

• 实验研究 •

X 线管电压对生物组织 CT 值影响的实验研究

彭文献, 彭天舟, 夏顺仁, 王晓阳, 贾庆, 付益谋, 木国住

【摘要】 目的:探讨 X 线管电压对兔器官组织 CT 值的影响。**方法:**在同一台 CT 机上采用 4 组 X 线管电压 80、100、120 和 140kV(头部模式只有前 3 组管电压, 体部模式 4 组管电压)扫描 12 只实验兔, 在切换管电压时保持其它扫描参数不变。用头颅序列扫描实验兔的头部, 用体部序列扫描实验兔的胸部和腹部, 测量实验兔的皮质骨、脑组织、肌肉、肝脏、肾脏、脂肪、肺组织的 CT 值。**结果:**X 线管电压的改变对兔器官组织的 CT 值影响不一致。脂肪、肝脏、肾脏和皮质骨不同管电压下的 CT 值差异有统计学意义(P 值均 <0.05), 肺组织、脑组织和肌肉不同管电压下的 CT 值差异无统计学意义(P 值均 >0.05)。**结论:**兔部分器官组织的 CT 值与 X 线管电压有一定相关性。临床中可根据组织器官的扫描参数来设定参考 CT 值。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; CT 值; 组织

【中图分类号】 R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2013)11-1102-03

The effects of X-ray tube voltage on tissue CT value PENG Wen-xian, PENG Tian-zhou, XIA Shun-ren, et al. Department of Radiology, the People's Hospital of Ruian, Zhejiang 325200, P. R. China

【Abstract】 Objective: To explore the effects on CT values of rabbit organs and tissues caused by X-ray tube voltage variation. **Methods:** Four groups of X-ray tube voltage (80kV, 100kV, 120kV, 140kV) were used for scanning of 12 rabbits with the other parameters unchanged. The head was scanned with 80, 100 and 120kV, and the abdomen was scanned with 80, 100, 120 and 140kV. The CT values of different tissues were measured and analyzed including bone, brain, muscle, liver, kidney, fat and lung. **Results:** The fat, liver, kidney, bone were affected significantly by the X-ray tube voltage ($P < 0.05$). The CT numbers changed remarkably with tube voltage changing. The high density bone, liver and kidney had negative relativity to tube voltage, while the fat has positive relativity to tube voltage. The lung, brain and muscle, had no significant effect on X-ray tube voltage ($P > 0.05$). **Conclusions:** Some rabbit organs and tissues have different CT values with different X-ray tube voltage and have their own special relativities to the X-ray tube voltage. We can set up reference CT values according to the scan parameters of tissues.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; CT value; Tissues

人体组织的 CT 值是 CT 影像诊断的一个重要指标, 是影像科医生用来判断组织性质的重要依据之一, 也是放射治疗中影响治疗剂量的因素之一。根据 Schneider 等^[1]和翁学军等^[2]对 CT 值的理论研究结果, 骨组织的 CT 值一般为 100~1524 HU, 而软组织 CT 值一般为 -100~100 HU, 考察的是不同个体间同种组织的 CT 值分布特性, 认为某一个体特定组织的 CT 值是不变的, 忽略扫描参数对 CT 值的影响。在临床影像诊断工作中, 影像科医生如果缺乏考虑 X 线管电压对生物组织 CT 值的影响, 疏忽了 CT 值的变化可能会降低诊断结果的准确性。本研究通过改变 X 线管电压扫描实验兔, 测量兔体内 7 种组织的 CT 值, 来研究同一种组织的 CT 值与 X 线管电压的关系, 通过实验数据和统计学分析, 得出扫描参数的选择是否

影响 CT 值, 从而更好指导放射治疗和影像技术工作。

材料与方法

选取实验用新西兰大白兔 12 只, 体重 (4.2 ± 1.2) kg, 测试前禁食 2 d, 以减少食物对器官组织 CT 值的影响。经耳缘静脉缓慢推注硫喷妥钠约 3 毫升 (2.5%, 0.6 ml/kg) 进行麻醉, 待实验兔完全麻醉后俯卧于硬木板上 (每 10 min 加注硫喷妥钠 2 ml), 置于 CT 扫描野中心, 采用头先进姿势 (图 1a), 其头颅采用 CT 头部扫描模式, 其胸、腹部采用 CT 体部模式, 连续扫描实验兔的头部和胸、腹部, 头部测量脑组织和颅底骨的 CT 值 (图 1b), 体部测量肺组织、脂肪、肝脏、肾脏和肌肉的 CT 值, 部分软组织 CT 值测量见图 1c。

