

论 著

Revolution CT单能量成像在胸部增强中优化大血管显示

余梦琦 成煥伟 吴文泽*
长江大学附属荆州医院放射科
(湖北荆州 434000)

【摘要】目的 探索运用能谱CT单能量技术联合ASIR-V重建算法在改善胸部大血管图像质量上的应用价值。方法 收集行胸部能谱模式增强扫描患者50例,分别重建单能量55keV、60keV、65keV、70keV、80keV以及常规120 kVp-like共6组图像。客观分析比较肺动脉(PA)、肺静脉(PV)和降主动脉(AA)的CT值、背景噪声(SD)、对比噪声比(CNR)及线束硬化伪影(BHA)的差异,主观评价各组图像质量并进行统计学分析。结果 主观评分,两名医生对6组图像的一致性评价较好(Kappa=0.84±0.06,P<0.05),其中65keV单能量图像评分(4.78±0.57)高于其它5组;客观评价,随着单能量keV的升高,图像BHA、CT值、CNR及SD均呈下降趋势,55~70 keV单能量的CT值高于常规120 kVp-like图像(P<0.05),80 keV单能量的BHA(19.62±6.30)最小,减少伪影效果最好,主观最佳65 keV与常规120 kVp-like图像比较,各血管CT值、CNR及SD差异均有统计学意义(P<0.05)。结论 使用65keV单能量,保证肺部增强质量同时优化血管成像,减少了同部位重复检查,间接降低了患者辐射和对比剂引发的危害。

【关键词】体层摄影术;X线计算机;最佳单能量;胸部增强;硬化伪影

【中图分类号】R445.3

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.05.031

Revolution CT Monoenergetic Imaging in Chest Angiography Optimize the Display of Large Blood Vessels

SHE Meng-qi, CHENG Huan-wei, WU Wen-ze*.

Department of Radiology, Jingzhou Hospital Affiliated to Yangtze University, Jingzhou 434000, Hubei Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application value of energy spectrum CT single energy technique combined with ASIR-V in improving the image quality of thoracic large vessels. **Methods** Fifty patients who were underwent chest energy spectrum mode enhanced scanning were collected. Six sets of images of single energy 55keV, 60keV, 65keV, 70keV, 80keV, and conventional 120 kVp-like were reconstructed, respectively. Objective analysis was conducted to compare the differences in CT values, background noise (SD), contrast to noise ratio (CNR) of pulmonary artery (PA), pulmonary vein (PV), and descending aorta (AA) and beam-hardening artifact (BHA) of ascending aorta. Subjective evaluation of the image quality of each group was performed and statistically analyzed. **Results** Subjective scores showed that the two doctors had a good evaluation of the consistency of images in the six groups (Kappa >0.75, P<0.05), with the 65 keV single energy image score (4.78±0.57) higher than the other five groups; Objectively, as the keV of single energy increased, the BHA, CT values, CNR, and SD all showed a downward trend. The CT values of 55 to 70 keV single energy were higher than those of conventional 120 kVp-like images (P<0.05). The BHA of 80 keV single energy was the smallest, and the effect of reducing artifacts was the best. Compared with the conventional 120 kVp-like images, the subjective optimal 65 keV images showed statistically significant differences in CT values, CNR, and SD of each vessel (P<0.05). **Conclusion** Using 65keV single energy ensures lung enhancement quality while optimizing vascular imaging, reducing repeated examinations at the same site, and indirectly reducing the harm caused by radiation and contrast agents for patients.

