

低管电压、低对比剂用量和大螺距在双期减影头颈血管 CTA 中的运用

郑小丹, 李蛟, 胡军武, 黄文华, 沈威, 张进华

【摘要】 目的:探讨低管电压和低对比剂用量结合大螺距扫描对头颈部 CTA 的图像质量和辐射剂量的影响,评估其临床可行性。**方法:**将 50 例患者随机分为两组。A 组患者行常规扫描:100 kVp,螺距 0.810,50 mL 碘佛醇(320 mg I/mL)以 5 mL/s 注射;B 组患者行低剂量扫描:80 kVp,螺距 1.390,以 6 mL/s 注射 24 mL 对比剂,随后以相同流率注射 18 mL 对比剂和盐水混合液(1:1 混合)。比较两组间的动脉 CT 值、信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、图像质量、有效辐射剂量(ED)和碘总量。**结果:**两组图像充分满足临床诊断(4.86 ± 0.34 vs 4.78 ± 0.41 , $Z = -0.725$, $P = 0.468$),且观察者间一致性良好(A 组 $\kappa = 0.834$ vs B 组 $\kappa = 0.884$)。两组各动脉平均 CT 值、SNR 和 CNR 基本一致($P > 0.05$),B 组与 A 组相比 CTDIvol 降低 21.4%[(59.84 ± 14.59)mGy vs (76.11 ± 24.16)mGy, $Z = -2.396$, $P = 0.017$],DLP 降低 45.8%[(275.54 ± 22.73)mGy·cm vs (508.43 ± 89.61)mGy·cm, $Z = -6.063$, $P < 0.001$],ED 降低 45.8%[(0.85 ± 0.07)mSv vs (1.58 ± 0.28)mSv, $Z = -6.063$, $P < 0.001$],对比剂减少 34%(10.56g vs 16g)。**结论:**低管电压、低对比剂用量和大螺距扫描可充分获得具有诊断价值的头颈 CTA 图像。

【关键词】 体层摄影术,X 线计算机;CT 血管成像;对比剂;辐射剂量

【中图分类号】 R814.42;R816.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2019)11-1260-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.11.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Feasibility of low tube voltage, low dosage of contrast agent and large pitch in dual-phase subtraction of head and neck CT angiography ZHENG Xiao-dan, LI Jiao, HU Jun-wu, et al. Department of Radiology, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the image quality and radiation dosage of head-and-neck computed tomography angiography (CTA) with low tube voltage, low dosage of contrast agent and large pitch scanning. **Methods:** 50 patients were randomly divided into two groups: patients in group A ($n = 25$) received a routine scanning with 100kVp and pitch 0.810, 50mL of Iover-sol (320mg I/mL) injected at 5mL/s, patients in group B ($n = 25$) received a low dose scan with 80kVp and pitch 1.390, 24mL of Ioversol injected at 6mL/s, followed by injection of 18mL of contrast and saline mixture (1:1 mix) at the same flow rate. CT attenuation values, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of the arteries were measured. Subjective image quality was evaluated. Effective dose (ED) and contrast agent dosage were estimated and compared between the two groups. **Results:** The image quality of both groups met the clinical diagnostic criteria (4.86 ± 0.34 vs 4.78 ± 0.41 , $Z = -0.725$, $P = 0.468$). The inter-observer agreement was good (group A, $\kappa = 0.834$ vs group B, $\kappa = 0.884$). There was no significant difference in mean CT value, SNR and CNR between the two groups ($P > 0.05$). Compared to group A, the CTDIvol of group B was decreased by 21.4% [(59.84 ± 14.59)mGy vs (76.11 ± 24.16)mGy, $Z = -2.396$, $P = 0.017$], DLP decreased by 45.8%, [(275.54 ± 22.73)mGy·cm vs (508.43 ± 89.61)mGy·cm, $Z = -6.063$, $P < 0.001$], effective dose decreased by 45.8% [(0.85 ± 0.07)mSv vs (1.58 ± 0.28)mSv, $Z = -6.063$, $P < 0.001$], and contrast agent dosage

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: 郑小丹(1988-), 女, 湖北荆州人, 硕士, 主管技师, 主要从事影像技术工作。

通讯作者: 张进华, E-mail: tjcts@sohu.com

decreased by 34% (10.56g vs 16g). **Conclusion:** The head and neck CTA with diagnostic quality can be acquired with low tube voltage, low dosage of contrast agent and large pitch scanning.

