

Impact of dose modulation intensity on CT radiation dose and image noise in adults

LI Ning, ZHANG Zhaoxi, HE Yaoyao, ZHANG Biao, LIU Mingfei, HU Kui, YUAN Zilong*

(Department of Radiology, Hubei Cancer Hospital, Wuhan 430079, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the impact of dose modulation intensity on CT radiation dose and image noise in adults. **Methods** The head, chest and abdomen of phantom were scanned with fixed mAs and 5 modulation intensities (Very Weak, Weak, Average, Strong and Very Strong) based on CARE Dose4D technology. The corresponding volume CT dose indexes (CTDI_{vol}) were recorded, and variations were calculated. The standard deviation value (SD) of images in each layer of each position were measured and taken as the noise level. CTDI_{vol} and changes in images of fixed mAs group and 5 modulation intensity groups were analyzed, and image noise of 6 groups were compared. **Results** With the increase of modulation intensity, CTDI_{vol} of head and abdomen decreased gradually, and the corresponding change amount of CTDI_{vol} increased. CTDI_{vol} of chest gradually increased, but the corresponding change amount of CTDI_{vol} decreased. There were statistical differences of SD values of head or abdomen images under different modulation intensities ($F=9.73, 45.78$, both $P<0.01$), while SD values of chest images were not statistically different ($H=4.60, P=0.47$). **Conclusion** With the increase of modulation intensity, the radiation dose of head and abdomen of phantom decreased gradually, and image noise decreased, while the radiation dose of chest increased, but image noise had no significant change.

[Keywords] tomography, X-ray computed; quality control; adult

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2020.08.026

剂量调制强度对成人 CT 辐射剂量及图像噪声的影响

李 宁, 张照喜, 贺瑶瑶, 张 彪, 刘明飞, 胡 奎, 袁子龙*

(湖北省肿瘤医院放射科, 湖北 武汉 430079)

[摘要] **目的** 观察不同剂量调制强度对成人头部、胸部、腹部 CT 辐射剂量及噪声的影响。**方法** 采用固定毫安秒及基于 CARE Dose4D 技术的 5 种调制强度 (Very Weak, Weak, Average, Strong 和 Very Strong) 对仿真体模头部、胸部及腹部进行 CT 扫描。记录相应容积 CT 剂量指数 (CTDI_{vol}) 并计算其改变量, 测量各部位各层图像的标准偏差值 (SD) 作为图像噪声水平。分析固定毫安秒组及各调制强度组 CTDI_{vol} 及其改变量, 比较各组图像噪声差异。**结果** 随调制强度增高, 头部及腹部 CTDI_{vol} 逐渐降低, 相应 CTDI_{vol} 改变量增大; 胸部 CTDI_{vol} 逐渐升高, 相应 CTDI_{vol} 改变量减小。不同调制强度下, 头部及腹部图像 SD 值差异有统计学意义 ($F=9.73, 45.78, P$ 均 <0.01), 而胸部图像 SD 值差异无统计学意义 ($H=4.60, P=0.47$)。**结论** 随调制强度增高, 仿真体模头部及腹部辐射剂量逐渐降低, 图像噪声改善; 胸部辐射剂量亦逐渐增加, 但图像噪声无明显改变。

[关键词] 体层摄影术, X 线计算机; 质量控制; 成人

[中图分类号] P437; R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2020)08-1230-04

[第一作者] 李宁 (1992—), 男, 河南南阳人, 本科, 技师。研究方向: 影像技术学。E-mail: 775693903@qq.com

[通信作者] 袁子龙, 湖北省肿瘤医院放射科, 430079。E-mail: yuanzilong0213@126.com

[收稿日期] 2019-07-01 **[修回日期]** 2020-03-28

CT 临床应用日趋广泛,其所带来的辐射剂量备受关注^[1-2]。现阶段已有较多方法可用于降低患者所受辐射剂量,如 CARE Dose4D、CARE Kv 及迭代重建技术等^[3-6]。本研究通过体模实验探讨不同剂量调制强度对成人头部、胸部、腹部 CT 辐射剂量及噪声的影响。

