基础研究 文章编号:0253-3626(2009)11-1517-04

# 数字 X 线摄影辐射剂量与图像质量相关性的实验研究

曾勇明[1],吴富荣[2],张志伟[1],罗天友[1],欧阳羽[1]

(1.重庆医科大学附属第一医院放射科,重庆 400016;2.重庆市疾病预防与控制中心,重庆 400015)

【摘 要】目的:前瞻性研究不同 X 线辐射剂量与图像质量的相关性,以探索数字 X 线摄影(Digital radiography,DR)最适宜曝光量。方法:在仿真胸部体模中放置模拟网状、线状和结节病变结构。用 125 kVp 不同 mAs,对体模及分辨率测试卡进行 DR 成像。4 位放射医师分别对所有图像进行阅片评分,同时测量入射体表剂量(Entrance surface dose,ESD)、均方根(Root mean squar,RMS)和空间分辨率。结果:ESD 随着 mAs 的增加会增加,而 RMS 随着 mAs 的增加会降低;ESD 增加至一定量时,空间分辨率达到极限值。曝光指数(Exposure index,EI)值 1 800 以下的图像模拟微小结节显示不清,EI 值 2000 以上的图像对模拟病变的检出高。结论:在保证 DR 图像质量的前提下,最优化的曝光剂量可以有效地减少辐射损伤。

【关键词】数字 X 线摄影;仿真体模;模拟病变;辐射剂量

【中国图书分类法分类号】R814.42 【文献标识码】A 【收稿日期】2008-11-21

# The experimental study of correlation between the radiation dose and image quality in digital radiography

*ZENG Yong-ming, et al*

(*Department of Radiology, the First Affiliated Hospital, Chongqing Medical University*)

【Abstract】*Objective*: To prospectively research the correlation between the radiation dose and image quality in order to explore the optimization of exposure dose for digital radiography (DR). *Methods*: Simulated reticular, linear, and nodular structures were located in an anthropomorphic chest phantom. The phantom and resolution wedge were exposed by DR system with the same kilovoltage values (125 kVp) and different mAs sets. Four radiologists assessed all of the images. In addition, the entrance surface dose (ESD), root mean squar (RMS) and resolution were measured. *Results*: ESD was increasing along with mAs's enhancement, but RMS was decreasing when mAs was increasing. As long as the ESD increased to a certain degree, spatial resolution would go up to the limit. Images obtained with lower dose (EI<1 800) were obscure at the tiny nodular structure. Images of 2 000 EI value could show clearly the Simulated lesion. *Conclusion*: The optimization of exposure dose for DR imaging may effectively decrease radiation injuries under the precondition of DR image quality to be guaranteed.

作者介绍:曾勇明(1963- ),男,教授,

研究方向:图像处理技术及辐射剂量优化。

基金项目:重庆市卫生局科研基金项目(编号:05-2-198)。

【Key words】Digital radiography; Anthropomorphic phantom; Simulated lesion; Radiation dose

## 参 考 文 献

[1] Chen S, Evans T, Deng D, et al. Hyperhexosemia induced function and structural changes in the kidneys: role of endothelins[J]. Nephron, 2002, 90(1): 86-94.

[2] Douthwaite J A, Johnson T S, Haylor J L, et al. Effects of transforming growth factor-beta on renal extracellular matrix components and their regulating proteins[J]. Am Sol Nephrol, 1999, 10(23): 2109-2119.

[3] 刘建红,于深暖,田 华,等.疏血通治疗早期糖尿病肾病 62 例临床观察[J].中国老年学杂志,2004,24(2):182-183.

[4] 张 焘,黄颂敏,冯 梅,等.糖尿病肾病早期白蛋白尿与 Megalin 的表达变化[J].中国中西医结合肾病杂志,2006,7(4):197-200.

[5] 张均田.药理实验方法(上)[M].北京:北京医科大学中国协和医科大学联合出版社,2000.986-988.

[6] Yamamoto T, Nancy A, Arthur H, et al. Expression of transforming growth factor-β isoforms in human glomerular disease[J]. Kidney International, 1996, 49(2): 461-469.

