

Comparison of different techniques of dual-energy CT in head and neck angiography image optimization of low-dose contrast media

NIU Pengying, JIANG Lei, LIU Yuan, CAI Zhong*, ZHANG Tao
(Medical Imaging Center, Ningxia Hui Autonomous Region People's Hospital,
North Ethnic University Teaching Hospital, Yinchuan 750001, China)

[Abstract] **Objective** To explore the application value of traditional linear-blended 120 kVp, advanced virtual monoenergetic reconstruction and nonlinear blending technique in the optimization of head and neck CTA image quality of ultra low dose contrast media. **Methods** Twenty patients underwent dual energy executive head and neck CTA using low injection rate (2.0 ml/s) and low total volume (20 ml) of contrast agent. After post-processing, the images of traditional linear-blended 120 kVp (group A), non-linear blending (group B) and 40 keV images using an advanced virtual monoenergetic (Mono+) reconstruction (group C) were obtained. In the MIP axial image, the image quality of the middle cerebral artery and the internal carotid artery was evaluated by subjective score; the CT values of the internal carotid artery and the middle cerebral artery were measured, then of CNR was calculated. The statistical analysis was performed. **Results** There were significant differences in subjective scores of image quality in the middle cerebral artery and the internal carotid artery among three groups ($F=38.84, 37.38, P<0.001$), score of the middle cerebral artery and internal carotid artery in group B and group C were better than those of group A ($P<0.001$). There were no significant differences in the score of internal carotid artery and middle cerebral artery in group B and C ($P=0.32, 0.16$). CT and CNR of the internal carotid artery and middle cerebral artery among three groups were statistically significant ($P<0.001$). CT and CNR in group B and C were higher than those in group A (all $P<0.05$); the CT values of internal carotid artery and middle cerebral artery in group C were significantly higher than those in group B (both $P<0.05$). There was no significant difference in CNR between the group B and C ($P=0.43$), the CNR of the middle cerebral artery in group B was greater than that in group C ($P=0.002$). **Conclusion** Both advance monoenergetic reconstruction and non-linear blending technique can improve image quality of carotid and cerebrovascular CTA. Non-linear blending may be preferred for cerebrovascular CTA.

[Key words] Tomography, X-ray computed; Angiography; Image processing, computer-assisted; Image quality

DOI:10.13929/j.1003-3289.201608004

双能量 CT 不同技术在低剂量对比剂头颈 CTA 图像优化中的对比

牛朋影, 蒋 磊, 刘 渊, 蔡 中*, 张 涛

(宁夏回族自治区人民医院 北方民族大学教学合作医院医学影像中心, 宁夏 银川 750001)

[摘要] **目的** 探讨传统线性 120 kVp、高级虚拟单能量重建技术与非线性融合技术在低剂量对比剂头颈部 CTA 图像质量优化中的应用价值。 **方法** 对 20 例患者低流率(2.0 ml/s)、低剂量(总剂量 20 ml)注射对比剂, 双能量模式下行头颈部 CTA 检查, 经后处理获得传统线性 120 kVp(A 组)、非线性融合(B 组)及虚拟高级单能量 40 keV(C 组)图像。

[第一作者] 牛朋影(1983—), 女, 河北保定人, 硕士, 主治医师。研究方向: CT、MR 诊断技术。E-mail: niupengying714@163.com

[通信作者] 蔡中, 宁夏回族自治区人民医院 北方民族大学教学合作医院医学影像中心, 750001。E-mail: 13995281313@163.com

[收稿日期] 2016-08-01 **[修回日期]** 2016-11-17

于 MIP 轴位图像上对大脑中动脉及颈内动脉图像质量进行主观评分,测量颈内动脉及大脑中动脉 CT 值,计算 CNR;并对结果进行统计学分析。**结果** 3 组间大脑中动脉和颈内动脉图像质量主观评分差异有统计学意义($F=38.84$ 、 37.38 , P 均 <0.001),B、C 组大脑中动脉和颈内动脉评分均优于 A 组(P 均 <0.001);B、C 组间颈内动脉及大脑中动脉评分差异无统计学意义($P=0.32$ 、 0.16)。3 组颈内动脉及大脑中动脉 CT 值及 CNR 差异有统计学意义(P 均 <0.001)。B、C 组颈内动脉及大脑中动脉 CT 值及 CNR 均大于 A 组(P 均 <0.05);C 组颈内动脉及大脑中动脉 CT 值明显高于 B 组(P 均 <0.05)。B、C 组颈内动脉 CNR 差异无统计学意义($P=0.43$),B 组大脑中动脉 CNR 大于 C 组($P=0.002$)。**结论** 虚拟高级单能量 40 keV 及非线性融合技术均可提高头颈 CTA 的图像质量,非线性融合技术可优选用于颅内血管 CTA。