1 材料与方法

1.1 体模 全身辐射仿真体模购自成都方拓仿真技术有限公司,身高 170 cm,体质量 60 kg,由高分子复合材料制成,主要成分为环氧树脂、聚氨脂及 Shonka 塑料等,能等效于成人脑组织、肺组织、骨骼及肌肉等。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens Definition AS+64 排 CT 机对体模头部、胸部及腹部进行测试扫描。扫描前按照成人条件设置剂量调制强度:Very Weak, Weak, Average, Strong 和 Very Strong。以仰卧位头先进方式将体模置于检查床中央,使体模正中矢状面对准扫描野正中矢状线,头部水平线平齐外耳孔水平,胸部及腹部水平线平齐腋中线水平。对头部采用侧位定位像,轴位扫描,扫描范围为颅顶至颅底;胸腹部采用正位定位像,横断位螺旋扫描,胸部自肺尖至肺底、腹部自膈顶至 L₃椎体下缘水平。扫描参数:管电压 120 kV,探测器宽度为 128×0.6 mm,层厚和层间距均为 5 mm,头、胸、腹部扫描螺距分别为 0.5、1.2 和 0.6。对胸部图像采用迭代重建算法重建,等级为 3;重建头部和腹部图像时,关闭迭代重建。先行固定管电流扫描,头、胸、腹部固定毫安秒分别为 350、200 及 380 mAs;之后激活 CARE Dose4D,各部分参考管毫安秒(reference mAs, ref. mAs)依次为 350、110 及 420 mAs,并于逐次修改调制强度后进行 5 次对应扫描。

分别记录固定毫安秒及利用 CARE Dose4D 技术 5 种调制强度扫描时头、胸、腹部各层有效毫安秒(effective mAs, eff. mAs)及容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDI_{vol}),计算各调制强度扫描时各部位 CTDI_{vol} 改变量,CTDI_{vol} 改变量=[(A-

B)/B]×100%,A 为不同调制强度下各部位的 CTDI_{vol},B 为固定毫安秒模式下的 CTDI_{vol}。扫描结束后于 Siemens Syngo CT Workplace 工作站对图像进行后处理。头部:自头侧向足侧于脑实质均匀区域逐层勾画 3 个面积 2 cm² 的圆形 ROI,测量其标准偏差值(standard deviation, SD),使同一层面 6 幅图像中 ROI 的位置、大小和形状完全相同,以 3 次测量 SD 值的平均值(SD_{AVG})为该层图像噪声水平。胸部和腹部:自头侧向足侧于椎体或椎间盘后缘脊髓腔内逐层勾画 3 个面积 0.49 cm² 的 ROI^[7],选择条件与头部一致,测量其 SD 值 3 次,以 SD_{AVG} 值为该层图像的噪声水平。见图 1。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 19.0 统计分析软件。计量资料符合正态分布时,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,否则以中位数(上下四分位数)表示。以 GraphPad Prism 软件绘制固定毫安秒及 5 种调制强度下不同部位各层 eff. mAs 的变化曲线。将固定毫安秒及 5 种调制强度扫描图像分为 Fix 组及相应调制强度组,各组噪声水平符合正态分布和方差齐性时,采用单因素方差分析进行比较,否则采用非参数 Kruskal-Wallis 检验;两两比较采用 LSD 法。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 体模不同部位各层 eff. mAs 的变化 随层数增加,头部以 5 种调制强度扫描的 eff. mAs 首先迅速上升、之后平缓上升;腹部呈先降低后升高、再缓慢降低趋势;调制强度越强,头部和腹部同层面 eff. mAs 越小。胸部呈先升高后持续降低再缓慢升高趋势,近肺尖及肺部中间层面 eff. mAs 随调制强度增加而增加,近肺底层则随调制强度增加而下降。见图 2。

