

智能最佳管电压联合自动管电流在腹部 CT 扫描中的应用

张卫国 蒋涛

100020 北京,首都医科大学附属北京朝阳医院

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.01.013

【摘要】 目的 探讨双源 CT 智能最佳管电压(Care kV)联合自动管电流(Care Dose 4D)技术在腹部 CT 扫描中的应用。**方法** 选择 2016 年 2 月至 3 月行全腹 CT 检查的成年患者 180 例为回顾性研究对象,依据影像质量的参考毫安秒将患者分为 3 组,采用完全随机化分组的方法,每组 60 例患者,分别为 250 mAs 组、200 mAs 组和 150 mAs 组,其余扫描参数和图像重建参数均相同。测量第二肝门层面肝实质的 CT 值及图像噪声(SD),对比 3 组患者的信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、噪声(SD)、平均容积 CT 剂量指数($CTDI_{vol}$)、剂量长度乘积(DLP)和有效剂量(E)。**结果** 3 组患者扫描的平扫期、动脉期及门脉期 kV 和 mAs 数值差异均有统计学意义($F = 35.25, P < 0.05$)。随着参考 mAs 的降低,3 组患者选择低 kV 的频率逐渐增加。3 组患者平扫、动脉及门脉期的 $CTDI_{vol}$ 、DLP、 E 差异均有统计学意义($F = 31.51, P < 0.05$)。随着参考 mAs 的下降,辐射剂量逐渐下降,150 mAs 组患者的 $CTDI_{vol}$ 、DLP、 E 最低。250 mAs 组与 200 mAs 组三期图像的 SNR、CNR 及噪声差异均无统计学意义($F = 1.61, P > 0.05$);250 mAs 组与 150 mAs 组,平扫及动脉期图像的 SNR 及噪声差异均无统计学意义($F = 1.98, P > 0.05$),门脉期图像的 SNR 及三期图像的 CNR 差异均有统计学意义($F = 27.64, P < 0.05$);200 mAs 组与 150 mAs 组平扫及动脉期图像的 SNR、CNR 及噪声差异均无统计学意义($F = 1.95, P > 0.05$),门脉期图像的 SNR、CNR 差异均有统计学意义($F = 19.63, P < 0.05$)。**结论** Care kV 联合 Care Dose 4D 技术,选择适当的影像质量参考毫安秒值能在有效控制患者辐射剂量的同时,既保证图像质量,还可以有效地减低辐射剂量,操作简单易行。

【关键词】 体层摄影术, X 射线计算机(CT); 智能最佳管电压技术(Care kV); 辐射剂量

Application of Care kV combined with Care Dose 4D in abdominal CT Zhang Weiguo, Jiang Tao
Department of Radiology, Beijing Chaoyang Hospital Affiliated to Capital Medical University, Beijing 100020, China

【Abstract】 Objective To study the application of the intelligent optimum tube voltage (Care kV) combined with automatic tube current (Care Dose 4D) technique in dual source CT scanning for the abdomen. **Methods** 180 adult patients underwent whole abdominal CT examination from February 2016 to March 2016 of were selected as the retrospective research objects. On the basis of reference mAs of the image quality the patients were divided into three groups using completely randomized grouping method with 60 patients in each group, such as 250 mAs group, 200 mAs group, and 150 mAs group. The other scanning parameters and image reconstruction parameters were the same. The liver parenchyma CT values and image noise(SD) at the second hepatic portal level were measured. The signal-to-noise ratios (SNR) in the three groups were compared as well as contrast to noise ratio (CNR), noise (SD), the average volume CT dose index ($CTDI_{vol}$), dose length product (DLP) and effective dose(E). **Results** The kV and mAs values in the plain scan, arterial phase scan and portal phase scan in the three groups of patients had statistically significant differences($F = 35.25, P < 0.05$). With the reducing of the reference mAs, the frequency of choosing lower kV in three groups of patients increased gradually. The $CTDI_{vol}$, DLP and E of plain scan, arterial and portal phase in three groups of patients had significant difference ($F = 31.51, P < 0.05$). With the decline of the reference mAs, the radiation dose decreased gradually, with 150 mAs group lowest. The SNR, CNR and noise of three phases in 250 mAs group and 200 mAs group had no statistically significant difference ($F = 1.61, P > 0.05$). In 250 mAs group and 150 mAs group, the SNR and the noise of plain scan and arterial phase images had no statistically significant difference ($F = 1.98,$

