

改善胸部 CT 增强效果和成像质量的能谱 CT 研究

王雅雯, 王若冰, 吴宁

【摘要】 目的:探讨能谱 CT 单能量图像对改善胸部 CT 扫描增强效果和成像质量的应用价值。**方法:**回顾性收集进行胸部宝石能谱 CT 扫描、且肺动脉增强效果不佳(70 keV 单能图像肺动脉主干 CT 值 <200 HU)的 49 例患者的 CT 图像资料,通过改变单能量图像的 keV 值,使图像肺动脉主干 CT 值达到 200 HU。计算调整前(70 keV)和调整 keV 值后的肺动脉主干 CT 值、图像信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR);由 2 名放射科医师以 5 分法对调整前后的图像质量进行主观评分。采用配对样本 t 检验比较调整前后的图像肺动脉主干 CT 值、同层肌肉 CT 值、SNR 和 CNR,将调整前后的图像质量主观评分进行 Wilcoxon 秩和检验。同时将图像按调整前肺动脉主干 CT 值分为 A、B、C、D 四组,四组图像调整前后的 SNR、CNR 分别进行配对样本 t 检验;采用单因素方差分析,对 A、B、C、D 四组图像调整后的 SNR、CNR 进行两两比较。**结果:**调整前后图像的 SNR 差异无统计学意义($t=0.539, P>0.05$),而调整后图像 CNR($t=-8.961, P=0.000$)和主观评分($Z=-3.400, P=0.001$)均较调整前有所提高。A、B、C、D 四组调整前后 SNR 均无统计学差异(P 均 >0.05),而 CNR 均具有统计学差异(P 均 ≤ 0.05)。A 组(肺动脉主干 CT 值 <140 HU)调整后 SNR 均低于 B 组($P=0.014$)、C 组($P=0.009$)、D 组($P=0.020$);A 组调整后 CNR 均低于 B 组($P=0.017$)、C 组($P=0.004$)、D 组($P=0.011$);B 组、C 组、D 组间 SNR、CNR 两两比较均无统计学差异(P 均 >0.05)。**结论:**对于胸部能谱 CT 扫描增强效果不佳的患者,在一定范围内降低单能量图像的 KeV 值能够改善增强效果,且能在一定程度上提高成像质量。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 图像增强; 放射摄影术, 胸部; 成像质量

【中图分类号】 R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2017)02-0179-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.02.018

A Study on spectral CT: the improvement of enhancement effect and image quality of chest CT WANG Ya-wen, WANG Ruobing, WU Ning. Department of Imaging Diagnosis, Cancer Hospital Chinese Academy of Medical Science, Beijing 100021, China

【Abstract】 Objective: To study the value of single-source dual-energy spectral CT (sDECT) improving the enhancement effect and image quality in chest. **Methods:** 49 patients who underwent chest sDECT (Discovery CT 750 HD, GE Healthcare) and the main pulmonary artery were poorly enhanced (CT number <200 HU at 70 keV) were involved in the study. The recommended keV (44~68 keV) was calculated (main pulmonary artery CT number >200 HU). Enhancement effect included CT number of main pulmonary artery and muscle; image quality included SNR, CNR and score with a five-point scale. The data were compared between 70 keV and recommended keV by paired-samples t test and Wilcoxon rank sum test. Subjects were divided into 4 groups by main pulmonary artery CT number. SNR, CNR between 70 keV and recommended keV and between groups for recommended keV were compared. **Results:** There was no significant difference between the SNR in 70 keV and recommended keV ($t=0.539, P>0.05$), but the CNR ($t=-8.961, P=0.000$) and subjective score ($Z=-3.400, P=0.001$) in recommended keV was significantly higher than that in 70 keV. For the 3 groups with a CT number of main pulmonary artery higher than 140 HU in 70 keV, the SNR ($P=0.014, 0.009, 0.020$ respectively) and CNR ($P=0.017, 0.004, 0.011$ respectively) was observed significantly higher in recommended keV. **Conclusion:** When pulmonary artery is poorly enhanced in chest CT scanning, the enhancement effect and image quality can be improved by changing keV value within certain range.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Image enhancement; Radiography, thoracic; Image quality

CT 扫描是临床最常用的影像学检查方法之一,其发展日新月异。近年来 CT 领域的新技术——能谱 CT 利用双能量瞬时切换扫描,能够在一次扫描中通过计算获得不同 keV 值的单能量图像^[1,2],这些图像