[关键词] 体层摄影术,X 线计算机;血管造影术;图像处理;计算机辅助;图像质量

[中图分类号] R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2017)02-0285-05

CTA 操作快捷、简单,可大范围成像,对诊断动脉粥样硬化、动脉瘤等疾病有较高的准确率和敏感度^[1-2],是临床头颈部血管疾病诊断和筛查常用的影像方法^[3-4]。CTA 的图像质量受对比剂剂量、浓度、注射流率等因素影响^[5],大剂量对比剂的应用存在潜在风险,如对比剂肾病(contrast media induced nephropathy, CIN)及其他相关不良反应的发生率会逐渐增加^[6],因而减少对比剂总量,同时优化图像质量,对影像检查有重要意义。本研究通过对比传统线性 120 kVp、双能量 CT 虚拟高级单能量重建技术与非线性融合技术低剂量对比剂头颈部 CTA 图像质量,旨在制定优化图像质量的最佳方法。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2015 年 10 月—2016 年 1 月于我院医学影像中心接受头颈部 CTA 检查的患者 20 例,男 13 例,女 7 例,年龄 41~69 岁,平均 (56.3 ± 8.9) 岁。纳入标准:疑似或已有头颈部动脉血管疾病;体质指数(body mass index, BMI)在正常范围(根据 BMI 中国标准, $18.5 \sim 23.9 \text{ kg/m}^2$)。排除标准:碘对比剂过敏、孕妇及严重肾功能不全患者。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens Somatom Definition FLASH 双源 CT 扫描仪。在患者肘前静脉置入套管针。采用双筒高压注射器推注碘对比剂(370 mgI/ml),流率 2.0 ml/s ,对比剂总量 20 ml,后以相同流率推注生理盐水 50 ml。采用人工智能触发扫描,触发点位于主动脉弓层面,触发阈值 100 HU。扫描范围由主动脉弓至颅顶,扫描方向为足至头。扫描参数:准直 $2 \times 64 \times 0.6 \text{ mm}$,X 线 A、B 管电压 140 kVp、80 kVp,采用 CARE Dose 4D 技术调整实际管电流。重建层厚 1.0 mm,重建间隔 0.9 mm。采用基于原始数据的迭代重建(sino-gram-affirmed iterative reconstruction, SAFIRE)技术进行图像后处理,迭代强度为 3。将所有图像传至后处理工作站(Syngo Multimodality Workplace),分别行传统线

性 120 kV、非线性融合及虚拟高级 40 keV 单能量算法重建。将传统线性 120 kVp、非线性融合及虚拟高级单能量 40 keV 图像分别定义为 A、B、C 组。

1.3 图像评价 客观评价:由 2 名具有 3 年以上头颈部 CTA 诊断经验的医师进行数值测量,取其平均值。分别于传统线性 120 kVp、非线性融合及虚拟高级 40 keV 单能量处理后的轴位增强图像选取相同大小 ROI(颈内动脉层面 ROI 为 0.1 cm^2 ,大脑中动脉层面为 5.0 mm^2),测量 CT 值和标准差值(standard deviation, SD),包括颈内动脉 C1 段和胸锁乳突肌、大脑中动脉 M1 段和颞肌。ROI 的选取尽量避开钙化严重或血管狭窄程度严重的部位。计算血管的 CNR^[7-8]:
$$\text{CNR} = (\text{CT}_{\text{血管}} - \text{CT}_{\text{肌肉}}) / \text{SD}_{\text{肌肉}}。$$

主观评价:由 1 名 3 年以上头颈 CTA 诊断经验的主治医师和 1 名副主任医师进行评分,意见不一致时同第三位主任医师讨论决定,若仍不能达成一致意见,则将该病例剔除。采用 MIP 重建相同层厚的图像;对颈内动脉及大脑中动脉显示情况及周围组织分界的清晰程度进行评分,评分标准^[9]:1 分,很差;2 分,差;3 分,中,可以诊断;4 分,好,诊断良好。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 19.0 统计分析软件。所有数据符合正态分布且方差齐,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。3 组 CT 值及 CNR 值比较采用区组设计的单因素方差分析,两两比较采用 LSD 检验;对 3 组图像主观评价结果采用 Friedman 非参数秩和检验;两两组间比较采用 Wallis H 分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 主观评价 3 组间大脑中动脉和颈内动脉图像质量主观评分差异有统计学意义($F=38.84$ 、 37.38 , P 均 <0.001),B、C 组大脑中动脉和颈内动脉评分均优于 A 组(颈内动脉:A、B 组间比较, $Z=-3.96$, $P < 0.001$,A、C 组间比较, $Z=-3.99$, $P < 0.001$;大脑中动脉:A、B 组间比较, $Z=-4.18$, $P < 0.001$,A、C 组