采用 Siemens Sensation 16 层螺旋 CT, 常规头部扫描采用非螺旋扫描方式, 参数: 管电流 350 mA, 层厚 6 mm, 探测器通道选择 12×1.5 mm, 旋转速度 0.75 r/s, 床位移 18 mm, 重建函数 H31f, 颅脑窗 (窗宽 80 HU, 窗位 40 HU), 分别采用 3 组 X 线管电压 80、100 和 120kV (依次为第 1、2、3 组)。胸、腹部扫描参数为:

作者单位: 325200 浙江, 瑞安市人民医院放射影像科 (彭文献、彭天舟、王晓阳、贾庆、付益谋、木国住); 310027 杭州, 浙江大学生物医学工程教育部重点实验室 (夏顺仁)

作者简介: 彭文献 (1977—), 男, 浙江瑞安人, 硕士, 高级工程师, 主要从事放射成像技术和影像图像处理研究。

通讯作者: 夏顺仁, E-mail: srxia@zju.edu.cn

基金项目: 温州科技局资助课题 (Y20100344)

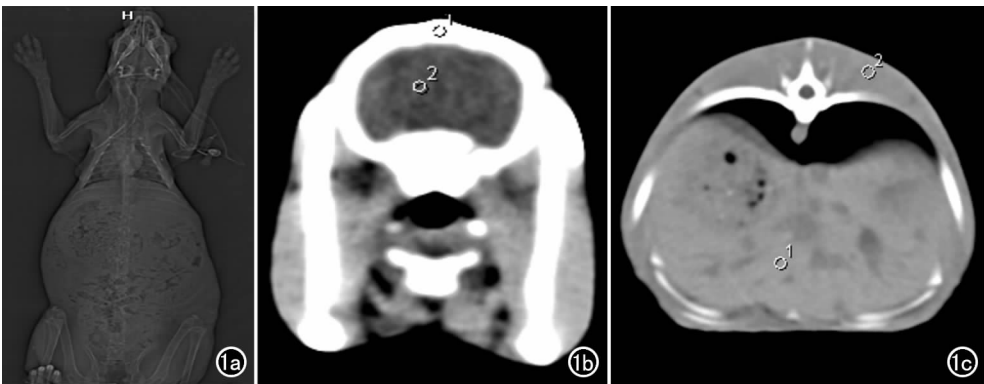


图 1 a) 麻醉后家兔定位片，采用俯卧，头先进模式；b) 家兔头部横轴面图像，测量脑组织和皮质骨的 CT 值；c) 家兔腹部横轴面图像，测量肝脏和肌肉的 CT 值。

管电流 200 mA，层厚 5 mm，螺距 1，重建函数 B30f medium smooth，软组织窗（窗宽 230 HU，窗位 40 HU），分别采用 4 组 X 线管电压 80、100、120 和 140 kV（依次为第 1、2、3、4 组）。在切换不同管电压时，其余参数保持不变，每只实验兔在同样层面重复扫描 3 次，取均值。采集数据前先对 CT 机进行空气、水模校准，扫描过程中机房保持恒温、恒湿，实验兔位置保持不变。

CT 值测量在 Siemens 后处理工作站 Sensation workstation, SYNGO VB15 上完成，由 1 名主管技师检查扫描所得图像，选取质量合格的图像测量数据。测量的面积大小约 30~50 个像素，测量结果以均值±方差表示。家兔选取颅底层面测量颅底骨和脑组织的 CT 值，颅底骨以测量枕骨 CT 值，测量面积根据枕骨的厚度而定，脑组织 CT 值测量面积约 40 个像素。胸、腹选取相应组织器官所在层面来测量相应的 CT 值，测量面积约 50 个像素。

采用 SPSS 16.0 统计学软件对数据进行单因素方差分析，不同各组间采用两两 t 检验，以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

脂肪、肝脏、肾脏、皮质骨、肺组织、脑组织和肌肉 7 种组织在 4 种管电压条件下的 CT 值见表 1，7 种器官组织在不同管电压下的 CT 值比较结果见表 2，脂肪、肝脏、肾脏和皮质骨不同管电压下的 CT 值差异有显著性(P 值 <0.05)，肺组织、脑组织和肌肉不同管电压下的 CT 值差异没有显著性(P 值 >0.05)。

表 1 家兔 7 种器官组织不同管电压下的 CT 值 (HU)

器官	80kV	100kV	120kV	140kV
肺组织	-814.1±21.1	-794.5±32.3	-791.2±20.9	-809.6±18.2
脂肪	-143.4±4.9	-133.2±7.0	-117.7±7.7	-118.9±6.2
脑组织	23.9±1.8	24.3±2.3	25.0±1.8	—
肌肉组织	59.5±3.3	58.4±2.8	57.6±3.4	59.3±3.6
肝脏	61.5±1.9	61.0±2.4	60.3±1.6	59.0±2.0
肾脏	52.9±3.2	48.5±3.5	44.9±3.4	42.9±3.3
皮质骨	1071.8±64.3	877.3±48.3	815.7±74.7	734.5±61.4

