

Experiment on the impact of low tube voltage on imaging quality and radiation dose in abdominal multi-detector CT

TANG Kun, CAO Guo-quan, LI Rui, ZHENG Xiang-wu*, WU En-fu, WENG Chuan-zheng
(Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Wenzhou
Medical College, Wenzhou 325000, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the impact of low tube voltage with 80 kV on imaging quality and radiation dose in abdominal CT. **Methods** A phantom containing low-contrast objects was scanned with a 16-section multi-detector CT scanner at 80 and 120 kV, with tube current-time product settings at 150—650 mA. The image noise (SD, standard deviation of CT number), contrast-to-noise ratio (CNR) and CT doses index volume (CTDI_{vol}) were objectively measured. To assess low-contrast detectability (LCD), subjective assessment of the visibility was performed by 2 independent observers. The relationship between CNR and CTDI_{vol} was analyzed. The differences between image noise, CNR and scores of LCD obtained with 80 kV at 150—650 mA and those obtained with 120 kV at 300 mA were compared. **Results** There was direct correlation between CNR and CTDI_{vol}. With identical dose, using of 80 kV tube voltage resulted in higher CNR compared with CNR at 120 kV. Although the image noise substantially increased with low tube voltage (80 kV), there was no statistical difference between CNR and scores of LCD obtained with 120 kV at 300 mA and those obtained with 80 kV at 550—650 mA ($P > 0.05$). **Conclusion** With a reduction of the tube voltage from 120 kV to 80 kV, the amount of reduction in the radiation dose can be achieved mostly by 42.23% without degradation of CNR and LCD.

[Key words] Tomography, X-ray computed; Radiation dose; Tube voltage; Image quality; Phantom

低管电压腹部 CT 扫描对图像质量及辐射剂量影响的体模实验

唐 坤, 曹国全, 李 瑞, 郑祥武*, 吴恩福, 翁传政
(温州医学院附属第一医院放射科, 浙江 温州 325000)

[摘要] **目的** 探讨 80 kV 低管电压腹部 CT 扫描对图像质量及辐射剂量的影响。**方法** 选用 Catphan500 体模, 以其低对比模块中直径 20 mm、对比度为 1.0% 的圆柱体为研究对象, 模拟腹部 CT 低对比的特点; 在其他扫描参数相同的情况下, 分别以低管电压 80 kV 和常规腹部 CT 扫描标准管电压 120 kV 对体模进行扫描, 管电流均设置为 150~650 mA (以 50 mA 为间隔)。记录每组扫描方案的容积 CT 剂量指数 (CTDI_{vol})、图像噪声及对比噪声比 (CNR), 同时由 2 名医师对图像的低对比可探测能力 (LCD) 进行独立评分, 分析 80、120 kV 时的 CNR 与 CTDI_{vol} 的相关性, 并比较 80 kV 管电压条件下所得图像噪声、CNR 及 LCD 评分与腹部标准扫描条件 120 kV、300 mA 之间的差异。**结果** CNR 与 CTDI_{vol} 呈正相关, 辐射剂量相同时, 80 kV 条件下所得 CNR 明显高于 120 kV。80 kV 时图像噪声显著增加 ($t = 6.99 \sim 15.78, P < 0.001$), 但当管电流增加至 550~650 mA 时, 80 kV 所得图像的 CNR 及 LCD 评分与 120 kV、300 mA 之间差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。**结论** 管电流增加至 550 mA 时, 在不影响图像质量 CNR 及 LCD 的前提下, 80 kV 低管电压 CT 扫描最多可降低 42.23% 的辐射剂量。

[作者简介] 唐坤 (1980—), 男, 湖南邵阳人, 在读硕士。研究方向: 影像医学与核医学。E-mail: kuntang007@163.com

[通讯作者] 郑祥武, 温州医学院附属第一医院放射科, 325000。E-mail: zxxw111@sina.com

[收稿日期] 2011-09-10 **[修回日期]** 2011-12-01

[关键词] 体层摄影术; X 线计算机; 辐射剂量; 管电压; 图像质量; 体模

[中图分类号] R814.42 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2012)04-0800-05