$P > 0.05$), and SNR of portal phase images and CNR of three phases had statistically significant difference ($F = 27.64, P < 0.05$); In group 200 mAs and group 150 mAs, the SNR, CNR and noise of plain scan and arterial phase images had no statistically significant difference ($F = 1.95, P > 0.05$), and the SNR and CNR of portal phase images had significant difference ($F = 19.63, P < 0.05$). **Conclusions** For the combined use of Care kV and Care dose 4D, it is feasible to select appropriate reference mAs in reducing radiation dose without sacrificing imaging quality.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Intelligent optimum tube voltage technique (Care kV); Radiation dose

随着多层螺旋 CT 的普及和大量的临床应用, 人类癌症发病率与 CT 检查所受的辐射剂量存在相关性^[1]。近年来, 国内、外放射学者的研究热点之一就是降低多层螺旋 CT 辐射剂量^[2-3]。CT 增强扫描是腹部疾病检查重要方法之一, 其多期相扫描中的辐射剂量逐渐受到关注。辐射防护最优化, 即 ALARA (as low as reasonably achievable, 达到尽可能低) 原则, 是降低 CT 辐射剂量的指导性原则^[4], 如何在保证 CT 图像质量的同时, 最大程度地降低患者辐射剂量, 是当前研究的热点问题。本研究探讨双源 CT 采用智能最佳管电压 (Care kV) 联合自动管电流 (Care Dose 4D) 技术行腹部增强扫描时, 选择合理参考管电流, 在保证图像质量同时降低患者辐射剂量的可行性。

资料与方法

1. 一般资料: 选择 2016 年 2 月至 3 月行全腹 CT 检查的成年患者 180 例为研究对象。排除标准: ①合并严重的心脏、肾脏功能障碍的患者。②碘过敏的患者。③存在意识障碍无法配合屏气的患者。④腹部扫描范围内有金属植入物的患者。依据质量参考 mAs, 采用完全随机分组方法, 将患者分为 3 组, 每组 60 例, 3 组患者的年龄和体质量指数 (BMI) 具有可比性 ($F = 0.67, P > 0.05$), 见表 1。本研究经医院伦理委员会批准, 所有患者签署了知情同意书。

表 1 3 组患者的年龄和体质量指数 (BMI) 的比较

Table 1 The comparison of age and BMI of the three groups

组别	例数	年龄 (岁)	BMI (kg/m ²)
250 mAs	60	48 ~ 75	18 ~ 24
200 mAs	60	51 ~ 77	19 ~ 25
150 mAs	60	46 ~ 78	19 ~ 26
F 值		0.34	0.64
P 值		0.71	0.53

2. 扫描方法: Somatom Definition CT 机 (德国西门子公司)。采用 Care kV 技术 (Ref. kV 参考管电

压 120 kV) 联合 Care Dose 4D 技术进行扫描。3 组患者平扫期采用剂量优化指数 3 (Dose saving optimized for 3), 动脉期及门脉期采用剂量优化指数 7 (Dose saving optimized for 7), 其他扫描参数和图像重建参数均相同, 螺距 0.8, 层厚 5 mm, 层间距 5 mm, 准直 24×1.2 , 旋转时间 0.5 s, 卷积核中等平滑 + (B30 medium smooth), 重建算法为滤波反投影法, 使用非离子型对比剂 (碘普罗胺 300 mgI/ml), 用量 1 ml/kg, 注射速率为 2 ~ 3 ml/s, 扫描范围从膈肌顶端至耻骨联合下 2 cm, 于腹主动脉第二肝门层面触发扫描, 触发阈值 130 HU, 到达阈值后 6 s 开始扫描, 采用吸气后屏气扫描, 检查前对患者进行屏气训练。

3. 观察指标: 对比 3 组患者的信噪比 (SNR)、对比噪声比 (CNR)、噪声 (SD)、平均容积 CT 剂量指数 (CTDI_{vol})、剂量长度乘积 (DLP) 和有效剂量 (E)。

4. 辐射剂量估算: 记录患者平扫、增强动脉期、门脉期 CTDI_{vol} 和 DLP, 并根据公式计算有效剂量 E, $E = DLP \times k$, 其中 k 为换算因子, 采用欧洲 CT 质量标准指南腹部平均值, 取 $0.015 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ^[5]。