在不同能量水平具有不同特征,其中低能量水平的 X 线穿透力低,图像上组织的对比增强,因此,利用能谱 CT 进行扫描及图像后处理时,适当降低 keV 值,可使含对比剂的血管 CT 值明显升高,从而提高纵隔及肺门血管与软组织的对比度。本文研究对象为胸部 CT 增强效果欠佳的患者,拟探讨能谱 CT 改善其增强效果和图像质量的可行性。

作者单位: 100021 北京,国家癌症中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院影像诊断科
作者简介:王雅雯(1983-),女,北京人,博士,主治医师,主要从事胸部影像学诊断工作。
通讯作者:吴宁, E-mail: cjr.wuning@vip.163.com

材料与方法

1. 临床资料

回顾性连续选取本院 2014 年 2—6 月间采用宝石能谱 CT 进行胸部 CT 扫描的 272 例患者,并筛选出其中肺动脉增强效果不佳(70 keV 单能图像肺动脉主干 CT 值<200 HU)的 49 例患者作为研究对象。49 例患者中,男 38 例,女 11 例;年龄 20~76 岁,平均(53±13)岁;肺动脉主干 CT 值为 92.03~188.01 HU,平均(157.27±23.84) HU。

2. 仪器与方法

采用 GE Discovery CT 750 HD 宝石 CT。扫描参数:GSI 扫描模式,球管转速 0.5 s/r,层厚 5 mm。扫描方向:足侧向头侧。对比剂采用碘普罗胺注射液(300 mg I/mL),用量 80~90 mL,注射流率 2.5 mL/s。设置后延时间为 30 s,扫描范围包括整个胸廓。

3. 图像后处理

将原始数据在 AW 4.6 工作站通过 GSI Viewer 软件进行后处理,重建出 70 keV 的单能量图像(重建层厚 1.25 mm),设置直径为 10 mm 的圆形 ROI,测量肺动脉主干 CT 值;调整图像 keV 值(44~68 keV),获得调整后的单能量图像,并测量相应的肺动脉主干 CT 值。

4. 图像分析

客观评价:分别测量肺动脉干层面上方、左侧、右侧 3 处空气密度标准差(standard deviation,SD)取三者平均值作为背景噪声。测量调整前后图像的肺动脉主干、同层肌肉的 CT 值。根据公式(1)、(2)分别计算图像的信噪比(signal-to-noise ratio,SNR)及对比噪声比(contrast-to-noise ratio,CNR)。

$$SNR = \frac{\text{肺动脉主干 CT 值}}{SD} \quad (1)$$

$$CNR = \frac{\text{肺动脉主干 CT 值} - \text{肌肉 CT 值}}{SD} \quad (2)$$

主观评价:由 2 名影像诊断主治医师采用 Schueler-Weidekamm 等^[3]制订的 5 分法对所有图像进行质量评分,意见分歧时,经商议达成一致意见。评分标准为:5 分,背景噪声小,纵隔、肺门解剖结构显示清晰,增强效果好,能区分血管与软组织;4 分,背景噪声较小,纵隔、肺门解剖结构显示较清晰,增强效果较好,可区分血管与软组织;3 分,存在一定的背景噪声,纵隔、肺门解剖结构显示可满足诊断要求,增强效果欠佳,但尚可区分血管与软组织;2 分,背景噪声较大,纵隔、肺门解剖结构显示欠清,难以满足诊断要求,增强效果较差,难以区分血管与软组织;1 分,背景噪声大,纵隔、肺门解剖结构显示不清,增强效果差,无法区分血管与

软组织。

5. 图像分组

将图像按调整前肺动脉主干 CT 值分为 A、B、C、D 四组:A 组,CT 值<140 HU;B 组,CT 值 140~160 HU;C 组,CT 值 160~180 HU;D 组,CT 值 180~200 HU。分别记录每组调整前后的 SNR、CNR。

6. 统计学分析

采用 SPSS 19.0 统计软件包进行统计学分析。调整前、后图像的肺动脉主干 CT 值、肌肉 CT 值、SD、SNR、CNR 采用配对样本的 *t* 检验;调整前、后主观评分采用 Wilcoxon 秩和检验;A、B、C、D 四组图像调整前后的 SNR、CNR 分别进行配对样本 *t* 检验;采用单因素方差分析,对 A、B、C、D 四组图像调整后的 SNR、CNR 进行两两比较。*P*≤0.05 认为差异具有统计学意义。

