

腹部 CT 血管成像

DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.002260

第 3 代双源 CT 非线性融合技术在低对比剂用量及低注射流率注射条件下在腹主动脉成像中的应用研究

刘 星¹, 陈新月², 赵 喜², 张永高¹, 刘 甲¹, 董雷刚¹, 高剑波¹, 刘 杰¹

(1. 郑州大学第一附属医院放射科, 郑州 450052; 2. 西门子医疗(中国)有限公司, 上海 201318)

【摘要】目的:探讨第 3 代双源 CT 非线性融合技术(non-linear blending, NLB)在低对比剂总量及低注射流率个性化注射条件下提高腹主动脉 CT 血管成像(CT angiography, CTA)图像质量的可行性。**方法:**收集 30 例拟行双能量腹主动脉 CTA 扫描的患者,使用 70/Sn150kVp 管电压结合 CARE Dose 4D 智能管电流调节技术,根据患者体质量乘以 0.5 计算造影剂总量,根据造影剂总量除以检查时间(扫描时间及达到触发阈值后的延迟时间之和)计算注射流速。重建 NLB 图像及融合系数为 0.5 的常规线性融合(linear blending, LB)图像。通过配对 *t* 检验比较两组图像腹主动脉及其主要分支血管起始部 CT 值、信噪比(signal to noise ratio, SNR)、对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)等。采用 Mann-Whitney *U* 检验比较两组图像主观质量评分,通过 Kappa 检验对两组图像主观质量评分做一致性分析。**结果:**患者平均有效辐射剂量为(4.80 ± 0.77) mSv,平均碘摄入量为(12.30 ± 1.71) g,平均对比剂用量为(35.30 ± 4.91) mL,平均注射流速为(3.30 ± 0.47) mL/s。NLB 组各组血管 CT 值、SNR 及 CNR 均较 LB 组大幅度提高($P < 0.05$),而 NLB 组血管层面背部肌肉平均 CT 值和 SD 值与 LB 组相比,差异无统计学意义($P > 0.05$)。2 组图像评价结果一致性较好($\kappa = 0.618, P < 0.05$),NLB 组图像主观评分高于 LB 组,主观评分提高 0.55 分($P < 0.05$)。**结论:**第 3 代双源 CT 的 NLB 技术在低对比剂总量及低注射流率的个体化扫描条件下可以大幅度提高腹主动脉 CTA 的图像质量。

【关键词】双能量 CT;线性融合;非线性融合;主动脉 CT 血管成像

【中图分类号】R445.3

【文献标志码】A

【收稿日期】2019-06-11

Application of non-linear blending technique in abdominal aortic angiography involving novel injection protocol with reduced contrast medium dose and low flow rate

Liu Xing¹, Chen Xinyue², Zhao Xi², Zhang Yonggao¹, Liu Jia¹, Dong Leigang¹, Gao Jianbo¹, Liu Jie¹

(1. Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University;

2. Siemens Healthiness in China)

【Abstract】Objective: To investigate the feasibility of enhancing image quality of abdominal aorta Computed Tomography Angiography (CTA) under low contrast agent and individualized injection of low injection rate with non-linear blending(NLB) of third-generation dual-resource CT device. **Methods:** A total of 30 patients who were likely to undergo dual-energy abdominal aorta CTA were enrolled. The third-generation dual-source CT device with a tube voltage at 70/Sn150 kVp combined with intelligent tube current adjustment technology of CARE Dose 4D was used. The dose of contrast medium was obtained in accordance with patients' weight plus 0.5, and then the injection velocity was defined by contrast agent/examining time(scanning time + delay time after achieving the trigger threshold value). NLB image and regular linear blending(LB) with a fusion coefficient of 0.5 were re-constructed. Images' CT

作者介绍: 刘 星, Email: 278459366@qq.com,

研究方向: 心脏大血管成像技术。

通信作者: 刘 杰, Email: liujieict@163.com。

基金项目: 河南省科技厅重点科技攻关资助项目(编号: 142102310493)。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20190918.1643.013.html>

