

DOI:10.3969/j.issn.1000-9760.2019.06.009

双源 CT 双低技术在主动脉疾病 CTA 检查中的应用

张会如¹ 姜鑫² 张倩² 张朝刚² 李冲冲² 王林省²(¹济宁医学院第二临床医学院, 济宁 272067; ²济宁医学院附属医院, 济宁 272029)

摘要 **目的** 探讨应用低对比剂量、低辐射剂量技术在主动脉疾病患者 CT 血管成像中的应用情况。
方法 选取 64 例主动脉疾病患者行胸腹主动脉 CTA 检查, 将患者随机分为常规 A 组 21 例 (BMI \geq 25.0 kg/m² 时 120KV, BMI < 25.0 kg/m² 时 100KV, 碘普罗胺 370mg I/ml, 螺距 1.2)、双低非门控 B 组 21 例 (BMI \geq 25.0 kg/m² 时 100KV, BMI < 25.0 kg/m² 时 80KV, 碘普罗胺 300mg I/ml, 螺距 3.2) 和双低门控 C 组 22 例 (BMI \geq 25.0 kg/m² 时 100KV, BMI < 25.0 kg/m² 时 80KV, 碘普罗胺 300mg I/ml, 螺距 3.4)。比较各组间的主观图像质量评分和客观图像质量的差异, 记录各组辐射剂量。
结果 三组图像质量总体无明显差异, 但是三组间主动脉根部主观图像质量评分具有统计学差异 ($P < 0.05$), 经两两比较后示 A 组评分值明显小于 B 和 C 组, 而后两者则相似。三组间辐射剂量比较差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。C 组辐射剂量指标都明显低于 A 和 B 组, 对比剂用量 B 组 (55ml) 和 C 组 (55ml) 较 A 组 (70ml) 有所减少。
结论 低辐射剂量、低对比剂用量联合心电图门控技术的主动脉血管成像, 其图像质量能够满足临床诊断需要, 并且可以显著地降低对比剂用量和辐射剂量。

关键词 计算机体层摄影术; 主动脉血管成像; 辐射剂量; 对比剂

中图分类号: R816.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-9760(2019)12-416-05

Application of dual-low CTA technique of dual-source CT on aortic diseases

ZHANG Huiru¹, JIANG Xin², ZHANG Qian², ZHANG Chaogang², LI Chongchong², WANG Linsheng²¹The Second School of Clinical Medicine, Jining Medical University, Jining 272067, China;²Affiliated Hospital of Jining Medical University, Jining 272029, China)

Abstract: Objective To investigate the application of double-low dose in CT angiography (CTA) of patients with aortic lesions. **Methods** A total of 64 patients with aortic diseases undergoing CTA were selected as the subjects. The patients were randomly divided into routine group A, 21 cases (120KV at BMI \geq 25.0 and 100KV at BMI < 25.0, iopromide 370mg I/ml, pitch 1.2); double-low non-gated group B, 21 cases (100KV at BMI \geq 25.0 and 80KV at BMI < 25.0, iopromide 300mg I/ml, pitch 3.2); and double-low-gated group C, 22 cases (100KV at BMI \geq 25.0 and 80KV at BMI < 25.0, iopromide 300mg I/ml, pitch 3.4). The differences of subjective image quality score and objective image quality between the two groups were compared. The radiation dose was recorded in each group. **Results** There was no significant difference in the overall image quality among the three groups. There was significant difference in the aortic root image quality score among the three groups ($P < 0.05$). The mean value of group A was significantly lower than that of group B and C, while the latter two were similar. The radiation dose indices of group C were significantly lower than those of group A and B, and there was statistical significance between two groups ($P < 0.05$). The iodine intake of group B (55ml) and group C (55ml) was 36.29% lower than that of group A (70ml). **Conclusion** The image quality of aortic angiography with low-voltage and low-dose contrast medium combined with ECG-gated technology can meet the needs of clinical diagnosis, and can significantly reduce the dosage of contrast medium and radiation dose.

