

# 计算机 X 线摄影适宜照射线量的探讨

张梦龙 于凤珍 谢晋东 王昌元 宋少娟 王鹏程 袁聿德

**【摘要】 目的** 以噪声的频率特性评价计算机 X 线摄影系统 (computed radiography, CR) 的适宜曝光量。**方法** 在相同摄影条件下获得中速  $\text{CaWO}_4$  屏-Fuji 片组合照片和 CR 照片,以此为基础,改变 mAs, 获得不同照射剂量下的 CR 影像,经相同的后处理条件输出它们的 CR 照片。用显微密度计依次对这些照片进行扫描,每张获得 10 万个密度值,作为离散随机信号来处理,用快速傅立叶变换计算威纳频谱 (Wiener spectrum, WS),测试 CR 照片噪声的 WS 与中速  $\text{CaWO}_4$  屏-Fuji 片组合的照片噪声 WS 值相等的曝光量值。**结果** (1) 在照射剂量均为  $5.61\mu\text{Gy}$ 、照片密度均为 1.0 的情况下,在空间频率 ( $\omega$ ) = 0.1 LP/mm 处,CR 系统的 WS 值为  $23.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ ,屏-片系统的为  $20.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ ;在  $\omega = 0.5 \text{ LP/mm}$  处,CR 系统的 WS 值为  $9.73 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ ,屏-片系统的为  $8.41 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ 。(2) 当  $\omega = 0.1 \text{ LP/mm}$  时,照射剂量为  $5.61\mu\text{Gy}$  的 CR 照片的 WS 值分别是照射剂量为 1.40、2.80、8.76、13.67、21.11  $\mu\text{Gy}$  CR 片的 0.53、0.75、1.14、1.44、1.80 倍;当空间频率为 0.5 LP/mm 时,照射剂量为  $5.61\mu\text{Gy}$  的 CR 片的 WS 值分别是照射剂量为 1.40、2.80、8.76、13.67、21.11  $\mu\text{Gy}$  CR 片的 0.40、0.58、1.26、1.47、2.16 倍。(3) 在  $\omega = 0.5 \text{ LP/mm}$  时,与照射剂量为  $5.61\mu\text{Gy}$  的屏-片组合有相当的噪声水平的 CR 照片照射剂量大致为 7.70  $\mu\text{Gy}$  左右。**结论** 相同摄影条件下 CR 照片的噪声要比中速  $\text{CaWO}_4$  屏-Fuji 片组合的大;随着照射量的增加 CR 系统总 WS 将减小,噪声下降;如想获得和屏-片相同噪声的影像,应适当增大 CR 系统的照射量。

**【关键词】** 统计学; 图像处理,计算机辅助; 质量控制

**Investigation of appropriate X-ray exposure on a computed radiography system** ZHANG Meng-long\*, YU Feng-zhen, XIE Jin-dong, WANG Chang-yuan, SONG Shao-juan, WANG Peng-cheng, YUAN Yu-de. \* Shandong Province Medical Imaging Research Institute, Ji'nan 250021, China

**【Abstract】 Objective** To evaluate the appropriate patient X-ray exposure when comparing computed radiography (CR) system with film-screen combination. **Methods** On the basis of the same radiographic parameters and image density, an image plate was exposed compared with a kind of screen-film system. Overall Wiener spectrum (WS) sampling films were acquired by changing mAs. WS values were calculated by scanning on micro-densitometer for every film processed as discrete signal by using fast Fourier transform (FFT). The X-ray exposure of CR image, which had the same WS values with film-screen combination image, was obtained. **Results** (1) With the same exposure dose, the WS value of CR film was  $23.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$  when the spatial frequency was 0.1 LP/mm, while the WS of  $\text{CaWO}_4$  screen-Fuji film was  $20.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ ; When the spatial frequency was 0.5 LP/mm, CR film was  $9.73 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ , and screen-Fuji film was  $8.41 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ . (2) When the spatial frequency was 0.1 LP/mm, the WS value of CR film exposed at  $5.61\mu\text{Gy}$  was 0.53 times of that at  $1.40\mu\text{Gy}$ 's, 0.75 times of  $2.80\mu\text{Gy}$ 's, 1.14 times of  $8.76\mu\text{Gy}$ 's, 1.44 times of  $13.67\mu\text{Gy}$ 's, and 1.80 times of  $21.11\mu\text{Gy}$ 's; when the spatial frequency was 0.5 LP/mm, the WS value of CR film exposed at  $5.61\mu\text{Gy}$  was 0.40 times of that at  $1.40\mu\text{Gy}$ 's, 0.58 times of  $2.80\mu\text{Gy}$ 's, 1.26 times of  $8.76\mu\text{Gy}$ 's, 1.47 times of  $13.67\mu\text{Gy}$ 's, and 2.16 times of  $21.11\mu\text{Gy}$ 's. (3) When they had the same WS value, exposure of CR system should be around 7.70  $\mu\text{Gy}$  while screen-film combination was 5.61  $\mu\text{Gy}$  when the special frequency was 0.5 LP/mm. **Conclusion** For identical exposures, the overall Wiener spectrum of the CR was richer than that of the film-screen combination. With the exposure increased the WS values of CR decreased. The exposure of CR must be higher than that of film-screen combination when they had the same WS values.

