

S P I R A L C T

螺旋CT

主编 周康荣



螺旋CT



螺旋 CT

Spiral CT

主編 周康榮

復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

螺旋 CT/周康荣主编. —上海:复旦大学出版社,1998.11
(2004.4 重印)

ISBN 7-309-03940-8

I. 螺… II. 周… III. 计算机 X 线扫描体层摄影
IV. R814.42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 018233 号

螺旋 CT

周康荣 主编

出版发行 复旦大学出版社

上海市国权路 579 号 邮编 200433

86-21-65118853(发行部) 86-21-65109143(邮购)

fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

责任编辑 傅淑娟

装帧设计 马晓霞

总编辑 高若海

出品人 贺圣遂

印刷 上海华业装潢印刷厂

开本 787×1092 1/16

印张 20

字数 474 千

版次 1998 年 11 月第一版 2004 年 4 月第四次印刷

印数 7 001—8 500

书号 ISBN 7-309-03940-8/R·424

定价 128.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书共分 14 章。第 1、2 章介绍了螺旋 CT 机的结构,螺旋 CT 扫描的基本原理,扫描参数和内插方式与图像质量的关系,以及三维图像重建的原理及方法。第 3 章简述了有关造影剂药物动力学方面的知识。在第 4~11 章内,对胸部、肝脾、胰腺、胆道、胃肠道、肾脏和骨骼肌肉系统等的螺旋 CT 扫描技术分别进行了探讨,阐述了其临床应用情况和优点,并提供了大量典型病例加以说明。螺旋 CT 血管成像(SCTA)的原理、技术和临床应用在第 12、13 章内专门予以介绍。螺旋 CT 的新进展——CT 仿真内镜成像,除第 2 章第 3 节作了一般介绍外,第 14 章还作了重点阐述。

主 编 周康荣

副主编(以姓氏笔画为序)

严福华 张志勇 彭卫军 曾蒙苏

编写者(以姓氏笔画为序)

Jeff Granito

理学士

美国宾州大学

Kenneth D. Hopper

教授

美国宾州大学

Tunc A. Iyribor

医学博士

美国宾州大学

丁建国

副主任医师

上海医科大学中山医院

刘士远

博士后

第二军医大学长征医院

许达生

教授

中山医科大学附属第一医院

严福华

博士, 副教授

上海医科大学中山医院

李子平

副教授

中山医科大学附属第一医院

李轲晨

工程师

上海医科大学中山医院

张兴伟

博士

上海医科大学中山医院

张志勇

博士, 副教授

上海医科大学中山医院

周康荣

教授

上海医科大学中山医院

顾 军

硕士

上海医科大学中山医院

涂备武

博士生

上海医科大学中山医院

曹永胜

硕士

德国西门子公司

彭卫军

博士, 副教授

上海医科大学中山医院

曾蒙苏

博士, 副教授

上海医科大学中山医院

蒲祖辉

博士

上海医科大学肿瘤医院

前 言

螺旋 CT(spiral CT, SCT; helical CT, HCT)以其超越常规 CT 的诸多性能和特征,如连续快速扫描成像、容积数据采集、优良的多轴面和三维重建图像等,开创了 CT 领域的新纪元。仅短短几年内已在临床上获得了广泛应用和赞誉,并在不断发展,其普及速度出乎人们之意料。在欧美、日本等先进地区和国家,常规 CT 机型几乎已被其取而代之;国内大中型医院引进和使用螺旋 CT 的日渐增多,螺旋 CT 已成为今后 CT 发展的必然趋势和强有力的诊断工具。螺旋 CT 的原理、技术和临床应用特点与常规 CT 既有相同之处,又有本质的区别,深刻理解这些原理,才能灵活掌握和运用螺旋 CT 技术,提高诊断效率和进一步拓展临床应用范围。这正是本书作者编著此书的宗旨之一。螺旋 CT 作为一门发展之中的新的影像学技术,部分内容尚欠成熟,故有关章节中提到的扫描参数和后处理技术,并无固定的模式和统一的标准,仅供读者参考,需结合机型、临床情况及操作者的经验灵活运用。可以预料,随着螺旋 CT 机硬件和软件的改善和升级,必将推动技术的进步,从而获得更好的图像和更为广泛的临床应用,并进一步缩短检查时间。

