



卢虹冰 主编

宋文强 张国鹏 马建华 副主编



HIGHER EDUCATION PRESS

013047926

R445
39



教育部大学计算机课程改革项目规划教材

医学成像及处理技术

Yixue Chengxiang ji Chuli Jishu

卢虹冰 主 编
宋文强 张 鹏 马建华 副主编
马斌荣 范 毅 主 审



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING



北航

C1655685

R445
39

380740810

内容提要

本书按照教育部高等学校医药类计算机基础课程教学指导分委员会颁布的《高等医药院校计算机教学基本要求及实施方案》，由全国多所著名高等医药类院校从事“医学成像及处理技术”课程教学及研究的一线教师和技术人员编写而成。

本书以医学成像及处理技术为对象，围绕医学成像设备的基本原理和医学图像处理技术，介绍了常用医学成像设备的原理以及临床实践中常用的图像处理方法。本书主要内容包括：医学成像技术概论，医学图像处理技术概论，医学图像增强技术，医学图像重建技术，医学图像恢复技术，医学图像分割技术，医学图像可视化技术及应用，医学图像存储与传输系统等。

本书章节结构的设置符合人才培养的认知规律，全书内容丰富，深入浅出，注重理论与实际的结合，特别是各种图像处理方法在临床实践中的应用。为方便教学，中国高校计算机课程网上提供了本书相关教学资源的下载，网址为：<http://computer.cncourse.com>。

本书既可作为高等学校基础医学类、临床医学与医学技术类本科生的专业基础课教材，也可作为医学影像学、临床工程和生物医学工程专业学生的必修课教材，亦可供医学影像与临床相关领域的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

医学成像及处理技术/卢虹冰主编. —北京：高等教育出版社，2013.5

ISBN 978-7-04-036851-2

I. ①医… II. ①卢… III. ①影像诊断-成像系统-高等学校-教材 IV. ①R445

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第009064号

策划编辑 饶卉萍
插图绘制 尹莉

责任编辑 唐德凯
责任校对 张小镝

封面设计 张雨薇
责任印制 张福涛

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 北京七色印务有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 20
字数 490千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版次 2013年5月第1版
印次 2013年5月第1次印刷
定价 29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 36851-00

本书编委

主 编：卢虹冰

副主编：宋文强 张国鹏 马建华

编 委：（以姓氏笔画为序）

马建华（南方医科大学）

王 静（北京大学医学院）

卢虹冰（第四军医大学）

朱 霆（第四军医大学西京医院）

吴雅琴（内蒙古医学院）

宋文强（第三军医大学）

张国鹏（第四军医大学）

邱明国（第三军医大学）

陈 炜（福建中医药大学）

罗海琼（广西医科大学）

赵海涛（第四军医大学西京医院）

常小红（第四军医大学）

序

教育部高等教育司发布的《关于公布大学计算机课程改革项目名单的通知》（教高司函〔2012〕188号）指出，为着力提升大学生信息素养和应用能力，推动以大学生计算思维能力培养为重点的大学计算机课程改革，批准22个项目为大学计算机课程改革项目。卢虹冰教授牵头的“面向计算思维的医药院校大学计算机基础课程改革”是其中之一。

随着计算科学的发展及与自然和社会各个学科的日益结合，它已从最初的数值计算工具、仿真与电子服务等平台，变成普遍适用于自然和社会领域的通用思维模式。美国卡内基·梅隆大学周以真教授提出了计算思维的概念，并认为计算思维是运用计算机科学的基础概念进行问题求解、系统设计以及人类行为理解等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动。因此，学生是否具有计算思维能力并用来分析解决医学相关问题，成为医药院校计算机基础教学面临的重大挑战。

今后大学计算机课程深化改革体现在：（1）在教学过程中，应以计算思维培养为切入点，着重意识、方法和能力的培养；（2）在教学中有有机地引入跨学科元素，充分发掘“计算”与“专业”交叉领域中生动、丰富的教学案例，激发学生对大学计算机课程的学习动力和兴趣，培养计算思维能力；（3）编写既能保持计算机科学的学术体系又能体现计算思维的课程教材。

本书在探讨以大学生计算思维能力培养为重点的大学计算机课程改革中，做了有益的开拓。书中也一定会存在问题和不足，欢迎读者批评指正。

项目组对医药院校计算机基础核心课程教学及内容进行了精炼、更新和提升，初步建立起相关知识单元与计算思维表达体系间的映射关系，有助于培养学生对人体复杂生理、病理、生化、药理等过程及临床复杂问题进行分解、提炼归纳、系统设计，应用计算机解决实际问题的思维能力和应用能力。

项目组同时重点围绕“大家计算机基础”、“程序设计基础”、“数据库技术及医学应用”、“医学成像及处理技术”这四门课程，建设了课程实施方案、医学教学案例及相应的实验教学平台，同时按照“具备计算思维核心要素、体现计算思维方法训练、医学案例和应用丰富”的要求，编写并出版了本套丛书。

