

## 低龄小儿体部 64 排 CT 低剂量扫描的探讨

范 淼<sup>1</sup>, 孟俊非<sup>1\*</sup>, 彭 谦<sup>1</sup>, 杨智云<sup>1</sup>, 初建平<sup>1</sup>, 张晋昕<sup>2</sup>, 陈 星<sup>1</sup>

(中山大学 1. 附属第一医院放射科, 广东 广州 510080; 2. 公共卫生学院医学统计与流行病学系, 广东 广州 510080)

**摘 要:**【目的】通过动物模拟相应体质量低龄小儿,初步摸索出 CT 扫描显示其正常解剖结构的最低管电流,再应用于临床,避免研究中对小儿造成过度辐射。【方法】用 10 ~ 12 kg 比格犬和 18 ~ 23 kg 幼猪模拟 < 16 kg 和 16 ~ 25 kg 两组低龄小儿。先行预扫描,初步确定最低管电流值后进行实验。双盲法评价图像质量。以常规剂量扫描所获图像为基础片,从①图像伪影;②质地(噪声);③组织结构的显示;④扫描脏器与周围组织的对比四个方面评价。评价结果进行多次配对设计两样本的卡方检验。得到的数据经临床随机抽取的患儿各组 30 例行 CT 扫描以验证。【结果】最终获得低龄小儿 64 排 CT 低剂量扫描的最低管电流值:< 16 kg 者胸部为 10 mA、上腹部 40 mA、中下腹部 30 mA; 16 ~ 25 kg 胸部为 20 mA、上腹部 50 mA、中下腹部 40 mA。【结论】64 排 CT 低剂量扫描可获得符合临床诊断需求的图像信息,因而能应用于临床。

**关键词:** 断层摄影术, X 线计算机; 低剂量; 辐射; 儿童

中图分类号: R814.2 文献标识码: A 文章编号: 1672-3554(2009)03-0284-06

### Low dose Scan of 64-detector Row CT on Pediatric Body

FAN Miao<sup>1</sup>, MENG Quan-fei<sup>1\*</sup>, PENG Qian<sup>1</sup>, YANG Zhi-yun<sup>1</sup>, CHU Jian-ping<sup>1</sup>, ZHANG Jin-xin<sup>2</sup>, CHEN Xing<sup>1</sup>

(1. Department of Radiology, The First Affiliated Hospital; 2. Department of Medical Statistics, SUN Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** 【Objective】 To avoid the super-radiation to children caused by duplicated scanning in our research, we figured out the lowest current that could manifest the normal structure by decreasing the current step by step in animal model and could be applied in clinic. 【Methods】 There were two groups of animals in this study, one group was dogs (10 ~ 12 kg) who modeled children weighted < 16 kg, the other group was pigs (18 ~ 23 kg) who modeled children weighted 16 ~ 25 kg. Preliminary tests were done at first. Current was decreased 10 mA from routine 100 mA step by step until the lowest dose was found, and at the same time the image quality was evaluated by two radiologists. The dogs and pigs were scanned respectively by the routine dose, the lowest dose, the dose above and below 10 mA to the lowest dose. The dogs were totally scanned 20 times in every dose, and the pigs were totally scanned 18 times in every dose. All the dogs were performed contrast scan after the abdomen plain scan. The reconstruct image quality was evaluated by two radiologists randomly with double-blind method. The image quality of plain film which was scanned by routine dose was used as the standard. The image qualities of all the films were evaluated respectively from ①artifact; ②noise; ③display of structure; ④contrast of scanning organ and adjacent structure. All the results were analyzed by Chi-square test. All these data was tested randomly by CT low dose scanning in pediatric body(30 cases in each group). 【Results】 10 mA for chest MDCT, 20 mA for mediastina MDCT, 40 mA for upper abdomen MDCT, 30 mA for middle and lower abdomen MDCT were the lowest dose for the children MDCT examination who weighed < 15 kg; 20 mA for chest MDCT, 30 mA for mediastina MDCT, 50 mA for upper abdomen MDCT, 40 mA for middle and lower abdomen MDCT were the lowest dose for the children MDCT examination who weighed 16 ~ 25 kg. 【Conclusion】 Low dose scan of 64-detector row CT can be used in the examination of the pediatric body in the clinic.

