

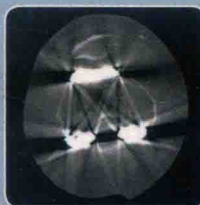
CT快速入门丛书

CT

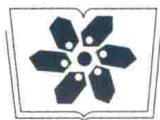
技术原理与操作技巧

主 审 沈 云 牛延涛 李剑颖 田中功
主 编 郭 英 张 艳 刘 杰 刘大亮 耿 华
副主编 郭森林 许 骅 顾 俊 郭 金 福井利佳

非
外
借



科学出版社



CT 快速入门丛书

中国科学院科学出版基金资助出版

CT 技术原理与操作技巧

主 审 沈 云 牛延涛 李剑颖

田中功

主 编 郭 英 张 艳 刘 杰

刘大亮 耿 华

副主编 郭森林 许 骅 顾 俊

郭 金 福井利佳

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了CT成像的原理,近50年来的CT技术进展,CT图像质量的评价与影响因素,并借助图文示例向读者展示CT扫描和后处理的操作技巧,通过视频呈现工作站后处理技巧与3D图像的最佳效果,最后简要论述了CT在各部位的临床应用。

全书内容新颖、简洁,理论阐述深入浅出,可供医学院校影像专业医学生、影像科年轻医生和从事CT临床与科研工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

CT技术原理与操作技巧 / 郭英等主编. —北京: 科学出版社, 2019.1
(CT快速入门丛书)

ISBN 978-7-03-059403-7

I. ①C… II. ①郭… III. ①计算机化X射线断层扫描仪-理论 ②计算机化X射线断层扫描仪-使用方法 IV. ①TH774 ②R814.42

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第253740号

责任编辑: 马晓伟 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 吴朝洪

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年1月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

2019年1月第 一 次印刷 印张: 7 3/8

字数: 184 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《CT快速入门丛书》编委会

编委 (按姓氏笔画排序)

王 悍 ¹	王庆国 ¹	王志群 ²	王玲玲 [*]	王霄英 ³
牛延涛 ⁴	石 磊 ⁵	田中功 ⁶	邢 艳 ⁷	吕培杰 ⁸
刘 杰 ⁸	刘 斌 ⁹	刘大亮 ¹⁰	刘文亚 ⁷	刘爱连 ¹¹
许 骅 [☆]	孙记航 ¹²	严福华 ¹³	杜祥颖 ¹⁴	李 铭 ¹⁵
李 琳 ¹⁶	李小虎 ⁹	李坤成 ¹⁴	李剑颖 [*]	汪 芳 ¹⁷
汪禾青 ¹¹	沈 云 [★]	张 艳 ¹⁸	张 璋 ¹⁹	张云亭 ¹⁹
张丽娜 ¹¹	张国桢 ¹⁵	陈克敏 ¹³	林晓珠 ¹³	罗娅红 ²⁰
周 诚 ²¹	周纯武 ¹⁶	郑林丰 ¹	赵丽琴 ²²	赵雪松 ¹³
段 青 ²³	贺 文 ²²	耿 华 [*]	贾永军 ²⁴	顾 俊 [*]
徐文坚 ²⁵	徐学勤 ¹³	高 艳 ¹⁴	高剑波 ⁸	郭 英 [*]
郭 金 [*]	郭 钹 ²¹	郭小超 ³	郭森林 ⁴	唐 磊 ²⁶
崔久法 ²⁵	彭 芸 ¹²	董 诚 ²⁵	董 越 ²⁰	蒋 炯 [*]
蒋 奕 ⁷	福井利佳 ⁶	薛蕴菁 ²³		

编委单位

- 1 上海交通大学附属第一人民医院
- 2 北京中医药大学东方医院
- 3 北京大学第一医院
- 4 首都医科大学附属北京同仁医院
- 5 浙江省肿瘤医院
- 6 东京女子医科大学东医疗中心
- 7 新疆医科大学第一附属医院
- 8 郑州大学第一附属医院
- 9 安徽医科大学第一附属医院
- 10 聊城市人民医院

- 11 大连医科大学附属第一医院
- 12 首都医科大学附属北京儿童医院
- 13 上海交通大学医学院附属瑞金医院
- 14 首都医科大学宣武医院
- 15 复旦大学附属华东医院
- 16 中国医学科学院肿瘤医院
- 17 宁夏回族自治区人民医院
- 18 北京大学第三医院
- 19 天津医科大学总医院
- 20 辽宁省肿瘤医院
- 21 北京医院
- 22 首都医科大学附属北京友谊医院
- 23 福建医科大学附属协和医院
- 24 陕西中医药大学附属医院
- 25 青岛大学附属医院
- 26 北京大学肿瘤医院
- * GE 医疗中国 CT 影像研究中心
- ☆ GE 医疗中国 CT 应用培训部
- ★ 北京推想科技全球临床科研合作学院