MDCT 在临床上的应用越来越广泛,其所带来的辐射剂量和危害也大幅增加。如何降低患者在 CT 检查中所接受的辐射剂量已成为业界关注的重点^[1]。目前 CT 低剂量扫描技术研究主要集中在降低管电流,也有少数关于低管电压的研究^[2]报道,但均集中于高对比度部位,如肺部、CT 血管造影等,而对于低对比度部位如腹部的相关报道较少见。本研究以 Catphan500 体模模拟腹部低对比的特点,通过分析 80 kV 低管电压对图像质量及辐射剂量的影响,探讨低管电压、低剂量腹部 CT 扫描的可行性及其价值。

1 资料与方法

1.1 Catphan500 体模 选用国际公认的 Catphan 500 型 CT 质量评价检测体模。该体模由一个外径 30 cm 的圆筒和并排填充在圆筒内的 4 个模块构成,可模拟标准腹部对 X 线的吸收^[3-4]。其中 CTP 515 低对比模块直径 20 cm,厚 4 cm,由许多不同大小和不同对比度的圆柱体组成。本研究仅选用直径 15 mm、对比度为 1.0% (即与周围本底的密度相差 10 HU) 的圆柱体进行分析(图 1)。每次扫描时,体模均置于 CT 扫描机架的中心位置。

1.2 CT 扫描方案及辐射剂量数据的获取 采用 GE LightSpeed 16 排螺旋 CT (CT 机发生器功率为 100 kW,最大输出管电流为 800 mA),按照腹部扫描模式对体模进行扫描。参数:准直 16×1.25 mm; 旋转时间 0.75 s; 层厚 5.0 mm; 层间距 5.0 mm; 螺距 0.659; FOV 50 mm; 矩阵 512×512 。分别取 80 kV 低管电压及 120 kV 标准管电压,管电流设置为 150~650 mA,以 50 mA 为间隔依次对体模进行扫描,每种方案重复扫描 3 次。系统依据所设置的扫描参数自动计算出辐射剂量估计值——容积 CT 剂量指数 (CT dose index volume, $CTDI_{vol}$),记录每种扫描方案的 $CTDI_{vol}$ 值。

1.3 图像质量评价

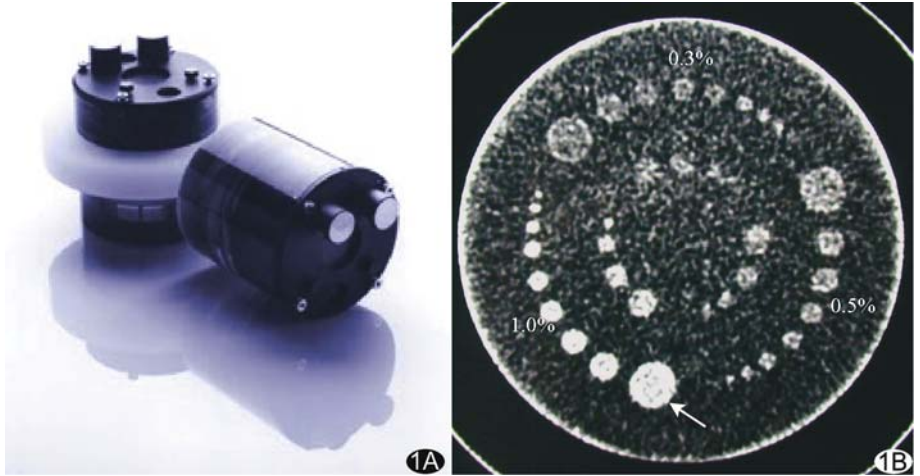


图 1 体模实物图 A. Catphan500 体模; B. CTP 515 模块中心层面的短轴图,其内含有 3 种不同对比度的圆柱体,分别为 0.3%、0.5%、1.0%,每种对比度的圆柱体直径分别为 2、3、4、5、6、7、8、9、15 mm。其中直径 15 mm,对比度为 1.0% 的圆柱体为本实验分析对象(箭)

