

论著

A Study of Radiation Dose and Image Quality after Implantation of Funnel Chest Orthopedic Plates into Body Molds with Energy-spectrum CT Versus Conventional CT*

LI Cheng-long, DONG Li-na, LU Li-ya, XU Chao*.

Department of Medical Imaging, Xuzhou Children's Hospital, Xuzhou 221000, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective To compare the radiation dose and image quality of body models scanned with funnel chest orthopedic plates in different modes. **Methods** The simulated body model after implantation of steel plates was scanned using Revolution CT in conventional scanning and spectral scanning modes using fixed mA mode and automatic mA mode, respectively, and the radiation dose after each scan was recorded for the comparative study, and the images of the group with the lowest radiation dose in conventional scanning and the group with a radiation dose lower than that in conventional scanning and closest to that in spectral scanning were selected for subjective and objective analyses; **Results** The lowest radiation dose was recorded in the 100Kvp+NI12 group, and the radiation dose in the 120Kvp+NI12 group was lower than and closest to the GSI. Objective evaluation and subjective scoring: the image quality of energy spectrum scanning (100keV+MARs, 120keV+MARs, 140keV+MARs) was better than that of conventional scanning. **Conclusion** The image quality in the energy spectrum scanning mode is higher than that of conventional scanning, and the balance between image and dose can be achieved by using 200 mA as the scanning condition in the GSI mode in daily work.

Keywords: Radiography; Computed Tomography; Body Model; Steel Plate

先天性漏斗胸是儿童最常见的胸廓发育畸形^[1]，植入矫形钢板的Nuss手术是治疗先天性漏斗胸的有效方法^[2]，术后定期CT复查为后期诊疗提供客观依据，但能谱CT的与常规CT的辐射剂量方面的研究鲜有报道，本文将矫形钢板植入仿真体模内部进行不同扫描模式扫描，对辐射剂量和图像质量进行比较。

1 资料与方法

1.1 材料 胸部仿真模体(multipurpose chest phantom N1 LUNGMAN)，纵膈、肺血管和腹部组织可拆卸，漏斗胸矫正钢板(邦美威固定公司)规格型号：01-3170(长25.4cm，宽1.27cm)，材质：不锈钢，标准：符合GB4234标准规定的00Cr18Ni14Mo3，设备：GE Revolution 256CT。

1.2 扫描参数 GSI扫描，管电压以80-140kVp瞬时切换，管电流分别以设备固定值200mA，240mA，280mA、320mA、365mA、405mA进行扫描，固定NI为8、10、12时，设备分别自动匹配365mA、240mA、200mA进行扫描，常规扫描中，分为100kVp，120kVp，140kVp组，根据GSI模式下的mA值，同样分别以200mA，240mA，280mA、320mA、365mA、405mA进行扫描，固定NI为8、10、12时，设备以自动mA进行扫描，其他参数(DFOV: 40cm, 矩阵: 512×512, 范围305mm, 转速0.5s/r, 螺距: 0.984:1, ASIR-V: 50%, 层厚5mm)和扫描范围均一致。GSI组图像进行MONO重建，分别重建40kev, 60kev, 80kev, 100kev, 120kev, 140kev单能量图像并加入去金属伪影算法(Metal-Artifacts Reduction System, MARs)，选取常规扫描中ED值最低组和低于且最接近GSI组，与GSI扫描ED值最低组图像做客观与主观分析。

1.3 数据记录 扫描完成后读取设备自动生成的辐射剂量表，记录剂量长度乘积(dose length product, DLP)，并通过公式计算有效剂量(effective dose, ED)= $k \times DLP$ (成人胸部权重因子 $k=0.014$)，在1.25mm层厚的纵膈窗(窗宽400, 床位40)图像上取支架边缘高密度伪影区测量CT值及SD，记为CT伪影和SD伪影，取同层面背部肌肉CT值及SD，其作为标准CT值和SD，计为CT标准和SD标准，ROI区域为圆形，测量直径2mm，同一区域的不同地方连续测量3次取平均值，计算CT差值： $\Delta CT = CT_{\text{伪影}} - CT_{\text{标准}}$ 和伪影指数(artifact index, AI)= $(SD_{\text{伪影}} - SD_{\text{标准}})^{1/2}$ 。