此外,必须说明的是本书有别于作者以往编写和出版的《腹部 CT》和《胸部颈面部 CT》两本专著。本书仅以螺旋 CT 技术和临床应用为核心展开讨论,虽然也涉及到各系统疾病的诊断和分析,并附以典型病例加以说明,但无意追求其系统性和完整性,敬请读者谅解。书中材料大部分系作者最近 4~5 年间临床和科研工作的结晶,部分引用于文献资料。鉴于螺旋 CT 仍在不断发展和完善之中,加上作者经验及理论水平之限制,尽管几易其稿,书中不足之处在所难免,望广大读者和专家多加指导,谨此表示衷心感谢。

此外,我要特别感谢美国宾夕法尼亚州立大学的著名放射学专家、体部影像部主任 Kenneth D. Hopper 教授,在百忙之中经常来华讲学指导,并为本书作了精辟的序言和参与了重要章节的撰写。

上海医科大学中山医院

周康荣

1998.9.5

序 言

螺旋 CT 的发明已成为全身 CT 影像学的一场真正革命,以往需 10~30min 的检查现在 1min 内即可完成。现代螺旋 CT 机可作大范围的体部扫描,如胸部、腹部和盆腔可一次性完成而不必分开检查。除了扫描速度快和极高的工作效率外,其研究质量也大为改进,这主要归功于 Z 轴方向分辨率的提高以及在增强峰值期内完成扫描的能力。

上海医科大学中山医院放射科主任周康荣教授以其卓越的能力足以胜任《螺旋 CT》一书的主编工作,该书代表当代 CT 水平,并包含当今世界放射学文献资料。本人十分愉快并荣幸地参加了这一杰出的编写工作。

美国宾夕法尼亚州立大学
放射学教授,体部影像部主任

Kenneth D. Hopper

1998.8

PREFACE

The advent of spiral (helical) CT has truly revolutionized CT imaging of the entire body. What used to require 10 – 30 minutes can now be accomplished in a matter of seconds. Modern spiral systems allow large areas of the body to be scanned at once, such as the chest, abdomen, and pelvis together, rather than to be divided between different days. And, in addition to the rapid scan times and dramatically increased productivity with spiral CT, the quality of the study is also greatly improved. This improvement in spiral image quality is due to both increased Z-axis resolution versus conventional CT as well as to the ability to scan during the very peak of contrast enhancement.

Professor Kang – Rong Zhou, Professor and Chairman at the Zhong Shan Hospital, Shanghai Medical University, is eminently qualified to write this comprehensive textbook on spiral CT. Dr. Zhou has provided a state – of – the – art text encompassing the current world radiology literature. It is indeed a pleasure and an honor to be associated with such an outstanding work.

Kenneth D. Hopper, M.D., F.A.C.R.

Professor of Radiology

Chief, Body Imaging

Pennsylvania State University

Aug, 1998

目 录

前言

序言

第一章 螺旋 CT 机和螺旋 CT 扫描	1
第一节 螺旋 CT 机构造	1
第二节 螺旋 CT 扫描的原理和基本知识	3
第二章 独立诊断工作站和图像后处理	11
第一节 独立诊断工作站基本结构	11
第二节 独立诊断工作站三维图像处理原理及方法	12
第三节 CT 仿真内镜成像术	27
第三章 造影剂的药物动力学和 CT 造影增强	35
第一节 造影剂的种类和选择	35
第二节 造影剂的循环过程和注射方式	37
第四章 胸部螺旋 CT 及临床应用	42
第一节 检查技术和方法	43
第二节 胸部螺旋 CT 扫描的一般临床应用	48
第三节 螺旋 CT 在中央型肺癌诊断中的临床应用	50
第四节 螺旋 CT 在周围型肺癌及肺外周孤立结节诊断中的 临床应用	53
第五节 螺旋 CT 在肺癌分期中的临床应用	61
第六节 螺旋 CT 对心脏及大血管病变的诊断	69
第七节 螺旋 CT 对横膈及膈周病变的诊断	78
第八节 螺旋 CT 对肺栓塞的诊断	80
第九节 气道螺旋 CT 扫描及其临床应用	82
第五章 肝脾螺旋 CT 及临床应用	97
第一节 检查技术和方法	98
第二节 螺旋 CT 在肝脏病变诊断中的临床应用	104