本套丛书作为大学计算机课程改革探索的成果，一定会存在问题和不足，欢迎高校在使用过程中提出批评与指正意见，以利于本套丛书的不断改进与完善。

“面向计算思维的医药院校大学计算机基础课程改革”项目组

2013年1月

前 言

随着现代成像及图像处理技术的深入发展,医学成像已迅速发展为一个专门的技术领域,可供医学临床、教学和研究使用的医学图像数量以指数级速度增长,各种类型的医学图像不仅使医生可能观察到体内脏器在形态学上的变化,而且可以对脏器的功能做出判断,从而成为临床与医学研究中不可缺少的工具。了解医学影像信息的基本知识和原理,并应用其解决临床及医学基础研究中的问题,已成为医学本科生计算机能力培养的一个重要目标。

“医学成像及处理技术”是医药类院校计算机基础教学中的核心课程之一。作为该课程的教材,本书根据《高等医药院校计算机教学基本要求及实施方案》编写而成,通过介绍临床上广泛使用的、基于计算机技术的成像设备(如CT、超声、磁共振成像、核医学成像)的基本原理及成像方法,以及基于计算机技术的常用医学图像处理和分析方法(包括图像增强、恢复、重建、分割、可视化技术等),加上相关技术的最新进展及临床应用实例,使学生通过本书的学习,能尽快了解和掌握最新的医学成像及处理技术。本书的最大特色是从实际出发,深入浅出,结合临床应用实例,阐述各种成像原理及处理方法;在突出概念和具体过程的同时,尽量减少数学、物理公式的使用,书中的每个实例,都给出了具体实现方法和结果,以提高教材的科学性和实用性。教材内容对于构建医药类院校学生的IT知识结构、促进信息技术的医学应用亦具有重要意义。

全书共8章,第1章为医学成像技术概论、第2章为医学图像处理技术概论、第3章为医学图像增强技术、第4章为医学图像重建技术、第5章为医学图像恢复技术、第6章为医学图像分割技术、第7章为医学图像可视化技术及应用、第8章为医学图像存储与传输系统。

本书由卢虹冰任主编,负责全书的总体规划和统稿工作。第1章由广西医科大学罗海琼、第四军医大学西京医院朱霆和赵海涛执笔,第2章由第三军医大学宋文强执笔,第3章由北京大学医学院王静执笔,第4章由南方医科大学马建华执笔,第5章由第四军医大学卢虹冰、常小红执笔,第6章由第四军医大学张国鹏执笔,第7章由第三军医大学邱明国执笔,第8章由福建中医药大学陈炜、内蒙古医学院吴雅琴执笔。全书由首都医科大学马斌荣教授主审,并由第三军医大学宋文强教授、美国东芝医疗公司范毅对多个章节进行了审阅。本书编写的过程中还得到第四军医大学生物医学工程学院栗文彬院长的大力支持,常小红硕士为本书的文稿整理提供了极大帮助,在此一并表示衷心的感谢。

对于本书的错漏不妥之处,恳切希望得到各方面的批评和指正。

编者
2012年10月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120



北航

C1655685

目 录

第1章 医学成像技术概论..... 1	本章小结 54
1.1 医学成像技术的发展历程 1	思考与练习 54
1.1.1 19世纪末至20世纪初期: X射线 技术在医学上的应用和发展 2	参考文献 55
1.1.2 20世纪中期: CT、超声、磁共振 成像技术的医学应用及放射学科的 形成 2	第2章 医学图像处理技术概论 57
1.1.3 20世纪后期: 放射性核素和数字 影像设备与技术的兴起 5	2.1 医学图像处理的主要研究内容 57
1.1.4 21世纪: 医学影像技术发展的 三个主要研究方向 5	2.1.1 医学图像的获取 58
1.2 医学成像技术的分类 6	2.1.2 医学图像视觉效果改善 59
1.3 医学成像系统的基本组成 9	2.1.3 医学图像压缩 63
1.3.1 影像信息的形成与传递 9	2.1.4 医学图像定量分析 63
1.3.2 信息源 10	2.2 数字图像的类型 64
1.3.3 信息载体 11	2.2.1 矢量图 64
1.3.4 信息检测 11	2.2.2 位图 67
1.4 医用X线成像技术 14	2.3 数字图像的常用格式 68
1.4.1 X线在人体组织中的衰减特性 14	2.3.1 BMP文件格式 70
1.4.2 普通X线成像技术 15	2.3.2 GIF文件格式 72
1.4.3 数字X线成像技术 17	2.3.3 JPEG文件格式 74
1.5 磁共振成像技术及应用 21	2.4 数字图像的表达 76
1.5.1 磁共振成像的基本原理 21	2.4.1 数字图像的二维表示 76
1.5.2 磁共振成像的脉冲序列 28	2.4.2 像素的邻域 78
1.5.3 磁共振成像的设备组成 34	2.4.3 图像的直方图 78
1.5.4 MRI临床应用及功能MR成像 41	2.5 图像的代数运算 81
1.6 医用超声成像技术 45	2.5.1 图像的加法运算 82
1.6.1 超声波的传播特性 45	2.5.2 图像的减法运算 83
1.6.2 超声换能器 45	2.5.3 图像的乘法运算 84
1.6.3 医学超声成像原理 46	2.5.4 图像的除法运算 85
1.6.4 超声多普勒血流检测与成像 49	2.6 图像的几何运算 86
1.6.5 超声成像的一般规律 53	2.6.1 图像的缩放运算 86
	2.6.2 图像的旋转运算 90
	2.6.3 图像的裁剪运算 91
	2.6.4 图像的平移运算 92
	2.6.5 图像的拼接 93