1.4 主观评分 两位副主任医师以钢板最大层面(I203.8)为中心上下选取连续2层图像共计5层图像，窗宽：400，窗位：40，独立阅片并打分，评分标准：图像评分标准：1分，伪影大，组织间分界不清，不能用于诊断；2分，伪影较大，组织间分界不清，不能用于诊断；3分，伪影一般，组织间分界尚清，可用于诊断；4分，伪影低，组织间分界可辨，可以满足诊断；5分，图像质量非常好，组织间分界清晰，可以满足诊断。评分 ≥ 3 分为符合诊断要求， ≤ 2 分不符合诊断要求，记录4分以上图像的能量范围。

1.5 统计学分析 统计软件采用SPSS 26，对两位医生的主观评分一致性采用Weighted Kappa检验， $K \leq 0.41$ ：一致性差， $0.42 \leq K \leq 0.77$ ：一致性比较好， $K \geq 0.77$ ：一致性好。

能谱CT与常规CT在漏斗胸矫形钢板植入手模后的辐射剂量与图像质量研究*

李成龙 董丽娜 卢力亚

徐超*

徐州市儿童医院医学影像科
(江苏 徐州 221000)

【摘要】目的 比较在不同模式下对植入漏斗胸矫形钢板的体模扫描的辐射剂量和图像质量。**方法** 采用Revolution CT在常规扫描和能谱扫描模式下分别使用固定mA模式和自动mA模式对植入钢板后的仿真体模进行扫描，记录每次扫描后的辐射剂量进行对比研究，选取常规扫描辐射剂量最低组和常规扫描辐射剂量低于且最接近能谱扫描组图像做主观和客观分析；**结果** 100Kvp+NI12组辐射剂量最低，120Kvp+NI12组辐射剂量低于且最接近GSI，客观评价及主观评分：能谱扫描(100keV+MARs, 120keV+MARs, 140keV+MARs)图像质量均优于常规扫描。**结论** 能谱扫描模式下的图像质量较常规扫描高，日常工作中采用GSI模式下采用200mA作为扫描条件可以做到图像与剂量的平衡。

【关键词】X线摄影；计算机断层成像；体模；钢板
【中图分类号】R812
【文献标识码】A
【基金项目】徐州市科技项目(KC21223)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.04.017

2 结 果

固定mA模式下, 100kVp组DLP、ED均低于GSI组, 120kVp组和140kVp组DLP、ED均高于GSI组, (见表一)自动mA模式下, 100kVp组、120kVp组及140kVp(NI: 8)DLP、ED低于GSI组, 140kVp(NI: 10、12)DLP、ED高于GSI组(见表二)。常规扫描ED

最低值组(100kVp, NI12)与ED低于且最接近GSI组((120kVp, NI12))与能谱扫描ED最低组(80/140kVp 200mA)客观分析数据比较(见表三), 主观评分(见表四)。

表1 固定mA模式下剂量对比

	100kVp		120kVp		140kVp		GSI	
	DLP	ED	DLP	ED	DLP	ED	DLP	ED
200mA	143.32	2.01	231.09	3.24	336.33	4.71	163.20	2.28
240mA	171.99	2.41	277.24	3.88	403.60	5.65	200.50	2.81
280mA	200.65	2.81	323.45	4.53	470.75	6.59	237.60	3.33
320mA	229.31	3.21	369.65	5.18	538.01	7.53	275.04	3.85
365mA	261.56	3.66	421.64	5.90	613.67	8.59	312.12	4.37
405mA	290.23	4.06	467.85	6.55	680.92	9.53	349.18	4.89