[Key words] Tomography, X-ray computed; CT angiography; Contrast agent; Radiation dosage

随着多排螺旋 CT 的快速发展,具有非侵入性、诊断符合率高特点的计算机体层血管成像(computed tomography angiography, CTA)在头颈部血管性疾病中得到广泛应用。然而 CT 的辐射性和对比剂引起的肾脏损害的风险已引起越来越多的关注。因此,在保证图像质量的情况下减少 CT 辐射剂量和对比剂用量是临床工作中所关注的重点。研究发现管电压 80 kVp 的 X 射线光子能量为 43.7 keV,与碘原子 K 临界值最为接近,所以衰减值会上升。CT 值的公式 $CT\text{值} = (\mu_{\text{物}} - \mu_{\text{水}}) / \mu_{\text{水}} \times 1000 (\text{HU})$ 提示:当管电压降低并接近 80 kVp 时,含碘对比剂的 CT 值会增加^[1],从而减少对比剂用量成为可能,该技术现已用于胸腹部脏器、脑血管、头颈血管等各种器官的 CT 血管成像^[2-8]。大螺距扫描能有效减少辐射剂量,但图像噪声会相应增加,已被用于主动脉和冠脉等部位血管成像^[9-10]。本研究比较使用低管电压(80 kVp)、低对比剂用量结合大螺距扫描方式和常规扫描方式的头颈部 CTA 的图像质量和辐射剂量,旨在探讨低管电压(80 kVp)、低对比剂用量结合大螺距扫描在头颈部血管 CTA 检查中的可行性和稳定性。

材料与方法

1. 研究对象

本研究搜集了本院 2018 年 9 月—10 月行头颈部 CTA 检查的患者共 50 例,随机分为 A 组和 B 组,每组 25 人。纳入标准:怀疑头颈部血管疾病的患者,临床症状包括头痛、头晕、恶心、呕吐、麻木、虚弱或意识障碍、行走不稳和言语问题等。排除标准:严重心、肝或肾功能不全者,孕妇或哺乳期妇女,有碘过敏史者以及检查前行颅内植入动脉瘤夹闭等手术者。A 组男 6 例,女 19 例,平均年龄 (49.16 ± 10.97) 岁,体质指数(body mass index, BMI) $(23.00 \pm 2.56) \text{ kg/m}^2$; B 组男 12 例,女 13 例,平均年龄 (54.20 ± 11.80) 岁, BMI $(22.85 \pm 2.89) \text{ kg/m}^2$ 。本研究已通过本院伦理委员会审核,患者均已签署知情同意书。

2. CT 扫描和对比剂注射协议

所有检查在 320 排东芝 Aquilion ONE Dynamic Volume CT 上进行。头颈部 CTA 患者均进行平扫和增强扫描,平扫完成后再进行增强扫描,保证两次扫描范围一致,扫描范围从气管隆突至头顶,获得两期图像后做血管减影。增强监测层面与扫描起始层面相同即气管隆突层,兴趣区(region of interest, ROI)放置在

