

计算机 X 线摄影系统中总威纳频谱测试的探讨

谢晋东 王宗成 王昌元 袁聿德 王健 张梦龙

【摘要】 目的 研究计算机 X 线摄影 (computed radiography, CR) 系统中总威纳频谱 (Wiener spectrum, WS) 随影像处理的变化。**方法** 利用常规 X 线机对成像板 (imaging plate, IP) 曝光, 改变空间频率处理的参数频率等级 (frequency rank, RN)、频率类型 (frequency type, RT)、增强强度 (degree of enhancement, RE) 以及谐波处理参数旋转量 (rotation amount, GA) 来制作总的 WS 抽样照片, 用显微密度计扫描, 通过快速傅立叶变换来计算总的 WS。**结果** (1) 当空间频率为 1.0 LP/mm 时, 副扫描方向上的总 WS 值为 $7.26 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$, 是主扫描方向上总 WS 值的 1.57 倍, 在高空间频率范围内出现峰值。(2) 当空间频率为 1.0 LP/mm 时, 主扫描方向上 RN = 0 的总 WS 值为 $7.90 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$, 是 RN = 5 的 WS 值的 1.70 倍, 是 RN = 9 的 WS 值的 3.30 倍。(3) 当空间频率为 1.0 LP/mm 时, 主扫描方向上 RE = 1.5 的总 WS 值为 $1.05 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$, 是 RE = 1.0 的 WS 值的 2.27 倍, 是 RE = 0.5 的 WS 值的 2.92 倍。(4) 当空间频率为 1.0 LP/mm 时, 主扫描方向上 GA = 1.5 的总 WS 值为 $1.25 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$, 是 GA = 0.8 的 WS 值的 2.70 倍。(5) 当空间频率为 1.0 LP/mm 时, 副扫描方向上 RT = T 的总 WS 值为 $9.80 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$, 是 RT = F 的 WS 值的 1.02 倍, 是 RT = R 的 WS 值的 1.35 倍, 是 RT = P 的 WS 值的 1.55 倍。**结论** RN、RE 和 GA 对总 WS 值有很大的影响, 而 RT 的影响就很小。当处理临床影像时, 应根据诊断的目的和所需影像选择更适当的处理参数来减少输出影像噪声。

【关键词】 计算机 X 线摄影; 图像处理, 计算机辅助; 质量控制; 因素分析, 统计学

Investigation of overall Wiener spectrum measurement in a computed radiography system XIE Jindong*, WANG Zongcheng, WANG Changyuan, YUAN Yude, WANG Jian, ZHANG Menglong. * Department of Radiology, Taishan Medical College, Tai'an 271000, China

【Abstract】 Objective To study the effect of image processing on overall Wiener spectrum (WS) in a computed radiography system. **Methods** Imaging plate was exposed using conventional X-ray equipment. Overall WS sampling films were made by changing 3 parameters of spatial frequency processing, including frequency rang (RN), frequency type (RT), and degree of enhancement (RE), and by changing 1 of 4 parameters of gradation processing (rotation amount, GA). WS values were calculated by scanning on micro-densitometer for every film proceeded as discrete signal using fast Fourier transform. **Results** (1) The WS value of subscan direction was $7.26 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$ when the spatial frequency was 1.0 LP/mm, it was 1.57 times larger than that of scan direction. The WS had peaks under high spatial frequency at sunscan direction. (2) The WS value of RN with 0 at scan direction was $7.90 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$ when the spatial frequency was 1.0 LP/mm, it was 1.70 times larger than that of RN with 5, and 3.30 times larger than that of RN with 9. (3) The WS value of RE with 1.5 at scan direction was $1.05 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$ when the spatial frequency was 1.0 LP/mm, it was 2.27 times larger than that of RE with 1.0, and 2.92 times larger than that of RE with 0.5. (4) The WS value of GA with 1.5 at scan direction was $1.25 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$ when the spatial frequency is 1.0 LP/mm, it was 2.70 times larger than that of GA with 0.8. (5) The WS value of RT with T at subscan direction was $9.80 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$ when the spatial frequency was 1.0 LP/mm, it was 1.02 times larger than that of RT with F, and 1.35 times larger than that of RT with R, and also 1.55 times larger than that of RT with P. **Conclusions** RN, RE, and GA contributed strongly to Wiener spectra, but the contribution of RT was small. When processing the clinical images, adequate processing parameters should be chosen to reduce the image noise, so as to meet the clinical diagnostic need.