表2 固定NI模式下剂量对比

NI	100kVp		120kVp		140kVp		GSI	
	DLP	ED	DLP	ED	DLP	ED	DLP	ED
8	196.68	2.75	236.06	3.30	275.09	3.85	312.12	4.37
10	123.30	1.73	172.06	2.41	230.17	3.22	200.50	2.81
12	99.99	1.40	154.19	2.15	217.53	3.05	163.20	2.28

表3 常规扫描和GSI扫描剂量最低组图像客观比较

	△CT值(HU)	AI值
100kVp+NI: 12	99.31	27.34
120kVp+NI: 12	98.01	28.86
40keV+MARs	143.06	31.34
60keV+MARs	58.30	18.99
80keV+MARs	23.63	10.55
100keV+MARs	8.37	7.11
120keV+MARs	0.83	5.83
140keV+MARs	-3.17	5.46

表4 常规扫描和GSI扫描剂量最低组图像主观评分

	评分1	评分2	一致性(K)
100kVp+NI: 12	1.85±0.32	1.75±0.41	0.621
120kVp+NI: 12	1.43±0.21	1.47±0.34	0.611
40keV+MARs	1.33±0.28	1.41±0.21	0.634
60keV+MARs	2.44±0.37	2.31±0.42	0.736
80keV+MARs	3.58±0.23	3.78±0.43	0.624
100keV+MARs	4.34±0.18	4.42±0.37	0.719
120keV+MARs	4.49±0.28	4.56±0.22	0.745
140keV+MARs	4.78±0.23	4.81±0.12	0.774

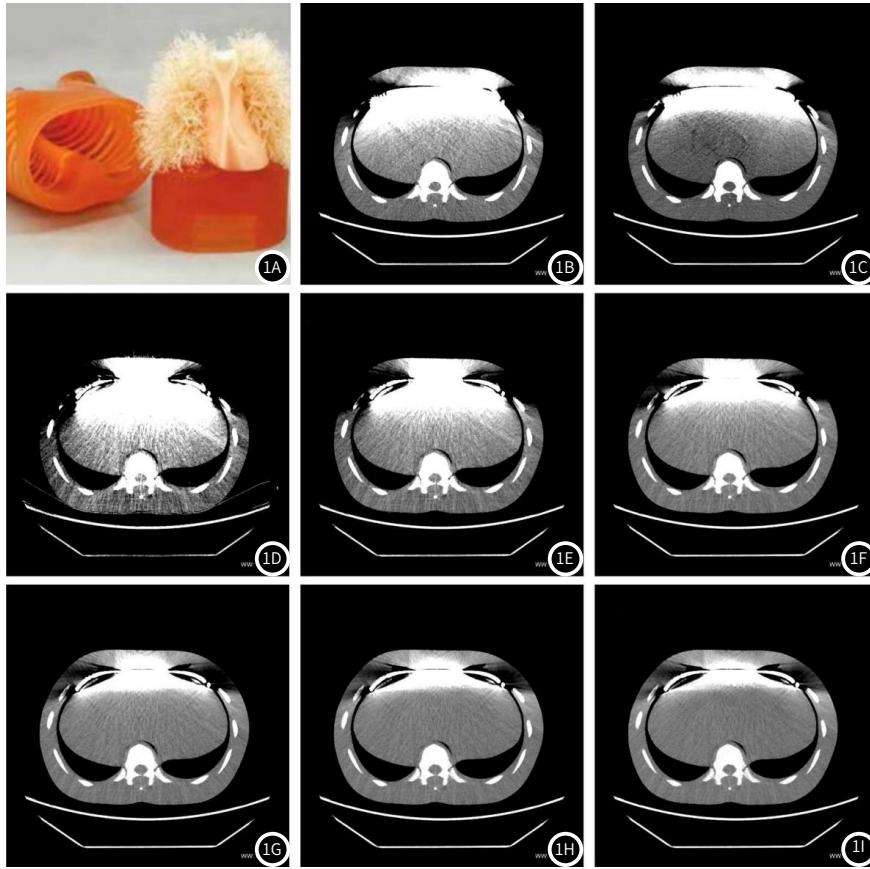


图1A-图1I 图1A 模体外观(multipurpose chest phantom N1 lungman); 图1B 100kVp+NI12, 图1C 120kVp+NI12; 图1D 40keV+MARs; 图1E 60keV+MARs; 图1F 80keV+MARs; 图1G 100keV+MARs; 图1H 120keV+MARs; 图1I 140keV+MARs。