降主动脉层面,同层动态监测 ROI 的 CT 值,利用自动推注跟踪程序触发扫描,注射对比剂后 10 s 开始监测。A 组监测条件为 100 kVp, 50 mA,有效管电流为 25 mAs,旋转时间为 0.5 s,触发阈值设为 180 HU,到达阈值后立即启动扫描; B 组监测条件为 80 kVp, 50 mA,有效管电流为 50 mAs,旋转时间为 0.5 s,触发阈值设为 210 HU,到达阈值后立即启动扫描。A 组扫描参数:100 kVp,螺距 0.810。B 组扫描参数:80 kVp,螺距 1.390。其余参数两组一致:准直 $256 \times 0.625 \text{ mm}$,旋转时间 0.5 s,层厚 1.0 mm,层间距 0.8 mm,图像矩阵 512×512 ,视野 $250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$,自动管电流调控, AIDR 3D 标准图像质量重建。

采用高压注射器将对比剂碘佛醇(320 mg I/mL)通过 18G 留置针经右肘中静脉注入患者体内。A 组双期注射:以 5 mL/s 流率注射 50 mL 对比剂,随后以相同流率注射 30 mL 盐水; B 组三期注射:以 6 mL/s 流率注射 24 mL 对比剂,随后以相同流率注射 18 mL 对比剂和生理盐水混合液(1:1 混合),最后以相同流率注射 30 mL 生理盐水。

3. 客观和主观图像质量评估

客观图像质量评估通过画圆形 ROI 测量升主动脉(气管隆突水平)、双侧颈总动脉(假声带水平)、双侧颈内颈外动脉(颈内颈外分叉水平)和双侧大脑中动脉的 CT 值和标准差(SD 值),同时测量上述水平的:胸大肌、胸锁乳突肌、头长肌和脑组织的 CT 值和标准差(SD 值),测量血管的 ROI 要放置在血管中心,占腔的大小约 2/3 左右,同时避过血管壁、钙化或金属伪影,测量肌肉的 $ROI = 0.25 \text{ cm}^2$,避过伪影等。分别计算颈部血管和脑血管信噪比(SNR)和对比度噪声比(CNR)。计算公式如下:

$$SNR = \frac{CT_{\text{血管}}}{SD_{\text{血管}}} \quad (1)$$

$$CNR = \frac{CT_{\text{血管}} - CT_{\text{肌肉}}}{SD_{\text{肌肉}}} \quad (2)$$

由两位有 6 年以上头颈部 CTA 诊断经验的放射科医生评估图像质量,对患者的扫描方案和研究设计不知情,在横轴面、多平面重组和 VR 图像上评估图像质量。血管图像质量分为 1~5 分:5 分,血管完全充满,均匀的血管内密度和锐利的血管壁,无伪影;4 分,血管充满,血管内密度均匀,血管壁轻微模糊或轻度伪影;3 分,血管通常充满,血管内密度不均匀,血管壁略微模糊或轻度伪影,但仍可评估图像;2 分,血管内血管密度不均匀,血管壁模糊,有明显伪影,评估有限;1

分,血管无法识别,有明显的伪影,无法诊断。评分 ≥ 3 的图像被认为具有诊断价值,而评分 <3 分的图像被认为不具有诊断价值。如果观察员之间存在分歧,双方最终协商达成一致。

4. 辐射剂量评估

计算机断层扫描剂量指数(CTDIvol)(mGy)和剂量-长度乘积(DLP)(mGy·cm)由 CT 机系统自动生成。有效剂量(ED)(mSv)计算公式为:ED=DLP $\times$ k,k 是转换因子。在头颈部 CTA 中,k 值设定为 0.0031 mSv/(mGy·cm)^[11]。碘的含量(mg I)=对比剂浓度(mg I/mL) $\times$ 对比剂剂量(mL)。

5. 统计学分析

采用 SPSS 23.0 进行统计学分析。连续数据表示为平均值 $\pm$ 标准差,符合正态分布数据利用两个独立样本的 t 检验来比较,不符合正态分布数据用 Mann-Whitney U 检验比较。分类数据采用卡方检验比较。图像质量的主观评分使用 Mann-Whitney U 检验比较。观察者对图像质量的一致性用 Kappa 检验,Kappa <0.4 ,一致性差,0.4 $<$ Kappa <0.75 ,一致性一般,Kappa >0.75 ,一致性好。以 P <0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 患者一般情况

