

CT 图像空间分辨力的实用检测方法

杨克桢, 林意群

【摘要】 目的:设计应用于检测 CT 图像空间分辨力的实用方法及体模。**方法:**检测体模由两块纯有机玻璃中嵌入约 0.1 mm 厚的铝箔制成,扫描时使之与扫描面垂直,得到系统的冲击响应,即线扩展函数,经相干平均和傅立叶变换等步骤获得系统的调制传输函数,从而评价设备的空间分辨力。受检设备为单层面和多层面 CT 扫描仪各一台,设置不同扫描条件,共做 4 组实验。**结果:**调制传输函数曲线与所采用的扫描条件一致,截止频率与采用国际通用的 CAPHAN 500 体模测量的结果相当。**结论:**与线对法相比,通过测量线扩展函数计算调制传输函数来评价 CT 图像空间分辨力的方法减少了人工干预,结果准确、可靠。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 空间分辨力; 体模, 显像术

【中图分类号】 R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2006)03-0303-03

Practical Testing Method for Testing the Spatial Resolution of CT Images YANG Ke-cheng, LIN Yi-qun. School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, P. R. China

【Abstract】 Objective: To design a practical method and an attached phantom for testing the spatial resolution of CT scanners. **Methods:** A phantom made of acrylic and embedded with an aluminum foil of approximately 0.1 mm thick was used to simulate an ideal impulse input. The CT phantom was carefully set with the XY plane perpendicular to the foil, when it was scanned. Processing the impulse responses with the procedures of coherent averaging and Fourier transformation, the line spread function (LSF) and the modulation transfer function (MTF) of the CT system were obtained and then the spatial resolution could be evaluated. Two CT scanners were tested with different parameters. **Results:** The curves of MTF were consistent with the corresponding scanning modes and techniques used, and the cutoff frequency was correlated to the results measured with a CAPHAN500 phantom. **Conclusion:** For the evaluation of the spatial resolution of CT images, it was more accurate and reliable, with less artificial interference, to use the method of measuring LSF and MTF in comparison with line pairs method.

【Key words】 Tomography, X-ray Computed; Spatial resolution; Phantoms, imaging

CT 图像的空间分辨力是指在目标物质与背景的 X 射线衰减系数差别显著的情况下对微细结构的鉴别能力,临床应用中体现为对小病灶的成像能力,是应用质量检测的重要参数之一。

检测的体模和方法有两种:一种是周期性结构(圆孔、条纹等)体模,如美国体模实验室生产的 CAPHAN500 体模的 CTP528 模块,可以从图像上直接读取数值。但是,随着 CT 技术的不断发展,空间分辨力不断提高,导致体模工艺难度增大,同时扫描过程对体模的摆位精度要求高,而判据的主观性、窗宽和窗位的设定等人为因素都影响检测结果;另一种方法是冲击响应法,通过测量调制传输函数(modulation transfer function, MTF)反映空间分辨力,不仅减少检测过程的人为干预,增加结果的客观性和可靠性,而且

蕴含了更多的信息,可以体现重建算法之间的差别,是评价成像系统空间分辨力特性常用的方法^[1-4]。本文采用自制体模,测量系统的 MTF,经比对,其结果与采用 Catphan500 体模的检测结果一致,现报道如下。

材料与方法

1. 原理

MTF 是系统的线扩展函数(line spread function, LSF)的振幅频谱。测量 LSF 的过程就是测量系统的冲击响应的过程,根据采用的体模不同,分点响应法、线响应法和边缘响应法三种^[5-8]。其共同点是在均匀背景材料中嵌入模拟点源的目标物质。点响应法的目标物质一般采用细金属丝,比如直径为 50 μm 的钨丝,其横断面在图像上表现为一个扩散的小点;线响应法的目标物质可采用厚度为 50~100 μm 的金属薄片,截面图像为一扩散的细线,其优点是不但直接获得 LSF,而且在做傅立叶变换之前可方便地进行相干平

