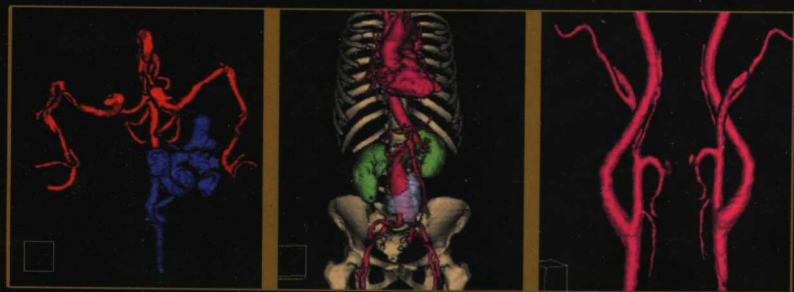


# Spiral CT Angiography



## 多层螺旋 CT

龙江 包颜明 杨亚英 主编

## 血管成像

云南科技出版社

# 多层螺旋 CT 血管成像

## 主 编：

张龙江 天津医科大学附属第一中心医院放射科

包颜明 昆明医学院第一附属医院医学影像中心

杨亚英 昆明医学院第一附属医院医学影像中心

## 主 审：

祁 吉 宋光义 田 伟

## 编者（按姓氏笔画排列）：

王克超 包颜明 杨亚英 杨桂芬 张龙江

云南科技出版

云南·昆明

**图书在版编目 (CIP) 数据**

多层螺旋 CT 血管成像 / 张龙江, 包颜明, 杨亚英主编.

昆明: 云南科技出版社, 2004. 12

ISBN 7-5416-2080-7

I. 多... II. ①张...②包...③杨... III. 血管疾病—计算机 X 线扫描体层摄影—诊断学 IV. R816.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 131683 号

云南科技出版社发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码:650034)

昆明(雅昌)富新春彩色印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:889mm×1194mm 1/16 印张:12 字数:340 千字

2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷

印数:1~3000 册 定价:86.00 元

# 序

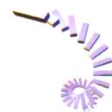
我们正处在科学技术飞速发展的时代。影像诊断设备以令人眩目的速度不断更新，与时俱进的是诊断技术水平的不断提高，给广大病患者带来的是更为精确的诊断，指导着正确的治疗措施。曾几何时，CT曾以其清晰显示人体解剖结构和病变的优势使我们感到非常满意。可是，迅速到来的多层螺旋CT以其极快的扫描速度、极薄的扫描层面、容积采集和丰富多彩的图像后处理技术震撼了世界，给我们更大的惊喜。更令人高兴的是，MSCT正在我国迅速普及，本书的出版将给本专业广大读者一份适时的礼物。

昆明医学院附属第一医院位于祖国大陆的西南边陲。多年以来，该院放射科的医技人员奉献给云南各族人民以先进的技术，认真的工作，良好的服务和准确及时的诊断。今天，这里年青的专业人员及时收集了丰富而珍贵的资料，总结了自己的经验积累，写出了这本参考书，奉献给大家。

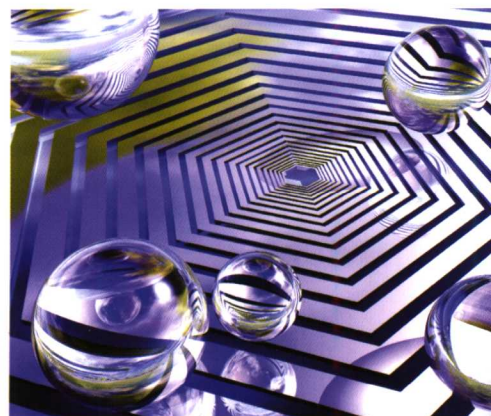
本书共17章，有十余万字的文字叙述，719幅清晰可贵的图像，参考了国内外360多篇新的文献，内容丰富翔实，是编者的大胆尝试，为此付出的是辛勤的劳动和心血以及为科学研究献身的热忱，捧出的是一颗颗火热的心。

一本专业参考书的出版的确不是一件容易的事，写书本身就需要相当的勇气和极大的付出，可以说是一项繁杂浩瀚的工程。作者们在撰写过程中得到了各级领导的支持和单位内外专家的指导和大力帮助，才得以顺利完成。当然，由于经验不够，必然会存在一些缺点和不足之处。希望本专业同道不吝赐教，多多提出宝贵意见，予以指正。





# 目 录



|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| <b>第一章 多层螺旋CT的一些基本概念</b> .....    | (1)  |
| 第一节 MSCT与单层螺旋CT的不同 .....          | (1)  |
| 第二节 螺距的概念以及对CTA的影响 .....          | (5)  |
| 第三节 图像重建 .....                    | (6)  |
| 第四节 多层CT机的优越性和局限性 .....           | (6)  |
| <b>第二章 多层螺旋CT血管成像及后处理技术</b> ..... | (8)  |
| 第一节 CT血管成像 .....                  | (8)  |
| 第二节 MSCTA后处理技术 .....              | (12) |
| 第三节 CTA与传统血管成像及磁共振血管成像的比较 .....   | (21) |
| <b>第三章 多层螺旋CT仿真内镜的应用价值</b> .....  | (23) |
| 第一节 CTVE的原理及过程 .....              | (23) |
| 第二节 CTVE的临床应用价值 .....             | (23) |
| 第三节 CTVE的主要限度和优势 .....            | (32) |
| <b>第四章 多层螺旋CT脑动脉血管成像</b> .....    | (34) |
| 第一节 扫描参数及图像后处理技术 .....            | (34) |
| 第二节 MSCTA在脑血管病中的应用 .....          | (35) |
| <b>第五章 多层螺旋CT颈部血管成像</b> .....     | (46) |
| 第一节 扫描与后处理技术 .....                | (46) |
| 第二节 颈动脉与椎动脉的大体解剖 .....            | (47) |



