

高等学校计算机基础教育课程“十二五”规划教材

医学成像及处理技术

YIXUE CHENGXIANG JI CHULI JISHU

章新友 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校计算机基础教育课程“十二五”规划教材

丛书主编：童隆正

医学成像及处理技术

章新友 主 编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

作为全国高等院校“十二五”规划教材,本书参照教育部高校计算机基础课程教学指导委员会颁布的《高等学校计算机基础教学发展战略研究报告暨计算机基础课程教学基本要求》和教育部高校计算机基础课程教学指导委员会医药类分指导委员会颁布的《高等医药院校计算机教学基本要求及实施方案》,由全国十多所高等医药院校从事“医学成像及处理技术”课程教学及研究的一线教师和专业技术人员参加编写。全书共 10 章,包括医学成像及处理技术的发展,医学图像及处理技术基础,医学 X 射线成像技术,医学超声成像技术,医学核素成像技术,医学磁共振成像技术,医学图像处理技术,医学图像重建与可视化,医学图像的压缩、存储与传输和医学图像处理软件与医学图像应用等内容。

本书适合作为医学类、药学类、信息类等本科专业学生的“医学成像及处理技术”课程的教材,也可作为计算机科学与技术、医学影像、生物医学工程等相关本科专业学生的“医学成像及处理技术”及类似课程的教材用书,以及医药院校其他需要掌握“医学成像及处理技术”的各类专业学生的教材用书,还可作为医药工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

医学成像及处理技术/章新友主编. —北京:中国铁道出版社, 2011. 7
高等学校计算机基础教育课程“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-12427-4

I. ①医… II. ①章… 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 (2011) 第 013284 号

书 名: 医学成像及处理技术
作 者: 章新友 主编

策划编辑: 吴宏伟

责任编辑: 杜 鹏 侯 颖

封面设计: 付 巍

责任印制: 李 佳

读者热线: 400-668-0820

封面制作: 白 雪

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码: 100054)

印 刷: 北京海淀五色花印刷厂

版 次: 2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 17.25 字数: 407 千

印 数: 3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-12427-4

定 价: 28.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社计算机图书批销部联系调换。

高等学校计算机基础教育课程“十二五”规划教材

主 任：童隆正

副主任：郭永青

委 员：（以姓氏笔画为序）

王 磊	叶耀辉	田翔华	闫朝升
毕雪华	吕格莉	刘雄鹰	李 丹
李连捷	李祥生	杨长兴	杨国平
周智明	周梅红	赵小龙	赵志坚
章新友	盖立平	韩 滨	喻 焰
焦 纯	焦 瑞	隋 虹	黎小沛
潘志方	魏本征		

医学成像及处理技术

主 编：章新友

副主编：杨国平 盖立平 潘志方

编 委：（以姓氏笔画为序）

丁晓东 李忠红 李 敏 李瑞国

李巍巍 张 季 周 知 周梅红

赵志坚 聂 斌 黄 浩 喻 焰

魏本征

二十一世纪是信息技术高度发展且得到广泛应用的时代,信息技术从各个方面改变着人们的学习、工作和生活方式。现代计算机技术和医学技术的融合给生物医药科技带来了新的发展契机和巨大的推动力,这深刻地影响并改变着传统的医药科学,同时给当今的医学工作者带来了难得的机遇和挑战。因此,信息社会对医药人才信息技术的培养要求也在不断提高,这也促进了我国医药高校计算机基础教学的迅速发展。

在教育部教育改革、提倡教材多元化的精神指导下,我们秉承“教师为主导、学生为主体”的现代教育理念,以教育部高等学校计算机基础课程教学指导委员会颁发的《高等学校计算机基础教学发展战略研究报告暨计算机基础课程教学基本要求》为指导,在与全国数十位同行就医药类计算机公共课程的“教学目的、教学内容、教学方法和教学手段”等内容进行深入探讨的基础上,在充分调研计算机技术最新发展状况和学生计算机应用水平现状的情况下,由全国30余所医药高校具有丰富教学和教改经验的一线教师编写而成,其中主编和副主编多数是曾经著书立说的教育精英和资深教授。

本丛书由《大学计算机基础》、《Visual Basic 程序设计》、《数据库技术及应用》、《医学成像及处理技术》、《医学多媒体及其在医学中应用》和《医学信息分析与决策》共6本教材组成,涵盖了全国高等医药院校本科、专科各专业的计算机与信息技术应用基础公共课程的教学内容,以培养能够掌握医学信息学基础理论和基本技能、满足社会应用的医学人才。