(2019-09-19)

values, signal to noise ratio(SNR) and contrast to noise ratio (CNR) on abdominal aorta and initial part of its main branches in two groups were evaluated by using paired *t*-test. Subjective quality score of images in two group was compared via Mann-Whitney *U* test and consistency of the score was analyzed by

Kappa test. **Results:** The average effective radiation dose was (4.80 ± 0.77) mSv, the average iodine intake was (12.30 ± 1.71) g, the average contrast volume was (35.3 ± 4.91) mL, and the average injection velocity was (3.30 ± 0.47) mL/s. Vascular CT value, SNR and CNR in the NLB group were significantly increased than those in LB group ($P < 0.05$). Average CT value and SD value of muscles at the back of chest in two groups had no statistically significant difference ($P > 0.05$). Subjective score of images in two groups had good consistency ($\kappa = 0.618, P < 0.05$), and it in the NLB group was higher than that in the LB group, with an improvement of 0.55 ($P < 0.05$). **Conclusion:** NLB of third-generation dual-source CT device under low contrast agent and individualized injection of low injection rate can significantly improve the image quality of abdominal aorta CTA.

[Key words] dual-source computed tomography, linear blending, nonlinear blending, abdominal aorta computed tomography angiography

主动脉疾病是威胁我国群众生命和健康的重大疾病之一^[1]。主动脉瘤指血管径超过正常径的 50%, 多见于腹主动脉段, 而以肾动脉以下水平最为多见^[2]。非侵袭性的主动脉 CT 血管成像 (CT angiography, CTA) 检查技术在确定疾病的价值方面已在国内和国外被广泛认可。常规主动脉 CTA 扫描, 患者接受的对比剂量较多且注射流速较快, 过多的对比剂量和较快的流速会加重患者的肾脏负担^[3]。随着 X 线探测器技术的飞速发展及新的迭代算法的应用, 减少对比剂用量已成为国内外研究热点^[4]。双源 CT 双能量扫描模式一次扫描可以得到高、低两套 kVp 图像, 低 kVp 图像对比好, 但噪声大; 高 kVp 图像噪声低, 但对比度较差。双能量 CT 的 LB、NLB 技术可将高、低 kVp 图像进行融合。既往关于 NLB 技术在提高血管强化程度以及降低对比剂用量方面多有报道, 但关于 NLB 技术对于腹主动脉图像质量影响以及降低对比剂注射流率的相关研究还很少。本研究的目的是利用西门子第 3 代双源 Force CT, 使用 70/Sn150 kVp 双能量扫描方式, 与常规双能量 LB 图像做对比, 探讨 NLB 技术在低对比剂总量及注射低流率个性化注射条件下提高腹主动脉 CTA 图像质量的可行性。

1 材料与方法

1.1 临床资料

前瞻性收集 2019 年 1 月至 3 月 30 例临床怀疑腹主动脉疾病, 欲行腹主动脉 CTA 检查的患者。纳入标准: 怀疑存在主动脉疾病; 肝肾功能正常; 既往主动脉疾病史。排除标

准: 严重心、肾功能不全; 碘对比剂过敏, 或其他严重过敏史; 呼吸不能自主配合完成 CTA 检查; 体质指数 (body mass index, BMI) $> 30 \text{ kg/m}^2$ 。最终入组男 21 例, 女 9 例。每例受检者完成检查后, 均分别重建 LB 图像及 NLB 图像, 共获取 60 组图像数据。设定 LB 组为对照组, NLB 组为实验组。本研究通过本院伦理委员会审批, 所有受检者检查前均已知晓并签署知情同意书。