A 组与 B 组患者的年龄、性别和 BMI 差异没有统计学意义(P >0.05 ,表 1)。

表 1 患者一般情况

一般资料	A 组 (n=25)	B 组 (n=25)	t/ χ^2	P
男/女	6/19	12/13	3.125*	0.077
年龄(岁)	49.16 $\pm$ 10.97	54.20 $\pm$ 11.80	-1.564	0.124
BMI(kg/m ²)	23.00 $\pm$ 2.56	22.86 $\pm$ 2.89	0.181	0.857

注:*为卡方值。

2. 辐射剂量和碘总量

B 组的平均 CTDIvol 比 A 组低[(59.84 $\pm$ 14.59)mGy vs (76.11 $\pm$ 24.16)mGy,Z=-2.396,P=0.017],B 组的平均 DLP 比 A 组低[(275.54 $\pm$ 22.73)mGy·cm vs (508.43 $\pm$ 89.61)mGy·cm,Z=-6.063,P <0.001],B 组的 ED 低于 A 组[(0.85 $\pm$ 0.07)mSv vs (1.58 $\pm$ 0.28)mSv,Z=-6.063,P <0.001],见表 2。B 组使用了 33 mL 对比剂,碘总量为 10.56 g,A 组使用了 50 mL 对比剂,碘总量为 16 g,B 组使用的对比剂比 A 组少 34%。

表 2 两组辐射剂量和碘总量

参数	A 组	B 组	Z	P
CTDIvol(mGy)	76.11 $\pm$ 24.16	59.84 $\pm$ 14.59	-2.396	0.017
DLP(mGy·cm)	508.43 $\pm$ 89.61	275.54 $\pm$ 22.73	-6.063	<0.001
ED(mSv)	1.58 $\pm$ 0.28	0.85 $\pm$ 0.07	-6.063	<0.001
碘总量(g)	16	10.56		