间比较, $Z = -4.10$, $P < 0.001$); B、C 组间颈内动脉及大脑中动脉评分差异无统计学意义 ($Z = -1.00$ 、 -1.41 , $P = 0.32$ 、 0.16)。见表 1、图 1。

2.2 客观评价 3 组颈内动脉及大脑中动脉 CT 值及 CNR 差异有统计学意义 (P 均 < 0.001)。B、C 组颈内动脉及大脑中动脉 CT 值及 CNR 均大于 A 组 (P 均 < 0.05); C 组颈内动脉及大脑中动脉 CT 值明显高于 B 组 (P 均 < 0.05)。B、C 组颈内动脉 CNR 差异无统计学意义 ($P = 0.43$), B 组大脑中动脉 CNR 大于 C 组 ($P = 0.002$)。见表 2、图 1。

3 讨论

一代双源双能量 CT 的普通单能量成像技术虽然可用于优化头颈部血管 CTA 图像,但在 60 keV 以上才能获得较好的血管图像,在低 keV 时图像噪声过高^[10]。新双源 CT 以两套近 94° (一代双源为 90°) 排列的球管探测器系统同时各自采集图像,提高了时间分辨率,降低了辐射剂量,新双源双能量扫描可同时获得 40~190 keV 不同水平单能量级图像,与一代双源 CT 比较其高级单能量算法优化了低 keV 的图像噪声,提高了单能谱图像的图像质量。本研究最佳单能量技术采用高级单能量 40 keV。Grant 等^[11]研究表明,新双源双能量 CT 扫描模式下的虚拟高级单能量技术,在 40 keV 时图像 CNR 最佳。在头颈部 CTA 检查中对对比剂最低剂量为 30 ml^[12],本研采用 2.0 ml/s 低流率注射和 20 ml 极低对比剂总量,可有效减低 CIN^[13-14] 的发生率。头颈部 CTA 双能量扫描采用低管电压及极低剂量高浓度对比剂,可在不降低图像质量的前提下有效提高血管 CT 值。因体质量过重或过

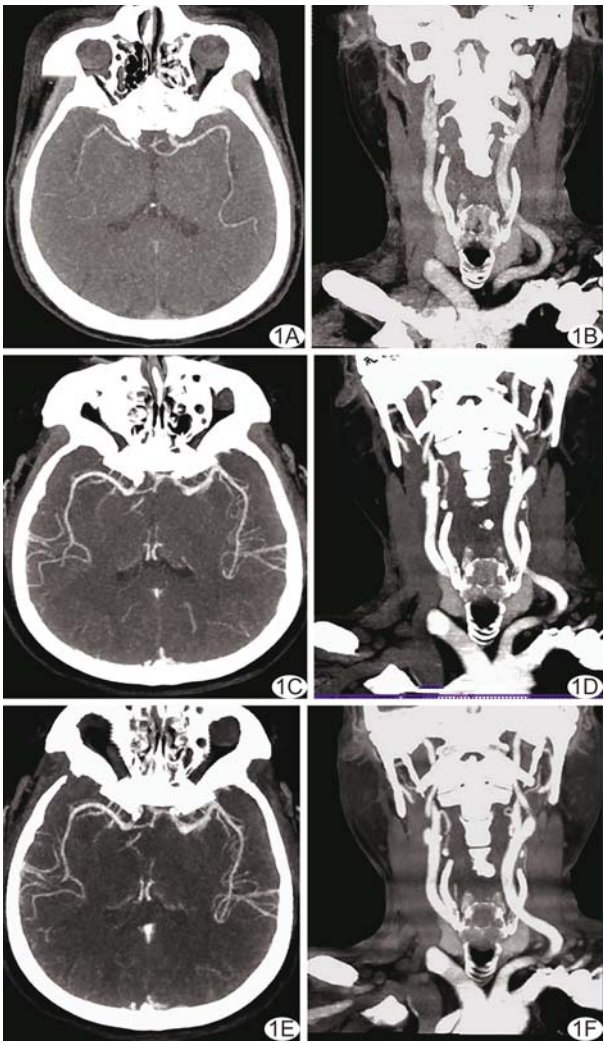


图 1 患者女,56 岁,虚拟高级单能量 40 keV、非线性融合图像优于传统线性 120 kVp 图像 A、B. 传统线性 120 kVp 头颈部 CTA 图像; C、D. 非线性融合头颈部 CTA 图像; E、F. 虚拟高级单能量 40 keV 头颈部 CTA 图像