|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| 第三节 颈部CTA的临床应用 .....          | ( 48 )  |
| 第六章 多层螺旋CT肺血管成像 .....         | ( 54 )  |
| 第一节 扫描参数及后处理技术 .....          | ( 54 )  |
| 第二节 临床应用 .....                | ( 55 )  |
| 第七章 多层螺旋CT冠状动脉血管成像 .....      | ( 64 )  |
| 第一节 MSCTCA的技术方面 .....         | ( 65 )  |
| 第二节 冠状动脉的横断面解剖 .....          | ( 67 )  |
| 第三节 临床应用 .....                | ( 69 )  |
| 第八章 多层螺旋CT主动脉血管成像 .....       | ( 81 )  |
| 第一节 扫描及后处理技术 .....            | ( 81 )  |
| 第二节 主动脉全程MSCTA的可行性 .....      | ( 82 )  |
| 第三节 临床应用 .....                | ( 83 )  |
| 第九章 多层螺旋CT肝动脉血管成像 .....       | ( 99 )  |
| 第一节 肝动脉CTA的扫描及后处理技术 .....     | ( 99 )  |
| 第二节 临床应用 .....                | ( 100 ) |
| 第十章 多层螺旋CT肠系膜血管成像 .....       | ( 111 ) |
| 第一节 成像技术 .....                | ( 111 ) |
| 第二节 正常解剖及变异 .....             | ( 112 ) |
| 第三节 临床应用 .....                | ( 114 ) |
| 第十一章 多层螺旋CT门静脉血管成像 .....      | ( 118 ) |
| 第一节 扫描及后处理技术 .....            | ( 118 ) |
| 第二节 临床应用 .....                | ( 119 ) |
| 第三节 三种门静脉显示方法的比较 .....        | ( 125 ) |
| 第十二章 自发性门体分流的多层螺旋CT血管成像 ..... | ( 128 ) |
| 第一节 扫描及后处理技术 .....            | ( 128 ) |
| 第二节 临床应用 .....                | ( 129 ) |
| 第三节 比较影像学 .....               | ( 136 ) |
| 第十三章 原发性肝癌的多层螺旋CT血管成像 .....   | ( 138 ) |
| 第一节 扫描及后处理技术 .....            | ( 138 ) |
| 第二节 肝癌的MSCTA表现 .....          | ( 139 ) |
| 第十四章 胰腺癌的多层螺旋CT血管成像 .....     | ( 145 ) |



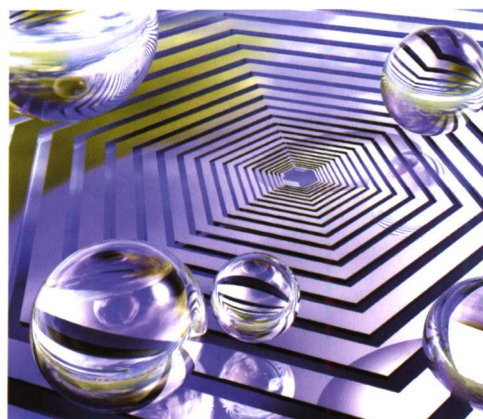
|                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| 第一节 胰腺癌的CT技术 .....                | ( 145 )        |
| 第二节 胰周血管受累的CT评价标准 .....           | ( 146 )        |
| 第三节 胰腺周围血管及其受累CTA表现 .....         | ( 147 )        |
| 第四节 CTA胰腺癌评价的价值 .....             | ( 151 )        |
| <b>第十五章 多层螺旋CT肾动脉血管成像 .....</b>   | <b>( 153 )</b> |
| 第一节 肾动脉CTA的基本技术 .....             | ( 153 )        |
| 第二节 正常肾动脉解剖 .....                 | ( 154 )        |
| 第三节 临床应用 .....                    | ( 154 )        |
| <b>第十六章 多层螺旋CT周围血管成像 .....</b>    | <b>( 162 )</b> |
| 第一节 下肢动脉CT血管造影的技术演进 .....         | ( 162 )        |
| 第二节 临床应用 .....                    | ( 163 )        |
| 第三节 超声、MRA、CTA在下肢动脉疾病应用的优劣势 ..... | ( 169 )        |
| <b>第十七章 多层螺旋CT静脉系统血管成像 .....</b>  | <b>( 172 )</b> |
| 第一节 上腔静脉系统 .....                  | ( 172 )        |
| 第二节 下腔静脉系统 .....                  | ( 175 )        |
| <b>后 记 .....</b>                  | <b>( 183 )</b> |





# 第一章 多层螺旋 CT 的一些基本概念

## 概念



1972年Hounsfield发明了第一台CT机，它的问世，不但给医学影像学带来了巨大变革，也大大促进了临床医学的发展。之后CT技术的革新纷至沓来。1985年，CT机扫描采用滑环技术来实现旋转部分和静止部分的馈电及信号传递。1988年，在滑环技术日益完善和成熟的基础上，研发成功螺旋CT机，使数据采集的速度和对比剂的利用率得以大幅度提高。螺旋CT的英文名有两个，即Helical CT 和Spiral CT，这两个名词是同义词，但后者更易于理解，从直觉上也容易接受，目前也被学术界广泛地应用。这两个名词在中文里只有一个对应的翻译，即螺旋CT。为什么称之为螺旋CT呢？这是因为探测器在绕机架呈360°旋转时，检查床（病人或物体）以均匀的速度前进，因此X射线所穿过的路径为螺旋形，故称为螺旋CT。使用螺旋CT可在一次屏息间期内进行大范围的容积扫描，减少了运动伪影，使多平面重组的影像质量得到改善，三维影像重组成为可能。由于采集数据速度加快，大大提高了单位时间内的病人检查效率。1992年，推出了双列探测器的CT机。两列探测器被设计成弧形，不论是横断面扫描或螺旋扫描，均可进行同时2层影像的数据采集，因此其扫描覆盖范围是单列探测器的2倍，同时提高了影像质量。双列探测器CT机是多层CT机的先驱。1998年同时进行4层影像采集的多层CT机（multislice computed tomography, MSCT）问世，其数据采集率是单列探测器CT机的4倍（图1—1~1—2）。因此，这类CT机的扫描速度是大多数单层螺旋CT机的8倍。2000年，一次采集8层影像的CT机诞生，与4层采集相比，减少X线管损耗将近一半，同层厚时的扫描速度及检查效率可提高1倍，X线剂量可减少一半，已可用于心脏、大血管等动态器官的检查。2002年推出了16层采集的CT机，最薄的采集厚层为0.5mm，实现了真正的各向同性体素采集，全周扫描采集时间为0.4s，对心脏等动态器官全部可以实现一次屏息采集（屏息时间大约为20s）。由于CT技术的不断发展，我们不能动态覆盖所有内容，因此本章仅就4层和16层MSCT的一些基本概念进行简要阐述。

