

头颈 CTA 中基于复合体重因子的对比剂剂量应用

李洋, 潘初, 万维佳, 夏黎明, 黄文华

【摘要】 目的:探讨基于复合体重因子的对比剂使用方法行头颈 CTA 的可行性。**方法:**实验组 40 例患者采用基于复合体重因子的对比剂使用方法在 Toshiba Aquilion ONE 320 容积 CT 上行头颈 CTA, 对照组 26 例患者采用基于体重的对比剂使用方法在同一台螺旋 CT 上行头颈 CTA。采用独立样本 t 检验比较实验组和对照组的对比剂剂量、辐射剂量和主动脉弓、右颈总动脉、右颈内动脉、右椎动脉、基底动脉、大脑后动脉、大脑中动脉、大脑前动脉的 CT 值与其强化差值、图像信噪比、对比噪声比; 采用双盲法对图像进行主观评价, 并采用 Mann-Whitney U 检验比较两组的图像质量。**结果:**实验组和对照组的对比剂剂量分别为 (55.4 ± 5.9) mL/例、 (62.8 ± 7.9) mL/例, 两组的对比剂剂量有显著差异 ($P < 0.05$)。实验组和对照组的辐射剂量 (DLP) 均值分别为 (489.1 ± 55.0) mGy · cm、 (555.6 ± 78.7) mGy · cm。实验组和对照组的辐射剂量有显著差异 ($P < 0.05$)。实验组考察的动脉 CT 值和动脉强化差值均高于对照组且差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。实验组和对照组的图像信噪比、对比噪声比无统计学差异 ($P > 0.05$)。实验组的图像主观评价好于对照组且有统计学意义 (U 检验, $P < 0.05$)。**结论:**采用基于复合体重因子的对比剂使用方法结合低管电压技术在行头颅 CTA 时可以在保证图像质量、满足临床诊断需求的前提下降低对比剂用量、降低辐射剂量。

【关键词】 计算机体层摄影血管造影术; 辐射剂量; 对比剂

【中图分类号】 R814.4; R144; R981.1 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2020)06-0785-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.06.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The application of the technology of contrast agents based on compound body weight factor in head and neck CTA LI Yang, PAN Chu, WAN Wei-jia, et al. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

【Abstract】 Objective: To investigate the feasibility of the protocol of contrast agents based on compound body weight factor in head and neck combined CT angiography (HNCTA). **Methods:** Forty patients served as the experimental group underwent HNCTA with the contrast protocol of compound body weight factor. Twenty-six patients served as controls with the contrast protocol based on weight. An independent sample t -test was used to compare the dose of contrast agent, radiation dose, and CT values of aortic arch, right common carotid artery, right internal carotid artery, right vertebral artery, basilar artery, posterior cerebral artery, middle cerebral artery and anterior cerebral artery between the experimental group and the control group. The differences of contrast, image signal-to-noise ratios and contrast noise ratios were also compared between the two groups. Subjective evaluation was performed by using a double-blind method, and Mann-Whitney U tests were used to compare the image quality of the two groups. **Results:** The mean contrast agent dose was (55.4 ± 5.9) mL/case in the experimental group and (62.8 ± 7.9) mL/case in the control group, respectively ($P < 0.05$). The mean radiation dose (DLP) was (489.1 ± 55.0) mGy · cm in the experimental group and (555.6 ± 78.7) mGy · cm in the control group, respectively ($P < 0.05$). The CT values of arteries and the contrast differences of arteries were significantly higher in the experimental group than those in the control group ($P < 0.05$). There was no statistical difference in the signal-to-noise ratio and contrast noise ratio between the two groups ($P > 0.05$). The subjective evaluation of images in the experimental group was better than that

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介: 李洋(1989—), 男, 河南南阳人, 硕士, 医学影像技师, 主要从事医学影像技术和研究工作。

通讯作者: 黄文华, E-mail: 1551858438@qq.com

of the control group (U test, $P < 0.05$). **Conclusions:** The protocol of contrast agent based on compound body weight factor can obtain diagnostic image quality while reducing the dose of contrast agent in HNCTA.