第三节	螺旋 CT 在脾脏病变诊断中的临床应用	152
第六章	胰腺螺旋 CT 及临床应用	159
第一节	检查方法和技术	159
第二节	正常胰腺变异及胰周血管	160
第三节	临床应用	164
第七章	螺旋 CT 在胆道系统的临床应用	185
第一节	检查方法和技术	185
第二节	螺旋 CT 对胆道非肿瘤性病变的诊断	186
第三节	螺旋 CT 对胆道肿瘤的诊断	191
第四节	螺旋 CT 胆道造影	198
第八章	螺旋 CT 在胃肠道的临床应用	203
第一节	检查方法和技术	203
第二节	胃的正常 CT 表现	205
第三节	螺旋 CT 在胃肿瘤诊断中的应用	207
第四节	螺旋 CT 在十二指肠肿瘤诊断中的应用	212
第五节	胃肿瘤影像学诊断方法的评价	215
第九章	螺旋 CT 在肾脏的临床应用	217
第一节	检查方法和技术	217
第二节	临床应用	218
第十章	螺旋 CT 在骨骼肌肉系统的临床应用	237
第一节	检查方法和技术	237
第二节	螺旋 CT 在骨骼肌肉外伤诊断中的应用	238
第三节	螺旋 CT 在骨骼的炎症和肿瘤诊断中的应用	241
第四节	螺旋 CT 在肌肉及软组织病变诊断中的应用	246
第十一章	螺旋 CT 在女性盆腔的临床应用	249
第一节	检查方法和技术	249
第二节	临床应用	250
第十二章	螺旋 CT 血管成像的原理和技术	255
第一节	螺旋 CT 血管成像的方法	255
第二节	造影剂团注计划	256
第三节	螺旋扫描参数	257
第四节	后处理重建技术	258
第五节	SCTA 与其他血管成像技术的比较	261
第十三章	螺旋 CT 血管成像的临床应用	262

第一节	检查方法和技术	262
第二节	临床应用	263
第十四章	螺旋 CT 的新进展——CT 仿真内镜成像	285
第一节	原理和技术	285
第二节	临床应用	294

第一章 螺旋 CT 机和螺旋 CT 扫描

本世纪 70 年代初 CT 机问世,被喻为影像学史上的一场革命,发明者 Hounsfield 和 Comark 因此而获得诺贝尔医学奖的殊荣。然而初级的 CT 机其扫描速度很慢,检测器仅数对或数十对,空间分辨率不高,仅能用于静止的头部检查,当时谓之“头颅 CT 机”。随 CT 机硬件和软件的改进,不仅扫描速度不断加快,分辨率有所提高,而且适用于全身检查,为区别于“头颅 CT 机”,谓之“体部 CT 机”。到了 80 年代中后期,“头颅 CT 机”几乎被淘汰,因此,人们也就不再在 CT 机之前冠以“头颅”、“体部”之形容词了。1989 年螺旋 CT 机问世,标志着 CT 领域的重大革新,

这是一个令人瞩目的新成就。为了与螺旋 CT 机相区别以及描述之方便,前者统称为常规(或普通)CT 机或非螺旋 CT 机。根据目前的发展趋势,可以预料,由于常规 CT 机固有的缺点,若干年后终究将被滑环机(非螺旋)和滑环螺旋机替代。螺旋 CT 机的扫描、采样和图像处理方式等与常规 CT 机有很大差别,具有后者无法比拟的优点和性能,其临床应用也更为广泛,且在不断发展之中。了解螺旋 CT 机的基本构造,深刻理解螺旋 CT 机的原理,对熟练掌握螺旋 CT 检查技术,充分发挥机器的性能和拓展临床应用范围,无疑是十分重要的。