在组织编写本丛书的过程中,我们始终贯彻“精英出精品,精品育精英”的理念,在内容上强调面向应用、任务驱动、注重实例分析、培养应用能力;在风格上力求文字精炼、脉络清晰、图表丰富、版式明快。此外,我们结合课程内容,在适当的位置配以“文史哲经”方面的小贴士以拓宽学生的视野。

本丛书充分体现了系统完整、科学性强、重点突出、文字简练、图文并茂、易教易学、新颖实用和理论联系实际等特点。达到教材编写“三基”(基础理论、基本知识、基本技能)、“五性”(思想性、科学性、先进性、启发性、适用性)的要求。

本丛书不仅适合作为医药类高校包括7年制和5年制在内的各类本科专业的教学用书,也是其他高校全日制本、专科学生或成人教育各类专业本、专科学生值得使用的好教材或教学参考书、也可作为计算机等级考试培训教材和参考书。

本套丛书的出版得到了谭浩强教授的指导和帮助,他经验丰富、洞察非凡,为丛书质量把

关做出了极大贡献。全国医药高校的教师对本丛书的编写提出了许多宝贵的意见和建议。中国铁道出版社对本丛书策划、论证、组织和发行等做了大量认真而卓有成效的工作。在此对曾为本丛书顺利出版做出贡献的所有人表示衷心感谢！

全国高等院校计算机基础教育研究会
医学专业委员会
2011年1月 于北京



前言

21 世纪,随着计算机技术在医药领域的应用与发展,用计算机来进行医学成像与处理的技术在医药领域也得到了广泛应用,医学成像与处理已成为医药人才必备的技能。近年来,全国医药院校按照教育部高校计算机基础课程教学指导委员会颁布的《高等学校计算机基础教学发展战略研究报告暨计算机基础课程教学基本要求》和教育部高校计算机基础课程教学指导委员会医药类分指导委员会颁布的《高等医药院校计算机教学基本要求及实施方案》等文件要求,不仅在本科生、研究生中开设了“医学成像及处理技术”课程,有的高校还开设了计算机科学与技术、医学影像学、生物医学工程等与计算机相关的专业。对于医药院校培养的专业人才,掌握医学成像与处理技术是十分必要的,也是今后从事医药工作的必备知识。本书作为全国高等院校“十二五”规划教材,是按照教育部高校计算机基础课程教学指导委员会和教育部高校计算机基础课程教学指导委员会医药类分指导委员会,对医药院校“医学成像及处理技术”课程的教学要求,由全国十多所高等医药院校从事“医学成像及处理技术”课程教学及研究的一线教师 and 专业技术人员参加编写。本书主要作为医学类、药学类、信息类等本科专业学生的“医学成像及处理技术”课程的教材,也可以作为计算机科学与技术、医学影像学、生物医学工程等相关本科专业学生的“医学成像及处理技术”及类似课程的教材用书,以及医药院校其他需掌握“医学成像及处理技术”的各类专业学生的教材用书,还可作为医药工作者的参考书。

本书在介绍医学成像及处理技术的发展、医学图像及处理技术基础和医学成像原理的基础上,力求与医学临床相结合,在保证教材科学性、系统性的前提下,重点介绍医学图像处理技术、医学图像重建与可视化、医学图像的压缩、存储与传输和医学图像处理软件与医学图像应用等内容。在医学图像处理软件与医学图像应用中介绍了数字化人脑图谱技术、数字化虚拟人体和舌象图像,以及图像指导治疗、手术计划和导航、远程医学诊断、医学虚拟现实等医学图像的最新应用成果。每章后面有本章小结,并配有丰富的习题,以便学生课后复习。

本书在编写过程中得到教育部高校计算机基础课程教学指导委员会、教育部高校计算机基础课程教学指导委员会医药类分指导委员会领导与同志的关心和支持,以及全国各兄弟院校领导和同行的支持与帮助,在此一并表示感谢。由于水平有限,经验不足,加上时间仓促,书中疏漏和错误在所难免,希望广大读者和教师批评指正。