### 第一节 MSCT 与单层螺旋 CT 的不同

MSCT指利用多列探测器阵列，扫描时不用常规的单层或常规螺旋扫描准直宽度的扇形线束，而是采用可调宽度的锥形线束，根据拟采集的层厚及层数选择锥形线束的宽度，从而实现一次采集，可同时获得多层影像，称为多层螺旋CT（MSCT）。多列指CT设备上放置的检测器的列数，相应地，多列探测器CT与其探测器有关。因此多列探测器CT与MSCT实为不同的概念，不应混淆应用。MSCT的概念更易于说明





这一事实，即球管旋转一周可同时获得多层而不是一层影像。

### 一、探测器类型的不同

与单层螺旋CT相比，MSCT就是在Z轴方向上设置了多列探测器以达到多层采集的目的。4层MSCT的探测器大致分为2种类型：等宽型探测器与不等宽型探测器。GE医疗系统与TOSHIBA医疗系统采用的是等宽型探测器（图1—3）；而SIMENS医疗系统和MARCONI医疗系统采用的是不等宽型探测器（图1—4）。等宽与不等宽这两种类型的扫描装置虽各有其优缺点，但至今尚未见到从本质上超越这两种方式的机型问世。非对称型探测器排列方式在阵列中央采用数列较窄的探测器而在外周则采用数列较宽的探测器，在4层MSCT这种探测器排列方式被认为是较好的排列方式。

对4层CT而言GE医疗系统采用的是16列等宽探测器，每个探测器宽1.25mm，最大Z轴覆盖宽度20mm。可任意组合成4组通道以获得不同层厚的4层横断面影像。16列探测器全部应用可获得4层5mm层厚的影像或2层10mm层厚的影像；利用后准直器遮盖半个位于中心的探测器可获得2层0.625mm层厚的影像。

TOSHIBA医疗系统采用34排等宽探测器，中央4排探测器宽0.5mm，其余30排探测器宽度为1mm，最大Z轴覆盖宽度32mm。利用中央4排探测器可获得4层0.5mm层厚的影像。34排探测器全部应用可获得4层8mm层厚的影像；适当组合各探测器可获得2mm、3mm、4mm、5mm、6mm、7mm层厚的影像。

SIMENS医疗系统和MARCONI医疗系统采用的探测器基本相同，共4对8列，宽度分别为1mm、1.5mm、2.5mm、5mm。最大Z轴覆盖宽度20mm。应用全部8列探测器可获得4层5mm或2层8mm或10mm层厚影像；通过后准直器遮盖中心两列探测器各一半，可获得2层0.5mm层厚的影像；适当组合各探测器及应用后准直器可获得4层1mm、2.5mm、5mm层厚的影像。

16层CT设备的探测器与4层CT设备的探测器相同，仍分为对称型和非对称型（图3—4），但采用非对称型探测器的厂家在设计上和原4层、8层的设备有差别，如TOSHIBA医疗系统原设计中间为0.5mm×4列，两侧为2mm×15列，共34列；16层设计中间为0.5mm×16列，两侧分别为1mm×12列，共40列。MARCONI医疗系统和SIEMENS医疗系统原来的设计为中间1mm×2列、1.5mm×2列、2.5mm×2列、5mm×2列共8列；16层设计中间为0.75mm×16列，两侧分别为1.5mm×4列，共24列。根据上述设计，最薄层厚分别为0.5mm（TOSHIBA医疗系统）、0.625mm（GE医疗系统）、0.75mm（MARCONI医疗系统和SIEMENS医疗系统）。

由上可以看出16层MSCT的多列探测器采用不等宽设计。

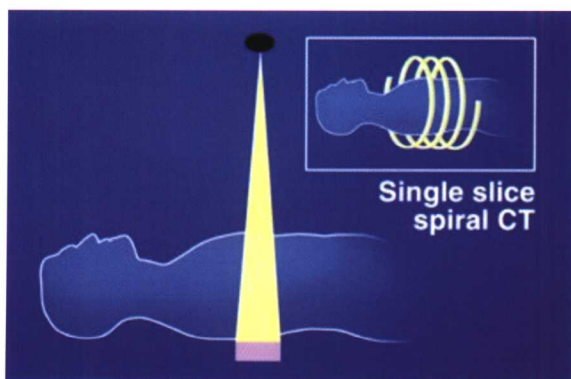


图1—1

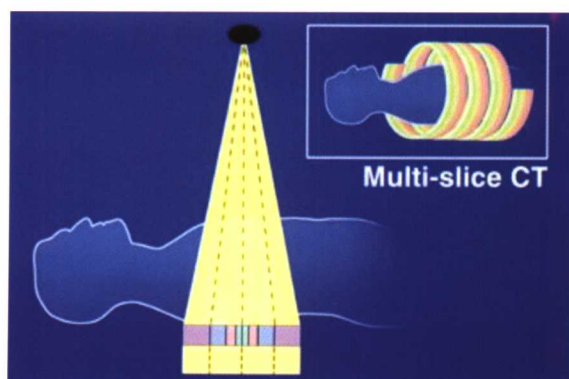


图1—2

图1—1为单层螺旋CT的X线束示意图，代表准直器的宽度；图1—2为4层螺旋CT的X线束示意图，见4层螺旋CT的X线束宽度为单层螺旋CT的4倍

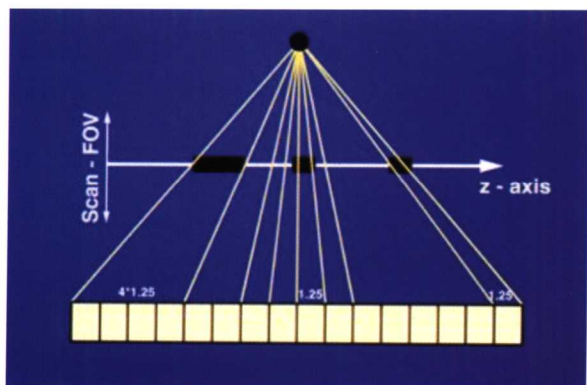


图1—3

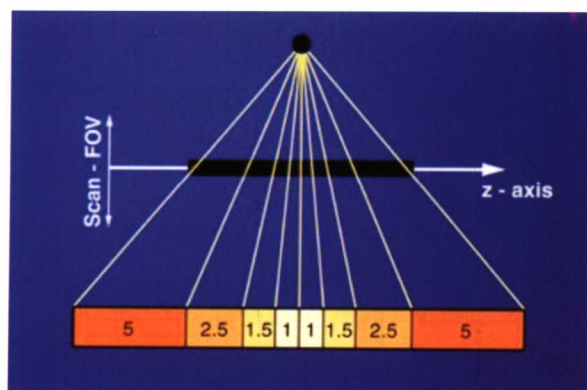


图1—4

图1—3为等宽型的探测器排列示意图，所有探测器宽度均为1.25mm，为GE医疗系统的MSCT所采用；图1—4为不等宽型的探测器排列示意图，可见宽度为5 mm、2.5 mm、1.5 mm、1mm的探测器宽度，为MARCONI医疗系统和SIEMENS医疗系统所采用