【Key words】 Computed tomography angiography; Radiation dosage; Contrast media

头颈 CTA (CT angiography, CTA) 是一种简单快速、非创伤性的头颈部动脉血管成像方法,在颅内动脉瘤、血管畸形、肿瘤供血、动脉狭窄等疾病诊断方面具有独特的优势。作为一项扫描范围从主动脉弓到颅顶的增强 CT 检查,头颈 CTA 也面临对比剂使用量大、辐射剂量高等问题^[1]。大剂量对比剂会增大对比剂肾病等不良反应发生率^[2],过高的辐射剂量也会增加辐射损伤发生的概率^[3]。因此在满足临床诊断需要的前提下,应该尽量降低对比剂使用量和患者所受辐射剂量。在行头颈 CTA 时,对比剂剂量与患者的体重、身高、年龄、性别、疾病类型等均有关系,其中体重和身高是主要影响因素^[4]。临床上多根据患者体重进行对比剂总量计算,文献亦提出使用血容量法或体表面积法计算对比剂用量^[5],不过计算过程较复杂,影响了临床推广应用。本研究结合现有理论研究和临床实践经验,在基于体重的对比剂计算方法基础上,将患者身高因素纳入其中,提出了基于患者体重和身高的新的对比剂计算方法,称为复合体重因子法,结合低管电压技术,旨在保证图像质量的前提下降低对比剂使用量和辐射剂量。

材料与方法

1. 病例资料

随机搜集 2017 年 3~11 月在 Toshiba Aquilion ONE 320 容积 CT 上行头颈 CTA 检查的 40 例病患作为实验组。主诉病史为动脉瘤、血管狭窄、动脉硬化、蛛网膜下腔出血等,采用同济指数复合体重因子法计算对比剂总量和对比剂流率。40 例患者中男 17 例,女 23 例,年龄 17~76 岁,均值(53.65 ± 13.62)岁。实验组身高 1.51~1.74 m,均值为(1.62 ± 0.07) m;体重 45~74 kg,均值(58.63 ± 6.78) kg。另外随机选取 2016 年 2~11 月在 Toshiba Aquilion ONE 320 容积 CT 上行头颈 CTA 患者 26 例作为对照组。对照组 26 例患者中男 17 例,女 9 例,年龄 29~74 岁,均值(55.46 ± 10.28)岁。对照组身高 1.45~1.78 m,均值(1.65 ± 0.08) m;体重 49~82 kg,均值(60.78 ± 6.8) kg。经统计学独立样本 t 检验,两组患者的性别、年龄、身高、体重均无显著差别($P > 0.05$)。所有患者无严重肾功能不全、碘过敏史且非孕妇,在检查前均签署知情同意书,并经医院伦理委员审查批准。

2. 扫描方法

采用 Toshiba Aquilion ONE 320CT 机对实验组和对照组分别行头颈 CTA 检查。实验组和对照组均采用减影法,先行平扫(蒙片),然后注射对比剂和生理盐水后再行增强扫描,扫描范围均为主动脉弓至颅顶。实验组和对照组的 CT 扫描参数如下:实验组管电压 100 kVp,对照组管电压 120 kVp,其他参数均相同,其中管电流采用自动毫安技术(sd:22),层厚 0.5 mm,螺距 0.806:1,球管转速 0.5 s/r,扫描矩阵 512×512 ,重建算法:FC43, AIDR3D Standard。

研究中结合常规基于体重对比剂计算方法和临床实践,提出了一种新的考虑患者身高的体重计算方法,称为同济指数法(Tongji Index, TWI),计算方式如下:

$$TWI = \frac{w+h-100}{2} \quad (1)$$

其中 w 为患者体重,单位 Kg; h 为患者身高,单位 cm。

实验组根据公式(1)确定患者对比剂使用量。公式(2)为:

$$V = k \cdot TWI \quad (2)$$

其中, V 为对比剂使用量,单位: mL; k 为系数,根据 CT 碘对比剂的不同而不同,同时跟患者的身体质量指数(body mass index, BMI)有关。对于优维显(370 mg/mL), k 值为 0.8~0.9,对于正常体重(BMI 18.5~23.9)患者, k 取中间值 0.85;对于偏瘦(BMI < 18.5)患者, k 取极大值 0.9;对于偏胖(BMI > 23.9)患者, k 值取极小值 0.8。采用定时法确定对比剂流率:对于血管良好、循环正常的患者,静脉团注时间为 10 s;对于血管脆性较大(比如化疗患者),注射流率相应减少,静脉团注时间可在此基础上延迟 1~2 s。使用 Medrad STELLANT 双筒双流高压注射器经肘前静脉团注对比剂。对比剂流率根据前述方法确定。之后以对比剂注射流率的 90% 的注射流率静脉团注生理盐水 30 mL。采用智能追踪技术监测兴趣区(region of interest, ROI)内的 CT 值,CT 值阈值设置为 160 HU,兴趣区位于主动脉弓的下降段。对照组使用 Medrad STELLANT 双筒双流高压注射器经肘前静脉团注对比剂,每例患者基于体重计算对比剂总量,以 5~6.5 mL/s 流率注射优维显(370 mg/mL),之后再以与对比剂注射流率相同的注射流率注射 30 mL/1 生理盐水。同样采用智能追踪技术检测 ROI 内的 CT

值,ROI 至于降主动脉中心主动脉弓的下降段,CT 值的阈值设置 160 HU。

3.数据获取

检查前根据病房采集的数据统计患者性别、年龄、身高、体重。按照同济指数和定时法计算实验组患者对比剂总量与注射流率。检查后记录患者的剂量长度乘积(dose length product,DLP)。

图像质量评价在 GE 公司的 Vitrea3 工作站上进行。采用客观评价结合主观分析的方法。客观评价时测量主动脉弓、右颈总动脉、右颈内动脉、右椎动脉、基底动脉、大脑后动脉、大脑中动脉、大脑前动脉及与右颈总动脉、右颈内动脉、右椎动脉同层面的颈内静脉、上矢状窦、直窦、乙状窦的 CT 值及其 SD 值,并测量胸锁乳突肌及脑实质的 CT 值及其 SD 值。将颈总动脉、颈内动脉、椎动脉与同层面的颈静脉 CT 值之差作为考虑了静脉污染后的颈部动脉强化差值,同理将基底动脉与乙状窦、大脑中动脉与直窦和大脑前动脉与上矢状窦的 CT 值之差作为考虑了静脉污染后的头部动脉强化差值。同时计算出上述动脉的信噪比(signal noise ration, SNR)和对比噪声比(contrast noise ratio,CNR)。

主观评价采用双盲法。由两位主治以上职称的医师在 Vitrea3 工作站上对图像进行主观评价。采用 5 分制对图像进行评分,评价标准见表 1^[6]。其中 5 分为图像质量优秀,4 分为良好,3 分为图像质量可以接受,2 分为图像质量较差,1 分为图像质量不可接受。两位医师在只知患者的临床信息而不知实验内容的前提下独立打分,对不一致者协商达成共识后再给出评价。

表 1 头颈 CTA 血管主观评价标准

分数	评价标准
5	头颈部血管边缘锐利完整,血管分支及远端显示较好
4	头颈部血管显示较好,分支显示较好,血管远端显示较好
3	头颈血管主干显示较好,主要分支显示较好,血管远端显示不佳
2	血管边缘毛糙,管壁稍欠完整,分支及血管远端显示差,勉强能够诊断
1	血管边缘毛糙,管壁欠完整,主干、分支显示均欠佳,不能诊断

4.统计学分析

使用 SPSS 23.0 进行统计学分析。采用独立样本 *t* 检验对患者的性别、年龄、身高、体重和前述血管 CT 值、血管强化差值、SNR、CNR 以及 DLP 等进行对比分析。图像主观评分的对比分析采用 Mann-Whitney *U* 检验。统计学分析置信区间为 95%,以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1.对比剂剂量

实验组和对照组的对比剂总量分别为(55.4 ± 5.9) mL/例、(62.8 ± 7.9) mL/例,两组的对比剂总量有实质差异(*t* = 4.348, *P* < 0.05)。实验组的对比剂用量显著低于对照组。