[7] 高国利,车光升,董 瑶,等.糖尿病肾病发病机制的研究进展[J].中国老年学杂志,2007,11(27):2254-2255.

[8] 王克林.证明重组水蛭素优于肝素的再研究[J].药学进展,1999,23(2):128.

[9] Border W A, Noble N A. Evidence that TGF-beta should be a therapeutic target in diabetic nephropathy[J]. KidneyInt, 1998, 54(4): 1390-1391.

[10] Lwano M, Kubo A, Nishino T, et al. Quantification of glomerular TGF β1-mRNA in patients with diabetes mellitus[J]. Kidney Int, 1996, 49(5): 1120-1126.

[11] AuMCilley M. Structure and supramolecular organization of basement membranes[J]. Kidney Int, 1995, 47(49): s4-s7.

[12] 鲁 盈,李惊子,郑 欣,等.黄芪当归合剂对肾病综合征血清脂谱和肾小球硬化的影响[J].中国中西医结合杂志,1997,17(8):478-480.

[13] Gilbert R E, Cox A, Wu LL, et al. Expression of transforming growth factor-beta1 and type Ⅳ collagen in the renal bubulointerstitium in experimental diabetes: effects of ACE inhibition[J]. Diabetes, 1998, 47(3): 414-436.

(责任编辑:关蕴良)

数字 X 线摄影(Digital radiography,DR)是利用探测器直接获取图像的数字 X 线成像技术,其较高的检测量子效率(Detective quantum efficiency,DQE)使图像质量稳定,提高了疾病诊断的准确性。但 DR 系统曝光剂量的优化,仍然是值得关注的问题。本研究采用模型实验,通过物理量检测和模拟病变检出分析,明确辐射剂量与图像质量的相关性,探索降低 DR 成像辐射剂量的可能性。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验模型设计

使用成都方拓仿真技术有限责任公司的 CDP-1C 中国成人男性胸部体模(见图 1)。胸廓前后径中心线处无损切割为前、后两个冠状面。按上、中、下肺野,内、中、外带,将一侧胸部分为 9 个区域。模拟 3 种类型肺内病变结构的材料及在胸部体模内的放置方法:(1) 网状结构用浸泡优维显 370 的 2 cm × 2 cm 大小的纱布模拟;3 个网状结构分别布于右肺的上野、下野和左肺的中野。(2)线状结构用 4 cm 长的 1 号丝线浸泡优维显 370 模拟;8 条分两组的线状结构分别布于右肺中野和下野。(3)结节性病变用直径 4~14 mm 的半球形蜂蜡模拟, 一组计有直径 4、5、6、7、8、10、11、12 mm 和 14 mm 共 9 个结节,即小结节(直径 < 10 mm)5 个,大结节(直径 ≥ 10 mm)4 个。按已知顺序分别布于双肺上野、右肺中野和左肺下野,共 3 组 27 个结节,其中大结节 12 个、小结节 15 个。

### 1.2 成像方法

使用 Kodak Directview DR7100 系统,非晶硒平板探测器尺寸为 35 cm × 43 cm,矩阵 2 560 × 3 072 × 14 bit,像素尺寸为 0.139 mm;配套 500 mA 50 kW 高频 X 线机。采用胸部后前位曝光,硬拷贝图像联机 Kodak 8900 干式激光相机打印。成像技术参数为:管电压 125 kVp、滤线栅栅比 12:1、焦点到探测器距离 180 cm,DR 的半值层为 5.538 mmAl。用 0.5 ~ 6.3 mAs 共计 6 档,每 mAs 曝光 3 次,记录平均 EI(Exposure index)值,获得实验模型图像(见图 2)。整个实验采用同一组诊断医师认可的图像处理参数予以处理后打印图片。