**Key words:** tomography, X-ray computed; low dose; radiation; pediatric

[J SUN Yat-sen Univ(Med Sci), 2009, 30(3):284-289]

收稿日期: 2008-12-26

基金项目: 广东省科技计划项目(2007B060401012); 广东省自然科学基金博士科研启动项目(8451008901000786); 教育部博士点基金新教师项目(200805581135)

作者简介: 范淼, 博士生, 副主任医师, 专业方向儿科影像诊断及腹部影像诊断; \* 通讯作者, 孟俊非, 教授, E-mail: cir.mengquanfei@vip.163.com

CT仅占放射学检查的3%~7%,然而却贡献了医疗照射41%的辐射剂量<sup>[1-2]</sup>。儿童尤其是低龄小儿(包括新生儿、婴幼儿、学龄前儿童)对射线的敏感性远高于成人。随着64排螺旋CT(64-detector row computed tomography)在全国逐渐推广应用,如何避免儿童在CT检查时接受过多的辐射成为国内外放射学界的研究热点<sup>[2-4]</sup>。根据该发育特点<sup>[5]</sup>低龄小儿可按体质量大致分为两组,<16 kg组和16~25 kg组,分别相当于<3岁和3~7岁儿童。年龄与体质量不一致者,以体质量为分组依据。为了避免因研究过程中重复CT扫描而造成患儿接受不必要的辐射,本研究首先构建动物模型,通过逐步降低管电流(mA),来初步摸索出相对应体质量组低龄小儿腹部多层CT扫描的最低合理管电流,以便应用于临床。

## 1 材料与方 法

### 1.1 动物实验

1.1.1 动物模型的构建及扫描前后处理 模拟动物分别选取中山大学北校区动物实验中心购买的10~12 kg比格犬4只和中山大学附属第一医院实验中心的18~23 kg幼猪9只,分别模拟儿童的<16 kg组和16~25 kg组。实验动物体型匀称,符合中山大学关于动物实验的相关规定。比格犬先行笑气气雾麻醉镇静后给予戊巴比妥钠腹腔麻醉,剂量1.4~1.7 mL/kg,药品浓度3%。在前肢头静脉或后肢隐静脉留置套管针。幼猪采用竹笼固定,穿刺耳静脉,注射2%的硫喷妥钠,1.3~2.5 mL/kg,留置套管针。套管针内注入少量肝素,防止血液凝固阻塞静脉通道。套管针连接高压注射器。在检查过程中观测动物情况,有苏醒征象时通过套管针静脉补充1~2 mL麻醉药品。动物检查完苏醒后送回饲养室,注射抗生素并当天应禁食,但保证足够的饮水量,促进造影剂排泄。

1.1.2 扫描设备及方法 扫描设备为东芝Aquilion 64排螺旋CT机。扫描参数管电压选用120 kV、螺距0.828、FOV-M(350 mm)、0.5 mm层重建、球管旋转速度0.5秒/圈(s/rot)。实验动物仰卧于检查床上(少数动物由于体位限制,采取俯卧位),四肢拉伸固定于木板,尽量避开与扫描野重叠,头先进或尾先进。实验动物未采取措施抑制呼吸,类似儿童均匀呼吸。扫描范围胸部为胸廓入口至膈顶、

肝脏为膈顶至肝脏下缘,肾脏为肝脏中部至盆腔入口。先选取体形适中的动物2只预扫描,64排CT管电流由常规剂量的 $\geq 100$  mA(100~250 mA)逐渐减低,每次减低10 mA。图像质量明显变差、不能满足诊断要求(不合格)时即不再进行更低剂量组扫描。初步确定最低剂量值后进行实验。每只动物均进行常规剂量(100 mA以上)、最低剂量值、其上位10 mA值、下位10 mA值进行平扫。平扫后比格犬组腹部扫描全部病例均采用高压注射器经套管针团注式静脉推注先灵公司生产的碘普罗胺(碘含量300 mg/mL),流率为1~1.5 mL/s,剂量1.5 mL/kg,行CT增强扫描。肝脏采用双期增强扫描,扫描起始时间,动脉期23 s,门脉期50~55 s;肾脏采用三期增强扫描,扫描起始时间,皮质时间为开始注射后23 s,实质期为50~55 s,分泌期为5 min。扫描完成后行横断、冠状位、矢状位重建,重建层厚5 mm。在比格犬组扫描获取数据的基础上安排幼猪组平扫,方法同前。64排CT连续容积扫描时,模体被扫描层面内的平均吸收剂量沿Z轴的平均值称为容积CT剂量指数( $CTDI_{vol}$ ),反映了扫描长度内的平均吸收剂量。该值可以通过CT扫描窗获得。每次制定扫描计划时记录相应的 $CTDI_{vol}$ 数值。