编 者

2011 年 1 月



第 1 章 医学成像及处理技术的发展	1
1.1 医学成像及处理技术概述	1
1.2 医学成像常用技术的发展	2
1.2.1 第一张人体 X 射线照片	2
1.2.2 医学图像成像技术的发展	3
1.3 医学图像处理技术的发展	7
1.3.1 医学图像处理的提出	7
1.3.2 医学图像处理技术的发展	8
1.4 医学成像及处理技术展望	12
1.4.1 医学图像成像技术的展望	13
1.4.2 医学图像处理技术的展望	17
本章小结	19
思考与练习	19
第 2 章 医学成像及处理技术基础	20
2.1 医学成像及处理系统概述	20
2.1.1 医学图像的基本概念	20
2.1.2 数字图像的优点	21
2.1.3 医学成像系统分类	21
2.1.4 医学图像处理研究的内容	25
2.1.5 医学图像处理系统	27
2.1.6 医学成像及处理流程	32
2.2 医学图像数字化	33
2.2.1 医学图像信号的采样	34
2.2.2 医学图像信号的量化	37
2.2.3 采样和量化与图像质量的关系	39
2.2.4 数字图像的矩阵与图像数据	43
本章小结	45
思考与练习	45
第 3 章 医学 X 射线成像技术	46
3.1 普通 X 射线成像技术	46

3.1.1 X射线的特性	47
3.1.2 X射线的衰减	48
3.1.3 X射线透视及X射线摄影	52
3.2 数字X射线成像技术	55
3.2.1 数字X射线成像基础知识	55
3.2.2 X射线数字透视与数字摄影	59
3.3 X射线计算机体层成像技术(X-CT)	64
3.3.1 X-CT的数学基础	65
3.3.2 X-CT的扫描方式	68
3.3.3 X-CT的后处理技术	75
本章小结	81
思考与练习	81
第4章 医学超声成像技术	82
4.1 医学超声成像技术概述	82
4.1.1 声波的特性	82
4.1.2 声波的衰减	87
4.1.3 超声场	88
4.2 医学超声成像技术	90
4.2.1 超声成像的物理基础	90
4.2.2 超声成像的信息处理	91
4.2.3 三维医学超声成像技术	92
4.2.4 四维医学超声成像技术	94
4.3 医学超声成像设备	96
4.3.1 超声波诊断仪的类型	96
4.3.2 A型与M型超声诊断仪	97
4.3.3 B型与D型超声诊断仪	99
本章小结	103
思考与练习	103
第5章 医学核素成像技术	104
5.1 医学核素成像概述	104
5.1.1 原子核基本性质	105
5.1.2 核素的衰变规律	107
5.2 核素发生器与准直器	112
5.2.1 核素发生器	112

5.2.2 准直器	114
5.3 γ 照相机	115
5.3.1 γ 照相机的成像原理	116
5.3.2 γ 照相机的图像质量	117
5.4 发射型计算机断层	117
5.4.1 单光子发射型计算机断层原理	118
5.4.2 正电子发射型计算机断层原理	118
5.4.3 发射型计算机断层图像的质量	119
本章小结	120
思考与练习	120
第 6 章 医学磁共振成像技术	121
6.1 医学磁共振成像概述	121
6.1.1 核磁矩与磁共振现象	122
6.1.2 磁共振的宏观描述	125
6.1.3 弛豫与共振信号	126
6.2 医学磁共振成像原理	130
6.2.1 自旋回波序列	130
6.2.2 空间位置编码	134
6.2.3 MR 图像重建	135
6.3 医学磁共振成像质量	137
6.3.1 影响磁共振成像质量的参数	137
6.3.2 流动现象	138
6.3.3 特殊显影技术	139
本章小结	139
思考与练习	140
第 7 章 医学图像处理技术	141
7.1 医学图像处理基础	141
7.1.1 医学图像的数据格式	141
7.1.2 医学图像灰度直方图	146
7.1.3 医学图像的插值技术	148
7.2 医学图像增强	151
7.2.1 医学图像增强概述	151
7.2.2 医学图像增强技术	151
7.3 医学图像分割	158