本章小结	95	4.5.1 医学影像融合设备分类	153
思考与练习	95	4.5.2 融合成像系统的临床应用	154
参考文献	96	本章小结	155
第3章 医学图像增强技术	97	思考与练习	156
3.1 医学图像增强的目的与分类	97	参考文献	158
3.1.1 医学图像增强的目的	97	第5章 医学图像恢复技术	161
3.1.2 医学图像增强技术分类	98	5.1 图像恢复的基本概念	161
3.2 图像的点运算及灰度变换	100	5.1.1 什么是图像退化和恢复	161
3.2.1 线性变换函数	100	5.1.2 图像退化/恢复过程的模型	163
3.2.2 非线性变换函数	106	5.2 医学图像中的噪声及滤除	163
3.3 直方图增强	108	5.2.1 噪声模型及参数估计	164
3.3.1 直方图均衡化	109	5.2.2 噪声图像的恢复	169
3.3.2 直方图规定化	111	5.3 系统退化复原	174
3.4 医学图像的平滑	116	5.3.1 常见系统退化函数	174
3.4.1 邻域平均法(平滑线形滤波器) ..	116	5.3.2 逆滤波	177
3.4.2 中值滤波法(统计排序滤波器) ..	118	5.3.3 维纳滤波	178
3.5 医学图像的锐化	119	5.4 医学图像失真的校正	180
3.5.1 医学图像锐化的理论基础	119	5.4.1 引起医学图像失真的可能因素 ..	180
3.5.2 基于一阶微分的图像增强	120	5.4.2 CT图像的伪影校正	181
3.5.3 基于二阶微分的图像增强	124	5.4.3 PET/SPECT质量影响因素及	
本章小结	127	校正	185
思考与练习	128	5.4.4 MRI的伪影和失真校正	189
参考文献	129	本章小结	193
第4章 医学图像重建技术	130	思考与练习	193
4.1 计算机断层成像技术	130	参考文献	194
4.1.1 由X线投影到CT图像重建	131	第6章 医学图像分割技术	198
4.1.2 CT图像重建的方法	132	6.1 图像分割的基本概念、特点和	
4.1.3 CT系统的组成及图像显示	135	分类	198
4.2 CT扫描方式的发展	137	6.1.1 基本概念	198
4.3 单光子发射断层成像原理及重建	142	6.1.2 医学图像分割的特点	200
4.3.1 放射性核素与 γ 照相机	142	6.1.3 图像分割的分类	202
4.3.2 准直器	143	6.2 阈值分割法	202
4.3.3 SPECT成像原理及应用	145	6.2.1 概述	202
4.4 正电子发射断层成像原理及重建	147	6.2.2 全局阈值法	203
4.4.1 正电子及其湮灭	147	6.2.3 动态阈值法	207
4.4.2 符合检测原理与电子准直	148	6.3 区域生长法和分裂合并法	208
4.4.3 PET成像原理及应用	149	6.3.1 区域生长法	208
4.5 SPECT-CT和PET-CT融合成像	152	6.3.2 分裂合并法	211