1.1.3 图像评价 将扫描后重建图像随机交由两位有经验的高年资放射学医师采用双盲法进行阅片、评价影像学征象,以取得一致意见为准。以常规剂量扫描所获图像作为基础片,分别选取胸部、上腹部、中下腹部扫描所得图像中的肺、肝脏、肾脏图像来对比分析。从4个方面评价:①图像伪影;②质地(噪声);③组织结构的显示(空间分辨率);④肺部、肝脏、肾脏等感兴趣器官与周围组织的对比(密度分辨率)。其中图像无伪影,质地细腻、噪声低,组织结构显示清楚,器官边界清楚的图像可各评4分;图像伪影较少,噪声较低,组织结构显示尚可,器官边界尚清晰,图像质量不影响诊断的图像可各评2分;图像质量介于两者之间的各评3分;伪影严重,噪声较大,或者组织结构显示不良,与周边组织界限不清而影响诊断的图像各评1分。总分共16分。8分以上为符合临床要求的照片。

1.1.4 扫描图像的统计学分析 4只比格犬每次间隔5 d重复扫描共5次,每组获得20个样本;9只幼猪每次间隔5 d重复扫描共2次,每组获得

18个样本。组内评分汇总的例数间进行多次配对设计两样本的检验,  $P < 0.05$  有统计学意义。由于未控制呼吸, 所以呼吸运动伪影的因素要排除。

## 1.2 临床实验

1.2.1 病例选择 搜集我院 2005 年 11 月 ~ 2008 年 06 月施行了胸腹部 64 排 CT 检查的低龄小儿患者, 按体质量、不同部位分组扫描, 分别收集 30 例。全部患儿有 CT 检查指征, 体质量  $< 25$  kg。告知患儿家属实验意义及风险, 签订实验知情同意书。正常对照组和低剂量组随机分配。

1.2.2 扫描设备及方法 扫描设备同动物实验。多数小儿根据临床需要行增强扫描。随机选取扫描期相中的任意一期降低 mA 为低剂量扫描期相, 其它为 100 mA 以上的常规剂量扫描期相。低剂量期相管电流参考动物实验得出的相对应的最低 mA 数值选定。从扫描操作界面记录每组检查相应的  $CTDI_{vol}$ 。

1.2.3 图像评价与统计分析 扫描后图像由本院高年资影像诊断医师出具检查结果。2 周 ~ 3 月后重新分别挑选出低剂量期相和其它常规剂量期相扫描图像, 在事先不告知前次诊断结果的情况下

随机交由一位高年资影像诊断医师进行诊断。将本次低剂量扫描期相组诊断结果、常规剂量组扫描期相组诊断结果分别与前次相同患儿的诊断结果进行比较其符合情况。两组结论间进行检验,  $P \geq 0.05$  无统计学意义, 则该剂量可满足临床诊断的需要。

## 2 结 果

### 2.1 预实验的管电流

由于扫描时间 (0.5 s/rot) 固定, 剂量 (mAs) 的大小取决于管电流。预扫描获得的最低管电流: 比格犬肺部 10 mA、肝脏 40 mA、肾脏 30 mA; 幼猪肺部 20 mA、肝脏 50 mA、肾脏 40 mA。由于技术员操作不同, 胸腹部曝光管电流常规选取值不同, 但均  $\geq 100$  mA (100 ~ 250 mA), 所以下面将  $\geq 100$  mA 者均归在常规剂量扫描组内。

### 2.2 预实验所得结果的进一步试验及统计学分析

比格犬 64 排 CT 低剂量扫描所获图像分析及统计学分析见表 1, CT 表现见图 1-3。幼猪

表 1 64 排 CT 低剂量扫描后图像分析结果

Table 1 The image evaluation examined by low dose scanning with CT (Qualification cases/ Disqualification cases)