第一节 螺旋 CT 机构造

螺旋 CT 机的外形与常规 CT 机相似,但两者的设计原理和机件构造尤其是扫描架有很大差别。为适合薄层连续大范围扫描的要求,前者的球管容量大为增加,检测器的效率明显提高,对计算机系统功能也有更高要求。

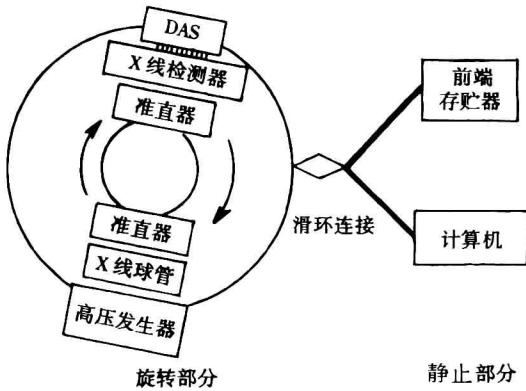
螺旋 CT 机构造主要分成以下几个部分:扫描架、CT 机球管、检测器、高压发生器、计算机系统,下面作一简单介绍。

一、滑环和旋转式扫描架

常规 CT 机的球管和检测器均安装在扫描架内,常规 CT 机中的第三代 CT 机两者同时旋转,第四代 CT 机的检测器是固定的,仅球管旋转。与螺旋 CT 机本质的差别为不

论第三代还是第四代 CT 机,其扫描架是固定不动的,机架内的球管和检测器不能作连续的旋转运动。每扫描一次,球管和(或)检测器旋转 360° ,然后必须回到原来位置,才能进行第二次扫描。其原因为扫描架与高压发生器之间由电缆连接着,电缆供给球管电源,收集从检测器得到的信息,驱动准直器和滤过器等。这种机械设计方式即电缆连接限制了扫描架和球管等作连续旋转运动。犹如钟表上的发条,每旋转一周,电缆被绕紧,然后必须作反方向转动让其放松。螺旋 CT 机采用滑环技术,即采用电刷和滑环平行接触,而不用电缆连接,使旋转部分(滑环)和静止部分(高压发生器)之间保持接触式连接,可

保证机架内的滑环作连续式旋转运动(线图 1-1)。



线图 1-1 螺旋 CT 机的主要结构图

二、CT 机球管

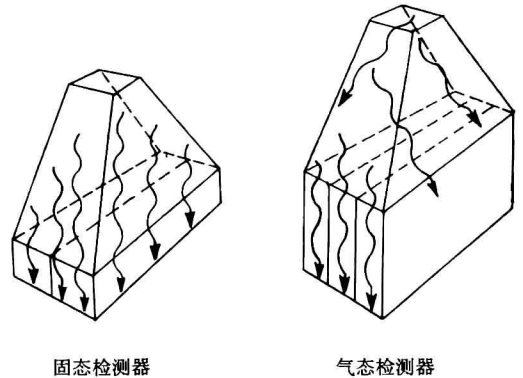
常规 CT 机球管在两次扫描的间隔期可以冷却,即使作动态扫描,每次屏气也仅能连续扫描 5~6 次,对球管热容量要求相对较小。而螺旋扫描是连续无间断的,最长可持续 60~90s(一般不要求),所以其球管热容量必须足够大,且散热性能要好,否则难以实现长时间连续螺旋扫描。作三维图像重建或 CTA(CT 血管成像)检查时,均要求进行长时间连续螺旋扫描。薄层扫描时毫安秒要相应增加,否则信噪比下降,故薄层连续扫描时球管的负荷更重。高档的螺旋 CT 机其球管由石墨或金属陶瓷组成,热容量甚高。

另一方面球管的散热率也很重要,散热功能好既可使球管保持连续扫描状态,又可延长球管寿命。球管的冷却方式各有不同,如油冷却、水冷却、油气冷却或三重冷却等。

三、检测器

安置在滑环架内的检测器是衡量机器性能的重要指标,检测器功能可以用光子吸收率或信号转换率来表达。一般而言,固体检测器较高压氙气检测器性能好,前者由稀土陶瓷或钨酸铬制成。检测器的数量和几何排列方式也影响其效率,以连续密集形排列为