表 1 各组图像质量主观定性评分比较(例, $n = 20$)

组别	大脑中动脉				颈内动脉			
	1 分	2 分	3 分	4 分	1 分	2 分	3 分	4 分
A 组	3	16	1	0	1	7	11	1
B 组	0	0	6	14	0	0	2	18
C 组	0	0	8	12	0	0	3	17
F 值	38.84				37.38			
P 值	<0.001				<0.001			

表 2 各组图像客观数据比较($\bar{x} \pm s$)

组别	颈内动脉		大脑中动脉	
	CT 值(HU)	CNR	CT 值(HU)	CNR
A 组	128.85±10.11	15.78±4.96	101.75±12.07	6.37±3.19
B 组	182.38±23.85	25.57±9.67	156.09±31.89	13.67±8.20
C 组	470.71±64.01	27.38±6.22	270.61±34.83	8.08±2.68
F 值	425.39	14.88	187.69	10.32
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

轻均可导致血管内对比剂的 CT 值升高或降低,从而对对比剂所产生的硬化伪影的判断存在偏差,影响研究的准确性,因此,本研究选取中国标准 BMI 正常范围($18.5 \sim 23.9 \text{ kg/m}^2$)的人群。

本研究主观评分显示,虚拟高级单能量 40 keV 及非线性融合颈内动脉及大脑中动脉图像质量明显优于传统线性 120 kVp 图像,提示前两种技术均可提高 CTA 图像质量;非线性融合与虚拟高级单能量 40 keV 颈内动脉和大脑中动脉评分差异无统计学意义,可能由于双能量非线性融合技术能够从低管电压的图像中提取血管内较高的 CT 值,而虚拟高级单能量 40 keV 技术则是利用双能量扫描高低千伏两份数据计算每一个体素内碘基衰减和水基衰减构成比例,进而计算在 40 keV 光子能级时血管显示最优的单能谱图像,使两者之间仅针对血管的主观目测度无差异。

本研究客观评价显示,非线性融合技术与虚拟高级单能量 40 keV 图像血管 CT 值及 CNR 均明显高于传统线性 120 kVp,提示这两种技术在显示血管及提高整体图像质量中均优于传统线性 120 kVp 图像;以往学者^[15]着重单能量图像的优化或非线性融合与传统线性融合技术的对比,而非线性融合与高级单能量图像比较的报道罕见。本研究显示,虚拟高级单能量 40 keV 颈内动脉及大脑中动脉血管 CT 值均明显高于非线性融合技术,提示高级单能量通过对低电压条件下图像进行后期处理,可在不降低图像质量的同时,有效提高血管 CT 值,表明仅针对血管显影而言,高级单能量更优越。两组图像 CNR 比较,颈内动脉图像差异无统计学意义($P=0.43$);而采用非线性融合技术大脑中动脉 CNR 明显高于高级单能量 40 keV,提示非线性融合技术对脑内组织与血管整体情况显示更具优势,提示非线性融合技术更优选应用于颅内血管,是因为非线性融合技术既可从低管电压的图像中提取血管内较高的 CT 值,又可从高管电压的图像中寻找较低噪声的软组织图像,达到增强组织对比,提高图像质量的目的,即非线性融合技术的优势在于图像质量优化的折中,使图像中所有的组织结构均能达到均衡的目测度。有学者^[16]研究结果也证明非线性融合图像在提高图像信噪比、增加主观清晰度等方面有一定优势。

本研究的不足:未与金标准头颈部 DSA 进行对比,缺少 DSA 与 3 种技术对病灶显示的对比分析,在下一步的工作中会进行深入对比研究。

综上所述,在头颈 CTA 显示中,与传统线性 120 kVp 比较,虚拟高级单能量 40 keV 及非线性融合技术能在减少对比剂总量的情况下,可提高图像质量,而非线性融合技术可能较虚拟高级单能量 40 keV 技术更适用于颅内血管疾病的检查。

[参考文献]