### 1.3 图像评价

由我科 4 位副教授以上医师分别对体模图像评价。阅片前,让医师熟悉评分方法、试验模式,以随机顺序排列评价。

模拟网状病变和线状病变采用国际通用的 5 级记分法,见表 1。阅片者观察模拟结构的显示后评价打分。

模拟结节结构评价方法:给阅片者一张概要的肺部图纸,要求他们在 DR 胸片影像中发现显示清楚的结节,在肺部图纸上标注确切的位置。将阅片者在肺部图上的记录与真实体模中位置对照,即计算出每位阅片者对模拟结节影像显示的评价结果。

### 1.4 入射体表剂量(Entrance surface dose,ESD)测试

剂量检测仪器用瑞典 RTI Electronics 公司生产的 PMX-Ⅲ型 X 线质量控制检测仪,125 kV 的 X 线校准因子 NX=1.044。PMX-Ⅲ型固体探测器放置于体模的后背中心表面, 相同摄影条件曝光 3 次,测量 3 次,取其平均值作为 X 线 ESD。

### 1.5 噪声计算

采用均方根(Root mean squar,RMS)测试量化噪声颗粒度水平,对不同 mAs 获取的 DR 胶片,用 RTI Electronics 公司生产的 PDS-1010 显微密度计(定位精度为 ± 1 μm)测试,在数字影像照片(单面透光激光照片影像)上选取密度均匀分布,密度值为 1.0~1.2 的影像区为测试区域.测试胶片上多点密度值,利用以下公式计算出 RMS 值。

$$RMS=1\,000\sqrt{\frac{d^1{}_2+d^2{}_2+d^2{}_3+\cdots\cdots+d^2{}_n}{n}}$$

式中:n 为测量次数,d 为各次测量值与平均密度值之偏差。

### 1.6 空间分辨率测试

将 RTI Electronics 公司生产的分辨率测试卡(2~8 lp/mm)放置 35 cm × 43 cm 平板探测器正中,使用与胸部体模实验相同的曝光剂量采集图像, 测试不同曝光剂量时 DR 的空间分辨率。

### 1.7 统计学方法

记录阅片评价后的分值和剂量检测数据。采用 SPSS12.0 软件包处理数据。

模拟结构显示评价结果用秩和(Wilcoxon)检验进行统计学分析, $P \leq 0.05$ 为差异具有统计学意义。



图 1 仿真胸部体模



图 2 置入模拟结构后体模 DR 图像

表 1 模拟线状和网状结构图像质量评价方法

| 分值 | 术语 | 影像表现 |
|---|---|---|
| 5 | 肯定有 | 模拟病变结构细节清晰可见 |
| 4 | 可能有 | 模拟病变结构可见但细节不够清晰 |
| 3 | 不清楚 | 模拟病变结构特征可见,无法判断影像细节的存在 |
| 2 | 可能没有 | 未见模拟病变结构影像特征 |
| 1 | 肯定没有 | 明显不存在模拟病变结构 |

表 2 不同 mAs 成像时实验数据比较

| mAs | 平均 EI 值 | ESD(mGy,$\bar{x}\pm s$) | 噪声(RMS) | 空间分辨率(lp/mm) |
|---|---|---|---|---|
| 0.50 | 1080 | 0.03 ± 0.01 | 4.80 | 2.50 |
| 1.00 | 1400 | 0.06 ± 0.01 | 4.60 | 2.80 |
| 2.00 | 1640 | 0.12 ± 0.03 | 4.30 | 3.10 |
| 3.20 | 1810 | 0.23 ± 0.03 | 4.20 | 3.40 |
| 5.00 | 2030 | 0.36 ± 0.04 | 3.80 | 3.40 |
| 6.30 | 2240 | 0.54 ± 0.08 | 3.00 | 3.40 |

表 3 不同 mAs 成像时 3 种模拟病变结构显示评分比较($\bar{x}\pm s$)

| 模拟结构 | mAs | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2.0 | 3.2 | 5.0 | 6.3 |
| 网状 | 4.33 ± 0.89 | 4.67 ± 0.49 | 4.75 ± 0.45 | 4.83 ± 0.39 |
| 线状 | 4.00 ± 0.00 | 3.75 ± 0.45 | 4.75 ± 0.46 | 5.00 ± 0.00 |
| 小结节 | 3.75 ± 0.96 | 6.00 ± 1.41 | 10.50 ± 2.52 | 11.75 ± 2.22 |