Keywords: Tomography; X-ray Computer; Optimal Single Energy; Chest Enhancement; Beam-hardening Artifact

胸部CT增强主要是根据病变所表现出的强化方式及特点,从而提高对病灶的定性和鉴别能力,然而对于血管病变显示欠佳^[1];胸主动脉CTA一般采取高流速高对比剂注射方案,对比剂渗漏所致血管强化不佳发生率约为0.13%^[2];CT肺动脉造影(computed tomography pulmonary angiography, CTPA)在检测与评估肺栓塞程度上有巨大优势^[3-4],但对于较小或者远端小栓子的显示,常规CTPA通常显示欠佳,容易漏诊^[5-6],扫描时相不好抓取,CT图像质量未能满足诊断要求常导致对比剂用量增加或重复检查^[7]。目前,越来越多的趋势是在一次采集中实现主动脉和肺部系统的充分增强,以便同时进行评估。能谱CT可以通过单源瞬时切换技术获取40~140keV连续不断的101个单能量图像,不同组织或血管可以选取其最佳单能量并结合多参数的应用,有助于小病灶检测和远端细小血管的显示,并可有效改善硬化伪影^[8-9]。本研究探索运用Revolution CT的GSI模式联合ASIR-V重建算法在改善胸部大血管图像质量的应用价值。

1 资料与方法

1.1 临床资料 回顾性分析自2022年10月至2023年3月期间在荆州市中心医院行胸部能谱增强扫描患者50例,男21例,女29例,年龄33~72岁,平均年龄(56.8±8.6)岁,本研究经院伦理委员会批准。

纳入标准:胸部CT增强扫描能谱基础图像数据完整;签署了知情同意书。排除标准:运动或异物伪影严重;患有严重影响肺循环疾病的患者。

1.2 仪器与方法 采用Revolution CT行胸部增强GSI模式扫描,患者取仰卧位,双手上举过头顶,吸气后屏气,扫描范围从肺尖到肋膈角,管电压80/140 kVp瞬时切换,管电流280mAs,螺距0.992:1,探测器宽度80mm,球管转速0.5 s/r,ASIR-V权重设为40%。

采用拜耳Stellant D高压注射器,对比剂使用碘佛醇(350mgI/mL),通过右肘正中静脉注射对比剂,以提高图像质量,对比剂用量=1.2mL/kg,流速3mL/s,后以相同流速追加20mL生理盐水。智能追踪气管分叉层面降主动脉触发扫描,阈值100HU。

1.3 图像后处理与分析 使用GSI软件,分别重建单能量55keV、60keV、65keV、70keV、80keV以及常规120 kVp-like(相当于74 keV)的6组图像。在轴位图像上选取升主动脉伪影较大区域划定感兴趣区(region of interest, ROI)作为伪影区,在肺动脉干(pulmonary Artery, PA)、心房交界处右肺下静脉(pulmonary vein, PV)和心室水平降主动脉(thoracic part of aorta, AA)及其同层面竖脊肌勾画ROI(面积为血管或者肌肉横断面约1/2),分别测量记录单能量55 keV、60 keV、65 keV、70 keV、80 keV及常规120 kVp-like图像的CT值,以竖脊肌ROI的标准差为背景噪声(background noise, SD),对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR)=(CT_{感兴趣区}-CT_{竖脊肌})/SD_{竖脊肌},线束硬化伪影

【第一作者】余梦琦,女,初级技师,主要研究方向:医学影像技术。E-mail: 2021710971@yangtzeu.edu.cn

【通讯作者】吴文泽,男,主任医师,主要研究方向:介入放射学。E-mail: 1029193191@qq.com

(beam-hardening artifact, BHA)=(SD_{伪影}²-SD_{竖脊肌}²)/2。

图像主观评分：由两名5年以上资深放射主治医师采用双盲法分别对6组图像进行主观评分，按照5分法，5分：血管强化非常好，肺门纵膈结构非常清晰噪声小且伪影少；4分：血管强化好，肺门纵膈结构清晰噪声小且伪影较少；3分：血管强化一般，肺门纵膈结构清晰噪声较大或者伪影较多；2分：血管强化差，肺门纵膈结构较差噪声大或者伪影严重；1分：血管强化非常差，肺门纵膈结构不清噪声非常大或者伪影非常严重。