3. 图像质量

客观图像质量评估中,两组头颈部各段血管所测

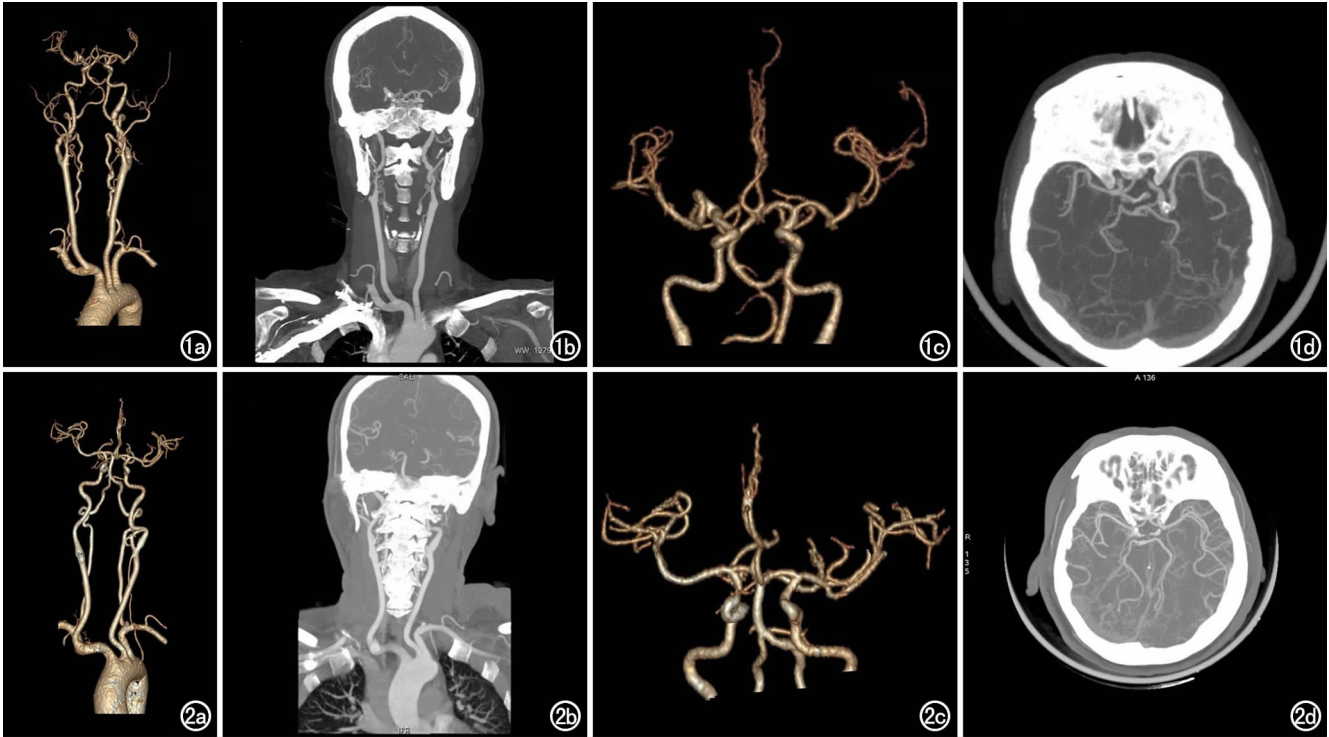


图 1 A 组,女,57 岁,身高 163 cm,体重 60 kg,管电压 100 kVp,螺距 0.810。a、c)颈部和脑部血管 VR 图像; b、d)颈部和脑部血管 MIP 图像。图 2 B 组,女,60 岁,身高 165 cm,体重 65 kg,管电压 80 kVp,螺距 1.390。a、c)颈部和脑部血管 MIP 图像; b、d)颈部和脑部血管 VR 图像。

CT 值都在 300 HU 以上,满足临床血管疾病的诊断需要。两组头颈部各段血管的 CT 值基本一致,差异没有统计学意义($P>0.05$,表 3)。两组间各段血管的 SNR 和 CNR 也基本一致,差异没有统计学意义($P>0.05$,表 3)。

两组所有图像都满足临床诊断(图 1)。A 组主观图像质量评分为 4.86 ± 0.34 ,B 组主观图像质量评分为 4.78 ± 0.41 ,两组差异无统计学意义($Z=-0.725$, $P=0.468$)。两组观察者对图像质量评分的一致性良好(A 组 Kappa= 0.834 ,B 组 Kappa= 0.884)。