结 果

1. 图像质量总体评价

本组图像调整后总体图像质量有所提高(图 1),但其中 3 例患者调整后图像质量主观评分降为 2 分,影响图像诊断(图 2)。

2. 图像质量客观评价

经配对样本 *t* 检验,keV 值调整前、后的肺动脉主干 CT 值(*P*=0.000)、同层肌肉 CT 值(*P*=0.000)、SD(*P*=0.000)、CNR(*P*=0.000)值差异均具有统计学意义,其中,调整后图像 CNR 较调整前约提高 14.3%;keV 值调整前、后的 SNR(*P*=0.592)无统计学差异(表 1)。

表 1 keV 值调整前后图像质量客观指标比较					
	调整前	调整后	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	
肺动脉主干 CT 值(HU)	157.27±23.84	203.26±2.14	-13.450	0.000	
同层肌肉 CT 值(HU)	60.10±8.48	63.38±10.22	-6.733	0.000	
SD(HU)	8.83±2.16	11.49±2.47	-10.837	0.000	
SNR	18.60±4.57	18.53±4.10	0.539	0.592	
CNR	11.35±3.46	13.01±2.77	-8.961	0.000	

3. 图像质量主观评价

经 Wilcoxon 秩和检验,调整后的图像质量主观评分较调整前约提高 8.8%,两者差异具有统计学意义(*Z*=-3.400,*P*=0.001,表 2)。

表 2 keV 值调整前后图像质量主观评分比较							
	平均分	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	总分
调整前	3.88±0.60	0	0	12	31	6	190
调整后	4.22±0.94	0	3	8	13	25	207

4. 图像质量分组分析

采用配对样本 *t* 检验分别对 A、B、C、D 四组调整前后 SNR、CNR 进行比较,结果显示所有组别的 SNR 在调整前、后均无统计学差异(*P*均>0.05);而所有组