1.4 统计学分析 将数据输入SPSS 19.0软件并进行统计学分析。计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,不同低keV单能量客观指标(CT值、背景噪声SD、CNR及BHA)采用ANOVA单因素方差分析比较,组间两两比较采用LSD法,检验结果以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。主观评分采用Wilcoxon秩和检验比较,两位医师主观评价的一致性采用Kappa检验。

2 结果

2.1 图像质量主观评分 5组单能量图像分别与120 kVp-like图像的主观评分进行秩和检验,结果见表1。在图像质量方面：55~80 keV单能量图像，两名主治医师达成一致，一致性良好(Kappa值=0.84±0.06, $P<0.05$)，约82%患者的主动脉、肺动脉和肺静脉的最佳重建能量水平为65 keV，主观评分分别为(4.74±0.56)分、(4.76±0.56)分，对比常规120 kVp-like 图像主观评分(4.28±0.64)分、(4.22±0.65)分，两组差异有统计学意义($P<0.05$)。55keV图像具有最高的血管强化效果但是背景噪声最大且动脉硬化伪影明显，肺门纵膈结构显示欠佳；与之相反，80keV血管强化较弱但硬化伪影最小，影响影像诊断(图1~2)。

2.2 图像质量的客观评价 5组keV单能量与常规120 kVp-like图像比较，随着单能量能级的升高,三组血管(PA、PV、AA)的CT值、CNR和背景噪声SD以及线束硬化伪影BHA均呈下降趋势，其中CT值和SD组间两两比较均有统计学意义($P<0.05$)；在BHA和三组血管(PA、PV、AA)的CNR值上，55keV、60keV及65keV单能量图像与120 kVp-like图像组间两两比较具有统计学差异($P<0.05$,表2、3)。

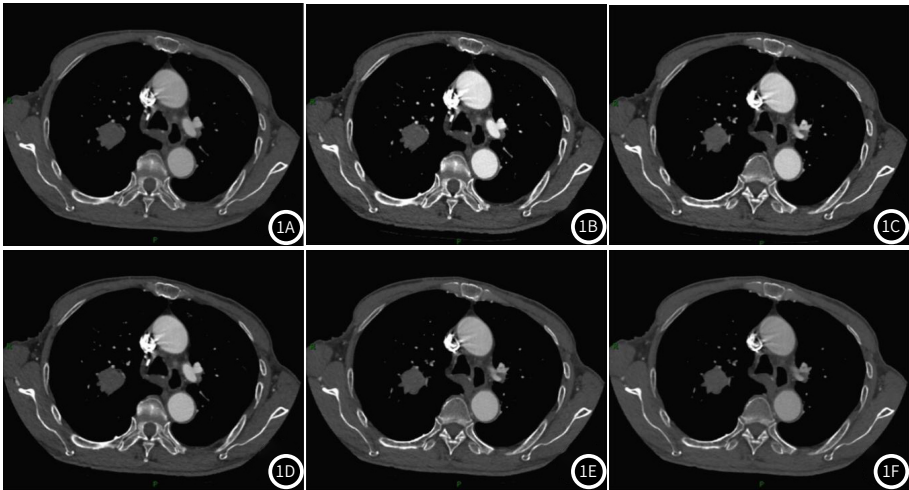


图1A-图1F 120kVp-like 及55~80 keV伪影图像。1A 120 kVp-like图像；1B 55keV图像，伪影最明显；1D 65keV图像，伪影范围及密度较55 keV图像有所降低，图像对比度较120 kVp-like图像有所提高；1F 80 keV图像，伪影范围及密度最小，图像对比度较120 kVp-like图像无明显差异。