(1) 客观评价:计算图像对比噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR); $CNR = (ROI_m - ROI_b) / SD$, 其中 ROI_m 为直径 15 mm、对比度为 1.0% 的圆柱体的 CT 值, ROI_b 为周围本底 CT 值, SD 即图像噪声,为本底 CT 值标准差。分别对每种扫描方案所得 3 幅图像的 ROI_m 、 ROI_b 及 SD 进行测量,每次测量重复 3 次,取其平均值,每次测量 ROI 固定为 100 mm^2 。

(2) 主观评价:对图像低对比可探测能力 (low-contrast detectability, LCD) 进行评分。由 2 名放射科医师在不知扫描条件的情况下分别对 80 kV、150~650 mA 及 120 kV、300 mA 条件下所得圆柱体图像的 LCD 进行评价。采用 3 分制等级评分法:圆柱体清晰可见评为 3 分;圆柱体显示比较清晰评为 2 分;圆柱体显示模糊不清评为 1 分。12 组扫描方案共 36 幅图像。取其平均值为每组扫描方案的最终 LCD 评分。评分均在 Workstation 4.2 工作站统一完成,观察者可自由调节窗宽、窗位。

1.4 统计学处理 采用 SPSS 15.0 统计软件,采用成组 t 检验比较 80 kV 及 120 kV 图像的图像噪声、CNR 及 $CTDI_{vol}$ 的差异;采用直线相关分析 CNR 与 $CTDI_{vol}$ 的相关性;80 kV、150~650 mA 与 120 kV、300 mA 间 LCD 评分的差异用 Wilcoxon 秩和检验;采用 Kappa 检验评价 2 名观察者间的一致性, $Kappa > 0.60$ 认为一致性较好。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 CTDI_{vol} 各组扫描方案的辐射剂量见表 1。管电流相同时, 80 kV 的 CTDI_{vol} 约为 120 kV 的 31.80%。120 kV、300 mA 时的 CTDI_{vol} 为 20.39 mGy, 与之相比, 80 kV、150~650 mA 的 CTDI_{vol} 分别为其 15.89%~68.27%。

表 1 两组扫描方案的辐射剂量

管电流 (mA)	CTDI _{vol} (mGy)	
	120 kV	80 kV
150	10.19	3.24
200	13.59	4.33
250	16.99	5.41
300	20.39	6.49
350	23.55	7.49
400	26.91	8.57
450	30.28	9.64
500	33.64	10.71
550	37.00	11.78
600	40.37	12.85
650	43.73	13.92

2.2 图像质量 各组扫描方案的图像噪声、CNR 及 LCD 评分结果见表 2、3。120 kV、300 mA 时的图像噪声为(3.61±0.23)HU, 与之相比, 80 kV 时、150~650 mA 所得图像噪声均较高($t=6.99\sim16.03, P<0.001$)。当管电流设置为 150~500 mA 时, 80 kV 时 CNR 值与 120 kV、300 mA 时比较差异均有统计学意义($t=-4.47\sim-1.72, P<0.05$), 但当管电流设置为 550~650 mA 时, 差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。80 kV、550~650 mA 评分结果与 120 kV、300 mA 时的 LCD 评分差异均无统计学意义(P 均 >0.05), 而 2 名医师间的观察一致性较好($Kappa=0.67, P<0.05$)。不同扫描参数所得图像见图 2。

2.3 CNR 与 CTDI_{vol} 的相关性 80 kV、120 kV 时 CNR 与 CTDI_{vol} 呈直线相关($r=0.95、0.96, P$ 均 <0.001)。当 CTDI_{vol} 相同时, 80 kV 时的 CNR 明显高于 120 kV, 而当 CNR 相同时, 80 kV 时的 CTDI_{vol} 明显低于 120 kV。

表 2 两组图像的图像噪声和 CNR($\bar{x}\pm s$)

