

床旁 DR 摄影平板探测器斜射效应的相关分析

李成荣

【摘要】 目的:探讨床旁 DR 摄影平板探测器在倾斜 X 线管进行摄影时,斜射效应与 X 线管角度的关系。**方法:**使用 Shimadzu Mobile DR (MUX-100) 系统, X 线管分别倾斜 0° 、 15° 、 20° 、 30° 、 40° 对 R-1 型矩形波测试卡进行摄影, 计算 X 线管不同倾斜角度的调制传递函数(MTF)。使用 SPSS 10.0 统计学软件, 采用配对资料的 Wilcoxon 符号秩和检验比较 X 线管不同倾斜角度的 MTF 系数值, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。**结果:**X 线管倾斜角度越大, 预采样 MTF 曲线的位置越低, X 线管倾斜 40° 的 MTF 曲线处于最低位置。斜射效应对低频组织结构影响小, 对中高端组织结构影响较大。与 X 线管倾斜 0° 的 MTF 参数比较, 倾斜 15° 的 MTF 参数差异无统计学意义($Z = -1.895, P = 0.059$), 倾斜角为 20° 、 30° 、 40° 时的 MTF 参数差异均有统计学意义(Z 为 -2.558 、 -2.688 、 $-2.688, P$ 值均 < 0.05)。**结论:**对于床旁 DR 平板探测器, X 线管倾斜角度越大, 斜射效应越严重。X 线管倾斜角度不宜超过 15° 。

【关键词】 放射摄影术; 斜射效应; 相关分析

【中图分类号】 R814.44 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2012)02-0209-03

The relevance analysis of parallaxic unsharpness caused by flat panel detector in bedside digital radiography LI Cheng-rong,
Department of Radiology, Sichuan General Hospital, Chengdu 610072, P. R. China

【Abstract】 Objective: The aim is to analyze the parallaxic unsharpness caused by flat panel detector in bedside digital radiography using different incident angles of central ray. **Methods:** R-1 square-wave phantom was exposed by Shimadzu Mobile DR (MUX-100) system with X-ray tube angled 0° , 15° , 20° , 30° and 40° respectively. Then, presampled modulation transfer function (MTF) was calculated for each case above. Subsequently, experimental data were processed and Wilcoxon signed rank tests were performed by statistic software SPSS 10.0, in which $P < 0.05$ was considered as statistically significant difference. **Results:** The presampled MTF curves of incident angle of $0^\circ \sim 40^\circ$ degrees were presented in order from top to bottom, especially the incident angle of 40° was obviously the lowest. In addition, these effects were less on structures of low spatial frequency than those of high spatial frequency. The incident angle of 0° was considered as a control group while other groups were compared with it. There was no statistical significance on MTF of incident angle of 15° ($Z = -1.895, P = 0.059$), while MTF of incident angle of 20° , 30° and 40° ($Z = -2.558, -2.688, -2.688, P < 0.05$) was considered statistically significant. **Conclusion:** For flat panel detector in bedside digital radiography, the bigger the incident angle of central ray, the greater of the parallaxic unsharpness. Thus, the incident angle of X-ray tube central ray should not overstep 15° .

【Key words】 Radiography; Parallaxic unsharpness; The relevance analysis

床旁 X 线摄影常用于临床协助诊断, 当摄影环境受限或患者不能配合时, 经常会通过倾斜 X 线管中心线进行检查, 从而产生斜射效应。不管是传统的屏-胶系统还是现在的 CR、DR 摄影系统, 斜射效应都会使影像质量下降。岳文军等^[1]曾提出 DR 摄影在进行体位设计时应考虑斜射效应, 但没有对斜射效应的具体情况进行分析。宋玉全等^[2]通过测试钢质球体激光照片的总模糊值, 对 DR 系统的斜射效应进行了定性分析, 但其测试结果包括几何模糊, 因此不能确切反映 DR 系统斜射效应的特性。为了更进一步认识 DR 系统的斜射效应, 笔者采用客观评价法-调制传递函数(modulation transfer function, MTF), 利用岛津 DR 床旁机, 将 X 线管倾斜不同角度进行 DR 摄影, 对平板