5. 图像质量分析: 由 2 名高年资放射科医师采用双盲法对平扫期、动脉期和门脉期图像进行评判, 有分歧时请上级医师综合分析, 并达成共识。

(1) 主观评价: 参考胡敏霞等^[6]的 4 分制评分法对图像质量进行评价: 4 分, 图像无明显噪声, 细腻, 各器官边界清晰, 肝边缘处无肋缘下伪影, 肾上腺显示清晰; 3 分, 图像噪声较小, 较细腻, 各器官边界较清晰, 肝边缘处有轻度肋缘下伪影, 肾上腺能够显示, 但边缘欠清晰; 2 分, 图像噪声较大, 各器官边界尚较清楚, 肝边缘处有明显肋缘下伪影, 肾上腺能够分辨, 但边缘较模糊; 1 分, 图像噪声大, 各器官边界欠清晰, 肝边缘处有严重的肋缘下伪影, 并有其他伪影, 肾上腺显示不清或虽能显示但难以确定边界。评分 > 2 分的图像, 认为可以满足诊断要求。

表 2 3 组患者扫描参数比较

Table 2 The comparison of the scanning parameters of the three groups

组别	例数	平扫期 kV 分布				增强期 kV 分布				mAs		
		80	100	120	140	80	100	120	140	平扫期	动脉期	门脉期
250 mAs	60	0	20	31	2	0	45	15	0	239.15 ± 50.12	238.62 ± 47.62	238.60 ± 47.73
200 mAs	60	0	29	28	3	10	47	3	3	180.25 ± 49.30	220.62 ± 52.12	218.62 ± 52.39
150 mAs	60	0	37	23	0	25	35	0	0	139.20 ± 42.19	201.65 ± 72.35	201.20 ± 72.15
<i>F</i> 值		2.45				32.14				67.57	6.01	6.16
<i>P</i> 值		0.09				0.00				0.00	0.003	0.003

(2) 客观评价: 分别测量第二肝门层面肝左、右叶和肝下缘实质的 CT 值, 取平均值作为肝脏 CT 值 (ROI_{肝脏}); 同层面测量左、右两侧的竖脊肌 CT 值, 取平均值作为肌肉的 CT 值 (ROI_{肌肉})。测量前、后背景 CT 值, 取平均值作为背景 CT 值 (ROI_{背景})。连续测量 5 层图像、同位置背景 CT, 噪声被定义为背景 CT 值的标准差, ROI 面积为 1.00 cm²。计算 SNR 和 CNR: SNR = ROI_{肝脏}/噪声, CNR = (ROI_{肝脏} - ROI_{肌肉})/噪声。分别测量计算平扫期、动脉期和门脉期的 SNR、CNR 及图像噪声, 分别比较做出最终评价标准。

6. 统计学处理: 采用 SPSS 17.0 软件包进行统计学分析, 计量资料采用独立样本 *t* 检验, 图像的主观、客观质量评价、SNR、CNR 及噪声采用秩和检验 (Mann-Whitney *U*) 分析。以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 扫描参数比较: 3 组患者扫描的平扫期、动脉期及门脉期 kV 和 mAs 数值差异均有统计学意义 (*F* = 35.25, *P* < 0.05), 随着质量参考 mAs 的降低, 3 组患者选择低 kV 的频率逐渐增加 (表 2)。

2. 辐射剂量比较: 3 组患者平扫、动脉及门脉期的 CTDI_{vol}、DLP 和 *E* 差异均有统计学意义 (*F* = 31.51, *P* < 0.05), 随着质量参考 mAs 的下降, 辐射剂量逐渐下降, 150 mAs 组患者的 CTDI_{vol}、DLP

和 *E* 最低 (表 3)。

3. 图像主观及客观质量评分: 250 mAs 组与 200 mAs 组患者的三期图像中 SNR、CNR 及噪声差异均无统计学意义 (*P* > 0.05); 250 mAs 组与 150 mAs 组患者的平扫及动脉期图像中 SNR 及噪声差异均无统计学意义 (*P* > 0.05), 门脉期图像中 SNR 及三期图像中 CNR 差异均有统计学意义 (*P* < 0.05); 200 mAs 组与 150 mAs 组患者的平扫及动脉期图像中 SNR、CNR 及噪声差异均无统计学意义 (*P* > 0.05), 门脉期图像中 SNR、CNR 差异均有统计学意义 (*P* < 0.05)。说明随着质量参考毫安秒的下降, 图像 CNR 逐渐升高, 150 mAs 组最高, 其图像比 250、200 mAs 两组图像细腻, 这是因为系统自动选择低管电压时, 管电流会适当增加, 弥补低管电压所损失的部分图像质量, 提高图像 CNR。150 mAs 组增强时选择以 80 kV 或 100 kV 为主, mAs 选择高于参考管电流 150 mA。见表 4。