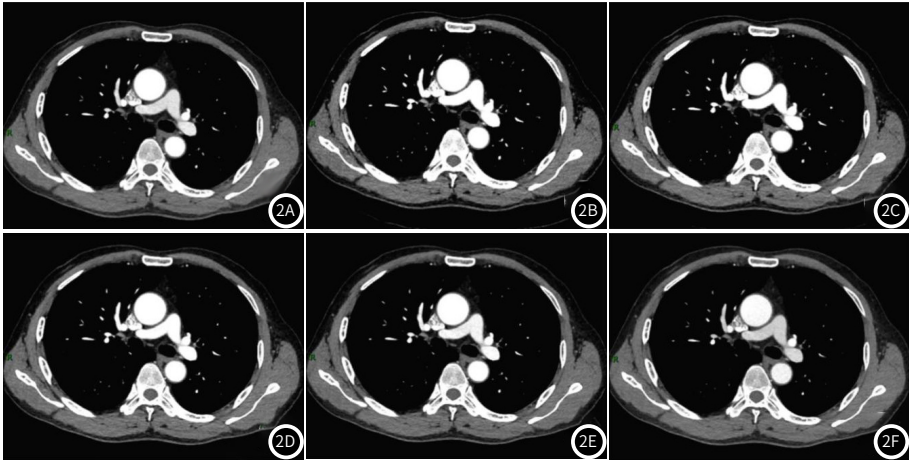


图2A-图2F 120kVp-like 及55~80 keV血管强化质量图像。2A 120 kVp-like图像，肺动脉强化欠佳；2B 55 keV图像，背景噪声偏大；2D 65 keV图像，胸部大血管及其分支均强化良好，各组织结构清晰；2F 80keV图像，血管强化较差。

表1 55~80 keV与常规120 kVp-like 图像主观评分比较

例数		图像质量评分分布					均值	Z值	P值
		1分	2分	3分	4分	5分			
55keV	50	0	2	37	11	0	3.18±0.48	-6.897	<0.05
60keV	50	0	0	15	35	0	3.70±0.46	-4.276	<0.05
65keV	50	0	0	2	7	41	4.78±0.57	-4.513	<0.05
70keV	50	0	0	5	13	32	4.54±0.68	-2.475	<0.05
80keV	50	0	5	32	13	0	3.16±0.58	-6.666	<0.05
120kVp-like	50	0	0	6	26	18	4.24±0.66	—	—

表2 55~80 keV与常规120 kVp-like CT值比较(HU)

	PA	PV	AA	竖脊肌
55 keV	538.74±160.67*	555.58±95.62*	522.73±99.34*	64.43±8.52*
60 keV	452.19±132.60*	466.22±78.48*	439.62±81.82*	61.49±7.83*
65 keV	391.14±110.52*	395.76±65.01*	374.22±68.04*	59.56±7.47*
70 keV	330.49±93.18*	340.59±54.49*	322.69±57.29*	58.03±7.38*
80 keV	253.34±67.85*	260.03±38.50*	247.56±41.45*	55.54±7.19*
120kVp-like	290.51±80.14	299.40±46.38	284.47±49.82	56.82±7.32
F值	45.36	139.41	110.06	9.11
P值	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

注：*：与120 kVp-like比较，P<0.05；PA:肺动脉；PV: 肺静脉；AA: 主动脉。

表3 55~80 keV与常规120 kVp-like SD、CNR、BHA比较

	SD	CNR-PA	CNR-PV	CNR-AA	BHA
55 keV	22.43±3.79*	21.91±8.48*	22.57±6.28*	21.03±5.94*	36.40±13.71*
60 keV	19.53±3.31*	20.72±7.99*	21.37±5.93*	19.93±5.60*	31.36±11.44*
65 keV	17.32±2.94*	19.84±7.54*	20.03±7.99*	18.71±5.26*	27.35±9.68*
70 keV	15.54±2.63*	18.15±6.97*	18.75±5.17*	17.52±4.87*	24.24±8.27*
80 keV	13.05±2.12*	15.70±6.00*	16.13±4.26*	15.11±4.06*	19.62±6.30*
120kVp-like	14.26±2.41	16.94±6.46	17.56±4.82	16.40±4.51	21.57±7.25
F值	71.4	5.13	9.98	9.45	20.812
P值	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