**【Key words】** Statistics; Image processing, computer assisted; Quality control

屏-片系统影像光学密度值(D),决定于曝光条

件的组合,一组曝光条件获得一定的光学密度值。然而,对计算机 X 线摄影 (computed radiology, CR) 而言,却是一组曝光条件的摄影,通过影像的后处理可以获得多个光学密度值的照片,即 CR 系统输出

影像的密度值不决定于曝光量的大小。也就是说 CR 系统的后处理总可以得到适合人眼观察的照片密度值。再加上 CR 的成像板(imaging plate, IP)特性曲线的线性很好,故认为曝光量大小对 CR 系统的重要性不如屏-片成像系统。但通过临床实践发现:对 IP 曝光量若不恰当,仅通过后处理来达到满足人眼观察照片所要求的密度值,就会带来照片影像噪声增加,而淹没了影像上小的病灶,产生了使影像质量下降的后果。这一问题引起了国际放射界的关注,日本放射线技术学会于 1999 年召开的“21 世纪数字成像”座谈会上,列题《曝光量能减少吗!》进行讨论<sup>[1]</sup>。在 2001 年小川宪一等<sup>[2]</sup>发表了对平板探测器(flat panel detector, FPD)直接数字摄影(direct radiography, DR)的适宜曝光量的论文。国内放射界非常关注这一问题。现对 CR 系统的适宜曝光量进行了测试探讨,结果报告于下。

## 材料与方法

### 一、实验器材

(1) (德)MD-100 型显微密度计及与之配套的 A/D 卡, Hisense 金箭 99 V 计算机;(2) 岛津 UD150L-F 型 X 线机、(日)柯尼卡自动显像机、(美)非介入性摄影条件仪 NERO-2000, CMT 光学密度计;(3) 中速  $\text{CaWO}_4$  增感屏(感度为 200)、Fuji 胶片;(4) (日)FCRAC-3 系统及与之配套的干式激光打印机;(5) 20 cm × 25 cm IP(抽样间隔为 100  $\mu\text{m}$ );(6) 铝梯;(7) Solidose 308 型剂量仪。

### 二、实验方法

1. 中速屏-片系统特性曲线和 CR 系统的总特性曲线的绘制:用双倍曝光量法制作中速  $\text{CaWO}_4$  屏-Fuji 片组合和 CR 系统的特性曲线;摄影条件:管电压为 80 kV,附加滤过为 0.48 mm Cu 加 0.95 mm Al,焦-片距 200 cm,有效焦点直径 0.6 cm,照射野 20 cm × 25 cm。CR 影像读取时选择“胸部概观”窗,半自动方式(SEMI),选择 S(sensitivity,感度)、L(latitude,宽容度),使所得 CR 系统的总特性曲线与中速屏-片系统一致(图 1)。

2. 获取比较屏-片系统和 CR 系统总的威纳频谱(WS)的照片:选择适当的 mAs,使照射量为 5.61  $\mu\text{Gy}$ ,其他摄影条件与制作特性曲线时的相同,对  $\text{CaWO}_4$  屏-Fuji 片组合进行曝光,得到密度为  $1.0 \pm 0.05$  的 X 线照片;用同样的摄影条件对 IP 进行曝光。将 IP 置入读取装置进行激光扫描读取,读取方式与制作特性曲线时的相同。调节 CS(对比度调