6.4 其他常用的医学图像分割方法	214	8.2 PACS 基本结构和组成	260
6.4.1 分水岭分割法	214	8.2.1 PACS 的基本结构	260
6.4.2 基于微分算子的分割算法	217	8.2.2 PACS 的分类	261
本章小结	223	8.3 PACS 关键技术	263
思考与练习	224	8.3.1 图像数据的获取	263
参考文献	225	8.3.2 大容量图像存储技术	264
第7章 医学图像可视化技术及应用	227	8.3.3 图像传输网络	269
7.1 三维图像与可视化	227	8.3.4 图像处理 and 图像输出	270
7.1.1 三维数字图像	227	8.4 DICOM 标准的基本内容	273
7.1.2 医学可视化的概念及发展历程	228	8.4.1 医学信息标准	273
7.2 曲面重建技术与最大密度投影	230	8.4.2 DICOM 标准的基本内容	273
7.2.1 多平面重建和曲面重建技术	230	8.4.3 DICOM 标准的应用领域	275
7.2.2 最大和最小密度投影技术	232	8.5 DICOM 格式与常用图像格式的	
7.2.3 表面遮盖三维显示技术	233	转换	277
7.3 三维模型的建立与绘制	234	8.5.1 DICOM 图像文件的格式	277
7.3.1 三维感兴趣区域的提取	234	8.5.2 使用 Photoshop 导入 DICOM	
7.3.2 医学图像面绘制技术	235	图像	278
7.3.3 体绘制法	238	8.5.3 将 DICOM 图像转换为 JPEG	
7.3.4 混合绘制方法	241	文件	280
7.4 虚拟内窥镜技术及应用	242	8.5.4 将 DICOM 图像转换为 BMP/TIFF	
7.4.1 虚拟内窥镜技术的起源	242	文件	280
7.4.2 虚拟内窥镜关键技术	243	8.6 PACS 与 HIS/RIS 系统的融合	281
7.4.3 虚拟内窥镜的应用	246	8.6.1 HIS	282
7.5 计算机辅助手术系统	248	8.6.2 RIS 简介	283
7.5.1 计算机辅助术前规划系统	248	8.6.3 PACS 与 RIS、HIS 的融合技术	284
7.5.2 虚拟手术仿真系统	248	8.6.4 标准化问题	286
7.5.3 基于图像引导的手术导航系统	250	8.7 远程医学影像系统及应用	286
本章小结	254	8.7.1 远程医学影像系统简介	286
思考与练习	255	8.7.2 远程医学影像系统应用	287
参考文献	255	本章小结	288
第8章 医学图像存储与传输系统	257	思考与练习	288
8.1 PACS 基本概念及发展历程	257	参考文献	290
8.1.1 PACS 基本概念	257	附录 MATLAB 简介	291
8.1.2 PACS 的发展历程	258	词汇索引	305
8.1.3 PACS 的功能	260		

第1章

医学成像技术概论

医学成像技术是用工程学的概念、方法、原理及技术,把人体内部组织器官的结构、功能等信息以影像的方式表现出来,使医生能根据自己的知识和经验对医学影像中所提供的信息进行判断,从而对病人的健康状况进行判断的一门科学技术。其涵盖了基础医学、临床医学、电子学的基本理论和基本知识,以及计算机的基本理论和操作技能,是多学科交叉融合而成的一门科学技术。特别是现代计算机技术和成像技术的飞速发展,为医学成像技术的不断更新和发展起到了巨大的推动作用。现代医学成像技术的发展是现代医学技术提升的重要途径之一。

1.1 医学成像技术的发展历程

医学成像技术以观察人体信息为目的。最早应用于医学临床的成像技术是X线(物理上的规范说法是X射线,而常用医学用语为X线,本书遵循这一惯例)成像技术,在X射线发现之前医生都是靠“望、闻、问、切”等一些传统的手段对病人进行诊断,X线成像技术的出现为现代医学影像技术的发展奠定了基础。20世纪50年代到60年代开始应用超声与核素扫描进行人体检查,出现了超声成像(Ultrasound Imaging)和 γ 闪烁成像(γ -scintigraphy)。20世纪70年代到80年代又相继出现了X线计算机体层成像(Computed Tomography 或 Computerized Tomography, CT)、磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)和发射体层成像(Emission Computed Tomography, ECT),仅100多年的时间就形成了包括X线诊断的影像诊断学(Diagnostic Imageology)。虽然各种成像技术的成像原理与方法不同,诊断价值与局限性亦

各异,但都是使人体内部的结构和器官形成影像,临床医生通过这些影像获得人体解剖与生理功能状况以及病理变化的信息,以达到诊断的目的。随着计算机技术的飞速发展,与计算机技术密切相关的影像技术也日新月异,医学影像学已经成为医学领域发展最快的学科之一。

1.1.1 19 世纪末至 20 世纪初期: X 射线技术在医学上的应用和发展

X 射线,也称伦琴射线,由德国物理学家伦琴(Wilhelm C. Roentgen)于 1895 年在做真空高压放电实验时发现。当伦琴通过 X 射线对其夫人的手部进行透视拍摄后,获得了世界上第一张 X 线透视照片,如图 1-1-1 所示。次年 X 线透视技术被用于医学临床,并成功地将患者手中的一枚钢针异物取出。之后,德国西门子公司研制出世界上第一支 X 线球管,同年美国的物理学教授 Edwin B. Frost 制造出第一台医用 X 线设备。图 1-1-2 为一枚纪念 X 线透视成像技术的早期邮票。