3 讨 论

能谱CT是多参数、多种定量分析方法的CT成像技术，近年来广泛应用于临床，对该技术的研究也越来越深入，能谱CT的主要有能谱曲线、定量分析基物质浓度、单能量CT值、有效原子序数等功能，其所具有的理化性质分辨率和能量分辨率是传统CT不能实现的，后处理软件分析数据后可以形成能谱曲线、散点图、直方图等量化分析方式^[3]，给临床提供了更加丰富的影像信息，提高了诊断的准确性，应用前景广泛^[4]，目前已应用到全身各系统中^[5]。

随着医学的发展，各种金属植入物越来越多的应用于临床，给患者的康复带来了福音，但此类患者在CT扫描时产生的金属伪影则不可避免的出现了，先天性漏斗胸是儿童常见的胸廓发育畸形，以男性为主，男女比例约5.7: 1，是胸廓畸形中最常见的类型，如不及时治疗，会进行性加重，进而压迫心脏，肺，对呼吸循环功能造成影响，同时也会影响发育，对儿童心理也产生负面影响，Nuss手术是通过胸腔镜植入矫形钢板纠正漏斗胸，这种手术是目前临床首选的术式，漏斗胸患者术后要积极随访复查，一般半年左右复查胸部CT判断钢板位置，与邻近组织的关系等等，常规CT扫描金属伪影的产生是由于其自身的密度远大于人体组织，穿过金属的射线拉大了高能和低能光子之间的差异，打破了两者之间的线性函数关系，造成了射线的硬化伪影，此外，量子噪声及散射辐射也是产生金属伪影的因素之一^[6]，能谱CT扫描时球管在高、低两个能量之间切换得到的数据经过后处理得到虚拟单能量图像，这种重建出单能量图像近似某种单能量射线引起的真实衰减，可以有效减少射线的硬化伪影，有研究表明，与低Kev图和常规扫描的图像比较，高Kev图像可以表现出更低的噪声^[7]，去金属伪影算法(metal-artifacts reduction system, MARs)是一种图像的后处理方法，利用图像重建可以减少金属对于周围组织的影响，原理是在没有损坏的原始数据基础上，通过相应的迭代算法，把被条纹伪影损坏的数据识别出来，并给予修正，最终有效减少CT图像的金属伪影，虚拟单能量可以有效减少硬化伪影^[8]，MARs算法可以有效降低金属与周围组织间的条纹伪影，因此虚拟单能量图结合MARs技术，可以综合有效降低金属伪影，提升图像质量，提高诊断效率和正确率^[9]。金属植入物的材质、尺寸、放置位置、方向也都是影响金属伪影的重要因素，如金属植入物在轴位层面比较厚，那么射线的衰减将会更明显，从而伪影也会更重，在材质方面，金属的密度越高，伪影越明显，如不锈钢的密度大于钛合金类产品，因而射线穿过不锈钢的时衰减也会明显高于钛合金类，最终产生的伪影也会较钛合金类严重，金属周围的伪影，掩盖了正常组织的显示^[10-11]，影响医师对金属与周围组织之间关系的观察，本研究纳入样本手术采用的钢板应用于儿童先天性漏斗胸的矫治手术，为美国Biomet Microfixation品牌，钢板材质为不锈钢(符合GB4234标准规定的00Cr18Ni14Mo3)，规格型号01-3170(长25.4cm，宽1.27cm)，在轴位图像上，钢板横跨整改前胸壁，虽然厚度适中，但范围较广，常规条件扫描伪影明显，金属边缘及周围软组织的显示不清，影响临床诊断。本研究使用仿真模体，将矫形钢板置于模体内，最大程度模拟了实际临床使用场景，通过不同扫描模式，不同扫描参数对