1.2 CT 扫描方案

采用第 3 代双源 CT (SOMATOM Force) 双能量扫描模式。管电压: A 管 70 kVp、B 管 Sn150 kVp, 采用 Care Dose 4D 智能管电流调节技术自动选择最合适管电流, 准直器宽度为 $192 \times 0.6 \text{ mm}$, 螺距为 0.6, 球管旋转时间为 0.33 s/圈, 采用 ADMIR (Strength=3) 迭代算法重建。扫描范围自膈肌上方至骨盆底部。采用非离子型对比剂碘海醇 (350 mgI/mL), 根据患者体质量乘以 0.5 mL/kg 计算造影剂总量。采用双筒高压注射器三期注射方案, 对比剂注射前先以 4 mL/s 流速注射 21 mL 生理盐水, 用对比剂总量除以扫描时间及达到阈值之后延迟时间之和计算对比剂注射流速, 随后以相同流率注射 30 mL 生理盐水。使用人工智能触发扫描, 监测层面为膈肌水平腹主动脉, 触发阈值为 100 HU, 达到阈值后延迟 6 s 开始扫描。

1.3 图像后处理

将 ADMIR (Strength=3), 层厚 1.0 mm, 层间隔 1.0 mm 的 70 kVp 和 Sn150 kVp 的双能量图像以融合系数 $M = 0.5$ 的比例 (70 kVp 图像及 Sn150kVp 图像各占 50%) 进行线性融合。将双能量图像传至西门子 Singo Via VB10b 图像后处理工作站, 应用双能量分析软件中的 “Optimum Contrast” 功能对原始图像进行非线性融合。由于腹部血管细小分支较多, 强化程度不一, 本研究将 BC 设为 100, BW 设为 200, 当体素 CT 值大于 $BC + BW/2$, 即大于 200 HU 时, 将会以 100% 70 kVp 显示, 当体素 CT 值小于 $BC - BW/2$, 即小于 0 HU 时, 将会以

70% Sn150 kVp 显示,当体素 CT 值介于 $BC \pm BW/2$, 即 0~200 HU 时,体素将以近似线性显示。

1.4 图像分析

1.4.1 主观评价 采取独立双盲法由 2 名高年资有经验的放射科医生分别对 2 组图像从管腔强化程度、管壁显示程度、分支显示对比层次、背景噪声 4 方面采用 5 分量表法进行综合评分(表 1)。图像的窗宽、窗位由读片者根据图像情况主观调节。

表 1 图像质量评分标准

分数	评分标准
5	腹主动脉及血管分支清晰,无明显背景噪声
4	腹主动脉及血管分支清晰,轻度背景噪声
3	腹主动脉血管分支显示欠清晰,背景噪声明显
2	腹主动脉血管分支显示不清,背景噪声较大
1	腹主动脉起始部管腔 CT 值小于 150 HU,或血管分支模糊,背景噪声很大

1.4.2 客观评价 将 2 组图像同时调入西门子 Singo Via VB10b 图像后处理工作站进行同步数据测量,以保证 2 组图像中同一部位的 ROI 放于同一层面,大小一致,范围超过测量层面管腔面积的 3/4。以 T12 水平层面背部肌肉 SD 值作为背景噪声,分别测量腹主动脉及其主要分支血管起始部 CT 值及 SD 值,计算对比噪声比 $[CNR=(\text{动脉管腔 CT 值}-\text{背部肌肉 CT 值})/\text{背部肌肉 SD 值}]$ 。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 22.0 软件包进行统计学分析。通过配对 t 检验比较 2 组图像的 T12 水平背部肌肉、腹主动脉及其主要分支血管起始部的 CT 值、SD 值、CNR。图像质量评分采用均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,非正态分布采用采用 Mann-Whitney U 检验比较两组图像主观质量评分,通过 Kappa 检验对 2 组图像主观质量评分做一致性分析。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 受检者一般资料

所有患者均顺利完成检查,所有图像均满足临床诊断需要。男性患者 21 例,女性患者 9 例,两者之间存在统计学差异。受检者一般资料见表 2。

表 2 受检患者一般资料 ($\bar{x} \pm s, n=30$)

项目	数据
年龄(岁)	50.90 ± 11.57
BMI (kg/m^2)	24.32 ± 2.71
辐射剂量度量衡乘积 ($\text{mGy} \cdot \text{cm}$)	284.62 ± 45.58
CT 计量指数 (mGy)	3.84 ± 0.60
有效辐射剂量 (mSv)	4.84 ± 0.77
对比剂用量(mL)	35.32 ± 4.91
碘摄入量 (g)	12.35 ± 1.71
注射流速 (mL/s)	3.36 ± 0.47