表 3 客观图像质量分析

动脉	A 组	B 组	t/Z	P
CT 值(HU)				
升主动脉	511.83±67.03	561.49±104.81	-1.996	0.052
左颈总动脉	714.70±76.86	676.68±137.77	1.186	0.243
右颈总动脉	707.68±76.92	676.10±127.11	1.063	0.294
左颈内动脉	680.55±78.14	669.88±123.84	0.359	0.722
左颈外动脉	672.78±71.65	648.00±126.34	0.840	0.406
右颈内动脉	677.04±79.02	678.54±123.54	-0.051	0.959
右颈外动脉	664.87±82.40	656.61±127.89	-0.786	0.432
左大脑中动脉	557.43±65.83	551.27±112.33	0.237	0.814
右大脑中动脉	552.99±54.85	558.22±98.20	-0.233	0.817
SNR				
升主动脉	21.16±3.17	19.21±4.38	1.803	0.078
左颈总动脉	28.82±15.64	25.09±11.77	0.941	0.351
右颈总动脉	25.20±15.08	25.47±8.00	-0.700	0.484
左颈内动脉	33.49±13.13	27.61±11.31	1.675	0.101
左颈外动脉	20.90±8.88	17.37±6.80	1.556	0.126
右颈内动脉	34.63±15.63	27.48±13.25	1.746	0.087
右颈外动脉	18.62±11.40	21.13±10.12	-0.844	0.399
左大脑中动脉	13.93±5.13	15.82±7.47	-0.669	0.503
右大脑中动脉	15.17±8.26	17.25±7.78	-1.154	0.248
CNR				
升主动脉	25.76±4.57	23.20±5.75	1.744	0.088
左颈总动脉	51.69±13.81	43.26±16.31	1.955	0.056
右颈总动脉	51.01±13.13	43.67±16.55	1.724	0.091
左颈内动脉	41.02±11.16	37.24±15.33	-1.740	0.082
左颈外动脉	40.38±10.34	35.64±13.94	-1.740	0.082
右颈内动脉	40.90±11.65	37.93±15.02	-1.271	0.204
右颈外动脉	39.98±11.28	36.66±15.14	0.879	0.384
左大脑中动脉	24.93±4.75	22.38±5.34	1.786	0.080
右大脑中动脉	24.75±4.49	22.65±4.63	1.632	0.109

讨 论

随着 CT 技术的快速发展,在临床实践中已经应用了一些技术来降低辐射剂量,例如管电流的自动调控、降低管电压、大螺距和新迭代算法的运用等^[12-15]。本研究采用了低管电压和大螺距来降低辐射剂量,但这会增加图像噪声影响诊断,为了弥补这一点,两组检查都采用了具有高空间分辨力、低噪声和出色图像的 AIDR 3D 算法来降低图像噪声^[16-19]。CTA 检查中影响动脉增强的重要因素是对比剂的注射流率、碘浓度、注射持续时间(推注加宽和再循环的累积效应)和心输出量。本研究中两组对比剂注射流率和注射持续时间不一致的原因是:CTA 检查中对比剂注射流率与扫描持续时间必须相匹配,对比剂注射流率增加会导致时间密度曲线(time-density curve, TDC)曲线峰值增高,注射流率较大的实验组会获得更好的图像质量,但是,

伴随着 TDC 曲线峰值增高,最佳扫描时间窗口会变窄,如果扫描持续时间较长,在最佳时间窗口进行扫描的几率变小,会导致图像质量不佳,所以为了避免这种情况,一是加大注射对比剂总量延长注射持续时间即加宽最佳扫描时间窗口,实验组双期注射对比剂时间加起来为 7 s,扫描时间为 4 s,这样给扫描预留了 3 s 的空档,以保证扫描成功;二是加快扫描速度减少扫描持续时间,这也是本研究选择大螺距扫描的理由。同时本研究中两组监测条件不一致,A 组监测条件为 100 kVp,50 mA,有效管电流 25 mAs,触发阈值设为 180 HU,B 组监测条件为 80 kVp,50 mA,有效管电流 50 mAs,触发阈值设为 210 HU。有效管电流的不同是因为 B 组监测管电压比 A 组低,势必会导致图像噪声增加,一方面影响操作者观察监测层面图像,另一方面太大的噪声会引起误触发扫描,所以为了减少图像噪声使其维持在一定范围,就必须相应的提高监测的有效管电流。而实验组触发阈值设置较高的原因,一是因为碘的 k 缘效应,80 kVp 时血管内碘的衰减比 100 kVp 时大,TDC 曲线峰值增高,二是因为大螺距扫描时扫描时间变短,这样保证了即使设置较高的阈值,扫描比对照组稍晚,但扫描窗口依然落在合理的范围内,一方面不会加剧静脉的干扰,另一方面能提高信号强度,在噪声增大的时候依然有较高的信噪比。