## 二、实际层厚与有效层厚

在常规的CT横断面扫描中，扫描时被扫描的物体静止不动，5mm宽的X线束通过5mm宽的物体，实际层厚与准直宽度一致；而在螺旋CT扫描时，X线束通过扫描物体时已超过了其原来的宽度，这就引出了一个新的概念，称之为有效层厚。因此，在螺旋CT中，关于层厚有两种概念，即实际层厚与有效层厚。这两种层厚概念不同，但容易混淆。实际层厚指的是在数据采集系统建立层厚信息的探测器成份的物理学宽度。有效层厚则是由于重建算法及在球管与被扫描物体同时运动产生的层放大效应后，实际采集数据的层厚。一般来说，有效层厚大于准直宽度。有效层厚与螺距的大小及重建算法有关，螺距越大则有效层厚越厚；360°内插算法较180°内插算法所获得的有效层厚。有效层厚能更恰当描述所获得的层厚。比如在MARCONI医疗系统的MX8000中，若实际层厚为2.5mm，即探测器宽度为2.5mm，而有效层厚为3.2mm。由于不同厂家生产时对其名称不一致，可能造成混淆，在使用时应给予注意，如果层厚标记与探测器组合尺寸一致，多为准直标记，若两者不相符，多为有效层厚标记。如在GE医疗系统给出的就是实际层厚，而MARCONI医疗系统则给出的是有效层厚。

## 三、X线束与层数

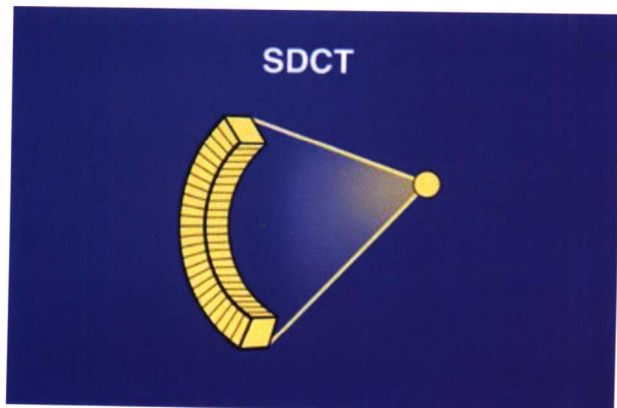


图1—5

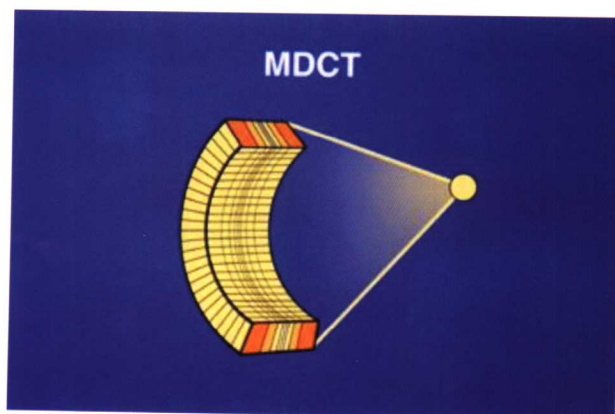


图1—6

图1—5为单层螺旋CT探测器的示意图，球管旋转1周仅可获得1张断面图像；图1—6为4层螺旋CT探测器





的示意图，球管旋转1周可获得4张断面图像

单层螺旋CT通过准直器后的X线束为薄扇形，因Z轴方向只有一排探测器接受信息。4层螺旋CT由于Z轴方向具有4个通道的多列探测器，通过准直器后的X线厚扇形束（图1—5~1—6），其宽度不仅覆盖1列（单层螺旋CT），而是覆盖设计规定的多列探测器。由于锥形线束宽度增加导致扫描过程中每一检测单元射线轨迹与角度不同，几何学误差增加。加之在高速旋转中，X线管在不同部位发出的X线扫描的不会是一层面，因此在MSCT扫描中，重建算法及消除锥形线束伪影的算法是甚为关键的技术。各个厂家均在这方面进行优化。单层螺旋CT机架旋转一周获得一张横断面影像，而4层螺旋CT机架旋转一周可获得4张CT断面影像。同理，16层螺旋CT机架旋转一周则可获得16张CT横断面影像。

#### 四、数据采集通道及决定层厚的方法

单层螺旋CT在Z轴方向上只有1组通道采集数据，因此X线束等于层厚。4层CT则有4组，其层厚不仅取决于X线束的宽度，而且还取决于不同探测器排列的组合。不等宽探测器阵列，如想利用MARCONI医疗系统的MX8000获得5mm层厚，则5mm宽的探测器形成2个通道，内部3排信号组合成2个通道（图1—7）；要获得2.5 mm层厚，则2.5 mm探测器形成2个通道，内部2排信号组合成2个通道；不等宽探测器阵列可通过后准直器对某列探测器进行部分遮盖来完成层厚的选择。位于病人身后的准直器可用于产生最薄的层厚—1mm和0.5mm；为了获得1mm层厚，除了利用中间的2个1mm宽的通道外，其两侧1.5mm厚探测器的外1/3将被遮盖分别形成1mm的通道，从而输出4×1mm层厚的数据信息（图1—8）。注意当采集0.5mm层厚时扫描仪以2个通道工作。对于等宽探测器阵列而言，同样10mm的X线束，可以每4列1.25mm探测器组成1个5mm通道，获得2层5mm厚的影像；也可由每2个1.25mm探测器组成1个2.5mm通道，获得4张2.5mm层厚的影像。如想用GE医疗系统的 LightSpeed获得5mm层厚，要把来自4列探测器的信号组合成1个通道；要获得2.5 mm层厚，要把来自2列探测器的信号组合成1个通道；为产生0.625mm的层厚，要利用病人身后的准直器以部分覆盖内侧2列探测器。与MARCONI医疗系统的MX8000相比，GE医疗系统的LightSpeed在采集0.625mm层厚时以2个通道工作。