4. 一致性比较: 两名医师对图像质量评价的结果一致性较好 ($\kappa = 0.85$, *P* < 0.05)。

讨 论

国际放射防护委员会 (ICRP) 在 2000 年对辐射剂量进行了统计, CT 扫描的辐射剂量占据了三分之一左右^[6]。全腹部 CT 检查扫描范围大, 从膈肌顶端至耻骨联合下 2 cm, 扫描范围包括性腺, 同时增强时需要多期扫描, 所致辐射危害往往高于其他部

表 3 3 组患者平扫期、动脉期和门脉期的辐射剂量

Table 3 The comparison of radiation dose for plain scan, arterial phase and portal phase of three groups

组别	例数	平扫期			动脉期			门脉期		
		CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy · cm)	<i>E</i> (mSv)	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy · cm)	<i>E</i> (mSv)	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy · cm)	<i>E</i> (mSv)
250 mAs	60	11.12 ± 2.64	511.83 ± 142.45	7.67 ± 2.13	10.65 ± 2.77	502.30 ± 140.13	7.51 ± 2.10	10.61 ± 2.77	502.60 ± 140.50	7.52 ± 2.10
200 mAs	60	8.35 ± 2.59	433.65 ± 135.12	6.65 ± 2.02	7.84 ± 2.64	371.30 ± 137.00	5.56 ± 2.05	7.82 ± 2.64	370.20 ± 136.80	5.55 ± 2.05
150 mAs	60	5.86 ± 1.69	309.50 ± 97.34	4.64 ± 1.46	5.47 ± 1.63	255.05 ± 87.92	3.82 ± 1.31	5.47 ± 1.66	254.40 ± 87.63	3.81 ± 1.31
<i>F</i> 值		74.95	39.46	39.52	69.51	59.69	59.23	68.19	60.17	59.88
<i>P</i> 值		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注: CTDI_{vol}. 平均容积 CT 剂量指数; DLP. 剂量长度乘积; *E*. 有效剂量

表 4 3 组患者图像 SNR、CNR 及噪声比较

Table 4 The comparison of image SNR, CNR and noise of the three groups

mAs	例数	SNR			CNR			噪声		
		平扫期	动脉期	门脉期	平扫期	动脉期	门脉期	平扫期	动脉期	门脉期
250	60	5.31 ± 3.58	5.78 ± 3.64	7.98 ± 5.35	0.81 ± 1.56	1.22 ± 1.83	3.51 ± 2.63	21.89 ± 2.03	21.46 ± 2.29	23.88 ± 2.29
200	60	4.94 ± 3.37	5.62 ± 3.63	8.01 ± 5.65	1.22 ± 1.41	1.74 ± 1.67	4.16 ± 3.63	22.77 ± 2.94	22.51 ± 2.01	22.58 ± 1.90
150	60	5.78 ± 3.18	6.37 ± 3.18 ^a	10.44 ± 4.93 ^{ab}	1.70 ± 2.44 ^a	2.39 ± 2.48 ^a	6.20 ± 4.41 ^b	16.52 ± 1.38	15.63 ± 1.53	15.62 ± 1.5

注:SNR. 信噪比; CNR. 对比噪声比。^a与 250 mAs 比较, $U=1625、1330、1308、1140, P<0.05$; ^b与 200 mAs 比较, $U=1317、1255, P<0.05$

表 5 3 组患者图像主观质量评价比较

Table 5 The comparison of subjective image quality

组别	例数	score of three groups		
		平扫期	动脉期	门脉期
250 mAs	60	3.72 ± 0.45	3.67 ± 0.47	3.68 ± 0.47
200 mAs	60	3.63 ± 0.48	3.60 ± 0.49	3.60 ± 0.49
150 mAs	60	3.60 ± 0.49	3.72 ± 0.45	3.70 ± 0.46

位。Tsapaki 等^[7]报道,每位腹部 CT 检查患者的癌症发生率约为 $12.5/10^4$,其危害程度等于吸烟 1 年。如何既保证图像质量,又能最大程度降低辐射剂量,是目前放射工作者研究的重点与热点。临床常用的降低辐射剂量的方法有降低管电流和管电压。由于降低管电压会使图像噪声增加,在众多研究中已经得到实践证明^[8-9],因此,临床首选降低管电流的方法来降低辐射剂量。