图 1-1-1 第一张 X 线照片



图 1-1-2 纪念 X 线透视成像技术的早期邮票

初期 X 线机检查只限于有自然对比的组织结构的观察,例如骨折和体内异物的诊断,但 1920 年造影剂的发明突破了这一限制。造影剂又称对比剂,是一种能提高对比度的物质,将其导入体内,通过其改变病灶与正常组织和器官的对比度来实现显影效果的增强。而 1921 年体层理论的提出及其在医学临床上的应用和发展,将 X 线机检查逐步扩展到人体各部分。1939 年,我国谢志光教授把体层技术引入中国,在广州安装了第一台体层机。需要指出的是,X 线机检查形成的 X 线图像是由穿透路径上各个结构影像的相互叠加而成,这使得一些组织或病灶的投影被覆盖而较难或不能显示。为了解决人体前后组织的重叠对影像成像的影响,1930 年出现了直线断层设备。

1.1.2 20 世纪中期: CT、超声、磁共振成像技术的医学应用及放射学科的形成

1. CT 成像技术的发展

CT 是近代飞速发展的电子计算机控制技术和 X 线检查摄影技术相结合的产物。CT 是以高穿透性、高能量的 X 射线穿过人体的受检部位后,由于不同组织或器官在组织密度上的差异,使入射的 X 射线被人体组织吸收而发生相应的衰减。利用不同方向上所有组织的透

射数据进行计算, 获得人体断层上所有体积元的 X 射线衰减系数, 并以数字图像的形式将其显示。由于不同组织衰减特性的差异, CT 图像可极其准确地呈现各种组织的不同密度, 从而形成对比。

1963 年, 美国物理学家柯马克 (A. M. Cormack) 首先提出图像重建的数学方法, 并用于 X 线投影数据模型。1971 年, 柯马克和豪恩思菲尔德 (G. N. Hounsfield) 应用计算机人体断层摄影术研制出世界上第一台 CT 机 (见图 1-1-3), 可用于颅脑的扫描。1974 年美国工程师 Ledley 设计出全身 CT 扫描机。随着 CT 成像技术的发展和在临床上的广泛应用, 其种类越来越多, 且结构不同, 特点各异, 产生了不同的分代。若以其 X 线管和探测器的关系、探测器的数目、排列方式以及 X 线管与探测器的运动方式来划分, 迄今为止 CT 机可分为五代。第一代 CT 机只有一个探测器, 以平移加旋转的扫描运动方式进行, 称为平移/旋转型 CT 机。第二代 CT 机探测器的数目增加了 5~20 个, X 射线束呈扇形, 扫描方式为窄扇形束扫描平移-旋转方式。第三代称为旋转/旋转型 CT 机。第四代称为固定/旋转型 CT 机 (螺旋 CT 属此型)。第五代用电子束方法产生旋转的 X 线源, 这种 CT 机称为电子束 CT 机, 也称超高速 CT 机。

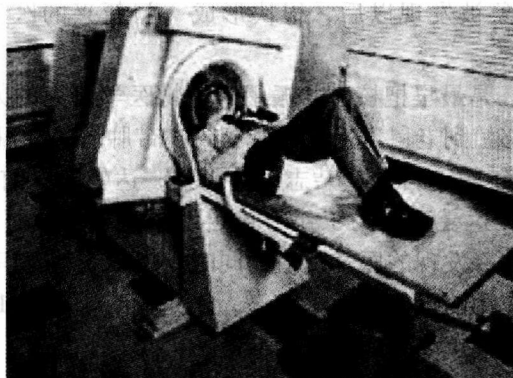


图 1-1-3 世界上第一台 CT 机

CT 机沿用至今, 从技术设计、硬件结构和软件功能等方面均有很大的进展, 主要体现在以下几个方面。

- (1) 机械运动方式的转变: 平移-旋转→旋转-旋转→滑环运转 (螺旋)。
- (2) 机型的发展: 头颅 CT 机 (几分钟/层) →全身 CT 机 (几秒钟/层) →螺旋 CT 机、电子束 CT 机 (每秒 16 层以上)。
- (3) CT 扫描方式的进展: 间隔层面式扫描和采样 (普通 CT) →连续容积式扫描和采样, 如螺旋 CT (Spiral CT, SCT)、电子束 (Electron Beam CT, EBCT)、多排螺旋 CT (Multislices Spiral CT) 等。
- (4) CT 检查技术的进展: 平扫, 增强→动态增强→双期或多期增强, 后处理重建。
- (5) 学科发展: 单纯 CT 诊断→CT 诊断+CT 介入。

2. 医学超声成像技术的发展

超声成像是 20 世纪 50 年代后期发展起来的一种非创伤性实时诊断的临床医学技术。它研究和运用超声波的物理特性、成像原理, 结合人体组织器官的解剖、生理、病理特征和临床医学基础知识, 观察人体组织、器官形态和功能变化的声像表现, 然后分析归纳, 探讨疾病的发

