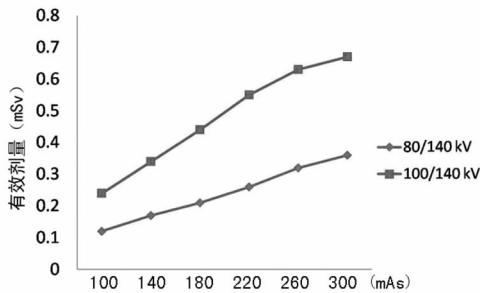


图 3 两组管电压扫描辐射剂量比较

### 3 讨论

随着多层螺旋 CT 技术的不断发展,头颅 CTA 成为头部血管疾病检查的重要方法,已经广泛应用于临床。第二代双源 CT 提供了双能量扫描方案,根据两种不同能量射线穿透力衰减的差别,利用一次扫描的数据,有效区分并分别显示各个组分,行双能量血管减影成像<sup>[4-5]</sup>。此技术比以往单源 CT 头颅 CTA 需要两次扫描后减影更简便快捷<sup>[6-7]</sup>,同时具有更低的辐射剂量。

SAFIRE 是西门子新一代迭代重建算法,与传统 FBP 算法相比,SAFIRE 所需的投影数少、具有可在数据不完全和低信噪比(低剂量)条件下成像等优点达到高质量的图像<sup>[8-9]</sup>。根据国内外相关文献报道,3 次迭代计算的图像质量更好<sup>[10-11]</sup>,所以本研究均选择 SAFIRE 等级 3 重建图像。

本研究头颅 CTA 双能量扫描在 80/140 kV 和 100/140 kV 时,分别设定 6 组参考管电流量对头颅仿真体模进行扫描。结果显示,随着管电流量从 100 mAs 增加至 220 mAs,图像质量呈明显上升趋势,各组图像质量指标与对照组(360 mAs)比较有显著性差异。当管电流量上升至 260 mAs 以上,图像质量改善趋于平稳,与对照组比较差异无统计学意义( $P>0.05$ ),而辐射剂量仍不断增加,提示辐射剂量是在一定范围内与图像质量呈线性相关,当辐射剂量超过这一范围,图像质量不再随着辐射剂量的增加而改善。因此,在本实验参数下,管电流量设定为 260 mAs 为图像质量和辐射剂量的最佳平衡点,即可以在保证图像质量前提下,接受较低的辐射剂量。

实验结果表明,在相同的扫描参数下,SAFIRE 组图像质量指标均明显高于 FBP 组,由此可见迭代重建技术可以明显改善图像质量。经 SAFIRE 重建后,80/140 kV 组和 100/140 kV 组的图像质量指标 CT 值 SD 差异有统计学意义( $P<$

0.05),SNR、CNR 差异无统计学意义( $P>0.05$ )。评价图像质量的重要指标是 SNR 值及 CNR 值<sup>[12-16]</sup>,通过公式虽然 80/140 kV 组由于管电压的降低造成 X 线穿透力减弱,使得图像噪声(CT 值 SD)增加,整体图像质量有所降低,但头颅 CTA 检查主要观察颅脑血管情况,对脑实质及周围组织图像质量的要求低于常规 CT 检查。由于低管电压对碘对比剂具有 CT 值增强效应,提升了血管的对比度,使得两组图像的 SNR、CNR 无明显差异。所以在头颅双能量 CTA 检查中,80/140 kV 较 100/140 kV 具有更低的辐射剂量且图像质量无明显差异。

本研究是基于仿真头颅体模的基础研究,其优势在于可以通过多次重复扫描来优化扫描参数,且避免了伦理道德及个体差异等问题,但体模与人体实际情况存在一定差别,所以实验得出的最佳技术参数还有待临床验证。

综上所述,双能量头颅 CTA 采用 SAFIRE 算法和 80/140 kV 管电压组合能保证图像质量并显著降低辐射剂量。

### 参考文献

- [1] Bulla S, Blanke P, Hassepass F, et al. Reducing the radiation dose for low-dose CT of the paranasal sinuses using iterative reconstruction; Feasibility and image quality[J]. Eur J Radiol, 2012, 81(9): 2246-2250.
- [2] 徐超, 杨琳, 于薇, 等. 迭代重建在双源 CT 冠状动脉 CT 成像中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2012, 28(1): 168-171.
- [3] Park EA, Lee W, Kim KW, et al. Iterative reconstruction of dual-source coronary CT angiography: assessment of image quality and radiation dose[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2012, 28(7): 1775-1786.
- [4] Huda W, Ogen KM, Khorasani MR. Converting dose-length product to effective dose at CT[J]. Radiology, 2008, 248(4): 995-1003.
- [5] Flohr TG, Bruder H, Stierstorfer K, et al. Image reconstruction and image quality evaluation for a dual source CT scanner[J]. Med Phys, 2008, 35(12): 5882-5897.
- [6] Pretersilka M, Bruder H, Krauss B, et al. Technical principles of dual source CT[J]. Eur J Radiol, 2008, 68(3): 362-368.
- [7] 李传明, 王健, 戴明德, 等. 双源 CT 血管减影成像在颅脑血管检查中应用及技术研究[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2010, 24(6): 563-565.
- [8] 王莹, 薛华丹, 刘炜, 等. 双源 CT 头颈部(下转第 2241 页)