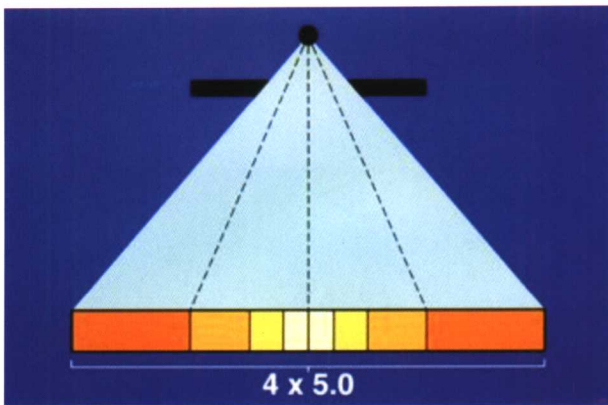


图1—7

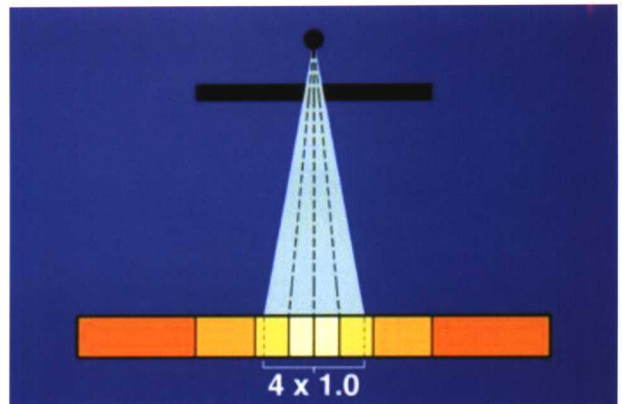
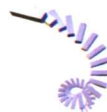


图1—8

图1—7为利用4层螺旋CT不等宽探测器阵列获得5.0mm层厚的示意图；图1—8为利用4层螺旋CT不等宽探测器阵列获得1.0mm层厚的示意图，中间1mm、1.5mm和2.5mm探测器组合成1个输出通道



## 第二节 螺距的概念以及对 CTA 的影响

螺距 (Pitch) 是随螺旋CT出现而伴随出现的一个新的重要概念。单层螺旋CT的螺距指是机架旋转一周床移距离与准直宽度的比, 因此螺距没有单位。

$\text{Pitch} = \text{机架旋转1周的进床距离 (mm)} / \text{准直宽度 (mm)}$  等式1

在单层螺旋CT, 准直宽度等于实际层厚。早期单层螺旋CT的螺距概念是统一的, 这是因为单层螺旋CT的准直宽度只可以产生一张影像。而多层螺旋CT的1个准直宽度包括了多个相邻影像, 各个厂家开发时的独立性与竞争性导致了MSCT螺距公式中分母准直宽度定义的混乱, 因此导致MSCT螺距概念的混乱。其实, 对4层CT而言, MARCONI医疗系统的MX8000的螺距为1等于GE医疗系统的螺距为4; 对于8层CT而言, MARCONI医疗系统的螺距为1等于GE医疗系统的螺距为8; 对于16层CT而言, MARCONI医疗系统的螺距为1等于GE医疗系统的螺距为16。目前主要有2种螺距概念<sup>[2,7,8]</sup>: 即以层厚为分母来计算的螺距概念及以准直宽度来计算的螺距概念, 前者仅有GE医疗系统, 而后者为SIEMENS医疗系统、MARCONI医疗系统以及TOSHIBA医疗系统所采用。这2种螺距公式见等式2和等式3。

$\text{Pitch} = d/s = \text{机架旋转1周床移距离 (mm)} / \text{层厚 (mm)}$  等式2

$\text{Pitch} = d/MS = \text{机架旋转1周床移距离 (mm)} / \text{全部的实际层厚 (准直器宽度} \times \text{层厚) (mm)}$  等式3

其中,  $d$ 为机架旋转一周床移距离,  $s$ 为层厚,  $M$ 为准直器宽度。等式2的螺距定义改变了辐射量、X线束重叠和螺距在单层螺旋CT上确立的关系, 仅用于GE医疗系统, 其有2种扫描方式, 即高质量扫描 (high quality, HQ) 和高速扫描 (high speed, HS); 当主要考虑横断面影像的质量时, 采用HQ扫描, 螺距推荐用3, 用等式3换算为0.75; 而当主要考虑较大的扫描范围时, 采用HS扫描, 推荐用螺距6, 用等式3换算为1.5, 这时的影像质量会下降, 但在可接受的范围内。

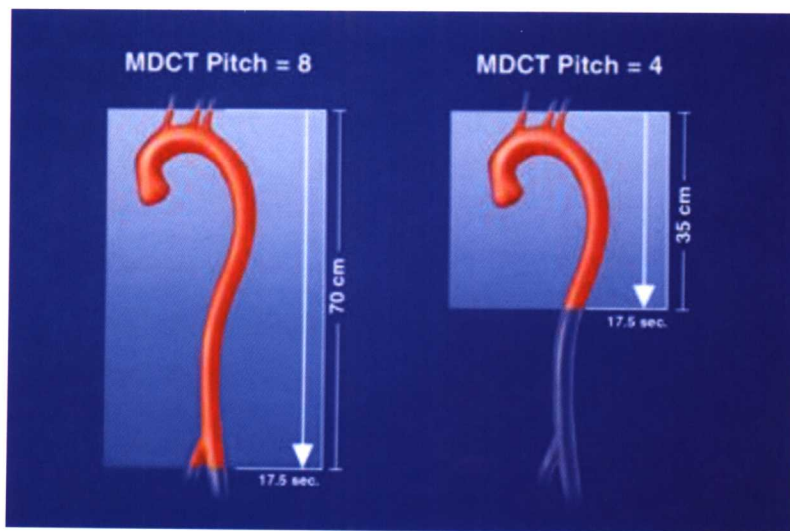


图1—9

图1—9为螺距扩大所致解剖覆盖距离增大的示意图, 对于MSCT而言, 螺距从4增加到8, 解剖覆盖面积增加1倍



等式3的螺距定义同样适用于单层CT与多层CT，它维持了螺距、病人所接受的辐射剂量以及影像质量之间的现存关系。因此，等式3所给出的螺距定义可被广泛接受为螺旋CT系统螺距的定义。有学者建议使用等式3所给出的螺距概念用于统一螺旋CT中螺距概念的混淆，因为这样可以利于比较不同扫描参数，理解不同厂家所用的术语，澄清目前从单层螺旋CT到MSCT转化过程中造成的种种混乱。