7.3.1 医学图像分割概述	159
7.3.2 医学图像分割技术	160
7.4 医学图像配准	170
7.4.1 医学图像配准概述	170
7.4.2 医学图像配准方法	173
7.4.3 医学图像配准的评估	176
本章小结	177
思考与练习	177
第 8 章 医学图像重建与可视化	178
8.1 医学图像重建与可视化概述	178
8.1.1 医学图像重建与可视化概念	178
8.1.2 医学图像可视化数据的表示	181
8.2 医学图像表面绘制技术	187
8.2.1 基于切片的表面重建	187
8.2.2 基于体素的表面重建	188
8.3 医学图像体绘制技术	197
8.3.1 按照图像顺序体绘制	197
8.3.2 按照对象顺序体绘制	202
本章小结	205
思考与练习	205
第 9 章 医学图像的压缩、存储与传输	206
9.1 医学图像的压缩	206
9.1.1 医学图像压缩概述	206
9.1.2 医学图像压缩方法	209
9.2 医学图像的存储与传输	213
9.2.1 医学图像的存储与传输概述	214
9.2.2 DICOM 图像存档与传输标准	214
9.3 医学图像存档与通信系统 (PACS)	219
9.3.1 医学图像存档与通信系统概述	219
9.3.2 PACS 实施的相关技术	226
本章小结	228
思考与练习	229
第 10 章 医学图像处理软件与医学图像应用	230
10.1 医学图像处理与分析软件	230

10.1.1 医学图像处理与分析软件的分类	231
10.1.2 国外医学图像处理与分析算法平台	231
10.1.3 国外医学图像处理与分析应用平台	232
10.1.4 国内医学图像处理与分析软件	237
10.2 医学图像的医学临床应用	240
10.2.1 外科仿真与规划	241
10.2.2 手术计划与导航	243
10.3 医学图像的中医临床应用	246
10.3.1 中医舌诊图像分析	247
10.3.2 中医肤色图像分析	254
10.4 医学图像的临床应用展望	255
10.4.1 医学图像的医学临床应用展望	255
10.4.2 医学图像的中医临床应用展望	256
本章小结	256
思考与练习	257
参考文献	258

第1章

医学成像及处理技术的发展

教学目标

通过本章的学习，熟悉医学成像及图像处理技术的发展过程，了解医学成像及图像处理技术的发展趋势。

教学重点和难点

- ☒ 成像技术与处理技术的基本概念
- ☒ 成像技术的发展与展望
- ☒ 图像处理技术的发展与展望

医学图像所涉及的主要内容可以分为两大部分：医学图像成像技术和医学图像处理与分析，二者又都包含广泛的内容。

1.1 医学成像及处理技术概述

医学成像是利用专门成像机制，以无创性方式获取人体内部结构信息的学科，包括 X 线成像技术（含 X 线透视、摄影，DSA 和 CT）、超声成像技术、核医学技术（PET）、磁共振（MRI）技术等。这些都属于如何将实际人体信息转换为计算机的二进制数的问题。这些数据是通过传感器获取的测试数据，经过一定的重建算法把这些数据转换成与二维图像像素或三维体数据对应的原始图像数据集。这种图像重建是成像时重建，与基于断层扫描数据得到三维集合形态的图像重建是不同的概念。

医学图像成像技术包括：图像传感器阵列；新成像原理、新成像模式；高分辨率、高性能显示器件；图像感知、观察性能及评估。

医学图像处理与分析包括：医学图像增强技术、医学图像分割技术、医学图像配准、医学图像重建与可视化技术、图像的压缩与存储技术；图像指导治疗；图像引导手术；医学虚拟环境。这部分内容也可称为医学图像后处理（post-processing）及其应用。

有经验的放射专家和临床医生能从一幅医学图像中得到辅助诊断和治疗的信息，但是来自扫描设备的原始图像由于受到成像设备和获取条件等多种因素的影响，可能会出现图像质量的退化、伪迹，这样很难用肉眼直接得出有用的诊断。因此，做图像后处理的首要任务就是对获取的医学图像进行增强信噪比的工作，滤除图像的噪声等干扰，突出感兴趣区域或边缘，为进一步分析和计算奠定基础，这就是图像增强。图像分割是指将图像中具有特殊含义的不同区域分离开，这些区域是互不重叠的，每一个区域都满足特定区域的一致性。在临床诊断上，医生常需要各种医学图像的支持，如 CT、MRI、PET、SPECT 以及超声图像等，但无论哪一类的