生发展规律,从而达到诊断与治疗疾病的目的。

1942年,奥地利医生达西科(Dussik)首次把超声技术应用于临床诊断,他试图应用超声波扫描脑部结构,设想其能同X射线一样能穿透颅骨,从而把颅内的病变状态显示出来,后来经过不断地改进,成功研发出了脉冲反射A型超声诊断仪器,从此开始了医学超声影像设备的大发展。1954年,瑞典人应用M型超声显示运动的心壁,称为超声心动图。20世纪70年代中期,开始使用实时二维超声,20世纪80年代初超声彩色血流图问世。

3. 磁共振成像技术的发展

磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)是利用原子核在磁场内共振所产生的射频信号经重建成像的一种技术。磁共振成像技术是在磁共振波谱学的基础上发展起来的,自出现以来曾被称为核磁共振成像、自旋体层成像、核磁共振体层成像、核磁共振CT等。

1945年,由美国斯坦福大学的布洛克(Bloch)和哈佛大学的普塞尔(Purcell)教授同时发现了核磁共振的物理现象,即处在某一静磁场中的原子核受到相应频率的电磁波作用时,在它们的核能级之间发生的共振跃迁现象。两位教授因此共同获得1952年诺贝尔物理学奖。核磁共振的物理现象被发现以后,很快形成一门新兴的医学影像学科——磁共振波谱学。

达曼迪恩(Damadian)是最早把核磁共振用于生物医学研究的人之一。早在1970年,他便把从人身上切除的肿瘤移植到老鼠身上,并观察到携带肿瘤的老鼠的核磁共振信号发生了变化。这一结果发表在1971年的《科学》杂志上。而且,达曼迪恩前瞻性地预言了核磁共振作为临床诊断工具的可能性。达曼迪恩的工作直接启发了劳特布尔(Lauterbur)对成像技术的研究,劳特布尔在认识到这一发现的医学价值的同时,也敏锐地意识到如果不能进行空间上的定位,核磁共振在临床上应用的可能性微乎其微,于是便有了那篇1973年发表在《自然》杂志上利用梯度磁场解决空间定位的著名文章。

1973年,曼斯菲尔德(Peter Mansfield)研制出脉冲梯度法选择成像断层。

1974年,英国科学家成功研制组织内磁共振光谱仪。

1975年,恩斯托(Ernst)研制出相位编码成像方法。

1976年,得到了第一张人体MR图像(活体手指)。

1977年,磁共振成像技术进入体层摄影实验阶段。

几十年间,有关磁共振的研究曾在3个领域(物理、化学、生理学或医学)内共获得6次诺贝尔奖。其中2003年10月6日,瑞典卡罗林斯卡医学院宣布,2003年诺贝尔生理学或医学奖授予美国化学家保罗·劳特布尔(Paul C. Lauterbur)和英国物理学家曼斯菲尔德,以表彰他们在医学诊断和研究领域内所使用的磁共振成像技术领域的突破性成就。

4. 放射学科的形成

1959年,在德国慕尼黑召开了第9次国际放射技术会议(International Congress of Radiology, ICR)及国际放射技师和放射技术人员会议(International Society of Radiographers and Radiological Technicians, ISRRT),同时召开了国际放射教育圆桌会议。1964年,在加拿大召开放射技术会议,确定在英国伦敦成立国际放射技术学会。到20世纪60年代中后期,医学影像技术已经形成了比较完整的学科体系,被称为放射诊断或放射学(Radiology)。

当时我国的放射技术并不落后。《中华放射学杂志》于1953年创刊,1958年能生产X线

软胶片, 1962 年邹仲出版了《X 线诊断技术》, 形成独立学科。在临床应用方面, 谢志光教授发明了髋关节谢氏位。

1.1.3 20 世纪后期: 放射性核素和数字影像设备与技术的兴起

放射性核素成像是将某种放射性同位素标记在药物上形成放射性药物并置入体内, 当它被人体的组织或器官吸收后, 在体内形成辐射源, 接着用光子探测装置从体外检测体内放射物衰变过程中放出的 γ 射线, 从而构成放射性同位素在体内分布密度图像的成像技术。

放射性核素成像技术发展很快。最早的放射性核素成像仪器始于 1951 年, 称为放射性同位素扫描仪 (即闪烁扫描仪 Scintiscanner)。1958 年, 具有快速显像功能的 γ 闪烁照相机面世, 使得核素影像诊断从静态发展到动态观察。20 世纪 90 年代, 放射性核素扫描与 CT 技术结合, 推出了更新更强的发射型计算机断层扫描技术, 包括正电子发射计算机断层成像 (Positron Emission Tomography, PET) 和单光子发射计算机断层成像 (Single Photon Emission Tomography, SPECT), 这两种技术的结合揭示了药物的空间分布和时间分布。