Keywords: Computed tomography; Aorta CTA; Radiation dose; Contrast medium

主动脉 CT 血管成像 (computed tomography angiography, CTA) 技术已经成为诊断主动脉及其重

要分支血管病变的主要手段,尤其在主动脉夹层和主动脉瘤术前、术后评估方面有重要临床价值^[1]。但由于行主动脉 CTA 检查的患者接受辐射剂量较大,并且需注射对比剂,高辐射剂量和高浓度对比剂,可能增加致癌的风险,或导致一系列对比剂不良反应^[2]。因此,在遵循辐射剂量最优化原则和保证图像质量满足临床诊断要求的前提下,尽可能降低辐射剂量和对比剂用量,已成为目前研究热点^[3-5]。此外,主动脉 CTA 检查中由于 CT 时间分辨率限制,常在主动脉根部形成波动伪影,如何消除或减少该伪影,可避免误诊或漏诊发生,也是主动脉 CTA 研究的热点领域。

本文采用 3.4 大螺距结合心电门控、CARE Dose、SAFIRE 和根据体重指数 (BMI) 降低管电压值多种技术联合,并与常规扫描和双低非门控扫描对照研究,探讨其在主动脉 CTA 显像中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取本院 2017 年 12 月 - 2018 年 3 月疑主动脉病变的 64 例患者行胸腹主动脉 CTA 检查,将患者随机分为常规组 (A)、双低非门控组 (B) 和双低门控组 (C)。所有患者试验前均签署注射碘过敏造影剂知情同意书。纳入标准:临床怀疑有夹层动脉瘤、动脉瘤或复查病人。排除标准:有碘对比剂过敏史,患有心、肝、肾功能不全。3 组患者一般情况具有可比性。见表 1。

1.2 检查方法

采用西门子第 2 代双源 CT 扫描范围自胸廓入口至耻骨联合上缘水平。A 组应用碘普罗胺 370mg I/ml,肘前静脉注射 70ml,流速 4.0ml/s。B 和 C 组应用碘普罗胺 300mg I/ml,4.0ml/s 的流率,总量各 55ml。3 组均采用自动智能追踪模式,阈值为 100HU;A 组检测点位于降主动脉近段,B 和 C 组检测层面为腹主动脉 L3 椎体下缘水平,当感兴趣区达到阈值后延迟 6s 屏气扫描。

扫描参数:A 组,体重质量指数 (BMI) $\geq 25.0\text{kg/m}^2$ 时,采用 120KV;BMI $< 25.0\text{kg/m}^2$ 时,采用 100KV。CAREdose 4D 自动 mAs 技术,参考管电流 160mAs。螺距 1.2,旋转时间 0.5s,层厚 0.6mm,层距 0.6mm。B 组和 C 组, BMI $\geq 25.0\text{kg/m}^2$ 时,采用 100KV; BMI $< 25.0\text{kg/m}^2$ 时,采用

80KV。CAREdose 4D 自动 mAs 技术,参考管电流 160mAs,,旋转时间 0.28s,层厚 0.6mm,层距 0.6mm,算法为 130f medium smooth,重建方式为 SAFIRE,滤过参数为 3 级。B 组螺距 3.2,C 组螺距 3.4。

1.3 图像质量评价

1) 扫描结束后,将图像传输至工作站。测量图像中升主动脉中段 (T6 椎体水平)、T9 及 L3 水平、同层面胸背部肌肉 (竖脊肌) 的 CT 值,测量前胸及前腹壁正前方空气噪声作为背景噪声。见图 1。算出对比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR), 信噪比 (signal-to-noise ratio, SNR), $\text{SNR} = \text{CT 值} / \text{背景噪声}$, $\text{CNR} = (\text{血管平均 CT 值} - \text{肌肉平均 CT 值}) / \text{背景噪声}$ 。

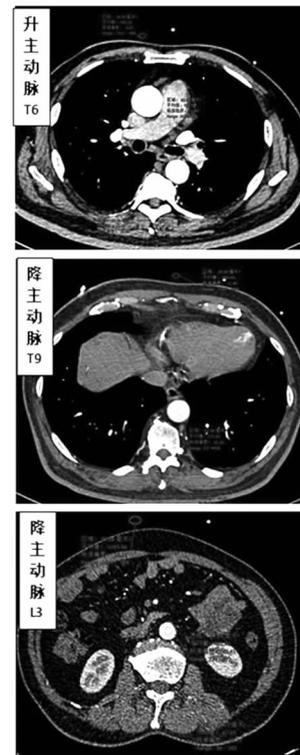


图 1 各层面主动脉、血管噪声、背景噪声 CT 值测量

2) 主观评价。由两位有经验的 CT 诊断医生按 3 分法独立对主动脉根部、胸段主动脉、腹主动脉和右肾动脉分支进行图像质量进行评分。1 分为图像差,不能满足诊断要求;2 分为图像质量中等,满足诊断要求;3 分为图像质量优秀。对右肾动脉分支情况评分如下:1 分仅显示一级分支,2 分可清晰显示 2 级分支,3 分可清晰显示 3 级分支。