《CT技术原理与操作技巧》编写人员

主 审

沈 云 北京推想科技全球临床科研合作学院

牛延涛 首都医科大学附属北京同仁医院

李剑颖 GE 医疗中国 CT 影像研究中心

田中功 东京女子医科大学东医疗中心

主 编

郭 英 GE 医疗中国 CT 影像研究中心

张 艳 北京大学第三医院

刘 杰 郑州大学第一附属医院

刘大亮 聊城市人民医院

耿 华 GE 医疗中国 CT 影像研究中心

副主编

郭森林 首都医科大学附属北京同仁医院

许 骅 GE 医疗中国 CT 应用培训部

顾 俊 GE 医疗中国 CT 影像研究中心

郭 金 GE 医疗中国 CT 影像研究中心

福井利佳 东京女子医科大学东医疗中心

编 者 (按姓氏笔画排序)

卢禹流 北京大学第三医院

孙记航 首都医科大学附属北京儿童医院

汪 芳 宁夏回族自治区人民医院

贾永军 陕西中医药大学附属医院

曹会志 GE 医疗中国 CT 影像研究中心

潘 宁 北京推想科技全球临床科研合作学院

《CT快速入门丛书》序

作为一位世纪老人，一名有幸能与北美放射学会（RSNA，始建于1915年）同龄的放射学工作者，我非常荣幸地见证了医学影像学百年以来的发展历程与脚步。

近一个世纪，放射学界经历了无数激动人心的时刻，产生了很多具有跨时代意义的发明创造，已经成为临床医学中发展最快的学科。这些发明正在以前所未有的速度改变着医学影像者的工作方式，同时极大地影响了整个医疗行业的发展。然而在诸多具有历史意义的技术革新中，CT（computed tomography）的问世毫无疑问是一个里程碑。

自亨斯菲尔德先生于1972年发明世界上第一台CT机起，计算机体层显像技术就成为医学影像界的焦点。在海内外同仁的共同努力下，经过几十年的发展，CT从当年的旋转平移式发展成今天的多排螺旋式。第一代CT机起初只能对头部进行成像，接下来又经历了体部及全身成像、快速成像、心血管成像及能量成像等发展阶段，使影像诊断工作从早期基于解剖形态的单一模式发展成如今基于形态、功能的多参数诊断模式。CT技术早已被广大医疗同行认可，并日趋成为现代医学诊断技术中不可或缺的中坚力量。

1979年，在我担任北京医院放射科主任期间，北京医院引进了国内第一台全身CT机，由此我有幸成为国内同行中第一个“吃螃蟹”的人。为了能与广大同仁分享自己的经验，我们于1985年编写了国内最早的CT专著之一——《临床体部CT诊断学》，之后又在该书

的基础上进行扩充形成了《临床 CT 诊断学》。正如我之前所说，医学影像学的发展速度是惊人的，CT 技术的更新换代也是日新月异的，这两本书已经不能满足目前 CT 工作的需要。并且，对本专业刚入门的年轻人来说，浩如烟海的知识和信息会使他们觉得眼花缭乱、无从下手。令人欣慰的是，《CT 快速入门丛书》作为一套初级宝典，为引领新人入门提供了一条捷径。该丛书按人体部位（颅脑和头颈部、胸部、消化系统、泌尿生殖系统、骨关节肌肉系统、心血管系统）及解剖、技术与常见肿瘤进行分册，以最新且全面的 CT 知识为框架，以生动的病例为基础，深入浅出地为初学者讲述临床中最常见、最重要疾病的一般表现，使年轻医生能够全面、系统、有的放矢地进行学习。该丛书汇集了大量的影像图、简约线条图及示意图，以方便读者理解和记忆。

最后，衷心感谢为编写该丛书而辛勤付出的青年学者，是他们用临床工作中摸索出的经验和体会为后来人点燃了一盏引航明灯。在此，由衷希望《CT 快速入门丛书》的出版能和祖国放射医学界年轻人的培养教育工作相辅相成、相得益彰。