注：*：与120 kVp-like比较，P<0.05；SD:背景噪声；CNR: 对比噪声比；BHA: 线束硬化伪影。

3 讨 论

CT血管成像(CTA)可全方位显示胸部大血管的起源变异和肺部肿瘤供血血管来源，具有快速、无创、并发症较少等优点，同时有很强的时间和空间分辨率，是胸部血管病变的重要检查手段。Revolution CT的ASIR-V采用了更为先进全模型(噪声模型、物体模型和物理模型)，整合了ASIR的快速重建优点和MBIR的多模型迭代优点，实现了快速重建，显著降低图像的噪声，提高低密度对比度，减少图像伪影^[10-11]。

本研究客观数据显示，能谱CT 55、60 keV的单能量图像各大血管CT值和CNR明显增加，但其背景噪声SD和主动脉BHA明显增加，有研究表明^[12]抑制静脉周围伪影有助于纵膈淋巴结的检测以及早期诊断静脉血栓形成，上腔静脉中严重的条纹伪影也可能影响右肺动脉和右上叶前段支气管以及主动脉。80 keV的单能量图像BHA减小，但血管的CNR值和CT值减少，对比度降低。研究表明^[13]CTA检查管腔内CT值351~450 HU(优秀)，300~350 HU(良好)，200~299 HU(中等)，小于200 HU(差)，图像噪声小于20为优秀。本研究中65 keV图像各大血管的CT值PA(391.14±110.52)、PV(395.76±65.01)、AA(374.22±68.04)和图像噪声SD(17.32±2.94)均处于优秀水平，相比于120 kVp-like图像，PA、PV及AA的CNR分别提升了17.12%、14.07%和14.09%，具有统计学意义，表明总体图像质量有所提升。其次，主观评分表明，55、60 keV单能量图像表现出较高的血管强化效果，然而其伪影较明显，对诊断有较大干扰；80 keV单能量图像评分略低于120 kVp-like图像，血管强化程度较差，影响诊断，与之相反，其硬化伪影水平最低。由此可知，65 keV水平的单能量图像可以在保持较高水平图像对比度的同时无明显硬化伪影，有研究显示^[14]低浓度对比剂(170 mgI/mL)90%患者的主动脉、肺动脉和肺静脉的最佳重建能量水平为60 keV，此时图像对比度更好，且无明显硬化束伪影，本研究对比剂(350 mgI/mL)较之浓度高，因此最佳单能量水平较之升高也是合理的(对比剂浓度或者设备差异原因)。迟小荷等^[15-16]认为能谱CT 80 keV单能量联合50%的ASIR-V重建图像，能够减少对比剂硬化伪影，与本研究一致。翟晓静等^[17]认为光谱CT可优化胸部增强CT显示肺动脉质量也可证实本研究的意义。

此外，Revolution CT的多参数定量分析功能在鉴别肺部炎性病变与恶性肿瘤、肺癌的诊断及分型、肺癌的临床分期中具有重要的应用价值^[18-19]。基于多方优势，能谱CT有望代替普通胸部增强应用于日常临床工作。

本研究的不足之处：(1)肺动脉CTA、肺静脉和胸主动脉最佳期相扫描采集时间不同；(2)本研究将重建权重设为40%，并未对不同前置后置ASIR-V权重深入研究；(3)本研究属于自身对照研究，没有与常规胸部增强进行辐射剂量对比。

综上所述，次高渗对比剂碘佛醇(350 mgI/mL)胸部大血管成像最佳单能量为65keV，保证肺部增强质量同时优化血管成像，减少了同部位重复检查，在一定程度上降低了患者辐射和对比剂引发的危害。