1981 年, 日本富士公司成功研制了成像板 (Image Plate, IP), 这标志着常规 X 线摄影数字化时代的到来。计算机 X 线摄影 (Computerized Radiography, CR) 成像技术是一种通过含有特殊存储荧光材料的可重复使用的探测器来采集和记录高能电磁辐射的投射影像的技术。CR 系统主要由影像板、影像阅读器、影像处理工作站、影像存储系统组成。此后又推出了数字 X 线摄影 (Digital Radiography, DR) 技术。DR 是一种数字 X 线直接转换技术, 它是在 X 线电视系统的基础上, 利用计算机数字化处理, 使模拟视频信号经过采样、模/数 (Analog to Digit, A/D) 转换后直接进入计算机中进行存储、分析和保存, 成像环节较 CR 少。

随着数字医学图像的广泛临床应用, 图像传输与存储系统 (Picture Archiving and Communication System, PACS) 的研究于 20 世纪 80 年代中期逐步开展。PACS 是放射学、影像医学、数字化图像技术、计算机技术及通信技术的结合, 由医学图像采集、大容量数据存储、图像显示和处理、局域或广域的影像传输网络等部分组成。美国 1994 年为 PACS 总计投入 3.98 亿美元, 1995 年为 4.73 亿美元, 20 世纪末每年投入超过 10 亿美元。我国对于 PACS 的研究也起步较早, 1995 年中国第一套基于 UNIX 平台的小型 PACS、RIS 集成系统在北京协和医院研发成功并投入使用, 目前大部分三甲医院已建立或开始建立院内 PACS。

1.1.4 21 世纪: 医学影像技术发展的三个主要研究方向

1. 经典医学影像技术

经典医学影像技术主要以 X 线、CT、MR、超声成像等技术为主。

随着数字时代的到来, 影像技术逐步由模拟向数字过渡。2003 年, CR 在读出技术上出现了线阵阅读和双面阅读技术, 有效提高了扫描速度、信号信噪比和影像质量。2004 年的北美放射学会 (Radiological Society of North America, RSNA) 诞生了两项基于平板探测器的新技术, 分别是数字合成 X 线体层成像和 C 臂 CT, 平板探测器的应用为快速容积成像提供了基础。目前 CT 三维成像中, 特定方向上的断层成像都是经过准三维整合来完成的, 整合过程中不可避免会带进误差; 另一方面, 要使图像空间分辨率更高, 达到 0.1 mm, 并提高时间分辨率, 辐射剂量造成的影响也不可忽略, 这就使得真三维成像和快速四维成像技术成为当前研究

的热点。

2. 基于影像的介入治疗技术

介入治疗技术包括两方面基本内容：其一是以影像诊断学为基础，利用导管等技术，在影像监视下对一些疾病进行微创治疗；其二是在影像监视下，利用经皮穿刺、导管等技术，取得相应病变组织的组织学、病理学、生理和生化资料，以明确病变的性质。在影像医学的引导下，介入治疗技术为现代医学诊疗提供了新的给药途径和手术方法，与传统方法相比，具有更直接有效、更简便微创的特点。在介入治疗中，目前应用最多的就是超声成像技术，可实时引导介入治疗的过程。CT、MRI 的三维成像特性，也使其在复杂介入治疗中得到大量应用。其中，由于 MRI 具有无辐射、三维成像、组织分辨率高、功能温度显示等特性，随着开放式磁共振及其相容器材的不断开发与完善，极有可能成为未来介入导航的主要工具之一。

3. 分子影像技术

美国 King 教授认为“凡用医学影像方法去研究分子医学的都可称为分子影像学，因此分子影像学不是未来的医学，而是今天的医学”。以 PET、光学成像、MRI 及小动物成像设备等为主的分子影像技术，将体内特定分子作为成像对象，利用现有的医学影像技术对人体内部生理或病理过程在分子水平上进行无损伤的实时成像。

分子影像学的优势在于能动态活体观察分子水平的代谢及运动机制，反映活体状态下分子水平变化，对生物学行为引起的影像变化进行定性和定量的研究。因此，分子影像学可通过对基因或分子及其传导途径改变的成像来了解疾病的产生和发展过程。目前在研究中广泛应用的分子成像手段主要包括分子核医学成像、光学分子成像和磁共振分子成像等技术。要充分发挥分子影像学的早期诊断优势，需要对体内的特定分子变化进行研究，而目前的分子成像装置，特别是核医学和磁共振成像，是在宏观水平上对分子或基因片段的群体水平变化进行测量，还无法针对某个具体分子、具体的基因片段或基因组合进行检测。要想达到微观水平的检测，必须对单个分子进行放射性核素或磁性标记，这在目前还很难做到，也限制了分子影像学的发展。

1.2 医学成像技术的分类

医学成像技术根据所研究的内容和层次，按其成像原理和技术的不同，可分为两大领域：一是以研究生物体微观结构为主要对象的生物医学显微成像技术，二是以人体宏观解剖结构及功能为研究对象的现代医学成像技术。现代医学成像技术按其信息的载体可以分为：X 线成像、X 线计算机断层成像、磁共振成像、超声成像、放射性核素成像、可见光成像、红外及微波成像等。