- [1] 刘碧英,戚婉,许亚晔,等. CTA 术前评估颅内窦旁脑膜瘤. 中国介入影像与治疗学, 2015, 12(8): 480-483.
- [2] 胡伟,任明山,刘新峰. 内膜钙化对 64 层 CT 血管造影诊断颈动脉狭窄的影响. 中国临床保健杂志, 2011, 14(3): 237-240.
- [3] 李婵婵,杨艳梅,尹乐康,等. 大脑中动脉闭塞 FLAIR 血管高信号征与 CTA 对比研究. 中国医学影像技术, 2015, 31(7): 971-975.
- [4] 梁永超,邓德茂. 头颈部 CTA 检查中低辐射剂量和低对比剂浓度与用量的研究进展. 中国中西医结合影像学杂志, 2016, 14(5): 605-607.
- [5] Bae KT. Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: Considerations and approaches. Radiology, 2010, 256(1): 32-61.
- [6] 王霄英,薛华丹. 泌尿生殖系统影像学 2011 年度进展报告. 中国继续医学教育, 2011, 3(8): 75-85.
- [7] 王婕妤,乔伟,黎秋菊,等. 低管电压结合低剂量对比剂在 64 层螺旋 CT 头颈部血管成像中的应用. 中国医学影像学杂志, 2015, 23(7): 481-485.
- [8] Beitzke D, Wolf F, Edelhauser G, et al. Computed tomography angiography of the carotid arteries at low kV settings: A prospective randomised trial assessing radiation dose and diagnostic confidence. Eur Radiol, 2011, 21(11): 2434-2444.
- [9] Korn A, Fenchel M, Bender B, et al. Iterative reconstruction in head CT: Image quality of routine and low-dose protocols in comparison with standard filtered back-projection. AJNR Am J Neuroradiol, 2012, 33(2): 218-224.
- [10] Kamiya K, Kunimatsu A, Mori H, et al. Preliminary report on virtual monochromatic spectral imaging with fast kVp switching dual energy head CT: Comparable image quality to that of 120-kVp CT without increasing the radiation dose. Jpn J Radiol, 2013, 31(4): 293-298.
- [11] Grant K, Flohr TH, Krauss B, et al. Assessment of an advanced image-based technique to calculate virtual monoenergetic computed tomographic images from a dual-energy examination to improve contrast-to-noise ratio in examinations using iodinated contrast media. Invest Radiol, 2014, 49(9): 586-592.
- [12] Hinkmann FM, Voit HL, Anders K, et al. Ultra-fast carotid CT-angiography: Low versus standard volume contrast material protocol for a 128-slice CT-system. Invest Radiol, 2009, 44(5): 257-264.
- [13] Bauer RW, Kramer S, Renker M, et al. Dose and image quality at CT pulmonary angiography-comparison of first and second

generation dual-energy CT and 64-slice CT. Eur Radiol, 2011, 21(10):2139-2147.

- [14] Cakmakci E, Ozkurt H, Tokgoz S, et al. CT-angiography protocol with low dose radiation and low volume contrast medium for non-cardiac chest pain. Quant Imaging Med Surg, 2014, 4(5):307-312.

- [15] 黄益龙, 韩丹, 赵雯, 等. 双能 CT 非线性融合技术提高头颅 CTA

图像质量的临床应用. 中国医学影像技术, 2016, 32(8): 1267-1271.

- [16] Delesalle MA, Pontana F, Duhamel A, et al. Spectral optimization of chest CT angiography with reduced iodine load: Experience in 80 patients evaluated with dual-source, dual-energy CT. Radiology, 2013, 267(1):256-266.

《中国介入影像与治疗学》杂志 2017 年征订启事

《中国介入影像与治疗学》杂志创刊于 2004 年,是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊,主编为邹英华教授。刊号:ISSN 1672-8475, CN 11-5213/R。曾获中国精品科技期刊,现为中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、中国科学引文数据库核心期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、WHO《西太平洋区医学索引》(WPRIM)来源期刊、荷兰《医学文摘》收录源期刊、俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊。

《中国介入影像与治疗学》杂志以报道介入影像与治疗学、介入超声学、介入材料学、药物学与护理学等方面的临床研究、基础研究以及医、理、工结合的成果与新进展为主,是介入影像、介入治疗专业人员学习、交流的平台。

《中国介入影像与治疗学》为月刊,64 页,大 16 开本,彩色印刷。单价:16 元,全年定价 192 元。订户可随时向当地邮局订阅,邮发代号:80-220;亦可向编辑部直接订阅,免邮寄费(欢迎通过银行转账,附言栏请注明订阅杂志名称)。

联系电话:010-82547903 传真:010-82547903

E-mail: cjiit@mail.ioa.ac.cn 网址: www.cjiit.com

编辑部地址:北京市海淀区北四环西路 21 号大猷楼 502 室 邮编:100190

银行账户名:《中国医学影像技术》期刊社 账号:110907929010201

开户行:招商银行北京分行清华园支行 联系人:田苗