探测器的预采样 MTF 进行测试和评价, 探讨斜射效应与 X 线管倾斜角度的关系。

材料与方法

1. 设备

使用 Shimadzu Mobile DR (MUX-100) 床旁 DR 摄影系统, 其配有间接转换型平板探测器(flat panel detector, FPD)-Canon CXDI-50G, 像素 $150 \mu\text{m}$; 日本 R-1 型矩形波测试卡, 矩形波线对数(空间频率, 用 ω 表示)分别为 0.50、0.63、0.80、1.00、1.25、1.60、2.00、2.50、3.20、4.00、5.00 LP/mm 11 组, 呈等比数列, 公比 1.25; 使用 Efilm 1.5.3 医学图像处理工作站。

2. 预采样 MTF 的测试

将 FPD 平放在摄影床上, 把 R-1 型矩形波测试卡平放在 FPD 中心处, 测试卡的长轴与 X 线管长轴平

作者单位: 610072 成都, 四川省人民医院放射科

作者简介: 李成荣(1971-), 男, 四川渠县人, 主管技师, 主要从事放射技术研究工作。

行,中心线对准测试卡中心。摄影条件:60 kVp,200 mA,50 ms,摄影距离 100 cm。调节照射野使各边缘均超出测试卡边缘约 3 cm。X 线管分别倾斜 0°、15°、20°、30°、40°进行摄影,每次摄影前均重新校对,使中心线对准测试卡中心。在图像处理工作站,打开矩形波测试卡图像,利用该软件像素值测量功能测量每一组线对中间部位的像素值。每一线对的图像有 2 个波峰和 3 个波谷,选择其中振幅最大的波峰和波谷测量其像素值,校正后分别记作 Pmax(ω)和 Pmin(ω)。每一个值均为同一行相邻 10 个像素值的平均值,以减少噪音的影响。空间频率为 0 时,通过测试卡图像边缘的内、外部分可获得像素值 Pmax(0)和波谷像素值 Pmin(0)。各个空间频率的矩形波对应函数值 R(ω)采用公式(1)计算。

$$R(\omega)=\frac{P_{\max}(\omega)-P_{\min}(\omega)}{P_{\max}(0)-P_{\min}(0)}\tag{1}$$

再用 Collman 修正公式(2)计算出各个空间频率的 MTF 值 M(ω)。一般计算到第 3 或第 5 高频即可达到测试精度要求(笔者计算到第 5 高频)。

$$M(\omega)=\frac{\Pi}{4[R(\omega)+\frac{R(3\omega)}{3}-\frac{R(5\omega)}{5}]}\tag{2}$$

其中 R(ω)为矩形波对应函数值,R(3ω)和 R(5ω)分别为第 3、第 5 高频 R(ω)。由于矩形波测试卡中的线对数(空间频率)不是连续的,某一基波(基本频率)的第 3 或第 5 高次谐波不一定包括在测试卡中,在这种情况下应用 Collman 公式时,高次谐波的 R(ω)需要利用相邻两个线对数的 R(ω)进行线性内插值获得。例如,基波 0.50 LP/mm 的 3 次谐波 1.50 LP/mm 就不包括在测试卡中,所以需要利用测试卡中相邻的两个线对数 1.25 LP/mm 和 1.60 LP/mm 的 R(ω)值进行插值计算。最后用横坐标表示空间频率 ω (LP/mm),纵坐标表示 MTF,并绘出 MTF 曲线。因所用机器只能测试到 ω 为 3.20 LP/mm 的 R(ω)和 M(ω),所以未统计 ω 为 4.00 和 5.00 LP/mm 的 R(ω)和 M(ω)。

3. 统计学分析

采用 SPSS 10.0 统计学处理软件,对实验数据 MTF 值进行配对资料的 Wilcoxon 符号秩和检验,P<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

利用矩形波测试卡测量并计算出 X 线管中心线倾斜不同角度的 R(ω)和 M(ω)结果(表 1)。

根据表 1 数据绘制 MTF 曲线,X 线管倾斜 0°和 15°的 MTF 曲线位置最高且基本重合,倾斜 20°、30°、40°的 MTF 曲线位置依次降低,倾斜 40°的 MTF 曲线降低程度较明显,分辨率测试卡图像上的 3.20 LP/mm 已经很难辨认。另外,X 线管中心线不同倾斜角度对应的 MTF 曲线在高频部分差异较大,在低频部分差异较小(图 1)。