比，辐射剂量方面，相同mA条件下，140KvP>120KvP>GSI>100KvP，固定NI条件下，NI: 8时，GSI>140KvP>120KvP>100KvP，NI: 10时：140KvP>GSI>120KvP>100KvP，NI: 12时：140KvP>GSI>120KvP>100KvP，仿真模体存在一定的特殊性，仿真模体相对于真实人体有一些差异，例如仿真材料的密度和组织结构等，这些差异可能会影响能谱CT的辐射剂量。从常规扫描模式中取辐射剂量最低组(100KvP, NI12)与辐射低于GSI模式且与其最接近的组(100KvP, NI12)，进行图像分析， Δ CT值：40keV+MARs>100KvP+NI12>120KvP+NI12>60keV+MARs>80keV+MARs>100keV+MARs>120keV+MARs>140keV+MARs，AI值：40keV+MARs>120KvP+NI12>100KvP+NI12>60keV+MARs>80keV+MARs>100keV+MARs>120keV+MARs>140keV+MARs，两位诊断医生读片一致性良好，本研究存在一定的局限性，(1)体模的材质、密度等和人体实际存在差异，射线衰减和人体的差别还有待于进一步研究；(2)本研究使用体模为成人规格，扫描范围较儿童大，剂量差异有待进一步研究；(3)仅采用一种材质的矫形钢板，今后将纳入更多类型的钢板研究其差异。

综上，在模体扫描中GSI模式辐射剂量略高于常规扫描，但常规扫描的图像质量明显低于GSI模式，工作中可在GSI模式下采用最低管电流(200mA)的参数组合扫描，重建MONO(≥ 100 keV)+MARs的方式获得较好的图像这样可以做到图像与剂量的平衡。

参考文献

- [1]Leng S, Yu L, Wang J, et al. Noise reduction in spectral CT: reducing dose and breaking the trade-off between image noise and energy bin selection [J]. Med Phys, 2011, 38: 4946-4957.
- [2]刘文亮, 孔德森, 喻风雷. 胸腔镜与非胸腔镜辅助改良Nuss手术矫治漏斗胸的临床比较 [J]. 中南大学学报(医学版), 2013, 42(8): 848-852.
- [3]Sarapata A, Willer M, Walter M, et al. Quantitative imaging using high-energy X-ray phase-contrast CT with a 70kVp polychromatic X-ray spectrum [J]. Opt Express, 2015, 23(1): 523-535.
- [4]倪炯, 王培军. 重视胸部CT诊断技术的发展及应用 [J]. 中华医学杂志, 2016, 96: 161-162.
- [5]段海峰, 贾永军, 于勇等. 能谱CT碘基图在鉴别中央型肺癌与继发阻塞性肺实变中的价值 [J]. 实用放射学杂志, 2016, 32(2): 204-207.
- [6]赵晴晴, 孙小丽, 李希, 等. 能谱CT单能量成像结合MAR技术降低金属植入物伪影的体模研究 [J]. CT理论与应用研究, 2019, 28: 529-539.
- [7]冉旭东, 徐永根, 施健毅, 等. 非胸腔镜辅助下Nuss手术治疗儿童漏斗胸的临床研究 [J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(4): 286-289.
- [8]薛龙梅, 宫亚琳, 张志远. 宝石能谱CT在去金属伪影技术最佳单能量的再研究 [J]. 实用医学杂志, 2015, 31(4): 586-589.
- [9]谢迎娣, 陶景山, 吴献华, 等. 256 iCT 0-MAR技术去金属伪影临床应用研究 [J]. 实用放射学杂志, 2017, 33(11): 1799-1801.
- [10]解琪琪, 史卫东, 李文洲, 等. 宝石能谱CT在骨骼系统中的应用进展 [J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36: 1173-1176.
- [11]董鑫, 吕国士, 刘伟, 等. 能谱CT的MONO成像联合MARs技术在颅内弹簧圈植入物伪影的应用研究 [J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(5): 794-798.

(收稿日期: 2023-10-13)
(校对编辑: 姚丽娜)