2.2 体模 不同部位的 CTDI_{vol} 不同调制强度下扫描头、胸、腹部的 CTDI_{vol} 均低于固定参数扫描。扫描头部和腹部时,调制强度越强,CTDI_{vol} 改变量的绝对值越大,其降低越明显,而胸部相反。见表 1。

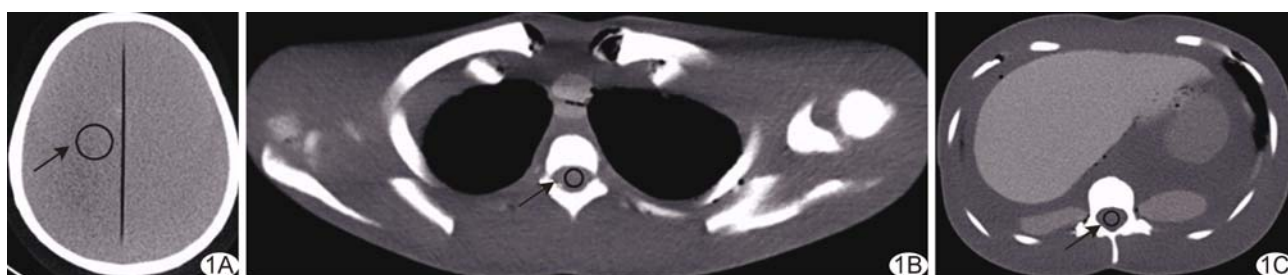


图 1 于体模不同部位 CT 横断位图像上勾画 ROI(箭)示意图 A. 头部; B. 胸部; C. 腹部

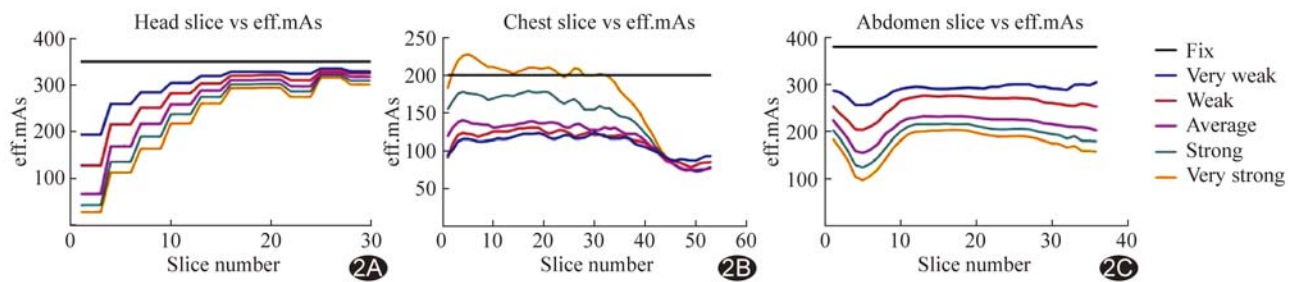


图 2 固定毫安秒及 5 种调制强度下,各部位图像 eff. mAs 变化曲线 A. 头部; B. 胸部; C. 腹部

表 1 固定毫安秒及 5 种调制强度下各部位的 CTDI_{vol} (mGy) 及相应改变量 (%)

部位	固定毫安秒	Very weak		Weak		Average		Strong		Very strong	
	CTDI _{vol}	CTDI _{vol}	改变量	CTDI _{vol}	改变量	CTDI _{vol}	改变量	CTDI _{vol}	改变量	CTDI _{vol}	改变量
头部	54.09	46.77	-13.53	43.34	-19.87	39.91	-26.21	37.41	-30.83	35.23	-34.86
腹部	25.41	19.79	-22.11	17.54	-30.97	14.73	-42.03	13.33	-47.54	12.14	-52.22
胸部	13.38	7.11	-46.86	7.11	-46.86	7.51	-43.87	9.02	-32.58	10.63	-19.09