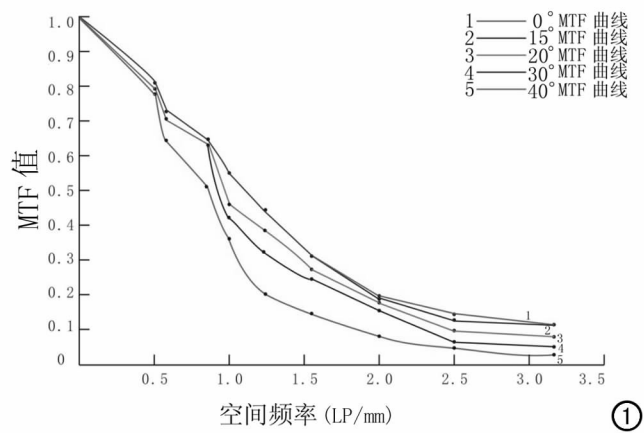


图 1 X 线管倾斜不同角度的预采样 MTF 曲线。

讨 论

1. 预采样 MTF

由图 1 的预采样 MTF 曲线得知越靠近低频区域,MTF 曲线越趋于分散。这表明斜射效应对不同空间频率的组织结构影响是不一样的,对低频的组织结构影响较小,对中、高频的组织结构影响较大。

MTF 广泛应用于成像系统空间细节传输特性的描述,其结果准确,数据客观。DR 系统的成像链比传

表 1 X 线管倾斜不同角度的 R(ω)和 M(ω)

空间频率 (LP/mm)	0°		15°		20°		30°		40°	
	R(ω)	M(ω)	R(ω)	M(ω)	R(ω)	M(ω)	R(ω)	M(ω)	R(ω)	M(ω)
0.50	0.918	0.806	0.921	0.811	0.947	0.824	0.927	0.805	0.934	0.787
0.63	0.866	0.736	0.866	0.719	0.854	0.713	0.854	0.711	0.784	0.638
0.80	0.760	0.637	0.742	0.618	0.735	0.616	0.736	0.606	0.628	0.510
1.00	0.649	0.550	0.646	0.546	0.607	0.506	0.562	0.461	0.462	0.375
1.25	0.546	0.453	0.541	0.448	0.480	0.377	0.458	0.360	0.329	0.258
1.60	0.388	0.305	0.392	0.308	0.347	0.273	0.305	0.240	0.181	0.142
2.00	0.260	0.199	0.235	0.185	0.222	0.174	0.195	0.153	0.111	0.087
2.50	0.178	0.139	0.162	0.127	0.129	0.101	0.086	0.068	0.055	0.043
3.20	0.144	0.113	0.144	0.113	0.107	0.084	0.074	0.058	0.046	0.036

统 X 线摄影复杂,其各个环节都对 DR 系统的总 MTF 有影响。DR 系统的总 MTF 包括预采样、滤过、图像处理、显示或打印 MTF 等。其中最重要的是预采样 MTF,因为它位于 DR 系统成像链最前端,其值反映 DR 系统固有的空间分辨率特性,决定采集信息量的大小。预采样 MTF 由 DR 系统 FPD 的模拟输入部分和像素尺寸决定,其评价可从采集的像素值数据中计算获得。

测量 DR 系统预采样 MTF 的方法有 3 种:矩形波测试卡法^[3]、狭缝法、刃边法。后两种方法均不适用于本文研究,主要因为:①狭缝法要求设备的狭缝宽度大约 0.01 mm,厚度超过 1.5 mm,对准直要求非常严格,所以它不能用于倾斜 X 线管摄影;②刃边法使用的刃边装置的钨板厚度较大(国际电工委员会标准为 1 mm)^[4],倾斜 X 线管摄影时会产生较宽投影,所以也不适用于倾斜摄影。而矩形波测试卡,钨板厚度仅有 0.1 mm, X 线管倾斜 40°摄影时其投影也不足 80 μm ,不影响低、中频部分的矩形波响应,只对高频部分矩形波的波谷振幅略有影响。所以综合分析,矩形波测试卡法是最适合于本研究的方法。