Yu 等^[20]和 Luo 等^[21]分别探讨了 100 kVp 结合 AIDR 3D 迭代重建在头颈部和头部血管 CTA 中降低辐射剂量的应用,100 kVp 结合 AIDR 3D 迭代重建的实验组与 120 kVp 结合 FBP 重建的对照组相比,分别降低辐射剂量 71% 和 45%,而图像质量不变。李玮等^[22]发现在头颈 CTA 成像中 100 kVp 结合 AIDR 3D 迭代重建的实验组比 120 kVp 结合 AIDR 3D 迭代重建的对照组,DLP 降低 24.96%,而图像质量不变。Zhang 等^[8]研究了头颈血管 CTA 成像中 270 mg I/mL、80 kVp 结合 AIDR 3D 迭代重建的实验组与 320 mg I/mL、120 kVp 结合 FBP 重建的对照组相比,辐射剂量减少 50%,对比剂用量减少 15.6%,而实验组图像质量明显提高。本实验研究头颈血管 CTA 成像中 100 kVp,0.810 螺距和 50 mL 对比剂为对照组,探讨 80 kVp、1.390 大螺距和 33 mL 对比剂的实验组进一步降低辐射剂量的可行性,结果发现与对照组相比有效辐射剂量降低 45.8%,对比剂用量降低 34%,而两组的主观图像质量和客观图像质量都没有太大差别。众所周知,碘对比剂和对比剂肾病之间存在剂量相关性,本研究实验组对比剂用量降低 34%,可以降低对比剂肾病的发生率。根据国家健康委员会最新发布的《X 射线计算机断层摄影成年人诊断参考水平》,颅脑 CTA 和颈部 CTA 25%位数的

CTDIvol 和 DLP 分别为 15 mGy、420 mGy · cm 和 10 mGy、390 mGy · cm, 本研究中对照组 A 组已经达到这个标准, 而实验组 B 组比这个基础还低, 显著降低了辐射剂量。Yu 等^[17] 发现头颈部血管 CTA 中 80 kVp、自动管电流调制结合 AIDR 3D 算法比 100 kVp、自动管电流调制结合 AIDR 3D 算法可以在 BMI < 25 kg/m² 的患者中产生具有低辐射剂量的高质量图像, 而在 BMI > 25 kg/m² 的患者中效果不明显。本研究未根据 BMI 将患者进行分组, 实验组与对照组相比也获得低辐射剂量的高质量图像。

本研究也有一些局限性: 首先, 由于伦理道德问题, 不可能在个体内比较 100 kVp 和 80 kVp 两组协议; 其次, 纳入样本量不大, 为了进一步评估实验组的稳定性和可靠性, 需要在更大的样本中进行研究; 最后, 本研究没有将两组与 DSA 金标准相比较, 仅评估了定量和定性图像质量, 下一步可以研究实验组在动脉狭窄和动脉瘤等疾病中的诊断特异度和敏感度。

综上所述, 本研究结果显示, 低管电压 (80 kVp)、低对比剂用量结合大螺距扫描比 100 kVp、小螺距扫描辐射剂量明显降低, 对比剂用量明显减少, 而头颈部 CTA 图像质量不变, 值得临床推广应用。

参考文献:

- [1] Huda W, Scalziet EM, Levin G. Technique factors and image quality as functions of patient weight at abdominal CT[J]. Radiology, 2000, 217(2): 430-435.
- [2] Funama Y, Awai K, Nakayama Y, et al. Radiation dose reduction without degradation of low-contrast detectability at abdominal multi section CT with a low-tube voltage technique; phantom study[J]. Radiology, 2005, 237(3): 905-910.
- [3] Ertl-Wagner BB, Hoffmann RT, Bruning R, et al. Multi-detector row CT angiography of the brain at various kilovoltage settings [J]. Radiology, 2004, 231(2): 528-535.
- [4] Wintermark M, Maeder P, Verdun FR, et al. Using 80kVp versus 120kVp in perfusion CT measurement of regional cerebral blood flow[J]. AJNR, 2000, 21(10): 1881-1884.
- [5] Sigal-Cinqualbre AB, Hennequin R, Abada HT, et al. Low-kilovoltage multi-detector row chest CT in adults; feasibility and effect on image quality and iodine dose [J]. Radiology, 2004, 231(1): 169-174.
- [6] Marin D, Nelson RC, Schindera ST, et al. Low-tube-voltage, high-tube-current multidetector abdominal CT: improved image quality and decreased radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction algorithm-initial clinical experience [J]. Radiology, 2010, 254(1): 145-153.
- [7] Nakaura T, Nakamura S, Maruyama N, et al. Low contrast agent and radiation dose protocol for hepatic dynamic CT of thin adults at 256-detector row CT: effect of low tube voltage and hybrid iterative reconstruction algorithm on image quality [J]. Radiology, 2012, 264(2): 445-454.
- [8] 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): e81486.
- [9] 梁继祥, 孔令燕, 金征宇, 等. 第三代双源 CT 在大螺距主动脉 CT 血管成像扫描中的初步应用 [J]. 中国医学科学院学报, 2017, 39(1): 68-73.
- [10] 孙啸天, 陈艳, 余建明, 等. 不同螺距双源冠状动脉成像的图像质量与辐射剂量的对比研究 [J]. 临床放射学杂志, 2014, 33(2): 285-288.
- [11] 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.
- [12] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Strategies for CT radiation dose optimization [J]. Radiology, 2004, 230(3): 619-628.
- [13] Heyer CM, Mohr PS, Lemburg SP, et al. Image quality and radiation exposure at pulmonary CT angiography with 100- or 120-kVp protocol: prospective randomized study [J]. Radiology, 2007, 245(2): 577-583.
- [14] Diel J, Perlmutter S, Venkataraman N, et al. Unenhanced helical CT using increased pitch for suspected renal colic: an effective technique for radiation dose reduction [J]. J Comput Assist Tomogr, 2000, 24(5): 795-801.
- [15] Hara AK, Paden RG, Silva AC, et al. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasibility study [J]. AJR, 2009, 193(3): 764-771.
- [16] You J, Dai Y, Huang N, et al. Low-dose computed tomography with adaptive statistical iterative reconstruction and low tube voltage in craniocervical computed tomographic angiography: impact of body mass index [J]. J Comput Assist Tomogr, 2015, 39(5): 774-780.
- [17] Yu SJ, Zheng J, Zhang L, et al. Craniocervical computed tomography angiography with adaptive iterative dose reduction 3D algorithm and automatic tube current modulation in patients with different body mass indexes [J]. Medicine, 2018, 97(36): e11841.
- [18] Wallihan DB, Podberesky DJ, Sullivan J, et al. Diagnostic performance and dose comparison of filtered back projection and adaptive iterative dose reduction three-dimensional CT enterography in children and young adults [J]. Radiology, 2015, 276(1): 233-242.
- [19] Yoon JH, Lee JM, Hur BY, et al. Influence of the adaptive iterative dose reduction 3D algorithm on the detectability of low-contrast lesions and radiation dose repeatability in abdominal computed tomography: a phantom study [J]. Abdom Imaging, 2015, 40(6): 1843-1852.
- [20] Yu S, Zhang L, Zheng J, et al. A comparison of adaptive iterative dose reduction 3D and filtered back projection in craniocervical CT angiography [J]. Clin Radiol, 2017, 72(1): e1-e6.
- [21] Luo S, Zhang LJ, Meinel FG, et al. Low tube voltage and low contrast material volume cerebral CT angiography [J]. Eur Radiol, 2014, 24(7): 1677-1685.
- [22] 李玮, 刘建新, 王霄英, 等. 低电压、低对比剂剂量头颈 CTA 的可行性研究 [J]. 放射学实践, 2013, 28(5): 482-485.

(收稿日期: 2019-01-08 修回日期: 2019-05-30)