2.辐射剂量

实验组和对照组的辐射剂量(DLP)均值分别为(489.1 ± 55.0) mGy · cm、(555.6 ± 78.7) mGy · cm。实验组和对照组的辐射剂量有实质差异(*t* = 4.045, *P* < 0.05)。实验组的辐射剂量显著低于对照组。

3.图像质量的客观评价

将前述血管 CT 值、血管强化差值的统计学结果列于表 2,SNR、CNR 的统计学结果列于表 3、4。由表 2 及测量数据可知,实验组和对照组的目标动脉血管 CT 值都在 200HU 以上,动脉血管和同层静脉血管差值明显,几乎都能满足血管减影需要。实验组的主动脉弓、右颈总动脉、右颈内动脉、右椎动脉、基底动脉、大脑后动脉、大脑中动脉、大脑前动脉的 CT 值与对照组有显著差异(*P* < 0.05),而且均高于对照组。

表 2 动脉血管 CT 值、头颈部血管强化差值的对比

名称	实验组均值 (HU)	对照组均值 (HU)	<i>T</i>	<i>P</i>
主动脉弓	512.5 ± 106.51	446.93 ± 85.15	-2.636	0.011
右颈总动脉	748.14 ± 163.87	635.18 ± 142.99	-2.874	0.006
右颈内动脉	686.98 ± 135.74	585.02 ± 123.38	-3.088	0.003
右椎动脉	620.78 ± 155.17	518.1 ± 95.49	-3.327	0.001
基底动脉	537.22 ± 111.51	480.23 ± 104.08	-2.082	0.041
大脑后动脉	459.06 ± 113.79	383.24 ± 73.51	-3.289	0.002
大脑中动脉	547.38 ± 90.36	450.66 ± 105.3	-3.852	0.000
大脑前动脉	456.32 ± 77.96	398.11 ± 102.14	-2.475	0.017
强化差值				
右颈总动脉	621.42 ± 171.77	505.24 ± 157.45	-2.773	0.007
右颈内动脉	528.62 ± 140	406.22 ± 142.35	-3.448	0.001
右椎动脉	456.03 ± 154.93	331.98 ± 106.83	-3.848	0.000
基底动脉	335.68 ± 117.16	265.18 ± 117.11	-2.389	0.020
大脑后动脉	172.2 ± 99.14	62.22 ± 87.96	-4.719	0.000
大脑中动脉	260.52 ± 87.36	129.64 ± 108.63	-5.155	0.000
大脑前动脉	170.44 ± 81.83	65.53 ± 126.84	-3.742	0.001

表 3 实验组和对照组图像的 SNR

SNR	实验组	对照组	<i>T</i> 值	<i>P</i>
主动脉弓	25.17 ± 5.21	21.74 ± 4.85	-2.680	0.051
右颈总动脉	50.1 ± 23.51	42.86 ± 13.03	-1.606	0.113
右颈内动脉	32.99 ± 21.24	24.49 ± 11.87	-2.081	0.149
右椎动脉信	17.27 ± 9.2	13.21 ± 7.98	-1.843	0.070
基底动脉	15.96 ± 7.23	14.76 ± 11.01	-0.536	0.594
大脑后动脉	9.9 ± 4.74	9.25 ± 4.27	-0.564	0.575
大脑中动脉	15.24 ± 8.81	10.79 ± 6.02	-2.435	0.071
大脑前动脉	12.38 ± 9.1	13.38 ± 7.86	0.473	0.638
右颈总静脉	12.3 ± 8.24	9.9 ± 4.22	-1.554	0.125
右颈内静脉	12.18 ± 5.92	12.25 ± 6.5	0.044	0.965
上矢状窦	24.67 ± 15.23	33.59 ± 16.87	2.178	0.034
直窦	22.8 ± 12.68	22.9 ± 9.89	0.036	0.971
乙状窦	16.67 ± 9.15	16.54 ± 11.7	-0.046	0.964
胸锁乳突肌	8.31 ± 2.64	8.1 ± 2.15	-0.356	0.723
脑实质	2.76 ± 0.44	2.92 ± 0.28	1.798	0.308