医学图像往往都难以提供全面的信息。不同模态的图像能提供解剖结构、生理特征、机能形态等不同方面的信息,而不同模态的图像往往具有不同的成像机理,且在不同视角、不同时间拍摄。因此,在多模态图像融合前应先进行多模态医学图像的配准,准确定位病变或手术位置等,给医学诊断和制订治疗方案提供更加准确、全面的影像依据。这就需要将患者的各种图像信息综合研究,然而,当人们对获取的图像进行比对分析时,首先需要解决的就是这几幅图像的对齐问题,这就是图像的配准(或称匹配)问题。医学图像配准是确定两幅或多幅医学图像像素的空间对应关系;而融合是指将不同形式的医学图像中的信息综合到一起,形成新的图像的过程。图像配准是图像融合必需的预处理技术,反过来,图像融合是图像配准的一个目的。

图像的重建就是一种从获取的采样数据中恢复物体的三维原型结构的技术。

医学图像是由各种各样的影像设备生成的,通常都以不同形式、在不同介质上保存,手工调阅这些图像显然烦琐而且效率低下;另一方面远程医疗系统的兴起对数据压缩和通信标准都提出了严格要求。PACS (picture archiving and communication system),即医学影像存档与通信系统,给医学图像的存储、传递、管理、维护提供了一种先进的技术,它是一种医学图像管理系统,不是成像装置。

1.2 医学成像常用技术的发展

医学影像技术是利用专门成像机制的设备,以无创性方式获取人体内部结构信息的学科,包括 X 射线成像技术(含 X 射线透视、摄影,DSA 和 CT)、超声成像技术、MRI 技术、核医学技术等。X 射线成像技术应用于医学诊断以来,逐渐形成了获取影像和利用影像进行诊断的分工与合作。随着数字时代的到来,大影像学科的形成,影像技术也从单纯 X 射线摄影发展到综合影像技术,成为医工结合、致力于医学影像获取、处理方法与质量控制研究的学科。数字时代的影像技术研究如何正确和充分地使用设备,克服不利因素,在尽量减少患者痛苦和损伤的情况下,快速获取真实、直观、满足临床需要的影像,这已经成为当前研究的重点。

1.2.1 第一张人体 X 射线照片

1895 年 11 月 8 日,伦琴在维尔茨堡大学实验室中研究阴极射线的穿透力时,发现在暗室中旁边涂有铂氰化钡的荧光屏上,似乎也发出点蓝白色的光。阴极射线泄漏是不可能的,伦琴将放电管用黑纸板层层裹住,但是外面镀有铂氰化钡的纸依然发出明亮的荧光,不管镀层面向放电管还是背向放电管均一样。断电时,荧光不见了。在放电管与镀层间放置不同厚度的纸板、木板、玻璃均不能阻挡镀层发出荧光,而 15mm 厚的铝片只使荧光减弱,只有铅玻璃才有明显的阻挡效果。若将手放在荧光屏前,可在屏上见到手骨阴影和淡淡的外围组织轮廓。伦琴肯定产生荧光的根源在于放电真空管内,而且在阴极射线轰击真空管玻璃之处。他认为这是一种新的未知射线,遂将其命名为“X 射线”。后来将其夫人的手放到照相底板上用 X 射线照了一张照片,这是人类史上第一张 X 射线照。伦琴亲自在照相底板上用钢笔写上 1895/12/22,上面还有他们的结婚戒指,如图 1-1 所示。

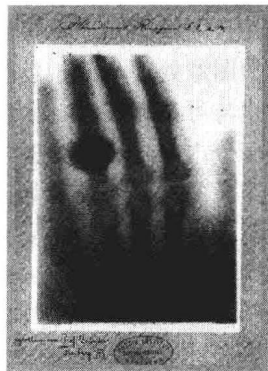


图 1-1 伦琴夫人戴戒指的手的 X 照片

1.2.2 医学图像成像技术的发展

1. 医学 X 射线成像技术的发展

X 射线的发现对医学的发展具有划时代的意义。X 射线发现不久,就被应用到临床。从伦琴发现 X 射线到现在的 110 多年的时间里,射线影像设备一直在朝着不断满足人们需求和方便人们使用的方向发展。在刚开始的阶段,X 射线检查仅被应用于密度差别较大的骨折和体内异物的诊断上。随着各种造影剂的发明和使用,X 射线检查进入了人工对比的检查阶段,逐步应用于人体各部分的检查,大大扩展了检查范围。

由于物理学、电子学、工程学、化学和计算机等学科的进步和发展,及其在 X 射线影像设备中的应用,X 射线产生的影像在可见性和可控性等方面都有了显著的进步,尤其是计算机数字图像处理技术及其他相关技术的发展和运用,使 X 射线影像设备数字化得以实现和发展。