参考文献

- [1] Chaturvedi A, Oppenheimer D, Rajiah P, et al. Contrast opacification on thoracic CT angiography: challenges and solutions[J]. Insights Imaging, 2017, 8(1): 127-140.
- [2] Shaqdan K, Aran S, Thrall J, et al. Incidence of contrast medium extravasation for CT and MRI in a large academic medical centre: a report on 502, 391 injections[J]. Clin Radiol, 2014, 69(12): 1264-1272.
- [3] 虎义科, 赵莹, 张广浩, 等. 256层螺旋CT肺动脉造影对肺动脉栓塞患者右心功能的评价[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29(3): 46-47+53.
- [4] 张亚斌, 陈丽媛, 陈殷森. 心电图、超声心动图与CTPA在诊断急性肺栓塞中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(4): 54-57.
- [5] 周大伟, 赵英明, 李欣欣, 等. 基于能谱CT低流速低对比剂在肺动脉CTA图像质量的研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(1): 63-65.
- [6] 岑人丽, 倪志文, 黄绿丹, 等. 能谱CT在急性肺动脉栓塞诊断及随访中的应用价值[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(9): 1749-1753.
- [7] 郭红红, 曹珊, 杨晨, 等. 光谱CT虚拟单能量图像优化胸部增强CT显示肺动脉[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 38(0): 1395-1400.
- [8] Kang E J. Clinical applications of wide-detector CT scanners for cardiothoracic imaging: an update[J]. Korean J Radiol, 2019, 20(12): 1583-1596.
- [9] Siegel M J, Ramirez-Giraldo J C. Dual-energy CT in children: imaging algorithms and clinical applications[J]. Radiology, 2019, 291(2): 286-297.
- [10] 孙杰, 马俊丽, 杨建平, 等. ASIR-V权重自动控制能谱CT图像质量与辐射剂量的可行性: 体模研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 38(10): 1062-1067.
- [11] 郑晓娜, 周方丽, 刘雅兰. Revolution CT联合不同权重ASIR-V在胸痛三联征成像中的应用价值比较[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(4): 55-58.
- [12] Dodd J D, Kalva S, Pena A, et al. Emergency cardiac CT for suspected acute coronary syndrome: qualitative and quantitative assessment of coronary, pulmonary, and aortic image quality[J]. AJR Am J Roentgenol, 2008, 191(3): 870-877.
- [13] 国家心血管病专业质控中心心血管影像质控专家工作组, 中华医学会放射学分会心胸学组, 《中华放射学杂志》心脏冠状动脉多排CT临床应用指南写作专家组. 冠状动脉CT血管成像的适用标准及诊断报告书写规范[J]. 中华放射学杂志, 2020, 11(54): 1044-1055.
- [14] Delesalle M A, 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[J]. Radiology, 2013, 267(1): 256-266.
- [15] 迟小荷, 常娜, 邓凯, 等. 能谱CT单能量技术联合ASIR及ASIR-V改善胸部增强CT图像质量的研究[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(1): 177-183.
- [16] Wang J J, Chi X T, Wang W W, et al. Analysis of contrast-enhanced spectral chest CT optimal monochromatic imaging combined with ASIR and ASIR-V[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2022, 26(6): 1930-1938.
- [17] 翟晓静, 郭红红, 曹珊, 等. 双层探测器光谱CT肺动脉造影40 keV虚拟单能量图像优化窗口设置研究[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(1): 59-63.
- [18] 邓晓娜, 张国晋, 林晓强, 等. 能谱及灌注CT成像鉴别诊断周围型肺癌和局灶性机化性肺炎的对比研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29(12): 1206-1211.
- [19] 高垒, 杨青, 胡亚彬, 等. 双入口CT灌注评价肺腺癌和肺鳞癌血供特征[J]. 中国医学影像学杂志, 2017, 33(3): 419-422.

(收稿日期: 2023-10-11)

(校对编辑: 翁佳鸿)