注: 3.2 mAs 与 5.0 mAs 两组: 网状结构显示分值比较,$P>0.05$; 线状结构显示分值比较,$P<0.05$; 小结节显示分值比较,$P<0.05$。5.0 mAs 与 6.3 mAs 两组:3 种结构显示分值比较,$P>0.05$

## 2 结 果

### 2.1 不同曝光量时各项物理指标比较

使用同一实验模型,DR 固定 125 kVp,设置 0.5~6.3 mAs 共计 6 档曝光量成像,通过测试和计算获得相应的物理指标数据见表 2。这 6 档 mAs 中的后 4 档对应的平均 EI 值分别是 1 640、1 810、2 030 和 2 240,在厂家推荐使用的 EI 值 2 000 上下,作为研究重点进行比较。平均 EI 值从 1 640~2 240,ESD 逐渐升高;图像噪声颗粒度 RMS 逐渐下降;空间分辨率提高,在平均 EI 值 1 810(mAs 值为 3.20)时达到极限空间分辨率 3.40 lp/mm。

### 2.2 不同曝光量时体模中模拟病变结构显示评分比较

2.0~6.3 mAs 4 组实验模型图像评价后,模拟病变结构显示评分见表 3。平均 EI 值 2 000 以上的 2 组 mAs(5.0 mAs 和 6.3 mAs),3 种结构显示分值比较,差别无统计学意义($P>0.05$);平均 EI 值 1800 左右与 2 000 左右的 2 组 mAs(3.2 mAs 和 5.0 mAs)比较,网状结构显示分值差别无统计学意义($P>0.05$),线状结构和小结节结构显示分值差别有统计学意义($P<0.05$)。

## 3 讨 论

随着平板探测器技术的日趋成熟,DR 临床应用日益广泛。DR 具有较高的空间分辨率、DQE 和动态范围,为 X 线图像质量的稳定及影像诊断的准确提供了技术保证[1]。DR 作为数字 X 线成像技术之一,影响图像质量的一个重要因素是噪声[2,3]。过量的噪声会妨碍人的视觉对所要接收信息的理解,淹没病灶信息,干扰影像诊断。鉴于此,影像科人员普遍存在着主观上追求过量曝光剂量的潜意识。所以,在保证影像诊断的前提下,尽可能使用最低的放射线剂量,进行数字 X 线摄影最适宜曝光量的研究,具有十分重要的意义。

### 3.1 实验模型 DR 成像的研究基础

仿真体模是按人体参数、用人体组织对射线散射和吸收相似的可谓“组织等效材料”(Tissue e-

quvalent materials)制成的具有骨骼、肌肉、脏器的人体模型。目前它已成为国内外放射防护、诊断、治疗、教学和辐射标准研究中作为“人体替身”,还可作为物质能量、信息传递的“稳定受体”,进行剂量可视化、定量化“模拟的工具”而广为应用。本研究采用的 CDP-1C 中国成人男性胸部体模具有“形态相近性,组织等效性,结构非均匀性,腔隙模拟性”,是开展放射医学研究的理想工具。

本实验采用一定形状的网状结构和线状结构,模拟肺内密度较高的纤维化病变;采用不同直径的半球形蜂蜡结构,模拟肺部小结节(直径 < 10 mm),它属于低对比结构。各种形状和大小的模拟结构置入 CDP-1C 体模中,构成一个模拟的患病机体模型。这样可以对该实验模型进行任意剂量的照射、任意采用各种图像处理技术,更准确地获得研究所需的数据。实验模型胸部组织的 CT 值与真人等效,但其密度特征与实际的胸部有所不同,对于数字 X 线摄影系统,用它来进行病变数量、图像质量及曝光剂量测量和评价,具有较高的客观性和科学性,最符合放射线剂量研究的伦理道德。