需针头穿刺肝素帽连接输液,这样不仅避免了护理人员发生针刺伤的风险,而且杜绝了通过头皮针穿刺肝素帽连接输液导致 CRI 的机会,反复多次的肝素帽穿刺容易导致微生物在肝素帽中定植。(2)无针正压接头在拔出输液器后产生正压,避免血液回流,从而减少导管回血率和 CRI。血液中的血清蛋白、纤维蛋白在深静脉导管内沉积,这些沉积物是微生物良好的培养基,并且能包裹病原体不受抗生素和免疫细胞的杀伤。因此,临床工作中应加强导管护理,可应用无针正压接头,防止导管阻塞,降低 CRI 的发生。Elea 等<sup>[9]</sup>研究显示,良好的护理团队可明显降低 CRI。因此,在临床中护理管理者必须加强临床一线护理人员的培训,使他们了解导管护理的最新进展,掌握预防 CRI 的护理措施,并在工作中严格执行以防范 CRI 的发生。

**3.4 患者机体情况** 本研究发现,CRI 患者多为恶性肿瘤患者,这类患者其自身免疫力低下,且部分患者经过手术、化疗、放疗等措施,导致其免疫力进一步降低,当机体接触到外界致病菌时,不能抵抗外界环境微生物的侵袭,很容易出现感染;同时原寄生在体表的正常菌群也可使患者出现感染,因此发生 CRI 的概率高。此类患者应加强口腔、会阴等基础护理,注重患者的营养支持,必要时注射药物增强机体的免疫力,以避免 CRI 的发生。本研究结果显示,胰腺炎患者 CRI 为 2.2%,进一步分析发现,感染的患者均为病情较重的重症胰腺炎。重症胰腺炎是一种病情险恶、并发症多、病死率高的急腹症<sup>[10]</sup>。此类患者机体抵抗力低,营养失调,全身应激反应,释放多重炎性介质,多采用肠外营养支持治疗,且多应用大量抗生素,极易导致菌群失调,因此 CRI 高。

#### 参考文献

[1] 夏雷,郭小文,叶素凤,等.中心静脉导管感染因素及预防

对策[J].中华医院感染学杂志,2014,24(16):3996-3998.

- [2] 王倩,周红军,严晓芳,等.2种换药方法控制股静脉置管感染的效果研究[J].重庆医学,2011,40(11):1135-1136.
- [3] 夏梅,吴蔚,徐静.心胸外科中心静脉导管感染患者的相关因素分析及预防对策[J].中国实用护理杂志,2007,23(13):10-12.
- [4] Böhlke M,Uliano G,Barcellos FC. Hemodialysis catheter-related infection: prophylaxis, diagnosis and treatment [J]. *JVasc Access*,2015,16(5):347-355.
- [5] 陈娟.重症监护病房医院感染目标性监测结果分析[J].国际检验医学杂志,2015,36(19):2913-2914.
- [6] 万玉英,韩小建.PDCA循环加强ICU医务人员手卫生管理对控制MRSA医院感染的影响[J].重庆医学,2015,44(34):4777-4779.
- [7] 林妙莲,陈海珠.正压接头在PICC维护中的应用[J].中国医药指南,2009,7(18):132-133.
- [8] 荆秋芳,赵玉英.无针正压接头在外周中心静脉置管中的应用[J].齐鲁护理杂志,2010,16(21):100.
- [9] Elea MC,N' Guyen M,Valdeyron ML,et al. Dramatic increase of central venous catheter-related infections associated with a high turnover of the nursing team [J]. *Clin Nutr*,2015,35(2):446-452.
- [10] 葛均波,徐永健,梅长林,等.内科学[M].8版.人民卫生出版社,2013:439-445.

(收稿日期:2015-11-18 修回日期:2016-03-12)

(上接第 2238 页)

put Assist Tomogr,2013,37(2):301-305.

双能量血管成像的图像质量和辐射剂量[J].中国医学科学院学报,2010,32(6):619-622.

- [9] Hu XH,Ding XF,Wu RZ,et al. Radiation dose of non-enhanced chest CT can be reduced 40% by using iterative reconstruction in image space [J]. *Clin Radiol*,2011,66(11):1023-1029.
- [10] May MS,Wüst W,Brand M,et al. Dose reduction in abdominal computed tomography: intraindividual comparison of image quality of full-dose standard and half-dose iterative reconstructions with dual-source computed tomography [J]. *Invest Radiol*,2011,46(7):465-470.
- [11] Pontana F,Pagniez J,Flohr T,et al. Chest computed tomography using iterative Reconstruction vs filtered back projection(Part 1):Evaluation of image noise reduction in 32 patients [J]. *Eur Radiol*,2011,21(3):627-635.
- [12] Yang WJ,Yan FH,Liu B,et al. Can sinogram-affirmed iterative(SAFIRE) reconstruction improve imaging quality on low-dose lung CT screening compared with traditional filtered back projection(FBP) reconstruction [J]. *J Com-*
- [13] Achenbach S,Goroll T,Seltmann M,et al. Detection of coronary artery stenoses by low-dose,prospectively ECG-triggered,high-pitch spiral coronary CT angiography [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*,2011(4):328-337.
- [14] Baker ME,Dong F,Primak A,et al. Contrast-to-noise ratio and low-contrast object resolution on full- and low-dose MDCT:SAFIRE versus filtered back projection in a low-contrast object phantom and in the liver [J]. *AJR*,2012,199(1):8-18.
- [15] 张健,杨明,莫绪明,等.不同管电压64层螺旋CT对儿童CTA图像质量和辐射剂量的影响[J].中国医学影像技术,2012,28(6):1213-1217.
- [16] Schindera ST,Diedrichsen L,Müller 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.

(收稿日期:2016-01-11 修回日期:2016-03-03)