	Routine	60 mA	50 mA	40 mA	30 mA	20 mA	10 mA
Dog's lung	20/0				19/1	18/2	16/4
Dog's liver	20/0		19/1	17/3	6/14 <sup>1)</sup>		
Dog's kidney	20/0			19/1	18/2	5/15 <sup>1)</sup>	
Pig's lung	18/0				17/1	15/3	6/12 <sup>1)</sup>
Pig's liver	18/0	16/2	15/3	5/13 <sup>1)</sup>			
Pig's kidney	18/0		16/2	15/3	4/14 <sup>1)</sup>		

1) Compared with routine group,  $\chi^2$  test,  $P < 0.05$

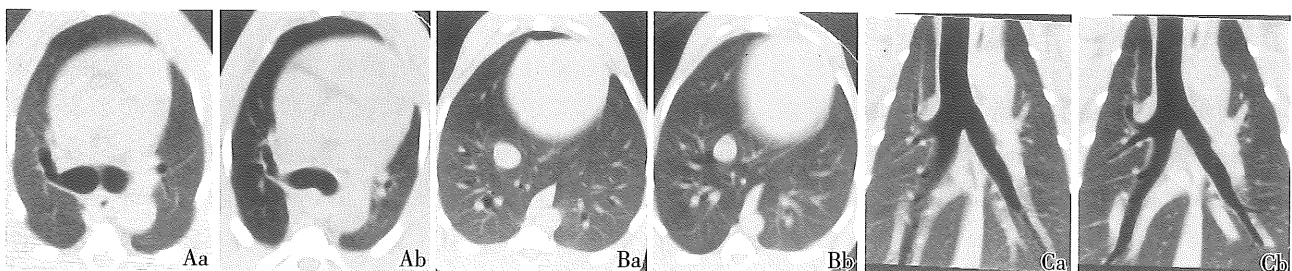


图 1 比格犬肺部 64 排 CT 平扫图像

Fig.1 The images of dog's lung scanned by 64-detector row CT

A: upper lung transaction; B: bottom lung transaction; C: MPR images of coronary Tracheobronchial; a: 10 mA; b: 160 mA; The noises of soft tissue in the mediastinum, heart shadow and chest wall is Fig.a > Fig.b, but from the view of two lung fields the images of figure a and figure b have no difference.

64排 CT 低剂量扫描后所获图像分析结果及统计学分析见表 1,CT 表现见图 4。将低剂量组与常规剂量组所获得的图像进行评分后的所得例数的结果进行  $\chi^2$  检验,  $P \geq 0.05$  说明组间没有统计学差别,即该剂量 CT 扫描可以得到满足临床需求的图像;  $P < 0.05$  认为组间有统计学差别,即该剂量 CT

扫描不能得到满足临床需求的图像。本组研究初步得出动物模拟低龄小儿 64 排 CT 低剂量扫描的最低值:比格犬胸部为 10 mA、上腹部 40 mA、中下腹部 30 mA; 幼猪胸部为 20 mA、上腹部 50 mA、中下腹部 40 mA。该两组数值与预扫描所获得的数值相同。

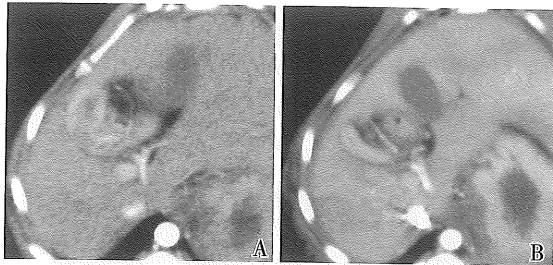


图 2 比格犬肝脏 64 排 CT 增强图像

Fig.2 The enhanced images of dog's liver scanned by 64-detector row CT

A: 40 mA; B: 200 mA; The image of figure A are a little more clearer than that of figure B, but it didn't affect the diagnose.