### 3.2 DR 成像主要物理指标的分析

DR 厂商提供了 EI 作为使用剂量高低的指示,它间接代表了噪声水平。Kodak DR 体系推荐的胸部后前位优质影像的最佳 EI 值为 2000~2200,目前的文献资料不足以肯定厂商推荐 EI 的理由[4]。本研究主要对体表入射剂量、影像噪声和空间分辨率等物理指标检测数据比较,分析不同 mAs(EI)时各个物理量的变化。实验结果表明:随着 mAs(EI)的增高,ESD 逐渐升高,RMS 逐渐下降,追求低噪声甚至无噪声的图像,必然的后果是增加放射线剂量,带来对病人过量辐射的危害。实验证明:随着 mAs(EI)的增高,空间分辨率升高,但到一定 mAs(EI)后,空间分辨率达极限值。本实验在 3.20 mAs( EI 值1 810)时,DR 的极限空间分辨率为 3.4 lp/mm,比理论值 3.6 lp/mm 小。由于非晶体硅探测器闪烁体的光散射[5]或非晶体硒探测器硒层电荷的径向扩散[6],均可导致分辨率下降,所以,DR 的有效空间分辨率通常会小一点。空间分辨率达到极限值后,再增加曝光量,空间分辨率不会增加。不同曝光剂量时各物理量的检测结果,说明过量噪声会使数字成像技术的空间分辨率降低,适度的噪声水平对空间分辨率影响不明显。本研究的结果,从空间分辨率角度,为数字 X 线成像技术推行接受适度噪声这一理念,提供了理论依据。

### 3.3 DR 成像模拟病变检出的评价

本实验结果表明,平均 EI 值 2 000 以上的摄影条件对模拟网状、线状和小结节结构显示评分较高,除微小结节(直径 5 mm 以下)显示不清楚外,其他模拟病变都可显示,且病变检出没有显著性差异($P>0.05$)。平均 EI 值降至 1 800 左右,模拟网状、线状和小结节结构显示明显下降,与 EI 值 2 000 左右的图像比较,线状结构和小结节结构显示分值差异有统计学意义($P<0.05$)。因此,结合物理指标检测结果,可以将 EI 值 2 000 作为满足临床诊断影像的曝光剂量指示点,即 EI 值 2 000 左右曝光条件的 DR 图像可以用于诊断,如本实验的摄影条件:125 kVp、5.0 mAs。虽然各个厂家 DR 的性能有差别,不可能统一制定曝光条件表,但本研究提出的确定最适宜曝光量的思路仍然具有参考价值。

总之,接受有适度的噪声、不影响临床诊断的图像,确定 DR 成像的最适宜曝光量。无论从医学伦理还是放射防护角度,都是值得推崇的理念。

(致谢:四川大学制造科学与工程学院林大全教授和锐柯医疗影像系统胡卫先生对本课题的无私帮助。)

## 参 考 文 献

[1] Launders J H,Cowen A R,Bury R F,et al.Towords image quality, beam energy and effective dose optimisation in digital thoracic radiography [J].Eur.Radiol,2001,11(2):870-875.

[2] 安 静,雷成斌,栗志亮.影响 X 线数字图像质量的几种因素[J].实用医学影像杂志,2002,3(3):232-233.

[3] 曾勇明,罗天友,张志伟,等.数字 X 线成像系统图像质量影响因素的实验研究[J].实用医学影像杂志,2008,9(2):69-71.

[4] Sinead E P,Patrick C B.Digital radiography:are the manufacturers' settings too high? Optimisation of the Kodak digital radiography system with aid of the computed radiography dose index[J]. Eur Radiol,2002,12 (12):2381-2387.

[5] Samei E,Flynn M J.An experimental comparision of detector performance for direct and indirect digital radiography systems[J].Med Phys, 2003,30(3):608-622.

[6] Neitzel U,Maack I,Gunther-Kohfahl S.Image quality of a digital chest radiography system based on a selenium detector[J].Med Phys,1994, 21(2):509-516.

(责任编辑:关蕴良)