管电流 (mA)	图像噪声		t 值	P 值	CNR		t 值	P 值
	120 kV	80 kV			120 kV	80 kV		
150	5.10±0.41	9.60±1.10	15.32	<0.001	0.89±0.24	0.62±0.22	-4.47	<0.001
200	4.45±0.35	8.20±1.05	13.43	<0.001	1.20±0.36	0.79±0.23	-3.75	<0.001
250	4.09±0.31	7.61±1.06	11.10	<0.001	1.46±0.52	0.87±0.37	-3.19	0.006
300	3.61±0.23	6.50±0.49	16.03	<0.001	1.73±0.72	1.04±0.46	-2.41	0.029
350	3.37±0.20	5.88±0.36	15.78	<0.001	1.95±0.79	1.00±0.52	-2.47	0.025
400	3.15±0.12	5.70±0.44	12.51	<0.001	1.97±0.65	1.04±0.54	-2.3	0.028
450	2.91±0.09	4.96±0.35	9.73	<0.001	2.11±0.84	1.07±0.46	-1.92	0.031
500	2.77±0.06	4.82±0.25	10.55	<0.001	2.29±0.93	1.19±0.61	-1.72	0.042
550	2.75±0.08	4.97±0.23	12.41	<0.001	2.21±0.95	1.38±0.40	-1.27	0.224
600	2.65±0.04	4.76±0.35	8.18	<0.001	2.33±1.03	1.40±0.47	-1.14	0.272
650	2.48±0.05	4.27±0.16	6.99	<0.001	2.47±1.07	1.53±0.49	-0.69	0.501

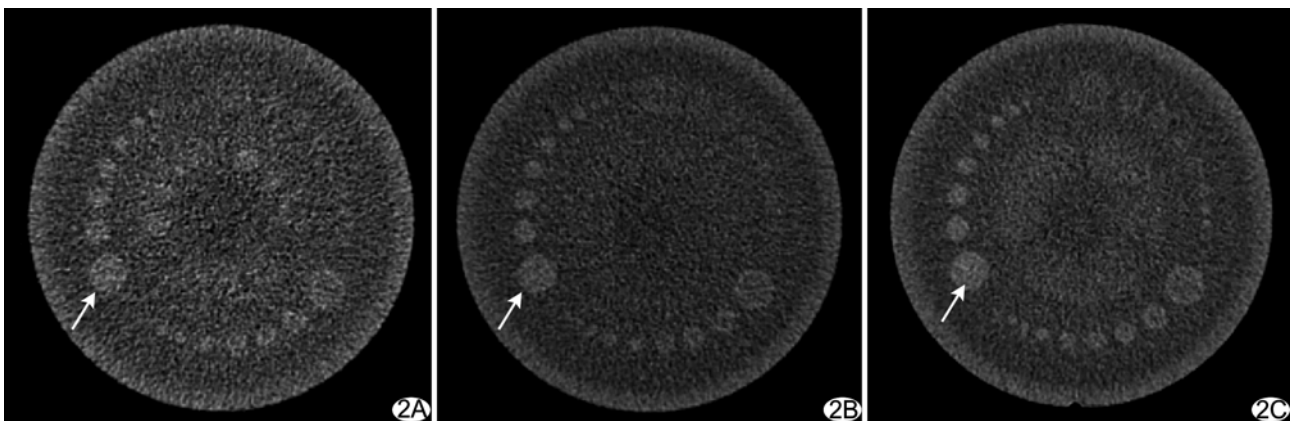


图 2 不同扫描参数所得图像质量比较 A. 80 kV、300 mA; B. 80 kV、550 mA; C. 120 kV、300mA。图 B、C 的图像质量较图 A 高, 图 B 与图 C 相仿, LCD 评分: 图 A 2 分; 图 B、C 均为 3 分 (箭示本实验研究对象)

表 3 两组图像 LCD 评分

管电流(mA)	LCD 评分		u 值	P 值
	80 kV	120 kV		
150	1.00±0.00	—	0	0.001
200	1.00±0.00	—	0	0.001
250	1.00±0.00	—	0	0.001
300	1.83±0.41	3.00±0.00	0	0.001
350	2.00±0.00	—	0	0.001
400	2.33±0.52	—	6	0.019
450	2.33±0.52	—	6	0.019
500	2.33±0.52	—	6	0.019
550	2.67±0.52	—	12	0.138
600	2.83±0.41	—	15	0.317
650	3.00±0.00	—	18	1.00