节)、SS(密度调节)2 个参数,使得最终输出照片的密度值为  $1.0 \pm 0.05$ ,综合读取条件和打印条件,各参数的数值为:GA(旋转量) = 1.1, GT(谐波类型) = D, GC(旋转中心) = 0.60, GS(谐波移动量) = 0.20, RN(频率等级) = 3, RT(频率类型) = Q, RE(增强程度) = 1.0; CS 设为原始图像的 1.0 倍, SS 设为原始图像的 1.3 倍。打印输出 CR 照片。

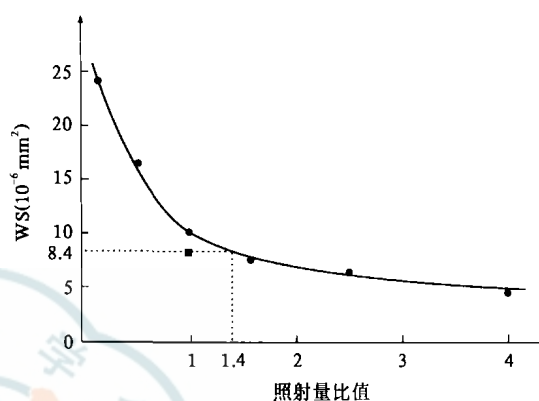


图 1 空间频率为 0.5 LP/mm 时相对照射剂量和 WS 的关系(以 5.61  $\mu\text{Gy}$  的作为 1)

3. 获取不同照射剂量下的 CR 照片:在上一步实验的基础上,只改变照射剂量(依次取 1.40、2.80、8.76、13.67、21.11  $\mu\text{Gy}$ ),保持其他摄影条件及激光读取和打印条件不变,对 IP 曝光并获取 CR 照片。注意整个实验过程要用同一 IP,并且每次在对 IP 的激光扫描读取完成后,再进行 1 次残留影像的清除。

这样共得 6 张 CR 照片和 1 张  $\text{CaWO}_4$  屏-Fuji 片组合照片,其中 5.61  $\mu\text{Gy}$  下获得的 CR 照片和  $\text{CaWO}_4$  屏-Fuji 片组合照片具有相同的摄影条件,且所有照片的密度均为  $1.0 \pm 0.05$ 。

4. WS 的测试和数据处理:将 7 张实验照片分别置于显微密度计测量台上,按王昌元等<sup>[3]</sup>所介绍的方法进行扫描。注意在扫描 CR 片时沿副扫描方向(与激光读取方向平行)进行。每张照片扫描 10 次,每次扫描得 1 万个数据,存为 1 个文件,10 次共得 10 万个数据,由 10 个文件保存。把 10 个文件按自编的 WS 分析软件中的要求进行统一命名,并存入规定的目录下。然后用自编的 WS 计算软件进行运算分析,得出每张照片在各个频率下的 WS 值。

## 结 果

1. 根据在不同的照射量下获得的 CR 片计算最

终 WS 值并绘制 WS 曲线:在高频区,各能量下的 WS 曲线互相混杂,似无规律可循;在低频率区,其变化规律是显而易见的,即照射量大的 WS 曲线处于照射量小的之下。当空间频率为 0.1 LP/mm 时,照射量为 5.61 $\mu$ Gy 的 CR 片的 WS 值为  $23.1 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ ,分别是照射量为 1.40、2.80、8.76、13.67、21.11 $\mu$ Gy CR 片的 WS 值的 0.53、0.75、1.14、1.44、1.80 倍;当空间频率为 0.5 LP/mm 时,照射量为 5.61 $\mu$ Gy 的 CR 片的 WS 值为  $9.72 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ ,分别是照射量为 1.40、2.80、8.76、13.67、21.11 $\mu$ Gy CR 片的 WS 值的 0.40、0.58、1.26、1.47、2.16 倍;当空间频率为 1.0 LP/mm 时,照射量为 5.61 $\mu$ Gy 的 CR 片的 WS 值为  $5.58 \times 10^{-6} \text{ mm}^2$ ,分别是照射量为 1.40、2.80、8.76、13.67、21.11 $\mu$ Gy CR 片的 WS 值的 0.42、0.59、1.11、1.54、2.17 倍。以 5.61 $\mu$ Gy 的照射量作为基准,其他照射量与其比值作为相对照射量,以相对曝光量为横坐标、以各条 WS 曲线在空间频率( $\omega$ )=0.5 LP/mm 时的 WS 值为纵坐标,做出不同相对照射量时 WS 变化曲线(图 1 中实线所示)。