北京医院放射科 教授

李果珍

2017 年 3 月 9 日

前 言

当今，CT 技术领域正经历着日新月异的发展，CT 技术的研究和开发也正处于比以往任何时候都活跃的时期。从 64 排 CT 到 256 排 CT 和 320 排 CT，从单球管 CT 到双球管 CT，从常规 CT 再到能量 CT、光子 CT，虽然 CT 机的外形、特性及应用均有了全新的发展，但是 CT 的基础理论却是一样的。如今 CT 已成为医院的基本诊断工具，帮助初学者快速理解 CT 成像原理，了解 CT 技术发展，熟悉入门操作，掌握重建技巧，是我们编写本书的初衷。

本书共 5 章，全面介绍了 CT 技术原理及重要性能参数、CT 图像质量的评价和影响因素、CT 检查技术、CT 后处理操作与技巧以及 CT 的临床应用价值，内容新颖、简洁，理论阐述深入浅出，可供医学院校影像专业医学生、影像科年轻医生和从事 CT 临床与科研工作的人员参考。

本书的理论与实践均源自编者的日常工作和临床经验总结。理论部分参考了大量的相关领域经典书籍及最新文献，临床图片则来自不同的 CT 设备和后处理工作站，以期帮助读者了解目前主流 CT 的扫描和后处理操作。同时通过视频呈现工作站后处理技巧与 3D 图像的最佳效果，为本书增添不少光彩。

在此向参与编写的专家、学者表示衷心的感谢，同时也希望本书能为放射学界的科普与教育事业助力！

GE 医疗中国 CT 影像研究中心

郭 英

2018 年 12 月

目 录

第一章 CT 技术原理及重要性能参数	1
第一节 CT 的发展史	1
第二节 CT 的主要部件	4
第三节 螺旋 CT 与多层 CT 的技术原理	11
第四节 CT 低剂量技术原理	17
第五节 CT 心脏成像技术原理与进展	29
第六节 CT 能量成像技术原理	48
第七节 CT 灌注成像技术原理	59
第二章 CT 图像质量的评价和影响因素	64
第一节 CT 图像质量的评价标准	64
第二节 CT 图像伪影原因和校正	72
第三章 CT 检查技术	89
第一节 CT 检查前准备（通用）	89
第二节 颅脑与头颈部 CT 检查技术	92
第三节 体部 CT 检查技术	99
第四节 心脏 CT 检查技术	113
第五节 儿童 CT 检查技术	118
第六节 能量 CT 检查技术	126
第四章 CT 后处理操作与技巧	133
第一节 CT 图像的三维成像方法	133
第二节 能量 CT 图像的后处理与三维重建	159
第三节 不同检查部位的图像后处理原则与技巧	193
第五章 CT 在各部位的临床应用价值	205
第一节 总则	205

第二节	CT 在头颈部的应用价值	207
第三节	CT 在胸部的应用价值	209
第四节	CT 在消化系统的应用价值	211
第五节	CT 在心血管系统的应用价值	212
第六节	CT 在泌尿生殖系统的应用价值	214
第七节	CT 在骨肌系统的应用价值	216
第八节	CT 成像技术新进展的临床应用价值	217

第一章

CT 技术原理及重要性能参数

第一节 CT的发展史

Hounsfield 博士发明 CT 时, CT 只能用于头部扫描(图 1-1)。第一台体部 CT 机是 Robert S. Ledley 设计的 ACTA (automatic computerized transverse axial) 扫描仪, 这台扫描仪的探测器上有 30 个光电倍增管, 仅需 9 次平移/旋转就可以完成 1 次扫描。自从第一台 CT 机问世以来, CT 技术迅速发展, 扫描速度从最早的几百秒级缩短到亚秒级, 层厚从 10mm 减小到 0.5mm, 而探测器排数则从单排增加到目前 16cm 的 256 排或 320 排。



图 1-1 G.N.Hounsfield 博士和电磁干扰 CT (EMI CT)

在螺旋 CT 诞生之前, 根据 CT 发展的时序和结构特点, 可将其大致分成 5 代: 第一代为平移/旋转方式; 第二代为平移/旋转方式;

第三代为旋转 / 旋转方式；第四代为固定 / 旋转方式；第五代为电子束扫描（表 1-1）。其中第三代 CT 的设计已为现代 CT 所采用，1998 年在北美放射学会（RSNA）年会上问世的多排螺旋 CT 也是采用这种设计方案，其与第三代 CT 不同的是，探测器由单排变为多排，同时 X 线束也由扇形束变为锥形束。