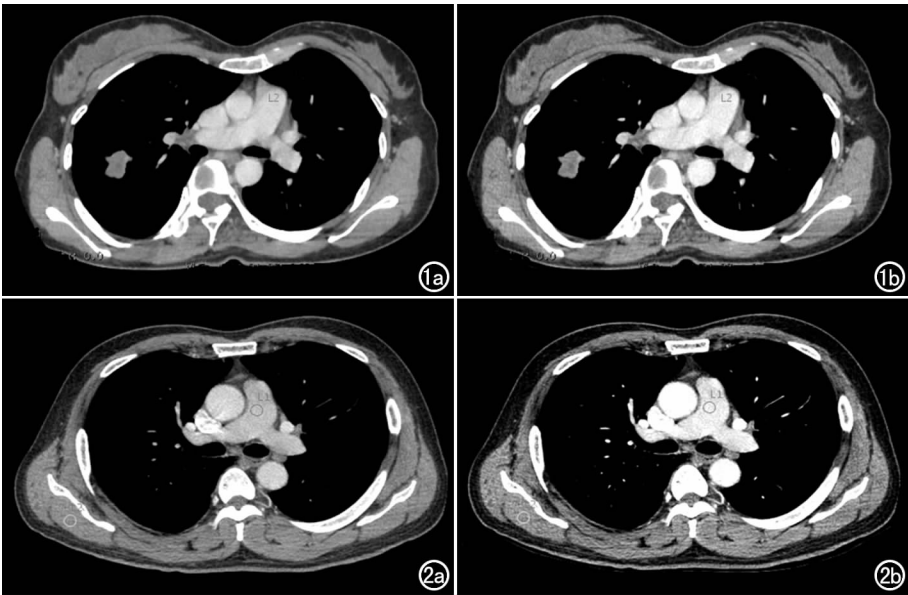


图 1 患者,女,32 岁。a) 70 keV 的单能量图像。肺动脉干初始 CT 值 149.24 HU,肌肉初始 CT 值 65.40 HU,SD 值 6.52 HU,SNR 17.00,CNR 9.55,主观评分 3 分,图像增强效果较差;b) 调整为 63 keV 的单能量图像。肺动脉干 CT 值 206.34 HU,肌肉 CT 值 69.99 HU,SD 值 10.65 HU,SNR 18.70,CNR 12.77,主观评分 4 分,肺动脉增强效果改善,且 SD 值在可接受范围内,不影响诊断,图像质量得以提高。图 2 患者,男,68 岁。a) 70 keV 的单能量图像。肺动脉干初始 CT 值 120.03 HU,肌肉初始 CT 值 57.93 HU,SD 值 11.11 HU,SNR 16.08,CNR 8.32,主观评分 3 分,图像增强效果差;b) 调整为 57 keV 的单能量图像。肺动脉干 CT 值 206.77 HU,肌肉 CT 值 59.56 HU,SD 值 15.84 HU,SNR 15.39,CNR 11.08,主观评分 2 分,虽然肺动脉增强效果得以改善,但图像 SD 值较大,纵隔窗图像细节丢失,纵隔内淋巴结显示效果较差,影响诊断。

别调整前、后的 CNR 差异均具有统计学意义(P 均 ≤ 0.05 ,表 3)。

5. 图像质量组间比较
采用单因素方差分析,对 A、B、C、D 四组图像调整后的 SNR、CNR 进行两两比较。
A 组调整后 SNR 均低于 B 组($P=0.014$)、C 组($P=0.009$)、D 组($P=0.020$);B 组、C 组、D 组间两两比较均无统计学差异(P 均 > 0.05)。A 组调整后 CNR 均低于 B 组($P=0.017$)、C 组($P=0.004$)、D 组($P=0.011$);B 组、C 组、D 组间两两比较均无统计学差异(P 均 > 0.05)。

讨论
近年来,由于能量成像技术的发展和临床需求的增加,以瞬时双 kVp 为核心技术的能谱 CT 成为研究

热点^[1]。能谱 CT 的应用研究主要基于 4 项技术特征,即去除硬化伪影、优化图像质量及 CNR、物质定量分析和能谱综合分析^[2]。单能量图像是指处于某一能量水平的 X 线穿过物质后产生的衰减图像,其不同能量水平具有不同特征,其中低能量水平的 X 线穿透力低,图像上组织的对比增强,从而可为肺血管病变、肺内结节、纵隔病变等的诊断提供更多的信息^[4-7]。能谱 CT 可通过单次 CT 增强扫描获得不同的单能量图像,多项研究证实其可通过降低 keV 值大幅减少血管成像时使用的对比剂剂量^[8-10];然而,降低 keV 值后,虽然血管的增强效果会大幅改善,但图像的 SD 也会提高,导致图像粗糙、丢失细节。林晓珠等^[11]的研究表明,腹部能谱 CT 通过调整 keV 值可改善单能量图像增强效果,即使降低 50% 的对比剂剂量亦可满足诊断需求。目前关于能谱 CT 能否在改善增强效果和满足诊断需求之间取得平衡的研究相对较少,鉴于此,本研究拟探讨胸部能谱 CT 通过调整 keV 值改善单能量图像增强效果和图像质量的可行性。

由于 70keV 单能图像的 CT 值最接近 120 kVp 混合能量 CT 图像^[1],因此本研究根据 70 keV 单能图像的增强效果和图像质量作为基准进行调整和统计学分析。针对本组 49 例患者的总体图像质量统计学分析显示,在原扫描图像增强效果不佳时,若采用降低 keV 的方法将肺动脉主干 CT 值提高至 200 HU 以上,肌肉 CT 值亦有相应提高,调整后图像的 SNR 值虽略有提高,但差异无统计学意义;而调整后 CNR 值提高约 14.3%、主观评分提高约 8.8%(P 均 ≤ 0.05),表明调整后的总体图像质量有所提高。
本研究中,按调整前肺动脉主干 CT 值的不同将所有图像分为 A、B、C、D 组四组,统计结果显示,A、

表 3 各组调整前后 SNR、CNR 比较

组别	调整前 SNR	调整后 SNR	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	调整前 CNR	调整后 CNR	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
A	15.77±2.55	15.84±2.14	-0.277	0.786	8.21±2.37	11.1±1.75	-10.130	0.000
B	19.50±4.93	19.82±4.24	-1.049	0.321	11.38±2.73	13.68±2.76	-14.735	0.000
C	19.99±4.46	19.81±4.12	0.900	0.386	13.19±2.71	14.05±2.73	-5.331	0.000
D	19.99±5.30	19.50±4.71	1.813	0.100	13.44±3.16	13.77±2.97	-2.227	0.050