Care Dose 4D 技术是一种全自动动态实时射线剂量调控技术,它通过患者体厚大小,扫描时 X 射线管的角度等来调节管电流的大小,从而减少患者受照剂量^[10-11]。Winklehner 等^[12]提出,该技术可使所有扫描部位总体辐射剂量减少 29.4%。Care kV 技术根据预选扫描部位的定位像自动确定被检者体型,根据图像质量要求,自动计算出不同管电压下所需管电流的基准值和变化曲线,同时计算出 CTDI_{vol},选择管电压从低到高,在 X 射线管系统硬件允许的情况下选择最低管电压进行扫描^[13]。如果单纯降低管电流来降低辐射剂量,影响图像低对比分辨率,信噪比降低,从而影响图像密度分辨率。本研究采用 Care Dose 4D 技术与 Care kV 技术联合应用,在保证影像质量的前提下,更大程度地降低腹部 CT 检查的辐射剂量。结果显示,平扫期剂量优化指数选择 3,动脉期和门脉期选择 7,在质量参考毫安秒 250 mAs 时,对 kV 影响不大,而当选择 200 和 150 mAs 时,对 kV 选择影响大,随着质量参考毫安秒的降低,系统对选择低 kV 的概率增加;随着质量参考毫安秒的下降,患者辐射剂量随之下降,150 mAs 组 E 值最低,但 3 组图像质量评分无

差异。

腹部各脏器组织之间的密度差很小,对比度相对低。以往为了保证腹部各脏器能有良好对比,一般使用 120 kV 扫描。唐坤等^[14]研究表明,对于低对比的腹部,单纯降低管电压会导致图像 CNR 下降。CNR 是评价影像质量的一项重要指标。管电压物理特性提示,降低管电压可以使高原子序数的物质如碘/骨骼等的 CT 值增高,对于使用碘对比剂进行增强检查的患者,使用低管电压可以提高含碘血管的对比度。Schindera 等^[15]研究显示,较低的管电压(100 kV 或 80 kV)比常规管电压(120 kV)能增加碘对比剂的 CT 衰减。因此,考虑到腹部脏器的解剖特点和管电压的物理特性,平扫时将剂量优化指数选择 3,动脉期和门脉期选择 7,说明随着质量参考毫安秒的下降,图像 CNR 逐渐升高,与 Mayer 等^[16]提到的在胸腹部 CT 检查中,相比于固定管电压(100 或 120 kV)结合自动管电流,Care kV 结合 Care Dose 4D 扫描所获影像的信噪比、对比噪声比均明显升高,且 E 降低 18% 的观点相符。Yu 等^[17]的研究结果也证实了这一观点。

总之,采用 Care kV 技术联合 Care Dose 4D 技术进行腹部扫描,能根据患者的体型给出最低的摄影条件,做到真正的个性化参数扫描。选择参考毫安值 150 mAs 所得图像能满足诊断的需求,患者辐射剂量大幅度降低,同时操作便捷,可延长 X 射线管使用寿命,节约医疗成本,因而值得推广应用。

利益冲突 无

作者贡献声明 张卫国负责试验设计和数据收集及论文撰写;蒋涛指导论文撰写及修改

参 考 文 献

[1] 唐威,黄遥,吴宁,等. 64 层螺旋 CT 胸部低剂量扫描方案优选的多中心研究[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(2):142-148. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.02.011.
Tang W, Huang Y, Wu N, et al. The optimization of low-dose scanning protocols of 64-slice spiral CT in the adult chest: a