表 1-1 螺旋 CT 诞生之前 CT 的分代

分代	模式	X 线束	探测器数目	特点
第一代	平移 / 旋转	笔形束	单个	头颅专用机，扫描时间很长
第二代	平移 / 旋转	较小角度扇形束	多个、直线排列	扫描时间较长，探测器直线排列，需校正
第三代	旋转 / 旋转	扇形束 ($30^{\circ} \sim 60^{\circ}$)	$600 \sim 1000$ 个， $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 圆周分布	扫描时间短
第四代	固定 / 旋转	扇形束	360° 圆周分布	探测器数量多、成本高
第五代	电子束扫描	4 个扇形束	210° 圆周分布	扫描速度很快，适用于心脏成像，图像质量差

1989 年，科学家们在旋转 / 旋转扫描技术的基础上，采用滑环技术和连续进床的理念开发出螺旋 CT。滑环技术使球管和探测器沿一个方向作连续旋转，结合连续进床，扫描轨迹呈螺旋状前进，因而得名螺旋 CT（helical CT 或 spiral CT）。以滑环技术为主的螺旋 CT 是 CT 发展史中一个重要的里程碑，它极大地提高了扫描速度和临床应用范围，也奠定了今后 CT 发展的方向。1998 年 RSNA 年会推出的 4 排螺旋 CT 把螺旋 CT 设备的性能和功能提高到了一个新的高度，宣告了多排螺旋 CT 时代的到来，随后 16 排螺旋 CT 于 2001

年问世，64 排螺旋 CT 于 2004 年问世。64 排螺旋 CT 的问世是 CT 发展史上又一个里程碑，它采用对称型的探测器阵列设计，实现了三维容积成像，并且使心脏 CT 检查成为常规。

CT 自进入 64 排时代之后，其向何处发展再一次成为放射界学者们关心的一个问题。在 2008 年 RSNA 年会上，4 家主流厂商给出了不同的回答，CT 技术步入百花齐放的后 64 排时代，出现了横向、纵向 2 个发展方向。横向主要针对扫描速度和临床应用的开发，体现在时间分辨率的不断提升和覆盖范围的增宽，包括追求“快”的双球管技术、追求全器官覆盖和灌注成像的“宽”探测器设计；纵向主要体现在提高图像空间分辨率、密度分辨率，更充分地挖掘病灶的性质，主要是以能谱成像为代表的双能量技术。在不同的 CT 发展方向中，能量成像引起了业界的关注，其优势在于实现了多参数成像，其较之传统成像单一的 CT 值，影像信息得到了极大的丰富；并且在常规 CT 所具备的时间分辨率和空间分辨率的基础上，还实现了能量分辨率，通过单能量成像、物质分离技术及能谱曲线的绘制，可进行物质的化学成分分析，为组织的性质和功能评价提供更多信息和参考。

(郭 英)

第二节 CT的主要部件

一、球管和高压发生器

球管是 X 线 CT 中的重要部件，它是设备的信号源。在扫描过程中，球管发射出扇形射线，被扫描的人体断层包含在扇形束范围内，穿过人体的射束则被检测器阵列所吸收。

高压发生器是产生 X 线的能量来源，其一方面提供球管所需要的高压电场；另一方面提供球管使灯丝加热的电流。一般的高压发生器由高压变压器、X 线球管灯丝变压器、高压整流器、高压交换闸、高压插头和插座等高压元器件构成，按要求组装后置于方形或圆形钢板制成的箱体内。箱体内充以变压器油，以加强各部件之间的绝缘和散热，并且箱体应接地，以防高压电击造成的危害。

随着 CT 技术的不断发展，CT 设备内开始采用固态高压发生器。固态高压发生器体积可以缩小到常规发生器的近 1/10，从而大大减轻了扫描架转动部分的重量；由于多层螺旋追求高速扫描，多数转速已达到每周小于 0.5s（各厂家最高端的 CT 设备大部分达到每周小于 0.3s），旋转部分的离心力很大，油浸高压发生器很容易发生漏油而导致损坏，固态高压发生器则杜绝了这一隐患。

二、探测器和数据采集系统

检测器是一种将 X 线能量转换为可供记录的电信号的装置，通过测量它接收到的 X 线能量，产生与 X 线能量成正比的电信号。

CT 的性能差异很大程度上与所采用的探测器技术的不同有关。探测器的发展主要体现在两大方面：首先是制作探测器的材料的重大改进，其次是在 Z 轴方向上覆盖宽度的增加，即探测器