在其他条件固定不变的情况下，螺距的大小影响到容积扫描的范围，比如螺距为4时，在相同的时间内可扫描35cm，而当螺距为8时，则扫描范围增加1倍，达70cm（图9）。螺距的大小还会影响到影像的质量。当螺距为1时，说明扫描中X线束首尾相连，既无重叠，也无间隔；当螺距小于1时，说明X线束间有重叠；当螺距大于1时，说明X线束间有间隔，影像质量会下降。在心脏CTA，一般选择小的螺距，是为了进行无间隔扫描，用MARCONI医疗系统的MX8000进行冠状动脉的MSCTA时推荐应用0.375的螺距；在进行大动脉的CTA时，则可适当开大螺距，如选用1.25~1.5的螺距，这样既可得到可以接受的横断面影像质量，也不影响重组后的三维影像质量。因此，选择合适的螺距才能保证CTA的优良影像质量。利用等式3的螺距概念，无论在在单层螺旋CT还是在多层螺旋CT，螺距一般应选择 $1\sim 2$ 之间，原则上不能大于2，螺距大于2所采集的横断面CT影像质量将明显下降。

### 第三节 图像重建

多层螺旋CT的影像重建比单层螺旋CT复杂，但同单层螺旋CT一样，多层螺旋CT的影像重建仍采用 $360^\circ$ 线性内插算法和 $180^\circ$ 线性内插算法。使用这2种算法的主要不足是必须预先权衡空间分辨率、噪音以及螺距之间关系，比如 $180^\circ$ 线性内插算法虽然保留了层面敏感曲线但牺牲了影像噪音； $360^\circ$ 线性内插算法降低了影像噪音，却牺牲了层面敏感曲线。这2种算法有同样的不足，即不能灵活地选择所需影像质量以及所有的投影在重建中未被完全利用。

由于在数据采集过程中心脏在不停地运动，利用标准的重建算法会产生明显的伪影，影响诊断的准确性。在Z轴内插法中利用心电图信号重建一个心脏运动周期的影像，可以减少运动伪影。常用的算法有 $180^\circ$ 多层心脏增量法（ $180^\circ$ MCD）和 $180^\circ$ 多层心脏内插法（ $180^\circ$ MCI）。 $180^\circ$ MCD是指使用仅略大于 $180^\circ$ 数据范围的局部扫描重建算法，对于0.5s的旋转时间，其有效扫描时间大约为250ms~300ms。对于0.5s的CT机，有效扫描时间约为275ms，旋转中心位置的极限为250ms。 $180^\circ$ MCI算法是常用的Z轴内插法，但只使用通过心电图信号选定的数据，有效时间明显减少，对于大部分心率来说，在0.5s的CT机上可以获得100ms以内的有效扫描时间。

### 第四节 多层 CT 机的优越性和局限性

#### 一、优越性

就扫描性能而言，4层MSCT机较常规机快4~8倍。多层CT机解决了常规螺旋CT机扫描范围与层面准直之间的矛盾，从而消除了常规螺旋CT机最为严重的弱点之一。在临床应用中，多层CT机的主要优越性如下：

1. 缩短扫描时间：如上述，4层MSCT较单层螺旋CT的扫描速度快4~8倍，16层CT的速度为单层螺旋CT的16~38倍<sup>[7]</sup>，因此能明显减少运动性伪影，这对儿童、创伤病人、急症重危病人的检查十分有利。
2. 提高实质性脏器的扫描效果，使动态增强扫描的分期更为明确，尤其是在肝脏增强扫描中；16层





CT更易于确切采集肝动脉、门静脉及肝静脉3套血管系统的影像期相,从而为临床提供更为丰富的信息。

3. 有助于调整对比剂用量、浓度及注射速度,16层CT与4层CT相比,将减少1/3的对比剂剂量。

4. 增加扫描范围,降低X线球管损耗,且不降低影像质量:可一次性进行主动脉与周围动脉、胸—腹主动脉、颈动脉自主动脉到大脑内循环等的CT血管成像检查。

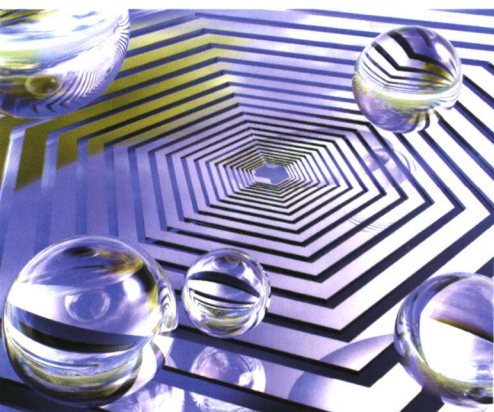
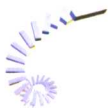
5. 减小扫描层厚,提高三维成像的质量:采用更薄层厚进行检查,大大提高了Z轴方向的空间分辨率,可进行近似各向同性成像,如任意平面成像、多平面重组及三维显示等。

## 二、局限性

多层CT机的主要不利因素为明显增加了CT检查的数据负荷量,特别在选择进行近似各向同性成像时更甚。例如一次长度为60cm的胸腹部扫描,采用1 mm准直,扫描时间50s,可产生500~800帧影像。主动脉及外周动脉一次CTA扫描可产生1000幅以上影像。阅读如此多的CT横断面影像对于CT医生而言是一项繁重的工作,在一些依然打印胶片的单位,全部阅读、打印这些影像将明显增加病人的经济负担,浪费资源。在工作站以电影回放的方式阅读信息有可能减少这些矛盾。随着对CT影像质量的要求越来越高,大范围薄层扫描的机率明显加大,这将增加这部分病人所接受的辐射剂量,虽然,对于既定的实际层厚而言,MSCT的辐射剂量小于单层螺旋CT。目前减少病人所接受的辐射剂量的努力不仅来源于各个CT生产厂家,还来自于影像专业研究人员,用低剂量CT普查肺癌已经提上了日程。