3 讨论

CT 检查所带来的辐射剂量和潜在危害不容忽视。据报道^[5],世界范围内,虽然 CT 检查数量只占放射性检查的 7%,但其累积的有效辐射剂量却超过总量的 40%。尤其是腹部多期相动态增强 CT 扫描已成为常规,但腹腔内有许多放射性敏感器官,腹部 CT 检查所致辐射危害往往高于其他部位。据报道^[6],每例接受腹部 CT 检查患者的癌症发生率约为 12.5/10 000,其危害程度相当于吸烟 1 年。因此,如何在保证图像质量的前提下有效降低腹部 CT 检查的辐射剂量显得尤为重要。

CNR 是评价图像质量的一项重要指标。在高对比结构中,适当降低管电压能增加图像的 CNR,因为管电压的改变对不同物质的 CT 值影响不同^[7],管电压降低,X 线光子能量较低,此时光子能量更接近于高原子序数元素的组织或结构的光电效应增强,CT 值升高,其与周边相对低原子序数组织的对比增加,图像 CNR 增加;而低对比结构中,单纯降低管电压往往会导致图像 CNR 下降^[8]。本研究结果显示,管电流相同时,当管电压由 120 kV 降至 80 kV 时,其 CNR 值明显减低。因此,对于低对比的腹部来说,单纯降低管电压会不可避免地影响图像 CNR。增加管电流可以增加 X 线光子数量,在保证 X 线光子能量一定的情况下,可以增加到达接收器光子的数量,从而提高图像 CNR,而且管电流与图像 CNR 之间呈正相关^[9],故可弥补低管电压所损失的部分图像质量。在本实验中,当管电流增加至 550~650 mA 时,80 kV 所得 CNR 值与 120 kV、300 mA 时的差异无统计学意义($P>0.05$)。由于 X 线辐射剂量与管电压平方成正比,因此辐射剂量的大小在很大程度上取决于管电压的高

低。本实验发现,管电流增加至 550 mA 时,采用 80 kV 低管电压仍能大幅度地降低辐射剂量,其降低的最大辐射剂量达到 42.23%;同时,CNR 与 $CTDI_{vol}$ 呈正相关,辐射剂量相同时,80 kV 低管电压所得图像 CNR 明显高于 120 kV,与文献^[4,9]报道一致。

腹部组织器官之间的密度相近,构成一个相对低对比环境。尤其当腹部脏器的病灶较小、与周围正常组织密度差不大时,对图像 LCD 的评价显得更为重要。Awai 等^[10]报道,在肝脏 CT 增强检查中,肿瘤与肝组织的 CT 值相差 5~40 HU;然而在一些病例中,病灶与周围正常组织的密度差仅为数个 CT 值。因此,本研究以与周围本底相差 10 HU 的低对比物模拟腹部低对比环境,对不同扫描条件下图像的 LCD 进行评分比较,发现在 80 kV 条件下,当管电流增加至 550 mA 以上时,其 LCD 评分与 120 kV、300 mA 时的 LCD 评分差异无统计学意义($P>0.05$),表明图像 LCD 评分与 CNR 间可能存在一定相关性,与 Verdun 等^[3]图像 CNR 与 LCD 主观评分之间存在相关性($r=0.95, P<0.05$)的研究结果相符。因此,80 kV 低管电压腹部 CT 扫描具有一定可行性,除图像质量 CNR 不受影响外,图像质量 LCD 亦无损耗,而且可以较大程度降低辐射剂量。

尽管如此,本研究也提示随着管电压降低,图像噪声显著增加($P<0.001$),与 Waaijer 等^[9]的报道相符。由于腹部是不均一相对低对比的环境,噪声增加对腹部图像质量可能存在一定影响。Funama 等^[11]建议可以采取合适的噪声滤波器以达到降噪目的,而秦维昌等^[12]认为应在不影响疾病诊断的前提下允许适度噪声的存在,因为一味追求图像的低噪声会使受检者接受过多不必要的辐射剂量。本实验的对象为标准体模,其与人体腹部存在一定差异,且并未考虑到个体大小的差异;患者体型较大或过于肥胖时,有关 80 kV 低管电压所致噪声对图像质量的影响以及适宜的体质量指数等需临床研究加以验证。