2. 根据相同摄影条件下(照射量均为 5.61  $\mu$ Gy),屏-片系统和 CR 系统的总 WS 的最终数据,在同一坐标系中绘制它们的曲线(图 2):由图 2 可以看出,在 0.1~1.0 LP/mm 整个频率域范围内,屏-片系统的 WS 曲线都位于 CR 系统之下。图 1 中虚线表示 5.61 $\mu$ Gy 曝光条件下屏-片系统在  $\omega$ =0.5 LP/mm 时的 WS 水平,其与曲线的交点 Q,即代表了获得与此屏-片系统 WS 值相同的 CR 系统的照射线量的比值,大约为 1.4,换算成照射量为 7.70  $\mu$ Gy。

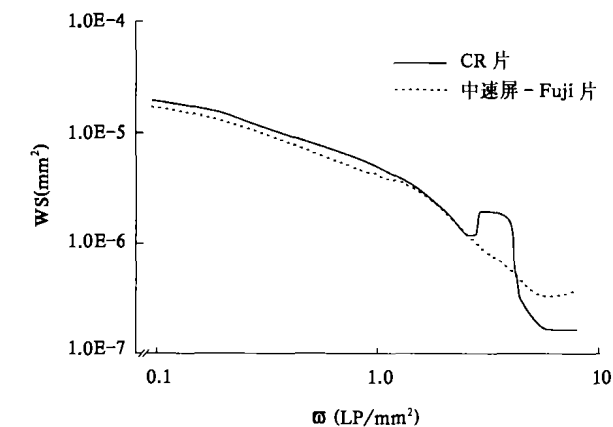


图2 照射剂量为 5.61 $\mu$ Gy 时屏-片系统和 CR 系统的总 WS 随空间频率的改变而变化的曲线比较

表1 在各空间频率下不同照射剂量的 WS 值(单位: $10^{-6} \text{ mm}^2$ )

空间频率	照射剂量 ( $\mu$ Gy)					
	1.40	2.80	5.61	8.76	13.67	21.11
0.1	43.40	31.00	23.10	20.20	15.90	12.80
0.2	39.50	27.70	19.50	16.70	13.00	10.30
0.5	24.10	16.80	9.73	7.70	6.59	4.50
0.8	16.00	12.10	6.45	5.58	4.30	3.06
1.0	13.20	9.46	5.58	5.03	3.61	2.57
1.5	7.89	4.85	3.59	3.43	2.31	1.74
2.0	4.21	3.02	2.30	2.01	1.68	1.19
2.5	2.69	1.75	1.36	1.24	1.40	0.78

表2 计算机 X 线摄影各体位标准成人体表入射剂量参考值

摄影体位	体表参考入射剂量 (mGy)
胸部正位	0.163(男) 0.140(女)
头颅正位	<7.000
头颅侧位	<4.200
膝关节正(侧)位	<1.400
腰椎正位	<14.000
腰椎侧位	<42.000
腹部(腹部平片)	<14.000

讨 论

1. 屏/片组合体系和 CR 系统总的 WS 对比:由图 2 可以看出,在相同照射量的情况下,屏-片系统在各个频段的 WS 值都要比 CR 的小,单纯从噪声特性上来说,CR 比屏-片系统并无优势。如果以中速 CaWO<sub>4</sub> 屏-Fuji 片组合的影像质量作为基准,则 CR 系统若想达到同样的噪声水平,必须增加 mAs。这一结果可从两者的噪声来源上分析,在这 2 种成像系统中,所产生的噪声除量子噪声外,对于屏-片系统主要还有增感屏的结构斑点和胶片的粒状性;而对于 CR 系统,噪声成分的来源广泛,有 IP 结构噪声、电器系统噪声、量子化噪声、CR 胶片的结构噪声等,这些统称固有噪声,又叫非 X 线量依赖性噪声<sup>[4]</sup>。从宏观上看,上述各种固有噪声中,IP 的结构噪声是最重要的固有噪声来源,起支配作用。IP 的这种结构要比 X 线胶片的粒状度大。另外,从空间分辨率上来看,胶片可达 5.7 LP/mm,而 CR 用于胸部摄影的大多数为 2.5 LP/mm,低于传统 X 线摄影<sup>[5]</sup>。目前提倡的综合影像质量评价参量,无论 ROC 曲线还是量子检出效率和噪声等价量子数,都是反映影像的信息量<sup>[6-8]</sup>,而噪声水平也包含其中。与屏-片体系不同的是,CR 在采集图像时,获得的信息量和 IP 的尺寸有直接关系。当采用尺寸较小的 IP 时,所得影像包含的信息量就多;另外,一幅采集