排数的增加。

探测器在制作材料上经历了以下几个发展阶段。

(1) 钨酸镭晶体探测器：固体探测器为 20 世纪 70 年代的产品（图 1-2），它的优点为造价低，吸收率较高；缺点为易潮解，有毒性，易受环境温湿度影响，不稳定，有余辉效应，不易超小分割。目前钨酸镭晶体探测器已经被彻底淘汰。

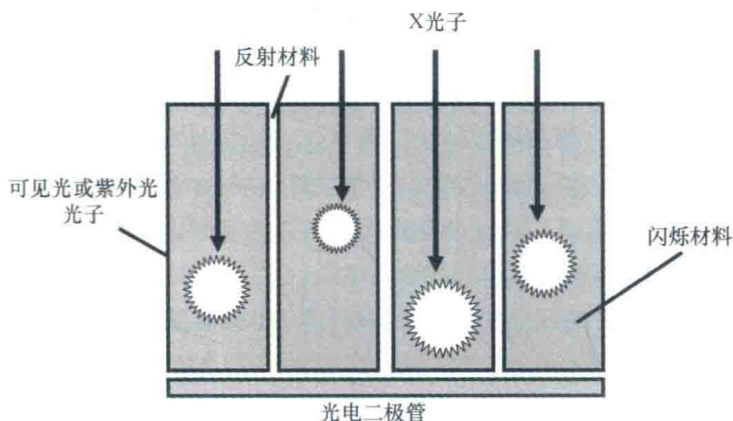


图 1-2 固态探测器示意图

(2) 高压氙气探测器：利用的是氙气电离原理，入射的 X 线使氙气产生电离，通过测量电流的大小测得入射 X 线的强度。高压氙气探测器是由一系列单独的氙气电离室构成的。将各个中心收集电极引线接至相应的前置放大器，氙气电离室内充满氙气。当入射 X 线进入各个氙气电离室时，将氙气电离，正离子由中心收集电极接收，负离子（电子）则被隔板接收。正、负离子的定向运动形成电离电流。电离电流与入射的 X 线强度（光子数）成正比，但很微弱。经过前置放大器放大后，送入数据采集系统。

(3) 闪烁晶体探测器：为利用射线能使某些物质闪烁发光的特性来探测射线的装置。CT 扫描机上所用的探测器一般使用 NaI、CsI、CsF₂ 等闪烁晶体，再与光电倍增管组合起来，闪烁晶体的发光

光谱和光电倍增管的感光度分布尽量选择一致。由于此种探测器的探测效率高,分辨时间短,既能探测带电粒子,又能探测中性粒子;既能探测粒子的强度,又能测量其能量,鉴别其性质,因而闪烁探测器在 CT 扫描机中得到了广泛的应用。

(4) 稀土陶瓷探测器:目前各一线厂家基本都采用高效的固态稀土陶瓷探测器,这类探测器所采用的陶瓷闪烁体是向主基体内有选择性地固溶一定量的稀土和碱土离子而制成的,其转换效率极高且余辉时间极短,使 X 线的利用率从原来的 50% 提高到了 99% 以上,适合螺旋扫描要求的高效率、短时间反复采集信号。此种探测器与晶体探测器和气体探测器相比具有更高的转换效率,可以用小剂量的 X 线获得比较好的 CT 图像,在低剂量肺部 CT 筛查方面具有很大的优势;并且其具有很好的稳定性,图像很少产生环形伪影;余辉时间短,可以做快速连续的螺旋扫描。

此外,探测器由单排发展为多排是 CT 设备的一个重要改革。1991 年以色列 Elscint 公司推出的双层螺旋 CT-TWIN 是多层扫描的先驱。发展至今,各大公司产品均有多排探测器。探测器可通过电子开关灵活地组合形成不同层厚。多层螺旋应用的探测器大致可分为两类:等宽型探测器和不等宽型探测器。两类不同排列方式的探测器组合各有利弊。等宽型探测器排列组合的形式较灵活,但是外周的 4 (或 8) 排探测器只能组合成一个宽探测器,其间隔会造成有效信息的丢失,较不等宽型探测器效率低。不等宽型探测器的优势在于宽层厚时,探测器的间隔较少,量子吸收效率较高;不足之处是层厚组合不如等宽型探测器灵活。

数据采集系统 (data acquisition system, DAS) 是 CT 设备的重要组成部分。其位于机架内,主要功能是接收由探测器输出的模拟信号,并通过模 / 数转换使其成为数字形式的投影信号。