采用 t 检验两两比较各器官组织在不同组别管电压下 CT 值差异。脂肪的第 3 组与第 4 组间 P 值为

表 2 家兔 7 种器官组织 4 种管电压下 CT 值差异显著性分析

器官	F 值	P 值
肺组织	2.7	0.059
脂肪	42.2	0.000
脑组织	0.8	0.443
肌肉组织	0.8	0.488
肝脏	3.8	0.016
肾脏	20.5	0.000
皮质骨	62.6	0.000

0.673；肝脏组织的第 1 组与第 2 组、第 1 组与第 3 组、第 2 组与第 3 组间 P 值分别为 0.535、0.117 和 0.336；肾脏第 3 组与第 4 组间 P 值为 0.162；皮质骨各组间 P 值均 <0.05 ；其余各组间 P 值均 <0.05 。将各器官组织的 CT 值与其对应的管电压做曲线，发现脂肪 CT 值随管电压升高而升高，CT 值最大相差 25.6 HU(图 2a)；肝脏 CT 值随管电压升高而降低，CT 值最大相差 2.6 HU(图 2b)；肾脏 CT 值随管电压升高而降低，CT 值最大相差 10 HU(图 2b)；皮质骨 CT 值随管电压升高而降低，组间 CT 值最大相差 337.3.5 HU(图 2c)。肺组织的第 1 组与第 3 组间 P 值为 0.023，两组 CT 值相差 22.9 HU(图 2d)；脑组织的第 1 组与第 3 组间 P 值为 0.045，两组 CT 值相差 1.1 HU；肌肉各组间 P 值均 >0.05 (图 2b)。

讨 论

1. CT 值的意义

组织 CT 值是根据其衰减系数 μ 相对于水的衰减系数计算得到的，表示组织的密度，密度越大，CT 值越大。水和空气的 CT 值被人为的定义为 0 和 -1000 HU。在 CT 的质量控制中以这两个值作为设备 CT 值是否偏离的参考依据，水的 CT 值被校准在 ± 4 HU 范围内，常规认为水的 CT 值是不变的。而水在不同 X 射线能量下，其衰减系数也是发生变化的，如在 60、84 和 122 kV 时，衰减系数为 0.206、0.180 和 0.166，随着能量升高，衰减系数变小^[3]。笔者前期研究中证实：管电流和重建函数变化不会改变组织的 CT 值^[4]，容易使医生误认为各组织的 CT 值也是不变的，而在本研究中显示部分组织的 CT 值是随管电压

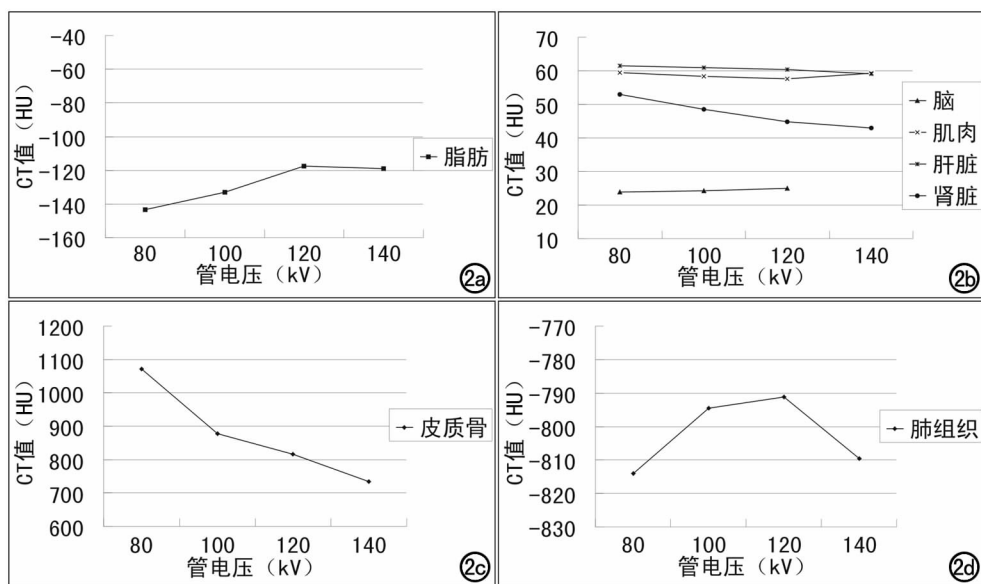


图 2 各组织器官在不同管电压下对应的 CT 值。a) X 线管电压对脂肪组织 CT 值的影响; b) X 线管电压对软组织的影响; c) X 线管电压对皮质骨 CT 值的影响; d) X 线管电压对肺组织 CT 值的影响。