## 参考文献

1. Kalender WA. Spiral or helical CT: right or wrong? *Radiology*, 1994, 193 (2): 583
2. Silverman PM, Kalender WA, Hazle JD. Common terminology for single and multislice helical CT. *AJR*, 2001, 176 (5): 1135-1136
3. 柳澄,秦维昌.多层螺旋CT(一).*医学影像学杂志*, 2000, 10 (3): 194-195
4. 卫生部影像装备专家组.2001年北美放射学会第87届年会大型影像学装备的技术进展.*中华放射学杂志*, 2002, 36 (9): 860-864
5. 柳澄.多层螺旋CT应用中3个混乱概念的澄清.*医学影像学杂志*, 2002, 12 (6): 467-468
6. 祁吉.医学影像学的进展及其对临床医学的影响.*中华放射学杂志*, 2003, 37 (纪念特刊): 11-17
7. Dawson P, Lees WR. Multi-slice technology in computed tomography. *Clin Radiol*, 2001, 56 (4): 302-309
8. Rydery J, Liang Y, Teague SD. Fundamentals of multichannel CT. *Radiol Clin N Am*, 2003, 41 (4): 465-474
9. 崔世民,王怡,谢文石,主译.计算机体层成像.北京:人民卫生出版社,2003, 53-70
10. 柳澄,秦维昌.多层螺旋CT(二).*医学影像学杂志*, 2001, 11 (1): 53-54
11. www.ctisus.org



## 第二章 多层螺旋 CT 血管成像及后处理技术

螺旋CT的问世，使CT采集容积数据成为可能，从而有可能重组出CT的三维影像。利用CT数据获得的三维影像已可应用于全身各个器官，从骨骼到含气管腔以及血管系统，后者亦即CT血管成像（CT angiography, CTA）。何谓CT血管成像？它指的是经静脉注射对比剂后，在循环血中及靶血管内对比剂浓度达到最高峰的时间内，进行螺旋CT容积扫描，经计算机最终重建成为靶血管数字化的立体影像。有很多因素影响CTA的影像质量，而对比剂注射、延迟时间的确定以及采集参数是CTA成功的关键因素。以下3方面构成了CTA的主要原则：在数据采集期间有良好的靶血管增强，而非靶血管不增强或增强不明显；团注对比剂首次循环时CTA要有足够的容积覆盖；延迟时间定时准确。除了对比剂的应用外，后处理技术方法的选择也容易受到人为因素的影响，同时也影响CTA最终影像的质量及视觉效果。因此本章主要讨论CTA中对比剂应用及后处理技术。

### 第一节 CT 血管成像

#### 一、CT 血管成像的影响因素

有很多因素影响CTA最终影像的质量，这些影响因素主要有以下10个：（1）生理和病理因素的影响：如体重、年龄、循环时间、心功能等；（2）层厚：层厚明显影响CTA的影像质量，层厚过厚由于部分容积效应小血管显示不佳；层厚过小则明显增加了扫描时间，同时也增加了病人所接受的辐射剂量；（3）螺距：如前述，螺距影响扫描的范围以及所获三维影像的质量，螺距小则扫描范围小，螺距加大则扫描范围加大，但影像质量随之下降；（4）重建间隔：一般采用50%的重建间隔认为最好；（5）线性内插算法：180°线性内插算法较360°线性内插算法的层面敏感曲线明显降低，但噪声增加12%~13%；螺距大于1时，应采用180°线性内插算法；（6）背景密度高低的影响：背景密度增高，其与靶血管的密度对比相对降低，会增加显示靶血管的难度；（7）小血管走行方向与扫描层面关系的影响：纵向走行血管的分辨率高于横向走行血管的分辨率；（8）横断面影像噪音的影响：影像噪音增加，对比分辨率降低，不利于小血管的显示；（9）对比剂应用的影响，见以下CTA对比增强部分的介绍；（10）成像方法与成像体位的影响。



## 二、CTA 对比增强

CT的对比增强比磁共振的对比增强要简单些,因为磁共振的对比增强受到磁敏感伪影的影响。在CT的对比增强中,每输入1mg碘,CT值增加25HU。对比剂从静脉注入后迅速按浓度梯度分布到血管间隙,之后经由肾脏排泄。在肝脏,对比剂在血管内与血管外再分布期间称为平衡期。平衡期到达的快慢与输入对比剂的量与速率有关,速率快则平衡期到达得快,速率慢则平衡期到达得也慢。传统CT难以在平衡期到达前进行成像,单层螺旋CT扫描速度加快使得在平衡期到达前成像成为可能,MSCT的扫描速度比单层螺旋CT快28%,完全可以使肝脏的成像在增强的峰值时进行。在CTA中,MSCT靶组织采集数据时同样需要靶血管内的对比剂浓度达到峰值,而非靶组织不强化或强化弱,以利于进行后处理重建。以下主要讨论CTA时对比剂应用时应注意的问题。

### 1.对比剂选择

进行CTA时,必须使用碘对比剂。碘对比剂按分子结构分为离子型和非离子型2大类,而前者与后者相比有明显的副反应及肾毒性。常规CT增强及CTA时应选择非离子型对比剂。

对比剂中碘的浓度目前最常用的是300mg I/ml。高浓度的对比剂,如400mg I/ml有利于满足肥胖病人及进行CTA者的成像要求。高浓度对比剂能明显改善主动脉及肝脏增强,改善富血供性肝癌的检出率。Tanikake等的研究还认为350 mg I/ml对比剂较300mg I/ml对比剂虽未能明显改进肝动脉的影像质量,但更利于显示血管细节,有利于诊断。

在一定范围内,对比剂的用量与血管强化的程度成正比。对比剂量越大,血管强化峰值越高,峰值的维持时间越长。进行CTA时有2种选择对比剂量的方法,即经验法和以体重为基础的计量法,前者简便易行,而后者似更加精确。一般来讲,采集CTA时应根据体重计算对比剂用量,单层螺旋CT按1.5~2.0ml/kg计算,4层螺旋CT可按1.3~1.5ml/kg计算。文献中报道16层螺旋CT的对比剂量较4层螺旋CT节省1/3~1/2,如4层螺旋CT主动脉CTA需用100ml对比剂,16层螺旋CT可用55ml;4层螺旋CT下肢动脉的CTA用160ml,16层螺旋CT用110ml。推荐对比剂量按1.3~1.5ml/kg计算。