2.3 图像噪声 头部及腹部图像 SD 值数据均符合正态分布及方差齐性,采用单因素方差分析进行比较。不同调制强度下头部及腹部图像 SD 值的差异有统计学意义 ($F=9.73, 45.78, P$ 均 <0.01)。对于头部图像,两两比较示 Very Strong 组与其余 5 组间 SD 值差异均有统计学意义 (P 均 <0.05), Strong 组与 Very Weak 组及 Weak 组间 SD 值差异均有统计学意义 (P 均 <0.05), Average 组与 Fix 组间 SD 值差异有统计学意义 ($P<0.01$), 其余各组间 SD 值差异无统计学意义 (P 均 >0.05)。腹部图像中,两两比较显示 Fix 组与其余 5 组间 SD 值差异均有统计学意义 (P 均 <0.05), 余各组间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。胸部图像 SD 值数据不符合正态分布,采用非参数 Kruskal-Wallis 检验进行分析,结果示各组间 SD 值差异无统计学意义 ($H=4.60, P=0.47$)。见表 2。

表 2 不同部位各组图像 SD 值比较 (HU)

组别	头部	胸部	腹部
Fix 组	4.16±0.52	4.97(4.25, 6.33)	5.06±0.75
Very weak 组	4.30±0.47	6.57(5.43, 7.22)	5.59±0.78
Weak 组	4.31±0.43	6.40(5.03, 8.08)	5.98±0.71
Average 组	4.51±0.39	6.43(5.41, 7.38)	6.54±0.97
Strong 组	4.64±0.42	6.37(5.18, 7.52)	6.96±0.71
Very strong 组	4.93±0.46	5.93(4.72, 7.53)	7.53±0.89
F/H 值	9.73	4.60	45.78
P 值	<0.01	0.47	<0.01

3 讨论

CARE Dose4D 技术是四维实时智能在线剂量调

节管理技术^[8-9],可根据不同体型、不同解剖部位自动控制球管电流输出,智能程度高,亦可通过调整扫描参数使其更适于临床应用,包括调节 ref. mAs^[10]及改变 CARE Dose4D 的剂量调制强度,可在不改变 ref. mAs 的前提下改变图像噪声。临床常规 CT 扫描协议均通过平均调制强度获得较平均的辐射剂量和图像质量,适用于大部分人群,但用于少数人时需要有所修正。本研究通过体模实验观察剂量调制强度对成人 CT 辐射剂量及图像噪声的影响,结果表明随着调制强度逐渐增强,头部及腹部辐射剂量逐渐降低,图像噪声亦逐渐增加;而胸部辐射剂量虽亦逐渐增加,但图像噪声水平无明显变化。

SODERBERG 等^[11]应用剂量调制强度研究儿童仿真体模,发现各部位辐射剂量均随调制强度增强而逐渐降低;本研究结果与之基本一致,不同的是胸部 eff. mAs 变化曲线在肺部中间层面及肩部大部分层面与 SODERBERG 等^[11]的结果相反,表现为调制强度越强,各层 eff. mAs 越大,考虑与体模设计有关。常规胸部扫描时,为减少手臂的干扰和伪影,患者需将双臂上举,而体模双上臂固定,无法上举,扫描体模胸部时,肺部中间偏上的大部分层面受上臂的影响,采用 CARE Dose4D 管电流调节技术针对此区域进行调节时,调制强度变强,为保证图像质量,将管电流调至更大,导致辐射剂量随之增高。RIZZO 等^[12]报道,在不同解剖区域,调制强度对辐射剂量的影响并不相同,将解剖区域分为“肥胖”和“瘦弱”2 个区域,不同调制强

度下其 eff. mAs 变化曲线相反,欲改善“肥胖”区域图像质量,需将调制强度调至更高;而对“瘦弱”区域,则需弱化调制强度。本研究结果与之基本一致,可将肺部中间偏上区域视为 RIZZO 等^[12]的“肥胖”区域。临床上患者手臂不能上举的情况十分常见,通过提高调制强度以保证图像质量,可能为解决这一问题提供新的方法。