优,可用个数/扇角(度)来表达。检测器的光子吸收率高,采集到的数据多,图像的分辨率就高。此外,高效率的检测器可以适当降低球管的曝光量,减轻其负荷,从而达到保护球管,延长其寿命或维持更长的扫描时间的作用。据介绍,固体高性能检测器其光子吸收率达 99%,而氙气检测器仅为 50%(线图 1-2)。Elscint 公司推出的 Twin 产品其设计独特,采用双排检测器,一次曝光可同时得到两幅图像,无形中可扩大扫描范围。有人猜测这种检测器的排列方式是否会影响准直器的自动校正,从而降低分辨率。一般高档螺旋 CT 机的空间分辨率达到 13~15Lp(线对)/cm 以上,Picker 公司的 PQ 6000 型据称在小的视野(FOV)时达到 21.5Lp/cm。



线图 1-2 两种探测器光子吸收率比较

四、高压发生器

CT 机的 X 线球管的工作电压范围是 80~140kV,电流范围为 30~450mA。如此高的电压,在电刷与滑环之间有可能发生电弧现象。有两种设计方案可以避免电弧的发生。绝大多数公司采用低压滑环装置,将发生器安装在扫描架内,但其重量应尽可能控制,以免影响机架(滑环)的旋转;仅 Siemens 公司采用高压滑环装置,将发生器安装在扫描架外。

五、计算机系统

螺旋扫描除了对球管、检测器有很高的

要求外,计算机系统的功率也是关键因素。假定1000只检测器每旋转一周取样1000次,每次采样要求16位存贮,连续30s扫描,计算机的信息存贮速度必须达到每秒60兆位。从容积数据采集到横断面图像重建须经过内插处理演算,目前一般采用180°内插法,单边叶或双边叶的高能内插法对计算机的要求很高,为未来的发展方向。阵列平行处理器使扫描、采样和重建能同时进行,大大

缩短了成像时间,一般在3s以内。系统硬盘容量越大,存贮的资料越多,病例资料保存的时间(天数)越长。

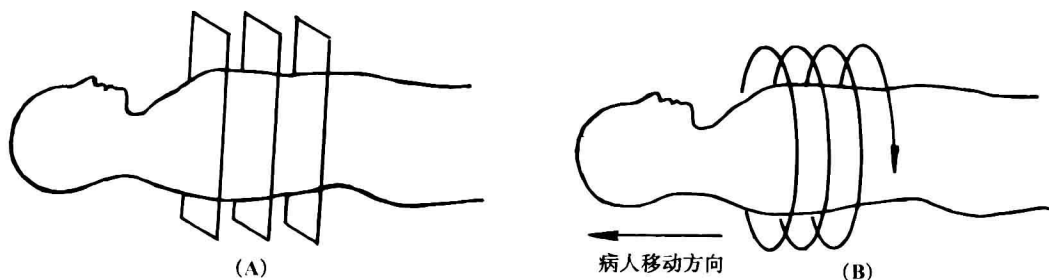
六、软件系统

现代螺旋CT机均能提供CTA、MPR重建、三维重建、四维重建、CT内镜、CT电影、造影剂追踪动态扫描等软件,智能扫描(SmartPrep)软件为GE公司所独有。

第二节 螺旋CT扫描的原理和基本知识

螺旋CT机由于采用滑环技术,扫描和采样速度较常规CT机提高4~6倍以上。常规CT机从第一代到第四代,尽管其扫描时间已从数十秒缩短到2s以内,但由于电缆的限制,只可能采用间隔式扫描,两次扫描之间有一个间隔或停顿,间隔时间至少需要2~2.5s。该间隔期内球管回到原来状态,扫描床向前推进,不能进行采样,即采样的死期或无效期。然后进行下一次扫描,床位停止移动,球管进行曝光。按常规方式扫描,其扫描周期(扫描、图像重建和显示)通常在10s以上,中、低档CT机长达20s以上,即使采用集合式(cluster)和平行式(parallel)扫描和重建,也至少需要6s左右的时间。常规CT机动态扫描,将扫描过