- multicenter study [J]. Chin J Radiol, 2011, 45 (2): 142-148. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.02.011.
- [2] Prokop M. Radiation dose in computed tomography. Risks and challenges [J]. Der Radiologe, 2008, 48 (3): 229-242. DOI: 10.1007/s00117-008-1635-8.
- [3] Wang L, Kang W, Zu M, et al. Application of 128-slice spiral CT combination scanning in the diagnosis of embolisms in pulmonary arteries and lower extremity veins [J]. Exp Ther Med NLM, 2014, 7(2): 401-404.
- [4] 杨尚文, 何健, 杨献峰, 等. 以平扫图像噪声设置毫安秒降低肝脏 CT 增强扫描辐射剂量的研究 [J]. 中华放射学杂志, 2013, 47 (4): 321-325. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.04.007.
- Yang SW, He J, Yang XF, et al. Reducing radiation dose in liver enhanced CT scan by setting mAs according to plain scan noise [J]. Chin J Radiol, 2013, 47 (4): 321-325. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.04.007.
- [5] American Association of Physicists in Medicine. Themeasurement, reporting, and management of radiation dose in CT: report of AAPM Task Group 23 of the Diagnostic Imaging Council CT Committee. AAPM Report No. 96 [R]. College Park, MD: AAPM, 2008.
- [6] 胡敏霞, 赵心明, 宋俊峰, 等. 64 层螺旋 CT 腹部扫描参数优化的个体化选择 [J]. 中华放射学杂志, 2012, 46 (7): 624-628. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2012.07.010.
- Hu MX, Zhao XM, Song JF, et al. Optimization of individualized abdominal scan protocol with 64-slice CT scanner [J]. Chin J Radiol, 2012, 46 (7): 624-628. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2012.07.010.
- [7] Tsapaki V, Rehani M, Saini S. Radiation safety in abdominal computed tomography [J]. Semin Ultrasound CT MR, 2010, 31 (1): 29-38. DOI: 10.1053/j.sult.2009.09.004.
- [8] 袁庆海, 刘建华, 韩冰, 等. 应用 80 kV 管电压降低主动脉 CT 造影射线剂量初探 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30 (6): 740-743. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2010.06.030.
- Yuan QH, Liu JH, Han B, et al. Preliminary research of reducing radiation dose in aortic CT angiography with 80 kV tube kilovoltage [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2010, 30 (6): 740-743. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2010.06.030.
- [9] 富青, 余建明, 孔祥闯, 等. 128 层螺旋 CT 肺动脉低管电压成像的临床可行性研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2014, 34 (1): 62-66. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2014.01.017.
- Fu Q, Yu JM, Kong XC, et al. The feasibility study of 80 kV in 128-slice MSCT pulmonary angiography [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2014, 34 (1): 62-66. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2014.01.017.
- [10] Söderberg M, Gunnarsson M. The effect of different adaptation strengths on image quality and radiation dose using Siemens Care Dose 4D [J]. Radiat Prot Dosim, 2010, 139 (1-3): 173-179. DOI: 10.1093/rpd/ncq098.
- [11] 李剑, 郑敏文, 石明国, 等. 低 kV 和 CARE Dose 4D 技术对降低双源 CT 主动脉成像辐射剂量的价值 [J]. 临床放射学杂志, 2011, 30 (10): 1528-1531. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2011.10.013.
- Li J, Zheng MW, Shi MG, et al. Reducing radiation dose with low-kV and CARE Dose 4D in dual-Source CT aorta angiography [J]. J Clin Radiol, 2011, 30 (10): 1528-1531. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2011.10.013
- [12] Winklehner A, Goetti R, Baumueller S, et al. Automated attenuation-based tube potential selection for thoracoabdominal computed tomography angiography: improved dose effectiveness [J]. Invest Radiol, 2011, 46 (12): 767-773. DOI: 10.1097/RLI.0b013e3182266448.
- [13] 许轶群, 孟名柱, 钱农, 等. 智能最佳管电压技术降低胸部 CT 辐射剂量的前瞻性研究 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2013, 33 (6): 664-667. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2013.06.027.
- Xu YQ, Meng MZ, Qian N, et al. Prospective study on the value of CARE kV technique in reducing the radiation dose in adult chest CT imaging [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2013, 33 (6): 664-667. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2013.06.027.
- [14] 唐坤, 曹国全, 李瑞, 等. 低管电压腹部 CT 扫描对图像质量及辐射剂量影响的体模实验 [J]. 中国医学影像技术, 2012, 28 (4): 800-804.
- Tang K, Cao GQ, Li R, et al. Experiment on the impact of low tube voltage on imaging quality and radiation dose in abdominal multi-detector CT [J]. Chin J Med Imag Technol, 2012, 28 (4): 800-804.
- [15] 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. DOI: 10.1148/radiol.11102217.
- [16] Mayer C, Meyer M, Fink C, et al. Potential for radiation dose savings in abdominal and chest CT using automatic tube voltage selection in combination with automatic tube current modulation [J]. AJR Am J Roentgenol, 2014, 203 (2): 292-299. DOI: 10.2214/AJR.13.11628.
- [17] Yu L, Fletcher JG, Grant KL, et al. Automatic selection of tube potential for radiation dose reduction in vascular and contrast-enhanced abdominopelvic CT [J]. AJR Am J Roentgenol, 2013, 201 (2): W297-306. DOI: 10.2214/AJR.12.9610.

(收稿日期: 2016-06-21)