【Key words】 Computed radiography; Image processing, computer-assisted; Quality control; Factor analysis, statistical

对噪声特性的研究是 X 线影像质量评价的重

要内容^[1], 评价屏-片系统噪声特性的威纳频谱 (Wiener spectrum, WS) 方法同样用于计算机 X 线摄影 (computed radiography, CR) 系统。目前, 国内引进了多台 CR 系统, 但至今尚未见到 CR 系统总的 WS

作者单位: 271000 泰安, 山东泰山医学院放射系 (谢晋东、王昌元、袁聿德、王健、张梦龙); 天津市第一中心医院放射科 (王宗成)

值的测试报道。笔者对 CR 系统中总 WS 值随影像处理的变化进行了测试并加以研究讨论。

材料与方法

一、设备与材料

X 线机:日本岛津 XUD 150B-10 型(焦点大小 1.2 mm); CR 装置:FCR AC-3 型;成像板(imaging plate, IP):ST-VN 型,大小 24 cm × 30 cm,像素大小 0.15 mm × 0.15 mm;激光打印机:FL-IM D 型;CR 胶片:CR780-H。显微密度计:德国 MD-100 型,狭缝孔径为 0.01 mm × 1.00 mm;WS 计算软件。

二、实验方法

1. 摄影条件:70 kV,附加滤过 0.5 mm Cu + 1.0 mm Al,焦点至 IP 的距离为 150 cm,适当的曝光量,用常规 X 线机对 IP 曝光,通过 CR 系统影像处理后,激光打印出的 CR 胶片密度为 (1.00 ± 0.05) D。

2. 影像处理:(1)固定可改变影像的对比度的谐调处理参数:旋转量(rotation amount, GA)为 0.8,谐调类型(gradation type, GT)为 E,旋转中心(rotation center, GC)为 1.6,谐调移动量(gradation shift, GS)为 -0.2;(2)改变影响影像的锐利度的空间频率处理参数:频率等级(frequency rank, RN)为 0.5、9,频率类型(frequency type, RT)为 P、T、F、R,增强强度(degree of enhancement, RE)为 0.5、1.0、1.5,取得 10 张 CR 粒状性照片。固定空间频率处理参数(RN = 5, RT = R, RE = 1.0)及部分谐调处理参数(GT = E, GC = 1.6, GS = -0.2),改变 GA(GA = 0.8、1.5)取得 2 张 CR 粒状性照片。

3. WS 的测试和数据处理:(1)将 12 张实验照片置于显微密度计测试台进行扫描,扫描速度为 0.1 mm/s,测试的是噪声抽样的中心部分:10 cm × 10 cm。扫描分别沿主扫描(与激光扫描方向平行)和副扫描(与激光扫描方向垂直)进行,在每个方向扫描 10 cm 时,显微密度计工作台停下并回到原扫描处,垂直向下 10 mm,再扫描 10 cm,如此扫描 10 次,每次 1 万个数据,共得 10 万个数据。(2)扫描过程中,将计算机通过模拟数字转化卡(即 A/D 卡)与显微密度计相联,可对扫描过程中数据信号监控,并用笔者编制的专用 WS 计算软件来计算处理 WS 值:用快速傅立叶法计算,抽样间隔 0.01 mm,抽样长 81.92 mm,程序段长 1 024 点(重叠点 512),并用三角窗口进行周波数的平滑处理。作为示例,表 1 给出了在主扫描方向上 RN 变化时 0.1 ~ 10.0 LP/mm 范围内的 WS 值。