2.2 图像质量

2.2.1 客观图像质量 NLB 组各组血管 CT 值均较 LB 组大幅度提高 ($P<0.05$),而 NLB 组血管层面背部肌肉平均 CT 值和 SD 值与 LB 组相比,差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 3。NLB 各组血管 CNR 较 LB 组大幅度提高 ($P<0.05$),见表 4。

2.2.2 主观图像质量 2 组图像评价结果一致性较好 ($\kappa=0.618$),NLB 组图像主观评分高于 LB 组,主观评分提高 0.55 分。LB 组图像评分为 (3.65 ± 0.63) 分,NLB 组图像评分为 (4.20 ± 0.40) 分, $P=0.000$ 。在同一窗宽及窗位条件下,相比常规 LB 组图像,NLB 组图像血管强化程度高,血管分支显示丰富,对比度高,如图 1 所示。

表 3 CT 值及背景噪声比较 ($\bar{x} \pm s, n=30$)

部位	LB 组 CT 值	NLB 组 CT 值	t 值	P 值
腹主动脉	334.87 ± 57.21	503.00 ± 95.66	-17.640	0.000
腹腔干	324.53 ± 56.97	486.57 ± 90.65	-21.974	0.000
肝固有动脉	307.10 ± 62.12	451.87 ± 107.60	-14.546	0.000
脾动脉	296.83 ± 54.99	434.13 ± 96.75	-15.767	0.000
肠系膜上动脉	320.01 ± 53.95	477.03 ± 84.81	-25.053	0.000
肠系膜下动脉	272.27 ± 56.53	373.41 ± 111.63	-8.597	0.000
右肾动脉	296.60 ± 59.68	444.33 ± 90.74	-22.599	0.000
左肾动脉	304.37 ± 53.01	449.60 ± 85.03	-22.435	0.000
右侧髂总动脉	305.53 ± 54.02	454.90 ± 85.03	-19.273	0.000
左侧髂总动脉	305.33 ± 51.84	457.77 ± 84.96	-21.513	0.000
T12 水平背部肌肉	52.03 ± 8.86	52.03 ± 9.60	0.000	1.000
T12 水平背部肌肉 SD 值	23.43 ± 2.98	23.67 ± 3.22	-2.910	1.000

表 4 各部位 CNR 值比较 ($\bar{x} \pm s, n=30$)

部位	LB组 CNR	NLB组 CNR	t 值	P 值
腹主动脉	12.24 ± 2.92	19.41 ± 5.17	-13.927	0.000
腹腔干	11.79 ± 2.85	18.67 ± 4.70	-17.116	0.000
肝固有动脉	11.04 ± 3.01	17.21 ± 5.30	-12.651	0.000
脾动脉	10.60 ± 2.70	16.40 ± 4.80	-13.466	0.000
肠系膜上动脉	11.61 ± 2.76	18.30 ± 4.62	-18.112	0.000
肠系膜下动脉	9.51 ± 2.56	13.80 ± 5.07	-8.035	0.000
右肾动脉	10.60 ± 2.88	16.85 ± 4.50	-18.648	0.000
左肾动脉	10.93 ± 2.65	17.07 ± 4.33	-18.208	0.000
右侧髂总动脉	10.96 ± 2.64	17.26 ± 4.42	-17.154	0.000
左侧髂总动脉	10.94 ± 2.47	17.37 ± 4.01	-19.075	0.000