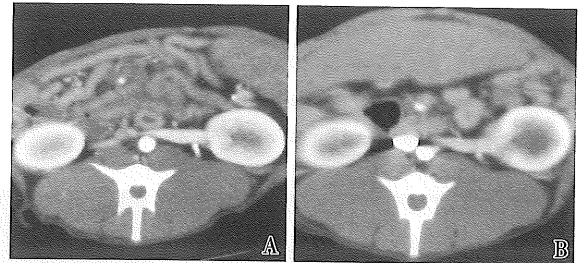


图 3 比格犬双肾 64 排 CT 增强图像

Fig.3 The enhanced images of dog's two kidneys scanned by 64-detector row CT

A: 30 mA; b:200 mA; The pictures scanned with 30 mA and 200 mA have almost the same effects.

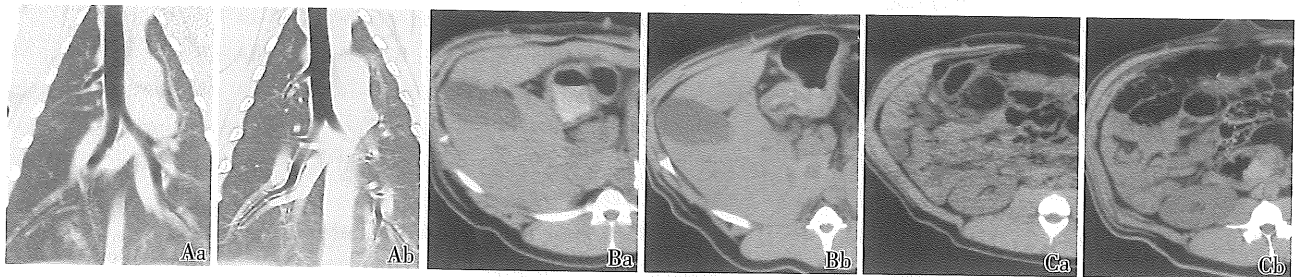


图 4 幼猪体部 64 排 CT 平扫图像

Fig.4 The plain scan images of young pig's caudomedial part scanned by 64-detector row CT

A: MPR images of coronary tracheobronchia (a:20 mA; b:300 mA); B: The transaction images of liver in the gallbladder level (a: 50 mA; b:300 mA); C: The transaction images of kidney in porta renis level (a: 40 mA; b: 230 mA). The noises of figure a is a little more larger than that of figure b, and the picture qualities of figure a are not the same good as figure b, but it doesn't affect the observaion of every tissue or organ scanned by CT with different current.

### 2.3 临床试验的结果

低龄小儿 MDCT 低剂量扫描 < 16 kg 者最低管电流肺部为 10 mA、上腹部为 40 mA、中下腹部为 30 mA,CT 表现见图 5;16 ~ 25 kg 者最低管电流肺部为 20 mA、上腹部为 50 mA、中下腹部为 40 mA,CT 表现见图 6。该结果与动物实验模型一致。低剂量扫描期相与常规剂量期相之间扫描图像无统计学差别。

### 2.4 CTDI<sub>vol</sub> 与管电流之间的关系

CT 扫描窗显示的 CTDI<sub>vol</sub> 与不同管电流扫描之间呈线性正相关的关系(表 2)。

## 3 讨论

### 3.1 CT 扫描参数控制与选择

CT 机本身的结构特点、CT 扫描临床开单要求、患儿自身因素、扫描参数的设定等因素可以影响 CT 扫描时患儿所接受的辐射剂量。其中前三者分别是厂家、临床医生和患儿本身的疾病所决定的,放射医师和技术员主要需在扫描参数的设定上尽量减少患儿所接受的辐射剂量<sup>[6]</sup>。

CT 扫描参数包括管电压、管电流、扫描时间、



图 5 体质量 < 16 kg 者体部 64 排 CT 低剂量图像

Fig.5 The CT low dose scanning images of pediatric caudomedial part who weighed < 15 kg

A: upper lung transaxial (10 mA, 14Kg). There is normal in both lung fields; B: MPR images of coronary bile common duct (40 mA, 6Kg). Choledochal cyst can be demonstrated very clearly; C: The enhanced images of kidney (30 mA, 4Kg). Adrenal hematoma can be made a correct diagnose in the right adrenal gland.