实验组中右颈总动脉、右颈内动脉、右椎动脉、基底动脉、大脑后动脉、大脑中动脉、大脑前动脉的动脉强化差值与实验组有显著差异(*P* < 0.05),且均高于对照组,更有利于动脉血管减影。

表 4 实验组和对照组图像的 CNR

CNR	实验组	对照组	T	P
主动脉弓	38.73±15.02	35.04±10.57	-1.171	0.246
右颈总动脉	60.46±23.61	52.98±16.18	-1.526	0.132
右颈内动脉	54.92±20.49	48.27±14.58	-1.538	0.129
右椎动脉	48.64±20.68	41.85±11.66	-1.702	0.094
基底动脉	5.96±2.59	7.82±4.56	1.880	0.068
大脑后动脉	21.97±7.29	19.51±4.85	-1.644	0.105
大脑中动脉	26.56±6.43	23.48±6.95	-1.810	0.076
大脑前动脉	21.57±4.87	20.5±6.95	-0.687	0.496
右颈总静脉	3.41±3.39	4.32±5.33	0.773	0.445
右颈内静脉	6.23±4.61	8.8±7.15	1.625	0.112
上矢状窦	12.46±3.84	16.39±5.65	3.112	0.003
直窦	12.55±3.29	15.72±5.22	2.759	0.009
乙状窦	7.93±2.65	9.52±4.46	1.644	0.109

实验组和对照组的图像信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR)几乎无显著差异($P>0.05$),只有直窦和上矢状窦处存在统计学意义上的不同($P<0.05$)。可见实验组和对照组在图像的噪声与对比度表现上基本一致。

4. 图像质量的主观评价

主观评分实验组 40 例病例中图像质量达到 5 分 36 例,4 分 2 例,没有 3 分及以下的病例;对照组 26 例病例中图像质量达到 5 分 17 例,4 分 8 例,3 分 1 例,没有 2 分及以下病例。因此实验组和对照组均能满足诊断要求。

Mann-Whitney *U* 检验结果表明实验组与对照组图像有显著差异($P<0.05$)。统计结果显示实验组图像质量明显好于对照组(图 1)。

表 5 主观评分结果

组别	主观评分		
	3	4	5
实验组	0	4	36
对照组	1	8	17

注:*U* 值=0.030

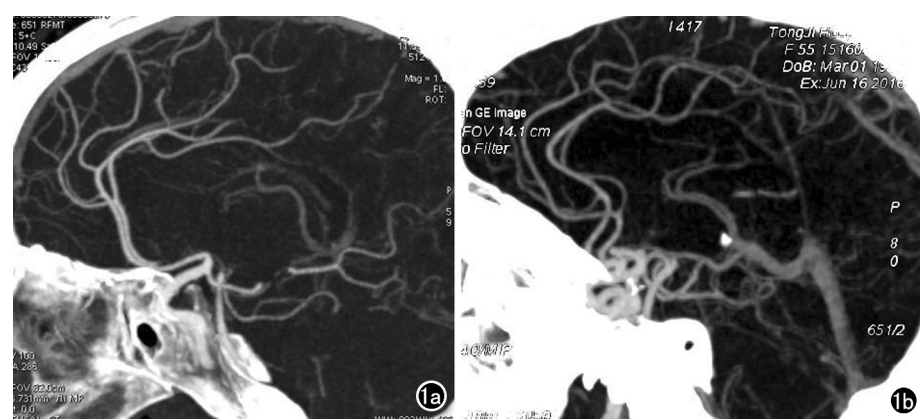


图 1 a) 实验组患者。女,51 岁,身高 160cm,体重 58kg,对比剂总量 50mL,DLP 451.4mGy·cm,图像示头颈部血管边缘锐利光整,血管分支及远端显示较好,主观评价 5 分;b) 对照组患者。女,55 岁,身高 162cm,体重 60kg,对比剂总量 60mL,DLP 513.1 mGy·cm,图像示头颈部血管、分支和血管远端显示较好,有静脉显影,主观评价 4 分。