综上,尽管 80 kV 低管电压腹部 CT 扫描增加了图像噪声,但是,当管电流增加至 550 mA 时,图像质量 CNR 及 LCD 均未受到显著影响,是一种值得推荐的腹部低剂量扫描方法,尤其对于儿童或体质量指数较低的成年患者具有更为重要的价值。

[参考文献]

- [1] 秦维昌,刘传亚,亓恒涛.重视医用 X 线检查低剂量成像方法学的

研究. 中华放射学杂志, 2008, 42(10):1013-1014.

[2] 周旭辉, 彭振鹏, 郑丽丽, 等. 64 层螺旋 CT 肺动脉成像低管电压设置结合个体化对比剂应用的对照研究. 中华放射学杂志, 2009, 43(7):704-707.

[3] Verdun FR, Denys A, Valley JF, et al. Detection of low-contrast objects: Experimental comparison of single- and multi-detector row CT with a phantom. Radiology, 2002, 223(2):426-431.

[4] Funama Y, Awai K, Nakayama Y, et al. Radiation dose reduction without degradation of low-contrast detectability at abdominal multisection CT with a low-tube voltage technique: Phantom study. Radiology, 2005, 237(2):905-910.

[5] Mettler FA, Jr, Bhargavan M, Faulkner K, et al. Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: Frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources—1950-2007. Radiology, 2009, 253(2):520-531.

[6] Tsapaki V, Rehani M, Saini S. Radiation safety in abdominal computed tomography. Semin Ultrasound CT MR, 2010, 31(1):29-38.

[7] 彭文献, 彭天舟, 叶小琴, 等. CT 扫描参数对人体组织 CT 值影响的研究. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(1):79-81.

[8] Huda W, Scalzetti EM, Levin G. Technique factors and image quality as functions of patient weight at abdominal CT. Radiology, 2000, 217(2):430-435.

[9] Waaijer A, Prokop M, Velthuis BK, et al. Circle of Willis at CT angiography: Dose reduction and image quality—reducing tube voltage and increasing tube current settings. Radiology, 2007, 242(3):832-839.

[10] Awai K, Takada K, Onishi H, et al. Aortic and hepatic enhancement and tumor-to-liver contrast: Analysis of the effect of different concentrations of contrast material at multi-detector row helical CT. Radiology, 2002, 224(3):757-763.

[11] Funama Y, Awai K, Miyazaki O, et al. Radiation dose reduction in hepatic multidetector computed tomography with a novel adaptive noise reduction filter. Radiat Med, 2008, 26(3):171-177.

[12] 秦维昌, 亓恒涛, 王巍. 接受适度噪声. 中华放射学杂志, 2009, 43(7):677-678.

《超声心动图诊断思维解析》已出版

刘延玲教授主编的《超声心动图诊断思维解析》已由科学出版社于 2010 年 11 月出版, 本书是作者在阜外心血管病医院多年工作中的经验体会的总结, 从临床实际出发, 将超声心动图学与心血管病基础、临床心脏病学紧密结合, 有助于年轻医师建立良好的思维方式, 掌握正确的诊断思路, 提高诊断准确率。本书按疾病分为 36 章, 共 3300 余幅图片, 其中包括彩色图片 1200 余幅, 通过对 250 余例少见或复杂病例的超声心动图诊断思维解析, 教给读者在检查过程中如何进行思维、如何进行鉴别诊断, 并对思维要点做了提示。适合从事临床超声、医学影像以及内、外、儿、妇等相关科室的医生、研究生阅读。

当当网、卓越网、新华书店及医学书店有销售。定价 398.00 元。

联系人 温晓萍

电话 010-64034601, 64015165

地址 北京市东黄城根北街 16 号 科学出版社医学中心

邮编 100717

(请在汇款附言注明您购书的书名、册数、联系电话、是否要发票)