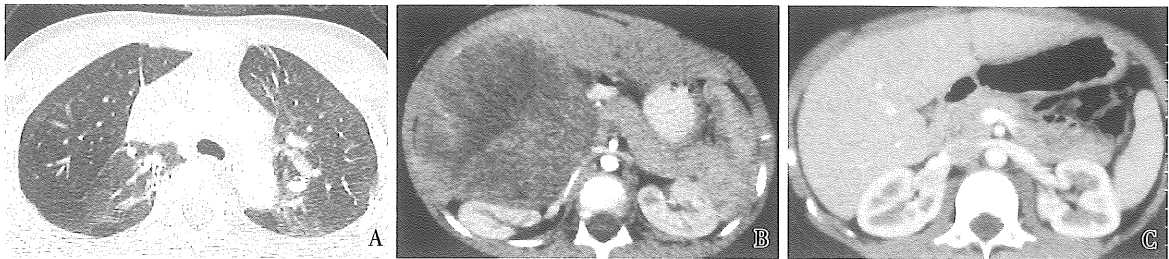


图 6 体质量 16 ~ 25 kg 者体部 64 排 CT 低剂量图像

Fig.6 The CT low dose scanning images of pediatric caudomedial part who weighed 16 ~ 25 kg

A: upper lung transaxial (20 mA, 22 kg). Inflammation can be showed in the right lung lobe; B: The enhanced images of liver (50 mA, 18 kg). Hepatoblastoma in the right lobe of liver can be demonstrated very clearly; C: The enhanced images of kidney (40 mA, 23 kg). Left renal venous pressed by arteria mesentericã superior in renal venous pressure syndrome can be made a correct diagnose in CT low dose scanning images.

表 2 降低管电流与  $CTDI_{vol}$  值改变关系表

Table 2 The relationship between cutting down tube current and the value of  $CTDI_{vol}$

	100 ~ 250 mA	50 mA	40 mA	30 mA	20 mA	10 mA
$CTDI_{vol}$ (mGy)	7.3 ~ 18.3	11.0	2.9	2.2	1.5	0.7
The percentage to routine dose (%)	100	20 ~ 50	16 ~ 40	12 ~ 30	8 ~ 20	4 ~ 10

FOV、扫描层厚、螺距、扫描范围等。为了保证空间分辨率一般儿童检查时 FOV 体部常选用中场,头部选用小场;为了保证 Z 轴的分辨率,实现各项同性,常规选取 0.5 mm 层厚进行扫描;至于时间分辨率,由于小儿易动的因素,我们一般选取 0.5 s/rot 的曝光时间;而扫描范围,我们尽可能缩减到满足临床诊断的要求,并不能忽视病变的存在而无限制地缩减。所以可见改变管电压、管电流、螺距才是日常工作中降低辐射剂量的关键性因素。本研究旨在固定其它参数,重点通过降低管电流来讨论患儿所接受辐射剂量的变化。

另外,值得一提的是,多层 CT 重建参数、滤过函数对于成像质量也有重要的影响,但为了在同样条件下评价管电流的变化对辐射剂量的影

响,本组研究均采用 5 mm 层厚重建,选用常规滤过函数。

### 3.2 降低管电流对 64 排 CT 扫描图像的影响

在传统 X 射线摄影中由于辐射剂量增加,超出常规剂量时常发生过度曝光,所获取患者的图像质量明显下降。然而 CT 并无此现象。由于数字技术的应用,CT 所发出的 X 线辐射剂量与获得的图像质量直接有关。随着辐射剂量增加,较多的光子到达探测器,因而使 CT 图像更加清晰<sup>[7]</sup>。但超过一定数值辐射剂量后 CT 图像并无进一步改善。如果设置过高的剂量参数,其后果是患者在检查中接受了过多不必要的辐射。