讨 论

1. 对比剂剂量

头颈 CTA 扫描范围大,对比剂剂量多,对比剂注射流率快。较高的对比剂剂量与注射流率使得对比剂不良反应发生率大大增加^[7-9]。在满足诊断要求的前提下减少对比剂剂量是减少包括对比剂肾病在内的不良反应发生率的重要举措之一^[8-11]。同时减少对比剂剂量也是降低患者辐射剂量的有效方法之一^[12]。但是过低的对比剂剂量往往会导致图像质量变差,甚至无法满足临床诊断需要。因此低对比剂剂量注射后往往会通过注射生理盐水的方法维持足够的对比剂团注时间。

对比剂剂量与患者的身高、体重、性别、年龄等都有关系,其中患者的体重是最重要的影响因素。但是患者的体重与对比剂剂量并不成简单的线性关系。在考虑对比剂剂量时,考虑患者的体型比单纯考虑患者体重更好。研究指出应该考虑患者自身的身高、体重等因素,采用去脂体重或体表面积法计算对比剂剂量^[13]。不过这种计算方法较为复杂,不易掌握。

本研究结合常规基于体重的对比剂计算方法和临床实践经验,首次提出采用同济指数与相应系数乘积[公式(1)]的方法计算对比剂剂量,采用定时法确定对比剂的注射流率。研究表明相比于以往方法,对比剂剂量有实质性减少,图像质量更好,能够满足临床诊断需要,而且方法简单易用。

2. 辐射剂量

在 CT 检查中,患者难免会受到一定剂量的辐射照射。根据受照辐射有效剂量当量从小到大,可以将辐射的生物效应分为不确定性效应和确定性效应。其

中不确定性生物效应的发生不存在辐射阈值,发生概率随剂量增加而增大;确定性生物效应在辐射阈值之下不发生,但是超过阈值后一定会发生而且严重程度随辐射剂量的增加而增加。因此在 CT 检查中既需要时刻防范辐射的确定性生物效应,也需要防范辐射的不确定性生物效应。在 CT 检查中降低患者所受辐射剂量具有重要意义^[14-16]。降低管电压、减少对比剂剂量均可以有效地降低辐射剂量,二者相辅相成^[17]。研究表明当管电压接近于碘的 K 值时,碘的信号检出率会出现跃升,从而增加与周围软组织的对比度^[18]。本

研究中实验组相对于对照组具有更低的对比剂剂量和更低的管电压,因此 DLP 明显低于对照组的 DLP,两者差异具有统计学意义。因此实验组采用的方法可以在一定程度上降低患者的受照辐射剂量,减少辐射损伤发生的可能性。

3. 图像质量

研究中实验组和对照组的图像质量均能满足诊断要求。从客观评价上分析,实验组患者的主动脉弓、右颈总动脉、右颈内动脉、右椎动脉、大脑后动脉、大脑中动脉、大脑前动脉 CT 值明显高于对照组,且差异具有统计学意义。实验组患者右颈总动脉、右颈内动脉、右椎动脉、大脑后动脉、大脑中动脉的动脉强化差值也明显高于对照组,且差异有统计学意义。这有利于采用减影法进行血管重建与分析,同时也表明实验组能够更好地避免静脉强化的干扰,减少静脉污染对图像质量的影响。实验组和对照组的图像质量在噪声与对比噪声比上无统计学差异。这表明在合理的范围内,实验组采用更少的对比剂用量和辐射剂量可以达到与对照组相似的图像噪声水平与对比噪声比水平。因此客观评价表明实验组的图像质量总体上好于对照组。从主观评价上分析,实验组的图像主观评分明显高于对照组,说明在满足诊断需要的前提下实验组的图像质量明显优于对照组。图像质量的客观评价和主观评价均表明实验组的图像质量明显好于对照组。

图像质量客观评价中实验组上矢状窦的噪声和对比噪声比与对照组的差异有统计学意义,直窦的对比噪声比与对照组的差异有统计学意义,可能是因为静脉强化程度不同导致。如何在保证图像质量的前提下减少静脉污染,避免静脉强化对图像质量造成影响是未来值得研究的方向。