作者单位:510515 广州,南方医科大学生物医学工程学院数字化医疗设备质量检测中心

作者简介:杨克桢(1971-),男,福建闽清人,工程师,主要从事医学物理学研究工作。

均处理以降低噪声,体模的制作也较简单^[9];而边缘响应法则利用两种不同物质的界面,其截面图像的灰度呈陡峭变化。

2. 设备和工具

检测体模:基底采用工业用纯有机玻璃(acrylic);外径 150 mm,厚 35 mm;目标物质铝箔厚约 0.1 mm,嵌入两块半圆柱体模之间(图 1)。

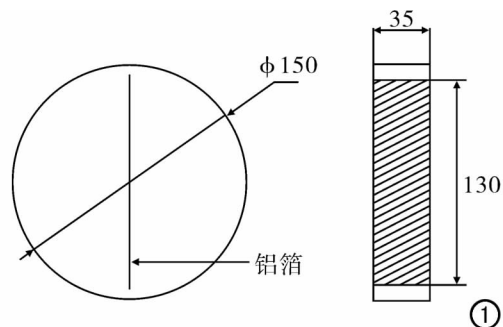


图 1 体模示意图。

受检设备:Siemens Plus 4 单层面和 GE Light Speed Ultra 八层面设备各一台。

3. 检测方法

体模的中心轴与机架中心轴重合,使之位于扫描野中心,并使目标物质铝箔处于水平位置(x 轴方向),且垂直于扫描面。在轴向扫描方式下,取不同扫描条件(表 1),并把 4 组实验分别做标记,第 3、4 组只取其中的一个层面。同时扫描 Catphan 500 体模的 CTP446 模块,以做比较。

在 Siemens Plus 4 中,AH40 为标准算法,AH94 为锐利算法。

表 1 两台设备不同扫描条件

组别	设备	层厚 (mm)	kV	剂量 (mAs)	周期 (s)	算法
1	Siemens	10	140	257	1.5	AH40
2	Plus 4	10	140	257	1.5	AH94
3	GE Light	1.25×8	120	200	1.0	Standard
4	Speed Ultra	0.625×2	120	200	1.0	Standard

4. 数据处理

采用 MATLAB 6.1 编程和实现数据的可视化。以下以第一组实验为例说明数据处理过程。

读入图像,其像素值(CT 值)在 y 轴上呈陡峭的突变,如图 2 的网格节点所示。在 X 轴上取一列像素,得到不同位置的像素值,即离散的 LSF。为了降低噪声的影响,对相邻连续的若干 LSF 做相干平均。假设 LSF 用下式表示:

$$LSF = s + n \quad (1)$$

其中,s 为待测的 LSF,n 为白噪声。取相邻连续 10 个 LSF 做相干平均:

$$LSF_{10} = s + n / \sqrt{10} \quad (2)$$

噪声减小了 3 倍。

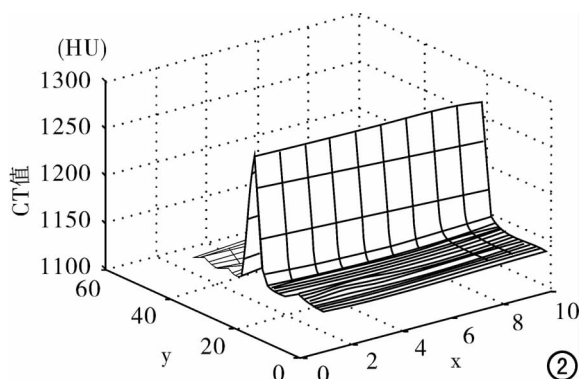


图 2 体模局部图像的三维显示结果。

结果

对 LSF 的处理结果,经相干平均后的曲线明显平滑(图 3)。接着对 LSF_{10} 做傅立叶变化,取其幅值频谱。把频率单位转化为 cm^{-1} ;并假定 0 频率的传输函数为 1,得到相应 MTF,结果如图 4 所示。

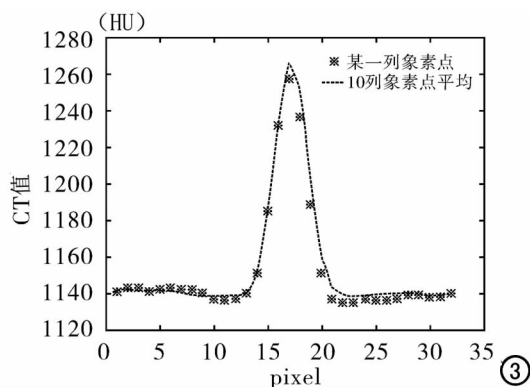


图 3 目标物质图像某一系列(y 轴)像素点及相邻 10 列的相干平均。

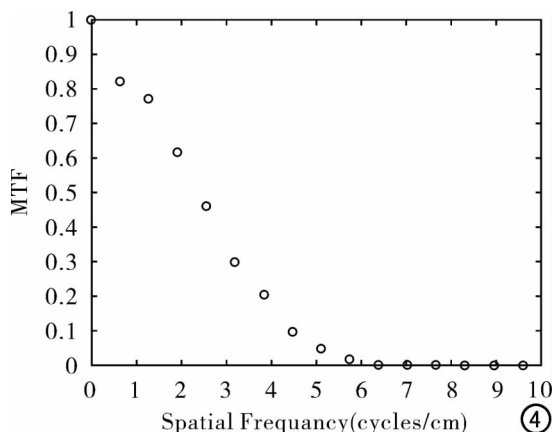


图 4 LSF 的离散傅立叶变换。

在用周期性结构比如整齐排列的条纹检测时,所能分辨的线对数目与 MTF 曲线在数值上存在一定的联系,一般认为介于 MTF 的 0%~10% 对应频率。对离散的 MTF 做三次样条插值,计算截止、5%、10% 和 50% 对应的频率,结果如表 2 所示。每厘米线对数比 MTF 曲线 5% 对应的频率略大,与截止频率接近,大约是 50% 对应的频率的两倍,各组实验略有差别。