保持 120 kV 管电压不变,64 排 CT 检查时 X 线的穿透力不变。因为噪声与成像光子数的平方

根成反比,成像的“X线光子数量”即毫安秒(mAs)直接影响CT图像的噪声。在儿童患者中,由于不制动,一般扫描选用0.5 s/rot,因而“X线光子数量”只与管电流有关。有文献<sup>[8]</sup>报道球管X线输出量mAs增加100%,图像噪声降低41.4%。因而我们认为,当管电压固定后,低龄小儿由于体型小,在选取成人扫描的条件下会有较多的射线透过患儿到达探测器。这时如果降低合适的管电流,应该可以取得与成人扫描一致的噪声水平,然而患儿所接受辐射剂量将大幅度的降低。Dianna报道<sup>[9]</sup>在相同的噪声水平,小儿胸腹盆腔扫描可以较成人降低60%~90%的辐射剂量。从本组实验结果来看,比格犬、幼猪及低龄小儿胸腹部64排CT低剂量扫描管电流均较常规扫描能降低50%以上,而且采用最低剂量值以上的管电流进行扫描所获取的图像与常规剂量组图像之间比较无明显统计学差别。本组实验证明,64排CT低剂量扫描可获得符合临床诊断需求的图像信息。

### 3.3 低剂量扫描管电流的控制及最低标准

在不影响临床影像质量的前提下,64排CT操作时改变曝光剂量对减低患者辐射剂量具有重要意义。本组实验发现在腹部检查时,管电流值不能降得过低,这是因为影像噪声会降低低对比度分辨率,使肝脏等软组织间的对比显示不清,这时就需要通过增加曝光来改善;但在肺部等高对比区,由于原有结构之间的对比明显,噪声增加不会使组织间对比度明显下降,所以可用尽可能低的曝光条件,在比格犬组,管电流甚至降到最低值10 mA(东芝Aquilion 64排螺旋CT机的保护管电流为10 mA,不能再进一步降低)。尽管低剂量扫描图像质量略有下降,但基本可以满足临床诊断的需要。做为低剂量扫描给患者带来辐射减少的益处时,放射学家需要学会忍受噪声增加所带来的对诊断的不便。

总之,在临床工作中我们应该遵循“合理使用低剂量(as low as reasonably achievable, ALARA)”原则<sup>[10]</sup>。尽管我们研究使用的是东芝Aquilion 64排螺旋CT机,但研究的原理和方法可用于其它机型。本研究初步得到了东芝64排CT小儿体部低

剂量扫描时的最低管电流值,这为临床上低龄小儿多排CT低剂量检查的广泛开展提供了必要的准备和借鉴。各医疗单位可根据自己单位CT机的特点在本最低标准的基础上适度增加管电流,以便在满足临床需求与患儿接受较小辐射剂量之间取得平衡。

### 参考文献:

- [1] Mettler FA Jr, Thomadsen BR, Bhargavan M, et al. Medical radiation exposure in the U.S. in 2006: preliminary results [J]. *Health Phys*, 2008,95(5):502-507.
- [2] Lee CH, Goo JM, Ye HJ, et al. Radiation dose modulation techniques in the multidetector CT era: from basics to practice [J]. *Radiographics*, 2008,28(5):1451-1459.
- [3] Verdun FR, Gutierrez D, Vader JP, et al. CT radiation dose in children: a survey to establish age-based diagnostic reference levels in Switzerland [J]. *Eur Radiol*, 2008,18(9):1980-1986.
- [4] 陈华,刘志钦. 通过调整婴幼儿CT头颅扫描参数改善辐射剂量的尝试 [J]. *医疗卫生装备*, 2008,29(10):281-282.
- [5] 涂明华. 儿科学 [M]. 北京:北京医科大学出版社, 2001:2-7.
- [6] 彭谦,范森,严超贵,等. 模拟青少年脊柱多层CT低剂量扫描的动物实验 [J]. *中山大学学报:医学科学版*, 2008,29(7):431-434.
- [7] Huda W, Atherton JV, Ware DE, et al. An approach for the estimation of effective radiation dose at CT in pediatric patients [J]. *Radiology*, 1997,203(2):417-422.
- [8] Suess C, Chen X. Dose optimization in pediatric CT: current technology and future innovations [J]. *Pediatr Radiol*, 2002,32(10):729-734.
- [9] Cody DD, Moxley DM, Krugh KT, et al. Strategies for Formulating Appropriate MDCT Techniques When Imaging the Chest, Abdomen, and Pelvis in Pediatric Patients [J]. *AJR*, 2004,182(4):849-859.
- [10] Stovis TL. The ALARA Concept in Pediatric CT: Myth or Reality? [J]. *Radiology*, 2002,223(1):5-6.

(编辑 王晓鹰)