分别计算两位医生主观评分。评分完成后算出两位医生评分的一致性。

1.4 辐射剂量评价

记录容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol),并计算剂量长度乘积(dose-length product, DLP),根据 DLP 计算有效剂量(effective dose, ED), $ED = k \times DLP$ (k 值采用欧盟委员会推荐的躯干值 0.017)^[6]。

1.5 统计学方法

用 SPSS 20.0 软件进行分析。对年龄、CT 值、SNR、CNR、DLP、CTDIvol、ED 各参数值均符合正态分布。患者 3 组间比较方差齐性后采用单因素方差分析,两两比较采用修正的最小显著性差异法(LSD-t)。观察者间的一致性采用 Kappa 分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 3 组 CT 扫描基本参数及辐射剂量对比分析

3 组患者的年龄、性别、 $BMI \geq 25.0 \text{kg/m}^2$ 或 $< 25.0 \text{kg/m}^2$ 所占比例、扫描长度、心率差异均无统计学差异($P > 0.05$);3 组 CTDIvol、DLP 和 ED 3 项指标差异具有统计学意义($P < 0.05$)。进一步两两比较,双低门控组辐射剂量明显低于双低非门控组和常规组。见表 1。

2.2 图像质量客观评价

3 组图像客观质量参数背景噪声和主动脉噪声均增大,CT 值均有增加,SNR 和 CNR 均有减低。升主动脉 T6 水平、降主动脉 T9 水平及降主动脉 L3 水平 3 组间 SNR 和 CNR 均无统计学意义。见表 2。

表 1 3 组 CT 扫描基本参数及辐射剂量比较($\bar{x} \pm s$)

| 组别 | n | 性别 | | 年龄(岁) | BMI/kg·m ⁻² | | 心率 /bpm | 扫描长度 /cm | CTDIvol /mGy | DLP /mGy·cm ⁻¹ | ED /msv |
|------------|----|-------|----|---------------|------------------------|-----|--------------|--------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| | | 男 | 女 | | ≥25 | <25 | | | | | |
| A 组 | 21 | 10 | 11 | 59.71 ± 9.93 | 11 | 10 | 65.41 ± 9.26 | 62.15 ± 2.38 | 6.44 ± 2.18 ^{b,c} | 399.97 ± 133.33 ^{b,c} | 6.00 ± 2.00 ^{b,c} |
| B 组 | 21 | 11 | 10 | 58.14 ± 11.91 | 12 | 9 | 65.23 ± 7.18 | 62.74 ± 2.05 | 3.17 ± 0.96 ^c | 199.48 ± 60.87 ^c | 2.99 ± 0.91 ^c |
| C 组 | 22 | 12 | 10 | 57.45 ± 12.34 | 10 | 12 | 66.17 ± 6.93 | 62.80 ± 2.45 | 1.41 ± 0.69 | 88.84 ± 44.18 | 1.33 ± 0.66 |
| F/χ^2 | | 0.215 | | 0.22 | 0.134 | | 0.13 | 0.51 | 68.78 | 68.97 | 68.96 |
| P | | 0.898 | | 0.81 | 0.512 | | 0.88 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

注:CTDvol,容积 CT 剂量指数;DLP,剂量长度乘积;ED,有效剂量。与 B 组比较,^b $P < 0.05$;与 C 组比较,^c $P < 0.05$

表 2 常规、双低非门控和双低门控组图像噪声及图像质量数据值($\bar{x} \pm s$)