本研究结果显示不同调制强度下头部及腹部图像 SD 值存在差异,而胸部图像 SD 值无明显差异;噪声水平与毫安秒显著相关,毫安秒越高、有效光子数越高,噪声越低^[13]。本研究中头部及腹部 eff. mAs 均随调制强度升高而降低,表明这 2 个部位图像噪声会随调制强度加大而增高;而胸部由于部分属“肥胖”区域、部分属“瘦弱”区域,导致不同调制强度下图像总体噪声水平差异并不显著。

综上所述,利用 CARE Dose4D 技术进行仿真体模 CT 扫描时,随调制强度增加,头部及腹部辐射剂量逐渐降低,图像噪声改善;胸部辐射剂量逐渐增加,但图像噪声无明显改变。本研究主要不足:①未对不同大小及类型体模进行比较观察;②所用体模上臂不能上举,无法模拟临床真实检查状态;③体模与人体存在差异,所获结论是否适用于人体尚待观察。

[参考文献]

- [1] LINET M S, SIOVIS T L, MILLER D L, et al. Cancer risks associated with external radiation from diagnostic imaging procedures[J]. CA Cancer J Clin, 2012, 62(2):75-100.
- [2] WANG J, DUAN X, CHRISTNER J A, et al. Bismuth shielding, organ-based tube current modulation, and global reduction of tube current for dose reduction to the eye at head CT[J]. Radiology, 2012, 262(1):191-198.
- [3] ZHANG J, GANESH H, WEIR V. Care KV: Dose it influence radiation dose in non-contrast examination of ct abdomen/pelvis? [J]. Medical Physics, 2015, 42(6):3248.
- [4] 袁子龙, 郑丽丽, 杜东屏, 等. 探讨胸部正侧定位像在 CT CARE Dose4D 技术中降低成人患者辐射剂量的临床价值[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(6):461-464.
- [5] 李莹, 吕培杰, 郭英, 等. 优化前后置全模型迭代重建技术低剂量腹部 CT 扫描[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(4):605-609.
- [6] MOORIN R E, GIBSON D A, FORSYTH R K, et al. The impact of iterative reconstruction on computed tomography radiation dosimetry: Evaluation in a routine clinical setting [J]. PLoS One, 2015, 10(9):e0138329.
- [7] SODERBERG M, GUNNARSSON M. The effect of different adaptation strengths on image quality and radiation dose using siemens CARE Dose 4D[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2010, 139(1-3):173-179.
- [8] SODERBERG M. Overview, practical tips and potential pitfalls of using automatic exposure control in CT: Siemens CARE Dose 4D [J]. Radiat Prot Dosimetry, 2016, 169(1-4):84-91.
- [9] 康绍磊, 曾宪春, 谢晓洁, 等. 智能最佳管电压扫描联合自动管电流调节技术降低成人胸部 CT 扫描辐射剂量[J]. 中国医学影像技术, 2013, 29(4):636-640.
- [10] 王晓华, 张艳, 袁慧书. 自动管电压调制技术参考毫安秒对胸部 CT 平扫图像质量和辐射剂量的影响 [J]. 中华放射学杂志, 2015, 49(3):179-182.
- [11] SÖDERBERG M, LA S. Evaluation of adaptation strengths of CARE Dose 4D in pediatric CT[C]. Medical Imaging: Physics of Medical Imaging. International Society for Optics and Photonics, Florida, United States, 2013. USA: SPIE, 2013.
- [12] RIZZO S, KALRA M, SCHMIST B, et al. Comparison of angular and combined automatic tube current modulation techniques with constant tube current CT of the abdomen and pelvis[J]. AJR Am J Roentgenol, 2006, 186(3):673-679.
- [13] 欧阳林, 蔡晓娟, 何平, 等. 胸部低剂量 CT 扫描对不同部位结构图像质量的影响 [J]. 放射学实践, 2005, 20(2):139-141.