程与成像和显示过程分开,扫描周期明显缩短,但扫描间隔期仍无法改变,每次扫描仍要4~6s。而螺旋CT机实现了连续式扫描和采样,球管连续旋转和曝光,扫描床也同时连续匀速向前推进。球管每360°旋转一周的时间仅为1s,即每秒可获得一幅图像。新型的螺旋CT机每周扫描时间已缩短到0.6~0.75s。螺旋扫描在速度上明显提高,实现了CT领域内的一次飞跃。螺旋CT机另一特点为兴趣区域内的容积扫描和采样,而非常规CT机的间隔式或层面式的扫描和采样(线图1-3)。如何把容积数据转变成层面图像,即和常规CT机相同的横断面图像,将在下面的图像重建方法中叙述。



线图1-3 扫描方式的几何图形对比

(A) 传统轴位扫描,常规间隔式扫描和采样;

(B) 螺旋容积CT扫描,连续容积式扫描和采样,扫描轨迹呈螺旋形

图像重建(image reconstruction):
从容积投影资料中,用数学公式综合成

断面图像,有多种内插(interpolation)计算方式。Polacin、Crawford、King等在文献中作了

详细介绍。现将文献中介绍的公式抄录于下供参考。

公式 1

$$p(Z_0, \theta) = (1 - f)p(Z', \theta) + fp(Z' + d, \theta)$$

公式 2 $f = \frac{Z_0 - Z'}{d}$

式中: p 为投影点, Z 为床的位置, θ 为投影角, d 为床的移动速度 (mm/s), f 为系数。

螺旋扫描参数如层厚、床的移动速度或螺距, 以及内插方式均可影响图像质量。图像质量可以由多种标准进行衡量, 如层面敏感度轮廓 (section sensitivity profile, SSP)、时间和空间分辨率 (temporal and spatial resolution), 以及噪声 (noise) 等。下面根据文献资料以及我们的经验作一介绍。充分理解这些重要原理, 对临床应用中合理掌握扫描参数, 进行多维重建将有很大价值。

内插方式主要有两种: 360° 线性内插和 180° 线性内插。较少应用的高功能内插有单边叶法 (single side-lobe) 和双边叶法 (dual side-lobe)。SSP 相当于一个二维的解剖方块, 在常规轴位图上近似长方形, 而在螺旋扫描图上似钟形曲线, 其底部较宽。

SSP 可以用线形图表示, 也可以用数据测量 (实测或预测) 进行量化。SSP 测量有两种方法: 即最大半数值的全宽 (full width at half maximum, FWHM) 以及最大十分之一数值的全宽 (full width at tenth maximum, FWTM)。FWTM 代表轮廓 (剖面) 的基底部宽度。最常运用的为 FWHM, 代表剖面的层厚大小。表 1-1 反映不同内插方式对 SSP 的影响。

常规轴位扫描时床面不移动, 即螺距 = 0。当螺旋扫描螺距 = 1.0 时, 180° 线性内插的 FWHM 接近常规扫描, SSP 增宽不明显。单边叶法和双边叶法两种内插方式属于高能级方式, SSP 几乎无改变, 但重建时间延长,

表 1-1 内插方式与 SSP 厚度大小的关系

扫描方式	内插方式	FWHM (mm)	FWTH (mm)
轴位扫描	—	4.80	6.82
螺旋扫描 (螺距 = 1.0)	180° 线性	5.01	8.13
	360° 线性	6.58	11.32
	单边叶法	4.71	7.41
	双边叶法	4.55	7.20

故目前一般采用 180° 线性内插法。

表 1-2 反映螺距 (pitch) 大小对 SSP 的影响。

表 1-2 不同螺距与 SSP 大小的关系

扫描方式	螺距	内插方式	FWHM (mm)	FWTM (mm)
轴位扫描	0	—	4.80	6.82
螺旋扫描	1.0	180° 线性	5.01	8.13
		单边叶法	4.71	7.41
	1.2	单边叶法	4.83	7.75
		180° 线性	5.62	9.56
	1.5	单边叶法	5.10	8.51
		180° 线性	6.68	10.85
	2.0	单边叶法	6.14	9.88