B、C、D 组调整后的 CNR 较调整前分别提高约 35.2%、20.2%、6.5%、2.5% (P 均 ≤ 0.05)。A、B、C、D 组调整后 SNR、CNR 两两比较结果显示, A 组(肺动脉主干 CT 值 < 140 HU)调整后的 SNR、CNR 均低于 B、C、D 组 (P 均 < 0.05), 提示 A 组调整后的图像质量仍相对较差; 同时, A 组中有 3 例患者调整后图像质量主观评分降为 2 分, 难以满足诊断需求, 故笔者推断, 采用能谱 CT 降低 keV 值的方法提高增强效果时, 若原始图像的增强效果太差(肺动脉主干 CT 值 < 140 HU), 调整后将导致 SD 过强, 软组织细节显示欠佳, 图像质量下降, 难以满足诊断需求。因此, 调整 keV 值应当在适度范围内进行, 具体范围仍需进一步探索。

本研究的局限性, 仅针对纵隔、肺门局部对比度和噪声以及大血管的强化程度进行观察, 未将调整前后肺内病灶的改变进行比较, 故仍有待深入研究。

日常临床工作中, 由于个体差异, 对比剂注射有时很难达到理想条件, 如经多次化疗后血管条件较差的患者, 其注射流率必然受限; 而相同体重和注射流率的患者, 也会因心率和体型的差异导致部分患者增强效果欠佳。本研究结论表明, 采用能谱 CT 进行胸部扫描时, 如遇增强效果不佳的病例, 可通过降低 keV 值的方法获得较好的增强效果, 从而改善图像质量, 增强诊断信心。

参考文献:

[1] Matsumoto K, Jinzaki M, Tanami Y, et al. Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching; improved image quality as compared with that obtained with conventional 120kVp CT[J]. Radiology, 2011, 259(1): 257-262.

- [2] 林晓珠, 沈云, 陈克敏. CT 能谱成像的基本原理与临床应用研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(8): 798-800.
- [3] Schueller-Weidekamm C, Schaefer-Prokop CM, Weber M, et al. CT angiography of pulmonary arteries to detect pulmonary embolism; improvement of vascular enhancement with low kilovoltage settings[J]. Radiology, 2006, 241(3): 899-907.
- [4] Lu GM, Zhao Y, Zhang LJ, et al. Dual-energy CT of the lung[J]. AJR, 2012, 199(5 Suppl): S40-53.
- [5] Ko JP, Brandman S, Stember J, et al. Dual-energy computed tomography: concepts, performance, and thoracic applications [J]. J Thorac Imaging, 2012, 27(1): 7-22.
- [6] Ohana M, Jeung MY, Labani A, et al. Thoracic dual energy CT: acquisition protocols, current applications and future developments [J]. Diagn Interv Imaging, 2014, 95(11): 1017-1026.
- [7] 张龙敏, 刘爱连, 刘义军, 等. 低浓度对比剂能谱 CT 单能量成像对提高门静脉图像质量的研究[J]. 放射学实践, 2015, 30(4): 360-363.
- [8] Pontana F, Faivre JB, Remy-Jardin M, et al. Lung perfusion with dual-energy multi-detector-row CT (MDCT): feasibility for the evaluation of acute pulmonary embolism in 117 consecutive patients [J]. Acad Radiol, 2008, 15(12): 1494-1504.
- [9] Godoy MC, Heller SL, Naidich DP, et al. Dual-energy MDCT: comparison of pulmonary artery enhancement on dedicated CT pulmonary angiography, routine and low contrast volume studies [J]. Eur J Radiol, 2011, 79(2): e11-e17.
- [10] Ichikawa S, Ichikawa T, Motosugi U, et al. Computed tomography (CT) venography with dual-energy CT: low tube voltage and dose reduction of contrast medium for detection of deep vein thrombosis[J]. J Comput Assist Tomogr, 2014, 38(5): 797-801.
- [11] 林晓珠, 福井利佳, 沈云, 等. 腹部增强能谱 CT 成像在肾功能不全患者低剂量对比剂扫描中的应用价值[J]. 中华放射学杂志, 2014, 48(10): 816-821.

(收稿日期: 2016-04-20 修回日期: 2016-07-15)