表 2 MTF 的测量结果与线对卡测量结果的比较

组别	MTF 对应的频率(1/cm)				线对数/cm
	截止	5%	10%	50%	
1	6.2	5.3	4.5	2.4	6
2	10.6	9.7	9.1	4.7	12~11
3	4.9	4.5	4.2	2.2	5
4	4.7	4.4	4.1	2.1	5~4

讨 论

国家标准采用线对法检测 CT 图像的空间分辨力^[10]。从物理原理上分析,该方法与冲击响应方法并无区别,因为线对体现了输入信号的频率成分。二者之间只是分析方法的不同,即从空域和频域分析的区别^[2]。但前者的精度只能达到 1/mm,而后者理论上是连续的。采用线对法测量空间分辨力,在判断线对数目时,由于判据的主观性,以及受显示器质量、观察环境等因素的影响,结果往往不确定,这也是该方法的主要问题之一。如表 2 中的第 2 组实验,线对读数介于 11 和 12 之间。而冲击响应法就不存在此问题,结果客观、重复性好。但是对 CT 图像的解读主要是靠诊断医师的经验,所以从临床应用的角度来说,线对法又是合理的。

CT 图像的噪声对空间分辨力有直接的影响。在所测量的 LSF 中包含了系统的噪声成分,为便于做降噪处理,体模的目标物质必须严格地处于水平(或垂直)位置,以保证 LSF 的每个点相互对应,无需做任何变换就可直接进行平均,实际效果相当于多次实验平均。

目前普遍采用的 Catphan 500 和 AAPM 体模中都有专门的模块测量 CT 扫描仪的点扩展函数(point spread function,PSF),同样可计算 MTF。这些体模的目标物质为细金属丝。由于数据规模较小,受噪声的影响较大^[11]。相比之下,本文采用的体模和方法充分考虑了噪声的影响,并能通过相干平均有效加以克服。

参考文献:

- [1] Droege RD, Rzeszotarski MS. An MTF Method Immune to Aliasing [J]. Med Phys, 1985, 12(6): 721-725.
- [2] Durand EP, Rueggsegger P. High-contrast Resolution of CT Images for Bone Structure Analysis [J]. Med Phys, 1992, 19(3): 569-573.
- [3] Morishita J, Doi K, Bollen R, et al. Comparison of two Methods for Accurate Measurement of Modulation Transfer Functions of Screen-film Systems [J]. Med Phys, 1995, 22(2): 193-200.
- [4] Moy JP. Signal-to-noise Ratio and Spatial Resolution in X-ray Electronic Imagers: Is the MTF a Relevant Parameter [J]. Med Phys, 2000, 27(1): 86-93.
- [5] Cunningham IA, Reid BK. Signal and Noise in Modulation Transfer Function Determinations Using the Slit, Wire, and Edge Techniques [J]. Med Phys, 1992, 19(4): 1037-1044.
- [6] Fujita H, Tsai DY, Itoh T, et al. A Simple Method for Determining the Modulation Transfer Function in Digital Radiography [J]. IEEE Trans Med Imaging, 1992, 11(1): 34-39.
- [7] Samei E, Flynn MJ, Reimann DA. A Method for Measuring the Presampled MTF of Digital Radiographic Systems Using an Edge Test Device [J]. Med Phys, 1998, 25(1): 102-113.
- [8] Cooper VN, Boone JM, Seibert JA, et al. An Edge Spread Technique for Measurement of the Scatter-to-primary Ratio in Mammography [J]. Med Phys, 2000, 27(5): 845-853.
- [9] Greer PB, Doon TV. Evaluation of an Algorithm for the Assessment of the MTF Using an Edge Method [J]. Med Phys, 2000, 27(9): 2048-2059.
- [10] GB/T 17589-1998, X 射线计算机断层摄影装置影像质量保证检测规范[S].
- [11] Boone JM. Determination of the Presampled MTF in Computed Tomography [J]. Med Phys, 2001, 28(3): 356-360.

(收稿日期: 2005-04-12 修回日期: 2005-06-15)