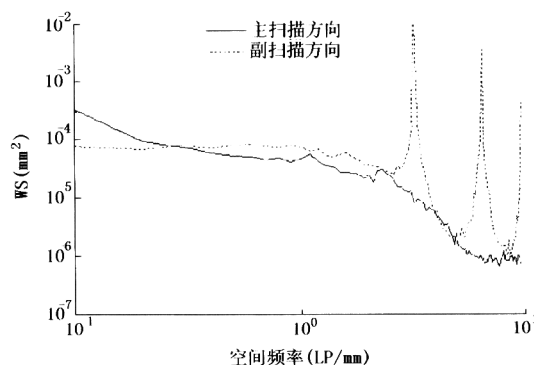
表 1 不同空间频率时 WS 值随 RN 的变化

空间频率 (LP/mm)	WS 值($\times 10^{-5}$ mm ²)		
	RN = 0	RN = 1.0	RN = 1.5
0.1	55.700	32.150	25.800
0.2	20.320	9.210	7.550
0.3	13.700	7.420	5.600
0.4	9.780	5.840	3.050
0.5	8.110	5.330	2.920
0.6	8.500	5.050	3.110
0.7	7.430	4.420	2.340
0.8	7.270	4.800	2.830
0.9	7.340	4.180	2.530
1.0	7.920	4.620	2.390
1.5	4.280	2.680	2.410
2.0	3.970	2.490	2.280
2.5	2.660	2.360	2.010
3.0	1.770	1.290	1.460
3.5	1.070	0.820	0.850
4.0	0.670	0.460	0.560
4.5	0.390	0.360	0.290
5.0	0.210	0.160	0.140
6.0	0.095	0.094	0.078
7.0	0.076	0.097	0.068
8.0	0.087	0.122	0.065
9.0	0.086	0.090	0.063

注:影像处理条件为 GA = 0.8, GT = E, GC = 1.6, GS = -0.2, RT = R, RE = 1.0

结 果

CR 系统总 WS 在主扫描方向和副扫描方向上的变化(GA = 0.8, RN = 5, RT = R, RE = 1.0),如图 1 所示。从图 1 中观察可知:当空间频率小于 0.3 LP/mm 时,主扫描方向的噪声大于副扫描方向上的,一般情况下应与此相反,该结果的出现可能与测量的误差有关;当空间频率大于 0.3 LP/mm 时,副扫描方向上的噪声大于主扫描方向的;空间频率为 1.0 LP/mm 时,副扫描方向上的噪声是主扫描方向

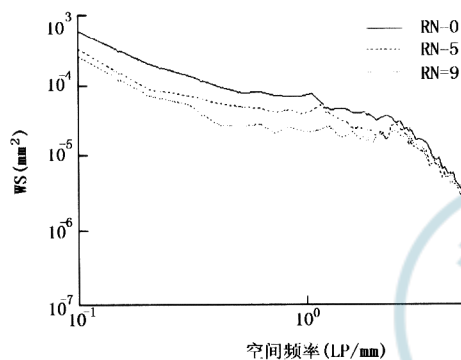


影像处理条件:GA = 0.8, GT = E, GC = 1.6, GS = -0.2, RT = R, RE = 1.0, RN = 5

图 1 在主扫描方向和副扫描方向上总 WS 的比较

的 1.57 倍;在空间频率大于 4.0 LP/mm 时,主扫描方向的 WS 值变化很小;在空间频率大于 3.0 LP/mm 时,副扫描方向上出现峰值。

在主扫描方向 CR 系统总 WS 值随 RN 而变化 ($GA = 0.8, RT = R, RE = 1.0$), 如图 2 所示。从图 2 中观察可知:当空间频率小于 3.0 LP/mm 时,随着 RN 的增加,WS 值变小。其中,空间频率为 1.0 LP/mm 时, $RN = 0$ 的 WS 值为 $7.90 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$, 是 $RN = 5$ 时 WS 值的 1.70 倍,是 $RN = 9$ 时 WS 值的 3.30 倍;当空间频率大于 3.0 LP/mm 时,随着 RN 的增加,WS 值几乎无差别。

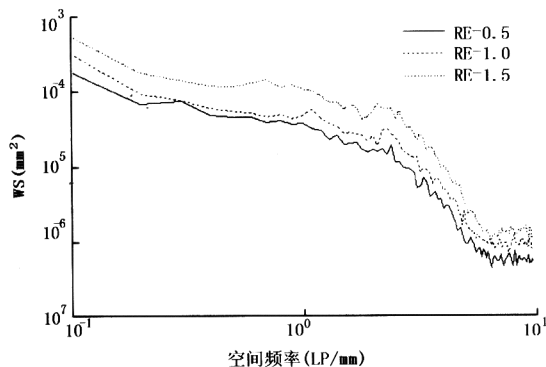


影像处理条件: $GA = 0.8, GT = E, GC = 1.6, GS = -0.2, RT = R, RE = 1.0$

图 2 总 WS 随 RN 的变化(主扫描方向)

在主扫描方向 CR 系统总 WS 值随 RE 而变化 ($GA = 0.8, RT = R, RN = 5$), 如图 3 所示。从图 3 中观察可知:在 0.1 ~ 10.0 LP/mm 的空间频率范围内,随着 RE 的增加,WS 值变大。其中,当空间频率为 1.0 LP/mm, $RE = 1.5$ 时总 WS 值为 $1.05 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$, 是 $RE = 1.0$ 时 WS 值的 2.27 倍,是 $RE = 0.5$ 时 WS 值的 2.92 倍。