### 2.对比剂注射问题

目前对比剂注射方式已基本废弃了最初应用的双相注射法,常规采用单相注射,且以较高速度团注方式注射,以使对比剂在靶血管内保持相对高的浓度。

高压注射器为进行CTA所必须,通过高压注射器容易准确进行对比剂的注射,选择更加的精确的对比剂注射速率、延迟时间。手推注射对比剂的方式尽量不应用。

注射速度影响血管与实质器官的增强,从而可能影响CTA的影像质量。在对比剂量适当并固定时,注射速度快,对比剂强化峰值越高,且达到峰值的时间越短,但注射速度加快,副反应的发生率也相应增加;注射速度增快时,虽然靶血管显影快,强化峰值高,但实质器官及静脉提早显影,影响对动脉的观察。有报道认为在肘前静脉以较低流速(2~2.5ml/s)注射对比剂时有利于靶血管均匀强化,且强化效果良好,无须行试验扫描。但目前国内外均强调应用较快的注射速率。国外研究多应用认为4ml/s以上的流率,并认为5ml/s的流率有利于改善肝动脉的三维影像质量。国内研究多采用3ml/s的流率,并认为这一流率既能产生较好的影像质量,副反应的发生率也低,因此推荐进行CTA时常规应用。

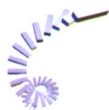
肘前静脉为对比剂注射的常用部位,一般首选左侧,因为在存在双侧上腔静脉时,这一注射部位输入对比剂为诊断提供了更确切的依据。若肘前静脉处存在病变而不能选择时,可选择手背或足背静脉,但这些部位的注射明显增加了对比剂到达峰值的时间及峰值强度,常常不能获得满意的影像质量,因此不作为常规应用。

### 3.延迟时间的最佳选择

在CTA中,有3个关键的因素影响着血管成像的质量,即纵轴分辨率、扫描速度以及腔内对比剂增强。目前随着MSCT的广泛应用,其纵轴分辨率、扫描速度有了明显改进,可以常规采集2.5 mm层厚的影







像，使 Z 轴的分辨率几近各向同性。快速的扫描能力加之纵轴分辨率提高相辅相成，使肝脏多期采集容积数据进行血管系统的三维显示不仅成为可能，而且具有很高的准确性。扫描时间的缩短明显减少了呼吸运动所致的伪影，并且减少了对比剂的用量，这是因为在 CTA 采集期间对比剂团注的时间应等于实际扫描时间。因此从理论上讲，更短的扫描时间导致更低的对比剂用量。对比剂用量减少的意义在于增加了病人的安全性以及舒适性，减少了费用。但扫描时间的缩短也带来了一个问题，即对比剂团注时间越短，对比剂在血管腔的峰值时间就更难以捕捉，更容易导致延迟的错误，这就要求在进行 CTA 之前必须准确地设定延迟时间。进行 CTA 时，需要充分显示靶血管及病变，这要求以良好的增强为基础，比如为显示肝动脉，则门静脉和肝静脉应尽量不增强或增强轻微；若为了显示门静脉，则肝动脉和肝静脉最好不显示；这就要求准确地确定延迟时间。选择延迟时间的方法有 3 种，即经验延迟法、小剂量预实验以及对比剂团注追踪法。

经验延迟时腔内对比剂峰值增强采集受到很多因素影响，如病人的心输出量、对比剂流率、注射部位、扫描方向、对比剂本身的药代动力学特性等，难以取得最佳的腔内对比剂增强，而最佳的腔内对比剂增强是成功的 CTA 至关重要的一环。按经验延迟法进行的扫描有时会因为延迟时间太早导致对比剂未达到峰值时采集而难以取得三维影像，或因为延迟时间过晚靶血管峰值已过也难以取得优良的三维影像。但很多医疗机构因为病人多，多采用经验延迟方法，因为本法简便易行，在大多数情况下均可以取得具有诊断价值的影像。

小剂量预实验法为许多研究所采用，认为能在腔内对比剂达到峰值时采集 CTA 影像。该方法要求以 3~5ml/s 的流率注射 10~15ml 对比剂在设定的延迟时间后于靶血管的某一层面以 2 s 间隔连续动态扫描。计算机将靶血管内感兴趣区的密度变化自动绘制成时间密度曲线，曲线的最高点所对应的时间被认为是最佳的延迟时间，即对比剂到达峰值的时间（图 2—1）。然而有人认为采用对比剂团注实验法与主动脉某一层面增强的阈值水平而非对比剂增强的峰值有关。该方法的不足之处在于需要额外的对比剂，增加了病人所接受的辐射剂量，在注射部位选择不佳或注射部位血管不合适时不能产生明显的增强峰值以及因为定时短而病人心功能低，对比剂到达峰值的时间远远超过了动态采集时间，这时则不能确定最佳的延迟时间。

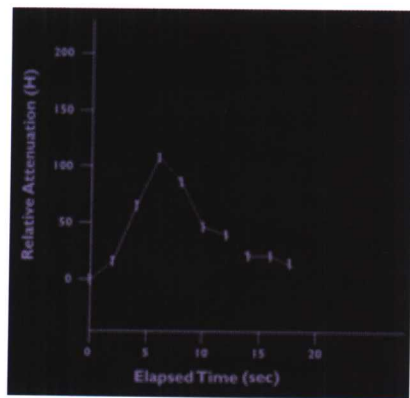


图 2—1

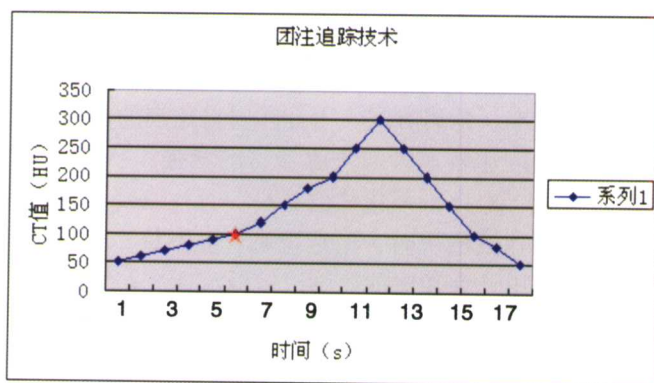


图 2—2

图 2—1 小剂量预实验所测主动脉的时间密度曲线，以主动脉 CT 值达到最大值的时间为对比剂到达的峰值时间，以此时间为延迟时间启动扫描；图 2—2 对比剂团注追踪技术 预先设定当 CT 阈值超过 100HU 时（红色星号处），CT 设备会自动启动扫描程序

对比剂团注追踪技术在肝脏成像中广为应用，也用于肝脏的双动脉期扫描。该方法是将感兴趣区置于靶血管内，在注入对比剂后，亦在同一层面连续采集动态影像，当感兴趣区内的密度值超过了预先确