| 部位 | 参数 | A 组 | B 组 | C 组 | F | P |
|---------|----------|----------------|----------------|----------------|------|-------|
| 升主动脉 T6 | 背景噪声 | 8.52 ± 3.47 | 10.66 ± 3.2 | 11.84 ± 5.29 | 3.58 | 0.034 |
| | 主动脉 CT 值 | 365.56 ± 67.86 | 423.31 ± 81.46 | 430.61 ± 81.03 | 4.53 | 0.02 |
| | 主动脉噪声 | 53.15 ± 8.84 | 49.06 ± 12.92 | 53.94 ± 8.59 | 1.38 | 0.26 |
| | SNR | 48.19 ± 16.83 | 44.44 ± 22.68 | 42.78 ± 21.67 | 0.39 | 0.68 |
| | CNR | 41.12 ± 14.79 | 39.17 ± 19.92 | 37.54 ± 19.97 | 0.20 | 0.82 |
| 降主动脉 T9 | 背景噪声 | 8.67 ± 3.82 | 11.50 ± 3.72 | 11.75 ± 4.38 | 3.90 | 0.03 |
| | 主动脉 CT 值 | 364.68 ± 67.50 | 426.56 ± 92.02 | 417.88 ± 96.92 | 3.16 | 0.05 |
| | 主动脉噪声 | 53.94 ± 6.99 | 52.73 ± 8.64 | 50.99 ± 11.15 | 1.01 | 0.37 |
| | SNR | 48.04 ± 18.57 | 42.04 ± 21.66 | 39.71 ± 16.64 | 1.09 | 0.34 |
| | CNR | 41.02 ± 16.74 | 36.81 ± 19.90 | 34.83 ± 15.52 | 0.70 | 0.50 |
| 降主动脉 L3 | 背景噪声 | 8.71 ± 3.63 | 11.59 ± 4.89 | 11.62 ± 4.04 | 3.32 | 0.04 |
| | 主动脉 CT 值 | 364.43 ± 58.08 | 409.12 ± 73.63 | 417.36 ± 84.67 | 3.22 | 0.05 |
| | 主动脉噪声 | 54.52 ± 8.05 | 54.02 ± 12.76 | 51.03 ± 12.72 | 0.59 | 0.56 |
| | SNR | 46.63 ± 15.33 | 40.49 ± 15.63 | 39.46 ± 14.03 | 1.42 | 0.25 |
| | CNR | 39.68 ± 13.60 | 35.14 ± 14.14 | 34.58 ± 13.06 | 0.90 | 0.41 |

注:SNR,信噪比;CNR,对比噪声比

2.3 图像质量主观评价

主动脉根部图像质量评分 3 组间具有统计学差异($P < 0.05$), A 组评分均值小于 B 组和 C 组, 而 B 与 C 两组间均值相似。而胸主动脉降段、腹主动脉及右肾分支评分, 3 组间均无统计学差异($P > 0.05$)。两位医生主观评分一致性较好, Kappa 值从 0.45 ~ 0.90 不等($P < 0.05$)。见表 3、4。

表 3 3 组主动脉图像质量主观评分比较(分, $\bar{x} \pm s$)

| 组别 | n | 主动脉根部 | T9 水平 | L3 水平 | 右肾分支 |
|-----|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| A | 21 | 2.14 ± 0.57 | 2.86 ± 0.36 | 2.81 ± 0.40 | 2.90 ± 0.30 |
| B | 21 | 2.81 ± 0.40 | 2.81 ± 0.40 | 2.71 ± 0.56 | 2.71 ± 0.46 |
| C | 22 | 2.77 ± 0.53 | 2.82 ± 0.39 | 2.77 ± 0.43 | 2.82 ± 0.39 |
| F 值 | | 19.18 | 0.19 | 0.20 | 2.47 |
| P | | 0.00 | 0.91 | 0.90 | 0.29 |

注: T9, 胸 9 椎体; L3, 腰 3 椎体

表 4 3 组组内一致性检验

| 位置 | 组别 | Kappa 值 | P |
|-----------|----|---------|------|
| 主动脉根部 | A | 0.90 | 0.00 |
| | B | 0.70 | 0.00 |
| | C | 0.63 | 0.00 |
| 主动脉 T9 水平 | A | 0.61 | 0.00 |
| | B | 0.74 | 0.00 |
| | C | 0.69 | 0.00 |
| 主动脉 L3 水平 | A | 0.70 | 0.00 |
| | B | 0.76 | 0.00 |
| | C | 0.69 | 0.00 |
| 右肾分支 | A | 0.45 | 0.04 |
| | B | 0.58 | 0.01 |
| | C | 0.74 | 0.00 |

2.4 对比剂用量评价

常规组对比剂用量为 70ml, 双低非门控和双低门控组用量均为 55ml, 3 组主动脉内对比剂分布均匀, 管腔显示清晰。后两者较常规组对比剂用量有所减少。

3 讨论

双源 CT 主动脉 CTA 检查因扫描范围大, 且部分主动脉病变术后需多次随访, 其辐射剂量和对比剂用量较多, 有引起肿瘤和对比剂肾病等风险, 已引起业界广泛重视^[7]。因而降低碘对比剂用量和辐射剂量具有重要的现实意义。