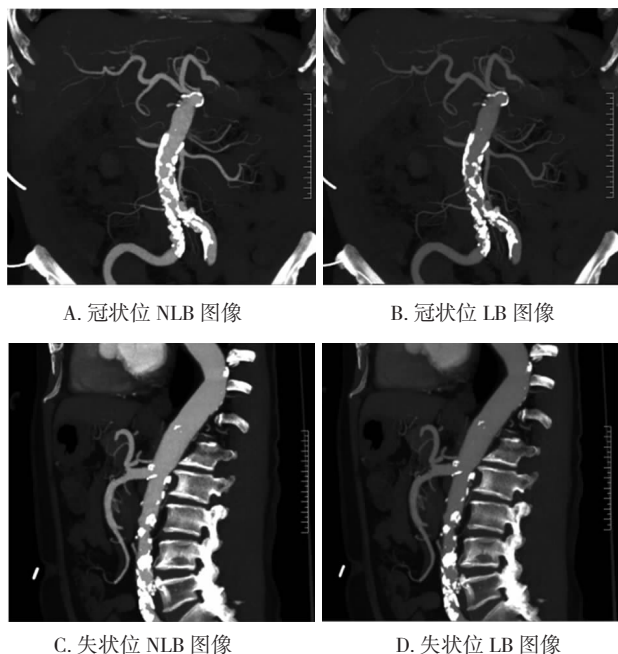


图 1 NLB 及 LB 图像对比

3 讨论

NLB技术在提高血管腔内碘对比度^[5-8]、提高分支血管对比度层次显示、提高主观图像质量^[9]、降低对比剂用量^[10]及降低对比剂注射速率等方面已经有广泛的文献报道。Lv等^[7]研究NLB技术在腹部CTA中的应用,提出NLB技术在显示血管图像质量(腹部血管衰减、SNR、CNR、主观评分)最优,且具有更低的辐射剂量。刘杰等^[11-12]研究NLB技术联合低流率注射对比剂行主动脉成像,发现NLB技术和对比剂低流率技术联合应用有助于提高主动脉CTA影像质量,降低对比剂用量。王玮等^[13]研究NLB技

术对肾动脉的影响发现,与常规应用的近似120 kVp的线性融合图像相比,NLB图像在不增加图像噪声的情况下,显著提高了血管CT值及其与周围组织的对比,且具有更高的图像质量评分。王国树^[14]研究NLB技术在头颈部体模CTA扫描中发现,NLB技术可以大大降低辐射剂量。

NLB图像融合方法包括二元融合、斜率融合、高斯融合及Moidal融合等。设定不同的融合参数会影响图像的融合效果,而融合参数的设定取决于观察组织的CT值,而不是一成不变的^[15]。由于腹部血管细小分支较多,强化程度不一,本研究将非线性融合中心BC设为100,融合宽度BW设为200,当体素CT值大于 $BC+BW/2$,即200 HU时,将会以100% 70 kVp显示,进而可大大提高血管细小分支的显示能力及图像对比,当体素CT值小于 $BC-BW/2$,即0 HU时,将会以70% Sn150 kVp显示,由于腹部脂肪较多,故对脂肪组织影响甚微,因此对图像噪声增加不明显。腹部脏器强化多介于 $BC \pm BW/2$ 之间,即0~200 HU,该区间位于NLB成像曲线的直线部,近似于线性融合,因此当BC为100、BW为200时,并不会影响对腹腔脏器的观察。

本研究结果表明,与常规LB技术对比,NLB技术在腹主动脉CTA成像时可大大提高腹主动脉血管管腔亮度,提高血管分支显示能力,并且图像背景噪声没有明显增加,提高了图像的CNR。通过主观质量评分的比较,发现NLB图像具有更高的图像质量评分。同时,当常规腹主动脉CTA检查失败时,NLB技术还可以作为一种补救措施,在图像后处理工作站上就可对原始图像进行再重建,避免患者遭受二次检查带来的辐射危害和对比剂危害。本研究利用第三代双源Force CT,其独特的70/Sn150 kVp扫描技术,拓宽了管电压的范围,而70 kVp超低压电压的应用,进一步提高了血管管腔CT值,使用了能谱纯化技术的Sn150 kVp,更加纯化了高管电压的X线能量谱,提高了X线的质,增强了X线的穿透性,进而进一步减少了背景噪声的产生,联合被检者个体化对比剂注射方案,大大减少了患者做检查所需对比剂用量,进而大幅度降低了对比剂注射流率,减轻了患者的肾脏负担,同时降低对比剂外渗