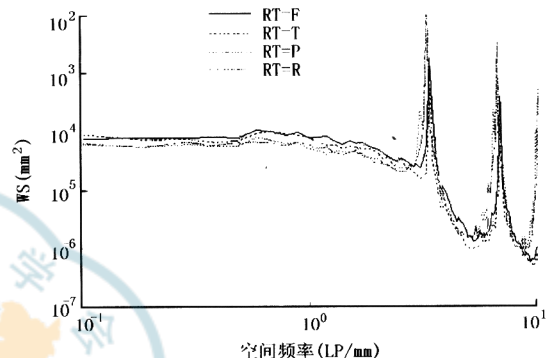
在副扫描方向 CR 系统总 WS 值随 RT 而变化



影像处理条件: $GA = 0.8, GT = E, GC = 1.6, GS = -0.2, RT = R, RN = 5$

图 3 总 WS 随 RE 的变化(主扫描方向)

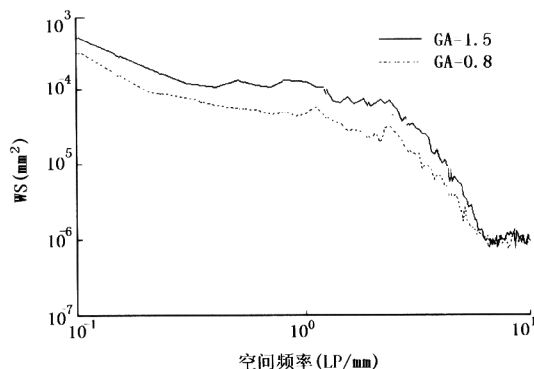
($GA = 0.8, RN = 5, RE = 1.0$), 如图 4 所示。从图 4 中观察可知:在 0.1 ~ 10.0 LP/mm 的空间频率范围内,RT 的变化对 WS 值影响较小。其中,当空间频率为 1.0 LP/mm, $RT = T$ 时总 WS 值为 $9.80 \times 10^{-5} \text{ mm}^2$, 是 $RT = F$ 时 WS 值的 1.02 倍,是 $RT = R$ 时 WS 值的 1.35 倍,是 $RT = P$ 时 WS 值的 1.55 倍。另外,在副扫描方向上,当空间频率小于 2.0 LP/mm 时,所有情况下,WS 值几乎不随空间频率的变化而变化。



影像处理条件: $GA = 0.8, GT = E, GC = 1.6, GS = -0.2, RN = 5, RE = 1.0$

图 4 总 WS 随 RT 的变化(副扫描方向)

在主扫描方向 CR 系统总 WS 值随 GA 变化而变化 ($RE = 1.0, RT = R, RN = 5$), 如图 5 所示。从图 5 中观察可知:在 0.1 ~ 5.0 LP/mm 的空间频率范围内,随着 GA 的增大,WS 值增加。其中,当空间频率为 1.0 LP/mm, $GA = 1.5$ 时总 WS 值为 $1.25 \times 10^{-4} \text{ mm}^2$, 是 $GA = 0.8$ 时 WS 值的 2.70 倍。当空间频率大于 5.0 LP/mm 时,两者之间无差别。



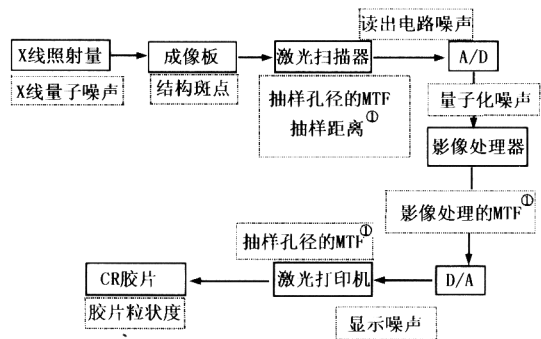
影像处理条件: $GT = E, GC = 1.6, GS = -0.2, RT = R, RE = 1.0, RN = 5$

图 5 总 WS 随 GA 的变化(主扫描方向)

讨 论

CR 系统的噪声组成是复杂的^[2],图 6 给出了在

CR 影像上噪声产生的原因及其影响因素。国外学者对 CR 系统数字的 WS 进行了详细的分析报道^[3-7],这种分析是建立在像素值已知的基础上,但是,一般用户不能实现。与此同时,学者们对临床上有应用价值的总 WS 值亦进行了测试^[8,9]。