单一技术对减少辐射剂量价值有限, 理论上多技术联合可更大程度减低辐射剂量^[7], 目前, 常用降低辐射剂量方法有增大螺距、尽量减少扫描范围、降低管电压、管电流、使用迭代重建算法和基于 BMI 自动 CARE Dose、CARE Kv 等^[8-10]。采取多技

术联合进行双低技术主动脉 CTA 成像研究已有不少, 并取得了良好效果, 但多以其中一种或结合其中两种方法为主^[9-10]。此外, 主动脉 CTA 成像中的主动脉根部波动伪影问题, 采用大螺距 3.2 结合心电门控技术的多技术联合双低技术方法^[4], 既可改善了主动脉根部波动伪影问题, 又降低了有效辐射剂量问题, 然而尚无应用 3.4 螺距结合心电门控和其他多种技术模式。

本文采用双源 CT 双低技术结合心电门控主动脉成像, 结果显示 3 组间主动脉根部图像质量评分具有统计学差异($P < 0.05$), 双低门控组成像质量更好, 可明显减少主动脉根部波动伪影。另外双低非门控组采用螺距 3.2, 双低门控组螺距为 3.4, 后者螺距虽稍提高 0.2, 辐射剂量却减少了近 50%。

近年来, 已有不少关于减少对比剂用量方面的研究, 降低患者碘摄入的总量, 可以降低造影剂肾病发生的概率, 在临床上常规用到 70 ~ 90 ml 左右, 亦有研究显示利用 50 ml 对比剂用量在主动脉成像中的可行性^[11]。但对于主动脉瘤或夹层动脉患者, 存在充填不全风险。本研究常规组注射对比剂采用 70 ml, 双低门控组和双低非门组均注射 55ml, 3 组主动脉内对比剂分布均匀, 管腔显示清晰, 双低非门控和双低门控组较常规组对比剂用量有所减少。

综上所述, 本文采用双源 CT 大螺距(3.4)、低 KV(80 或 100KV)、CARE Dose、SAFIRE、低对比剂用量(55ml)联合心电门控技术的主动脉血管成像, 该技术主动脉 CTA 图像能满足临床需要, 并可显著降低辐射剂量和对比剂用量, 值得推广应用。

参考文献:

[1] Bolen MA, Popovic ZB, Tandon N, et al. Image quality, contrast enhancement, and radiation dose of ECG-triggered high-pitch CT versus non-ECG-triggered standard-pitch CT of the thoracoabdominal aorta [J]. AJR Am J Roentgenol, 2012, 198 (4): 931-938. DOI: 10.2214/AJR.11.6921.

[2] Beeres M, Wichmann JL, Frellesen C, et al. ECG-gated versus non-ECG-gated high-pitch dual-source CT for whole body CT angiography (CTA) [J]. Acad Radiol, 2016, 23(2): 163-167. DOI: 10.1016/j.acra.2015.09.003.

(下转第 423 页)

亚健康状态大学生的症状和体征,从而使机体的阴阳重新恢复“阴平阳秘,精神乃治”的协调平衡状态,让大学生重新回到充满生机活力的健康生活状态。该疗法依从性好,且经济安全,疗效显著,值得进一步推广。

参考文献:

[1] 曲鹏达. 大学生健康状况和影响因素调查分析[D]. 昆明:云南中医药大学,2019.
 [2] 姜行素. 大学生亚健康的中医分型及治疗思路[J]. 大家健康(中旬版),2015,9(3):265-265.
 [3] 中华中医药学会. 中医体质分类与判定[M]. 北京:中国中医药出版社,2006:2-10.
 [4] 王琦. 9 种基本中医体质类型的分类及其诊断表述依据[J]. 北京中医药大学学报,2005,28(4):1-8. DOI: 10.3321/j. issn:1006-2157. 2005. 04. 001.
 [5] 中华中医药学会. 亚健康中医临床指南[M]. 北京:中国中医药出版社,2006:2-10.
 [6] 邹杰,石鹤峰,蔡永敏,等. 亚健康评价及治疗研究进展[J]. 中医研究,2009,22(2):62-64. DOI:10.3969/j. issn. 1001-6910. 2009. 02. 035.
 [7] 郑筱萸. 中药新药临床研究指导原则[M]. 北京:中国医药出版社,2002:385-388.
 [8] 李万林,黄靖宇. 亚健康状态中医学干预研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报,2011,13(6):254-257.
 [9] 魏茜茜. 督灸配合针刺干预颈椎亚健康的临床研究