从表 1-2 可见, 随螺距增大, SSP 增宽。螺距从 1.0 增大到 1.5 时, SSP 增宽较小; 而当螺距增大到 2.0 时, SSP 增宽非常明显。

不同的内插方式对噪声的影响也不相同 (表 1-3), 可用噪声系数 (noise factor) 来表达。其公式为:

$$\text{噪声系数} = n\Delta R \sum_{m} W_i^2$$

式中: ΔR 为旋转指数递增值, W_i 为螺旋内插值, $\Delta R \sum_{m} W_i = 1$ 。

表 1-3 螺旋内插方式对噪声影响的比较

扫描方式	内插方式	噪声水平 (%)	噪声系数
轴位扫描	0	0.432	—
螺旋扫描	180° 线性	0.491	1.140
	360° 线性	0.352	0.814
	单边叶法	0.527	1.312
	双边叶法	0.576	1.333

螺距对有效层厚 SSP 的影响见表 1-4。

表 1-4 螺距对有效层厚 SSP 的影响

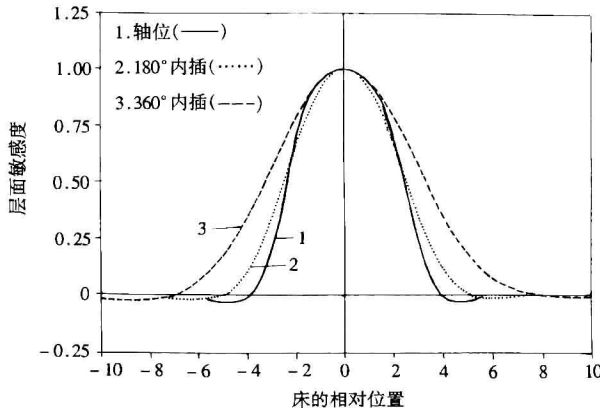
影响因素	有效层厚		
	常规 CT	360°线性	180°线性
螺距 1.0	5.0mm	6.3mm	5.0mm
SSP 增宽 (%)	0	26	0
螺距 2.0	0	10.8mm	6.5mm
SSP 增宽 (%)		116	30

从表 1-3 可见,以轴位扫描(常规扫描)

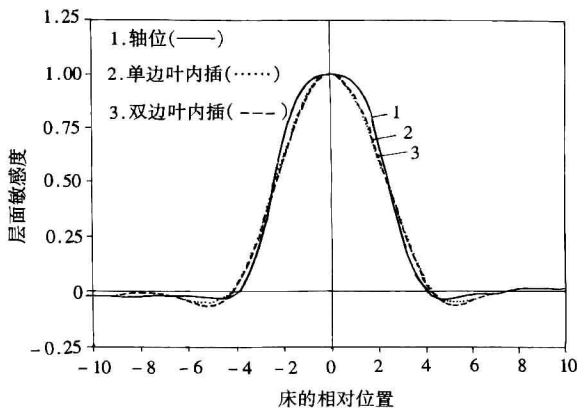
作为标准进行比较,其噪声系数定为 1;180°线性内插方式,噪声稍有增加,噪声系数为 1.140;而 360°线性内插方式,噪声降低,噪声系数为 0.814;高能级内插,噪声增加更明显。

不同内插方式和螺距对空间分辨率有一定影响。

线图 1-4 ~ 7 反映轴位以及螺旋扫描不同内插方式和螺距对 SSP 图形宽度的影响。



线图 1-4 层厚 5mm,螺距 1.0 时,轴位、180°和 360°内插方式 SSP 的宽度



线图 1-5 层厚 5mm,螺距 1.0 时,轴位、单边叶和双边叶内插方式 SSP 的宽度

从线图可表明,轴位扫描的 SSP 几乎成长方形,螺旋扫描则呈钟形,内插方式 360°线性较 180°线性 SSP 增宽明显,单边叶和双边叶内

插方式 SSP 增宽最不明显。当螺距从 1.0 增大到 1.5 时,SSP 也增宽,但不同内插方式随螺距增大对 SSP 增宽的影响不一致。