1. X 线成像

X 线成像 (Radiography) 主要基于 X 射线透过被检人体的组织结构时会发生衰减的原理。由于不同组织的密度、原子序数以及厚度的不同，对 X 线的衰减系数不同，使得穿过人体射出的 X 线强度不同而产生 X 线对比度，含有人体信息的 X 光被荧光屏或胶片系统（对于数字成像，则是影像增强器、影像板或平板探测器）接收，再经过处理形成可见的光学影像。医

学 X 线成像设备按照机械结构方式可分为固定式、移动式和便携式三类，分别如图 1-2-1、图 1-2-2 和图 1-2-3 所示。本章将在第 1.4 节对 X 线成像原理及应用进行详细讨论。

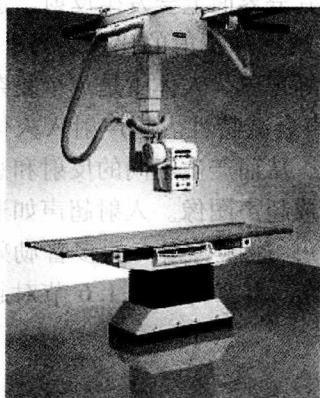


图 1-2-1 固定式 X 线成像设备

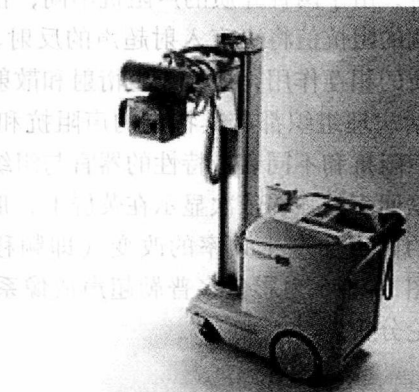


图 1-2-2 移动式 X 线成像设备

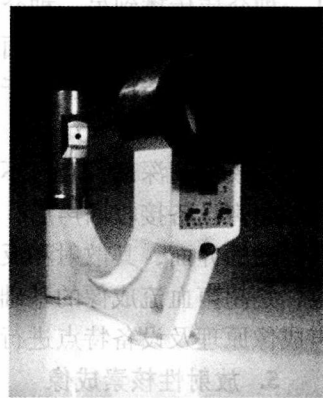


图 1-2-3 便携式 X 线成像设备

2. X 线计算机断层像

由于 X 光是一种光线投影，只能显示一个方向上的物体结构，如果物体内部发生不同物质的重叠，则很难对物质进行有效区分。CT 扫描仪采用经过准直器形成的细 X 线射束，通过围绕人体旋转扫描，得到穿透人体被检测层面的多个角度的 X 光投影，计算机收集到这些信息后，对这些信息进行处理和重建，合成为截面图像，从而得到人体被检层面上组织、器官的衰减系数分布，并以灰度图的形式显示出来。图 1-2-4 为现代多层螺旋 CT，本书将在第 4 章对 CT 图像重建原理及方法进行讨论。

3. 磁共振成像

磁共振成像是通过对处于静磁场 (B_0) 中的人体施加某种特定频率的射频脉冲 (Radio Frequency, RF) 电磁波，使人体组织中的氢质子 (^1H) 受到激励而发生核磁共振现象，当 RF 脉冲中止后，氢质子在弛豫过程中发出射频信号 (MR 信号)，被接收线圈 (检测器) 接收，再利用梯度磁场进行空间定位，最后进行图像重建而形成反映人体组织不同特性的图像。图 1-2-5 为世界上第一台 MRI 装置，本章将在第 1.5 节对 MRI 成像原理及应用进行阐述。

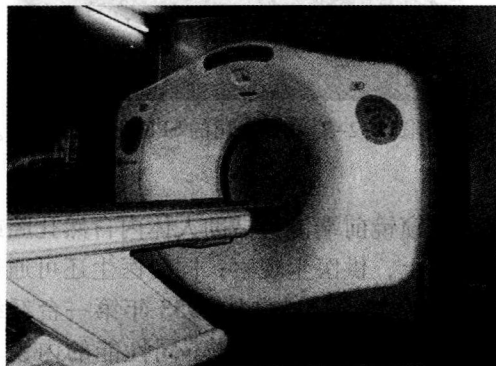


图 1-2-4 现代多层螺旋 CT

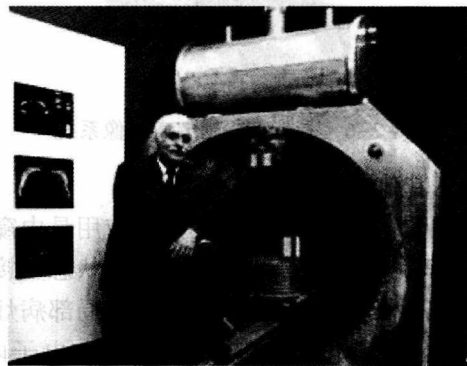


图 1-2-5 第一台 MRI 成像装置