[D]. 济南:山东中医药大学,2017.
 [10] 姚实林. 阳虚质临床辨治浅析[J]. 新中医,2007,39(11):92-93. DOI: 10.3969/j. issn. 0256-7415. 2007. 11. 058.
 [11] 王琦. "治未病"的中医体质辨识理论与技术[J]. 中华健康管理学杂志,2008,2(4):193-194. DOI:10.3760/cma. j. issn. 1674-0815. 2008. 04. 001.
 [12] 王苗娟,严正松,陈燕. 中医体质辨识 500 例调查与分析[J]. 中医药学报,2009,37(5):51-52. DOI:10.3969/j. issn. 1002-2392. 2009. 05. 021.
 [13] 王琦. 中医体质学[M]. 北京:人民卫生出版社,2005:66.
 [14] 庞亚铮,董甜甜,孙春全,等. 督灸改善阳虚型亚健康 30 例临床疗效观察[J]. 山东中医杂志,2017,36(3):212-214.
 [15] 黄艳艳. 调督温阳法调治阳虚质亚健康状态的临床观察[D]. 南宁:广西中医药大学,2017.
 [16] 刘骁,王庆军. 督灸对阳虚体质亚健康人群健康状况及 IgA 水平影响的临床研究[J]. 光明中医,2018,33(17):2549-2552. DOI: 10.3969/j. issn. 1003-8914. 2018. 17. 036.
 [17] 梁繁荣. 针灸学[M]. 北京:中国中医药出版社,2016:100.

(收稿日期 2019-04-25)

(本文编辑:甘慧敏)

(上接第 419 页)

[3] Hedgire SS, Baliyan V, Ghoshhajra BB, et al. Recent advances in cardiac computed tomography dose reduction strategies: a review of scientific evidence and technical developments[J]. J Med Imaging (Bellingham), 2017, 4(3):031211. DOI:10.1117/1.JMI.4.3.031211.
 [4] 李剑,宦怡,赵宏亮,等. 双源 CT 心电门控和非门控大螺距主动脉成像质量与辐射剂量的对照研究[J]. 中华放射学杂志,2013,47(4):301-304. DOI:10.3760/cma. j. issn. 1005-1201. 2013. 04. 003.
 [5] 杜昊,沈利利,丁翔. 双低剂量全主动脉 CT 血管成像临床应用研究[J]. 影像研究与医学应用,2018,2(20):43-44. DOI:10.3969/j. issn. 2096-3807. 2018. 20. 024.
 [6] Zhang LJ, Li X, Schoepf UJ, et al. Non-electrocardiogram-triggered 70-kVp high-pitch computed tomography angiography of the whole aorta with iterative reconstruction: initial results[J]. J Comput Assist Tomogr, 2016, 40(1):109-117. DOI:10.1097/RCT. 0000000000000329.

[7] 张龙江,卢光明. CT 血管成像静脉注射碘对比剂的原则和策略[J]. 中华放射学杂志,2011,45(6):597-600. DOI:10.3760/cma. j. issn. 1005-1201. 2011. 06. 024.
 [8] 李勤,晏子旭,范占明,等. 320 排容积 CT 三种心电扫描模式在胸腹主动脉 CTA 中的应用[J]. 医学影像学杂志,2014,24(2):209-212,221.
 [9] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Strategies for CT radiation dose optimization [J]. Radiology, 2004, 230(3):619-628. DOI:10.1148/radiol. 2303021726.
 [10] Niemann T, Henry S, Faivre JB, et al. Clinical evaluation of automatic tube voltage selection in chest CT angiography[J]. Eur Radiol, 2013, 23(10):2643-2651. DOI: 10.1007/s00330-013-2887-x.
 [11] Kok M, de Haan MW, Muhl C, et al. Individualized CT angiography protocols for the evaluation of the aorta: a feasibility study[J]. J Vasc Interv Radiol, 2016, 27(4):531-538. DOI:10.1016/j. jvir. 2016. 01. 009.

(收稿日期 2019-05-20)

(本文编辑:甘慧敏)