到的 CR 原始图像,可有多个总 WS 和总特性曲线对应于后处理参数的变化<sup>[9,10]</sup>,针对特定患者和特定摄影体位,选择合适的后处理参数也可提高最终影像的信息量。总之,CR 系统具有多种后处理功能,利于信息的存储和传输,适合目前数字化、网络化的要求,但不应盲目夸大其优点,而应充分认识到它相对屏-片系统的不足之处,在临床合理进行应用。

2. 不同曝光量对 CR 照片总的 WS 的影响:由表 1 和图 1 可以看出,随着照射剂量的增加,CR 照片的总 WS 呈下降趋势。这是因为在相同的管电压下,所用的 mAs 值越小,由 X 线管发出的 X 线量子数越少,造成了 X 线量子统计“涨落”的随机性增加,照片的噪声就越严重,为了控制照片噪声,就要求提高曝光量。而根据辐射防护的要求,病人的照射剂量应尽量减少,这是一对矛盾。CR 具有较强的后处理功能,可通过调节 CS 和 SS 来加强影像信息的可视程度,提高医师对那些从曝光不足的 IP 上获得的影像的利用率。但是,因为影像噪声的限制,曝光量减小到一定程度,由于形成的影像噪声太大,可淹没正常可以分辨的病灶和组织,则无论使用怎样的图像处理手段,也不可能再现这些影像信息了。放射工作者应在减少病人辐射剂量和控制影像噪声之间选择适宜的照射量。参照实验中所得结果,即在  $\omega = 0.5 \text{ LP/mm}$  时 CR 照射剂量应提高到 1.4 倍,才和屏-片系统有相同的噪声水平,并根据模拟影像中受检者体表入射剂量参考值<sup>[11,12]</sup>,推荐在应

用 CR 时参考以下照射剂量(标准成人体表入射量,表 2)。

综上所述,计算机 X 线摄影只有在适宜的照射线量条件下,充分利用后处理功能,才能提高输出影像的信息量。

## 参 考 文 献

- 1 煎本正博,公崎茂,江口陽一,他. X 線平面検出器をめじつて. 日放技會誌(付録),1999,55:1-29.
- 2 小川憲一,米田和夫,奈良井昇,他. フラットパネルディテクタの画質評價と適正照射線量. 日放技會誌,2001,57:587-592.
- 3 王昌元,袁丰德,李月卿,等. 增感屏-胶片的威纳尔频谱测试探讨. 中华放射学杂志,2001,35:148-150.
- 4 祁吉,高野正雄,主编. 计算机 X 线摄影. 北京:人民卫生出版社,1997. 18-21.
- 5 Antonuk LE, Jee KW, El-Mohri Y, et al. Strategies to improve the signal and noise performance of active matrix, flat-panel imagers for diagnostic X-ray applications. Med Phys,2000, 27:289-306.
- 6 袁丰德,燕树林,谢晋东. 促进应用受试者操作特性解析法评价放射诊断影像质量的研究. 中华放射学杂志,2002,36:389-390.
- 7 谢晋东,王昌元,袁丰德,等. 增感屏-胶片组合的噪声等价量子数和量子检出效率的测试. 中华放射学杂志,2002,36:1041-1045.
- 8 谢晋东,袁丰德. 噪声等价量子数和量子检出效率对放射成像系统像质评价的意义. 中华放射学杂志,2002,36:1050-1051.
- 9 谢晋东,王宗成,王昌元,等. 计算机 X 线摄影系统中总威纳频谱测试的探讨. 中华放射学杂志,2002,36:391-394.
- 10 谢晋东,魏世栋,袁丰德,等. 计算机 X 线摄影系统总特性曲线测试的探讨. 中华放射学杂志,2002,36:395-396.
- 11 胸部照片影像综合评价标准的建立. 中华医学会影像技术分会第一号文件. 1998. 10.
- 12 颅骨、膝关节、腰椎、及腹部影像质量标准. 中华医学会影像技术分会第二号文件. 1999. 9.

(收稿日期:2003-12-31)

(本文编辑:薛爱华)