①表示这些因子对噪声的影响

图6 CR系统噪声的组成

WS是客观评价影像质量的重要参数之一,是对影像噪声更复杂的描述,与简单的测量密度或像素涨落的均方根值相比,它给出了噪声在空间频率上分布的信息。通过对WS的测试,可以分析出不同条件下形成X线影像噪声的因素所占的比例,从而通过有效地控制噪声来提高影像的质量。

通过对本实验结果的分析可知,主扫描方向CR系统总WS的值约在空间频率为3.0 LP/mm以上范围内呈快速下降,这是由于存在模拟电路的低通过滤^[7]。副扫描方向上,在空间频率大于3.0 LP/mm时,总WS值有峰值出现,产生这样噪声的原因之一是人工造成的振荡。它与激光束的形状大小以及副扫描方向上的扫描间隔有关,是由于连续扫描点的重合程度和扫描线的位置误差产生的人为噪声。笔者使用的激光束斑点形状在主扫描方向呈椭圆,在空间频率 $\omega = 3.0$ LP/mm附近出现峰值,是激光打印机在副扫描方向上的扫描间隔为0.3 mm所致。另外,从CR照片上的密度分布变化也可看出,在副扫描方向上密度有周期性的变化;而在主扫描方向上密度无周期性的变化。因此,经过傅立叶变换后必然会在副扫描方向上出现峰值。总WS值在主扫描方向和副扫描方向不相同,关于这一点,在预抽样MTF和数字WS的测量中都曾观测到^[5,7]。

RN、RE是影响影像锐利度的空间频率处理参

数,改变它们的同时,也影响着影像的噪声。从图2~5中看出,随着RN的减小、RE的增加,总WS值增加,意味着影像噪声变大,噪声大就表示不同空间频率上噪声淹没影像上的信号多了,影像上能识别的信号就少了,从而降低了影像的质量。GA是影响影像对比度的谐调处理参数,随着GA的增加,影像对比度增加,但WS值也增加,影像噪声变大,照片的粒状度变差。当处理临床影像时,应根据诊断的目的和所需影像选择更适当的处理参数来减少输出影像噪声。

CR系统总的WS除受影像处理的影响之外,还受照射量和IP像素大小的影响。一般,随着入射到IP照射量的增加,WS值减少,但是照射量增加到 5.16×10^{-7} C/kg以上时,噪声改善就很少了;IP像素值(大小)越大,WS值越小^[2]。笔者仅探讨了影像处理参数对WS的影响,其他因素的影响有待进一步探讨。在临床上根据诊断的要求和身体的不同部位,适当地选取影像处理参数、照射量和IP像素大小就显得非常重要,这也是本研究的意义所在。

参考文献

- 1 王昌元,袁丰德,李月卿,等.增感屏-胶片组合体系的威纳频谱测试探讨.中华放射学杂志,2001,35:148-150.
- 2 岸本健治.ノイズ特性.1.基礎とCR.日放技會誌,1991,47:854-857.
- 3 Fujita H, Ueda K, Morishita J, et al. Basic imaging properties of a computed radiographic system with photostimulable phosphors. Med Phys, 1989, 16:52-59.
- 4 Bradford CD, Pepler WW, Dobbins JT3rd. Performance characteristic of a Kodak computed radiography system. Med Phys, 1999, 26:27-37.
- 5 Flynn MJ, Samei E. Experimental comparison of noise and resolution for 2k and 4k storage phosphor radiography systems. Med Phys, 1999, 26:1612-1623.
- 6 Dobbins JT 3rd, Ergun DL, Rutz L, et al. DQE(f) of four generations of computed radiography acquisition devices. Med Phys, 1995, 22:1581-1593.
- 7 Kengyelics SM, Davies AG, Cowen AR. A comparison of the physical imaging properties of Fuji ST-V, ST-VA, and ST-VN computed radiography image plates. Med Phys, 1998, 25:2163-2169.
- 8 杜下淳次,藤田広志,山内秀一,他.ユニピーテッドラゾグラフィにおけるオーバーオール・ウィナーズスペクトルの測定.日放技會誌,1991,47:1787-1793.
- 9 山内秀一,藤田広志,杜下淳次,他.ユニピーテッドラゾグラフィにおけるレーザブリソタのウィナーズスペクトル測定.日放技會誌,1992,48:1939-1944.

(收稿日期:2001-11-28)

(本文编辑:薛爱华)