变化而变化的。

2. 管电压对活体组织 CT 值的影响

在医用射线能量范围内,随着 X 线能量升高(140 keV 以下),光电效应减少,康普顿效应增加,组织的衰减系数下降,CT 值减小,与管电压成反比关系^[3]。本研究中管电压从 80 kV 提高到 140 kV,免肝脏、肾脏、皮质骨的 CT 值分别减少 2.6、10 和 337.3 HU,和管电压的关系与燕树林等^[3]研究一致。肺组织、脑组织和肌肉的 CT 值不随管电压改变(P 值都大于 0.05)。脂肪组织扫描管电压从 80 kV 提高到 120 kV,CT 值却增加 25.6 HU($P < 0.05$),与其他组织改变不同。造成这一现象的原因可能是 CT 机的 CT 值校正引起的,把空气的 CT 值校正为 -1000 HU,水的 CT 值为 0 HU(± 4 HU 范围内是正常),根据这两个点绘制 CT 值和衰减系数图,其他组织未进行逐一 CT 值校正,这可能会引起不同活体组织 CT 值与管电压的关系不一致(表 1),这一推测的需要进一步的研究来证实。

3. CT 值的变化对临床诊疗的意义

器官组织的 CT 值在临床诊疗中具有重要的应用。放射治疗剂量控制研究发现,CT 值-电子密度转换错误会造成计划系统剂量的很大偏差。如使用 6 MeV 光子线照射 100 cGy 的剂量,由于 CT 密度转换问题所计算出的剂量分布热点比正确值要高出 20.1%^[5-7],同一患者在不同扫描条件下得到的图像中组织 CT 值的变化将直接影响到该患者所受的剂量^[8]。因此,在制定患者放射治疗计划时,对治疗计划系统中的 CT 值-电子密度对应曲线进行校准是必不

可少的。同时,CT 扫描技术人员不能随意修改成像参数,特别是 X 线管电压的设置,以免影响放射治疗计划的剂量控制。

在影像诊断中,影像科医生根据 CT 值的大小、增强后组织 CT 值的变化来判断人体正常组织或病变组织的性质。向明等^[9]和张树敏等^[10]根据 CT 值判断肺内占位性病变和肝内病变的性质,其结论是基于一定的扫描条件。在不同的管电压条件下,组织的参考 CT 值会不一样。

综上所述,X 线管电压对器官组织 CT 值的影响因组织类型不同而不同,肺组

织、脑组织和肌肉的 CT 值与管电压无关,肝脏、肾脏、皮质骨随管电压增加而升高,脂肪组织 CT 值随管电压降低而降低。因此,在临床诊疗中应考虑扫描管电压的影响来设定参考 CT 值和制定放射治疗计划。

参考文献:

- [1] Schneider W, Bortfeld T, Schlegel W. Correlation between CT numbers and tissue parameters needed for Monte Carlo simulations of clinic dose distributions[J]. Phys Med. Biol, 2000, 45(2): 459-478.
- [2] 翁学军. 蒙特卡罗剂量计算方法的研究[D]. 南京: 东南大学, 2003: 60-67.
- [3] 燕树林. 全国医用设备(CT、MR、DSA)使用人员上岗考试指南[M]. 北京: 中国人口出版社, 2005: 5.
- [4] 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[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(1): 79-81.
- [5] Constantinou C, Harrington JC, Cadieux RA, et al. Dosimetry at lung-muscle and lung-bone interface using 6MV and 10MV X rays and 12~18 MeV electrons[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1988, 15(suppl 1): 244.
- [6] Constantinou C, Harrington JC, Dewerd LA. An electron density calibration phantom for CT-based treatment planning computers [J]. Med Phys, 1992, 19(2): 325-327.
- [7] Mackie TR, El-Khatib E, Battista J, et al. Lung dose corrections for 6 and 15MV X-rays[J]. Med Phys, 1985, 12(3): 327-332.
- [8] 祁振宇, 黄邵敏, 邓小武. 放疗计划 CT 值的校准检测及其影响因素分析[J]. 癌症, 2006, 25(1): 110-114.
- [9] 向明, 方佩君, 邓星奇, 等. CT 值在肺内占位性病灶鉴别诊断中的意义[J]. 浙江临床医学, 2000, 2(3): 161-164.
- [10] 张树敏, 张俊梅. CT 值与肝内血管诊断脂肪肝对比分析[J]. 包头医学, 2004, 28(1): 3-4.

(收稿日期: 2012-12-05 修回日期: 2013-06-20)