头颈 CTA 扫描范围广,对比剂用量大,辐射剂量高。在满足诊断需要的情况下研究如何降低对比剂用量和辐射剂量具有重要的临床意义。本研究引入基于同济指数的对比剂使用方法,结合低管电压技术,在保证图像质量、满足临床诊断需要的前提下,降低了对比剂用量和辐射剂量。因此基于同济指数和低管电压技术的头颈 CTA 检查是可行的,能够满足低对比剂用量、低辐射剂量的要求,具有一定的临床实用价值。

参考文献:

[1] Schegerer AA, Nagel HD, Stamm G, et al. Current CT practice in germany: results and implications of a nationwide survey[J]. Eur J Radiology, 2017, 90(1): 112-114.

[2] Hinson JS, Ehmann MR, Fine DM, et al. Risk of acute kidney injury after intravenous contrast media administration[J]. Annals of Emergency Medicine, 2017, 69(5): 577-586.

[3] Zhang WL, Li M, Zhang B, et al. CT angiography of the head-and-neck vessels acquired with low tube voltage, low iodine, and iterative image reconstruction: clinical evaluation of radiation dose and image quality[J]. Plos One, 2013, 8(12): 81-86.

[4] Bae KT, Seeck BA, Hildebolt CF, et al. Contrast enhancement in cardiovascular MDCT: effect of body weight, height, body surface area, body mass index, and obesity [J]. Am J Roentgenology, 2008, 190(3): 777-784.

[5] 董艳. 对比剂肾病的研究进展[J]. 药学研究, 2014, 33(4): 244-247.

[6] 崔永生, 姜本忱, 鞠蓉晖. 不同图像重建方式在头颈部血管病变 CTA 中的应用对比分析[J]. 中国卫生标准管理, 2015, 6(6): 39-40.

[7] Wu YW, Leow KS, Zhu Y, et al. Prevention and management of adverse reactions induced by iodinated contrast media [J]. Ann Acad Med Singapore, 2016, 45(4): 157-164.

[8] Kobayashi D, Takahashi O, Ueda T, et al. Risk factors for adverse reactions from contrast agents for computed tomography[J]. Bmc Medical Informatics & Decision Making, 2013, 13(1): 18-23..

[9] Mccullough PA, Soman SS. Contrast-induced nephropathy [J]. Heart Views, 2014, 14(3): 106-116.

[10] Jorgensen AL. Contrast-induced nephropathy: pathophysiology and preventive strategies[J]. Critical Care Nurse, 2013, 33(1): 37-46.

[11] Au TH, Bruckner A, Mohiuddin SM, et al. The prevention of contrast-induced nephropathy [J]. Annals of Pharmacotherapy, 2014, 48(10): 1332-1342.

[12] 付传明. 低管电压与低对比剂碘量技术在主动脉 CT 血管造影中的可行性研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(4): 313-315.

[13] Livingston EH, Lee S. Body surface area prediction in normal-weight and obese patients[J]. Am J Physiology Endocrinology & Metabolism, 2001, 281(3): e586-e591.

[14] Mccollough CH, Bushberg JT, Fletcher JG, et al. Answers to common questions about the use and safety of CT scans [J]. Mayo Clinic Proceedings, 2015, 90(10): 1380-1392.

[15] Mccollough CH, Primak AN, Braun N, et al. Strategies for reducing radiation dose in CT [J]. Radiologic Clinics of North America, 2009, 47(1): 27-40.

[16] Costello JE, Cecava ND, Tucker JE, et al. CT radiation dose: current controversies and dose reduction strategies [J]. AJR American Journal of Roentgenology, 2013, 201(6): 1283-1290.

[17] 任冉, 梁立华. 多层螺旋 CT 主动脉造影双低扫描的研究进展[J]. 新医学, 2017, 48(4): 213-216.

[18] Bae KT. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches [J]. Radiology, 2010, 256(1): 32-61.

(收稿日期: 2019-03-26 修回日期: 2019-07-08)