2. X 线斜射效应

床旁传统 X 线摄影的屏-胶系统,在倾斜 X 线管摄影时,因前、后屏荧光对胶片曝光位置不重合而形成 FPD 影像模糊,降低照片清晰度,不利于细微结构的显示。而床旁 DR 摄影系统的 FPD 构造及成像原理不同于传统 X 线摄影的屏-胶系统,斜射效应的形成机制也有别于后者。笔者采用的 FPD 属于间接转换型,其基本成像原理是当 X 线照射到 FPD 时,激发闪烁体层发出可见光子,转换为电子,通过 A/D 转换,产生图像^[5]。因间接转换型 FPD 具有较大的闪烁体层厚度及像素尺寸,这种构造决定了当 X 线入射角度大于由像素尺寸和闪烁体层厚度决定的角度时,入射 X 线光子穿过闪烁体层激发的荧光将被 2 个及以上的像素接收,从而增加影像模糊(图 2)。

笔者所用的岛津 DR 床旁机,FPD 的像素尺寸约 150 μm ,闪烁体层厚度约 560 μm ,由二者决定的角度为 15°。如果 X 线入射角度大于此角度,即可增加影像的模糊度。本研究结果显示 X 线管倾斜 15°的 MTF 曲线和垂直入射的 MTF 曲线基本重合,可以认为无斜射效应产生。当倾斜角度分别增加到 20°、30°、

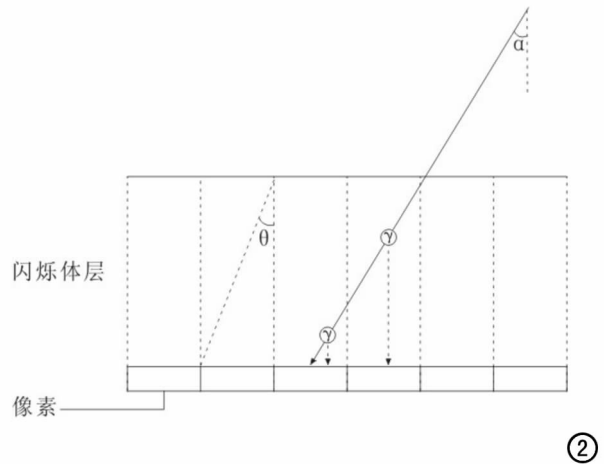


图 2 间接转换型 FPD 的斜射效应示意图。 α 为 X 线入射角, θ 为由像素尺寸和闪烁体层厚度决定的角度, γ 为 X 线穿过闪烁体层时激发的光子。

40°时,MTF 曲线与 X 线管垂直入射时曲线相比差异有统计学意义,说明存在斜射效应,且倾斜角度越大,MTF 曲线降低的程度越明显,表明斜射效应越严重。

总之,临床工作中应用 DR 床旁机开展 X 线检查,体位设计时应考虑 FPD 的斜射效应及其特性。因摄影环境受限或者患者本身原因必须倾斜 X 线管进行摄影时,倾斜角度不宜超过 15°,如果超过 15°时,应尽可能通过其它方式使被照部位进行角度补偿,以减小斜射效应的影响,有效改善影像质量。

参考文献:

- [1] 岳文军,李琼,栗中伟.利用数字摄影装置行头颅特殊体位摄影[J].放射学实践,2004,19(5):367-368.
- [2] 宋玉全,何志诚,伍筱梅,等.斜射线摄影对直接数字化 X 线摄影系统影像质量的影响评价[J].中华放射学杂志,2005,39(10):1084-1087.
- [3] 余建明,牛延涛.CR、DR 成像技术学[M].北京:中国医药科技出版社,2009:306-311.
- [4] International Electrotechnical Commission. International standard IEC 62220-1: medical electrical equipment-characteristics of digital X-ray imaging devices-part 1: determination of the detective quantum efficiency[S]. Geneva, 2003.
- [5] Bacher K, Smeets P, Vereecken L, et al. Image quality and radiation dose on digital chest imaging: comparison of amorphous silicon and amorphous selenium flat-panel systems[J]. AJR, 2006, 187(3):630-637.

(收稿日期:2011-07-25 修回日期:2011-09-06)