的风险。因此 NLB 技术在腹主动脉 CTA 成像中具有重要的应用价值。

本研究的局限性:①本研究入组病例数较少,但是通过测量发现数据趋势稳定,统计结果显示差异性显著。②本研究中并未与其他融合系数的线性融合图像做对比,与其他融合系数的 LB 图像做对比,结论可能会与本次研究不同。③NLB 图像需要在西门子专门的图像后处理工作站上进行后处理操作,在一定程度上增加了临床工作量。

综上所述,与常规 LB 图像相比,第 3 代双源 CT 的 NLB 技术在低对比剂总量及注射低流率的个体化注射方案下,不仅可以减少患者所需对比剂总量,降低对比剂注射流速,减少对比剂外渗概率,还可以大幅度提高主动脉 CTA 的主观及客观图像质量,具有重要的临床应用价值。在未来的研究中,将进一步研究 NLB 技术在与不同融合系数的 LB 图像的比较。

参 考 文 献

- [1] 薛 凌,罗建方,麦劲壮,等. 广州市主动脉夹层临床特征变化趋势十年回顾性分析[J]. 中华心血管病杂志,2007,35(1):47-50.
- [2] Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD. Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms[J]. Vascular Surgery, 1991, 5(6):491-499.
- [3] 孙 潇,孔祥凌,郭笑寒,等. 高低浓度造影剂不同注射速度的 CT 肺动脉造影图像质量分析[J]. 中国医学影像学杂志,2016,24(12):943-947.
- [4] Ellmann S, Kammerer F, Brand M, et al. A novel pairwise comparison-based method to determine radiation dose reduction potentials of iterative reconstruction algorithms, exemplified through circle of willis computed tomography angiography[J]. Investigative Radiology, 2016, 51(5):331-339.
- [5] 梁洪生,陈进军,陈小宇,等. CARE Dose 4D 技术联合低 kV 及低剂量对比剂在 MSCT 头颈 CTA 应用[J]. CT 理论与应用研究, 2017, 26(5):605-612.
- [6] Li S, Wang C, Jiang X, et al. Effects of dual-energy CT with non-linear blending on abdominal CT angiography[J]. Korean Journal of Radiology, 2014, 15(4):430-438.
- [7] Lv P, Liu J, Wu R, et al. Use of non-linear image blending with dual-energy CT improves vascular visualization in abdominal angiography[J]. Clinical Radiology, 2014, 69(2):e93-99.
- [8] Wang Q, Gaofeng S, Xueli F, et al. Comparative study of hepatic venography using non-linear-blending images, monochromatic images and low-voltage images of dual-energy CT[J]. British Journal of Radiology, 2014, 87(1042):20140220.
- [9] Scholtz JE, Hüters K, Kaup M, et al. Non-linear image blending improves visualization of head and neck primary squamous cell carcinoma compared to linear blending in dual-energy CT[J]. Clinical Radiology, 2015, 70(2):168-175.
- [10] Mileto A, Ramirezgiraldo JC, Marin D, et al. Nonlinear image blending for dual-energy MDCT of the abdomen: can image quality be preserved if the contrast medium dose is reduced?[J]. AJR American Journal of Roentgenology, 2014, 203(4):838-845.
- [11] 刘 杰,高剑波,张永高,等. 双源 CT 非线性融合技术联合低流率注射对比剂行主动脉成像的可行性[J]. 中华放射学杂志,2014, 62(6):505-506.
- [12] Liu J, Lv PJ, Wu R, et al. Aortic dual-energy CT angiography with low contrast medium injection rate[J]. Journal of X-Ray Science and Technology, 2014, 22(5):689-696.
- [13] 王 玮,郭小超,王霄英,等. 双能量 CT 非线性融合技术在肾动脉 CTA 中应用的初探[J]. 临床放射学杂志,2015,34(12):1985-1988.
- [14] 王国树. 非线性融合技术对头颈部 CTA 成像质量及辐射剂量的影响[D]. 重庆:重庆医科大学,2018.
- [15] Holmes DR 3rd, Fletcher JG, Apel A, et al. Evaluation of non-linear blending in dual-energy computed tomography[J]. European Journal of Radiology, 2008, 68(3):409-413.

(责任编辑:唐秋姗)