传统 X 射线摄影以胶片为介质,集影像采集、显示、存储和传递功能于一体。因此,其中某一功能的改进不能单独进行,新技术不能得到应用。数字成像技术则将这些功能分解成不同的独立单元,从而可对每一功能进行单独最优化,使 X 射线摄影进入一个崭新的境界。

计算机体层成像(computed tomography, CT)是计算机技术与 X 射线检查技术相结合的产物。早在 1917 年,奥地利数学家 J.Radon 利用数学理论证明利用 X 射线投影值可以重建物体的二维或三维图像。1971 年,英国 EMI 公司工程师 Hounsfield 成功研制了世界上第一台头部 CT 扫描机,随后又出现了全身 CT、螺旋 CT 和超高速 CT 等。X-CT 是运用一定的物理技术,测定 X 射线在人体内的衰减系数,通过一定的数学方法,经电子计算机处理,求解出衰减系数值在人体某剖面上的二维分布矩阵,再应用电子技术把此二维分布矩阵转变为图像画面上的灰度分布,从而实现断层重建的现代医学影像技术。CT 把计算机技术引入成像技术,开创了数字影像的先河,为医学影像学带来一场深刻的革命。其特点一是体层影像,二是密度分辨率大幅度提高。随着多层螺旋 CT(MSCT)的发展,同时具备了快速、薄层、长距离、X 射线利用率高四大优势,实现了有临床实用价值的各向同性扫描。通过后处理技术,不仅能够从冠状、矢状面及任意角度、层面观察解剖,而且可以三维立体地显示各种解剖结构,彻底改变了 CT 只能显示横断层面的局面,使 CT 的应用达到了一个新的境界。图 1-2 所示为 GE 公司的螺旋 CT 机。

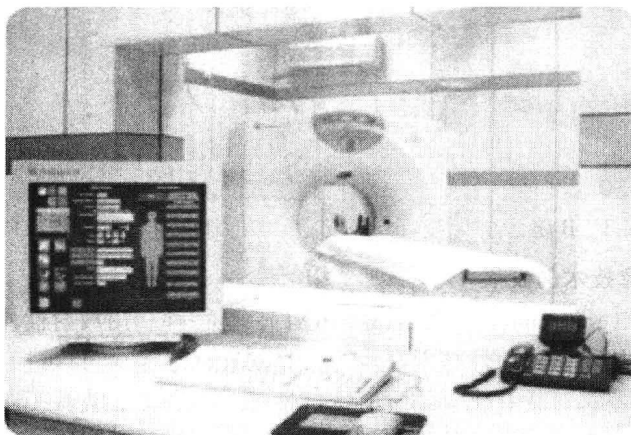


图 1-2 GE 公司的螺旋 CT 机

知识链接



X射线的发现者威廉·康拉德·伦琴于1845年出生于德国尼普镇。1869年，他从苏黎世大学获得哲学博士学位。在随后的19年间，伦琴在一些不同的大学工作，逐渐地赢得了优秀科学家的声誉。1888年，他被任命为维尔茨堡大学物理研究所物理学教授兼所长。1895年，伦琴在这里发现了X射线。

2. 医学超声成像技术的发展

医学超声技术起源于20世纪40年代，50年代应用到临床上，60年代得到进一步发展，70年代得到广泛应用，80年代后与计算机技术相结合，随着计算机、通信、微电子、图像等相关技术迅猛发展，医学超声成像技术也日益精臻。

用于医学上的超声频率为2.5MHz~10MHz，常用的是2.5MHz~5MHz。超声在介质中传播的速度因介质不同而异，在固体中最快，液体中次之，气体中最慢。在人体软组织中约为 $1500\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。超声仪器有A型超声诊断仪、M型超声诊断仪、B型超声诊断仪（简称B超，见图1-3），还有彩色多普勒血流显像仪（简称彩超，见图1-4）。彩超属于实时二维血流成像技术，可在同一时间内获得多个回波信号，并对回波信号进行处理，获得速度、方向及方差信息，同时滤去迟缓部位的低频信号，再将提取的信号转变为红色、蓝色、绿色的色彩显示。尤其是利用先进的实时二维彩色超声多普勒系统，使血流图像和B超图像同时显示，即B型超声图像显示血管的位置而多普勒测量血流，这种B超和多普勒系统的结合能更精确地定位任一特定的血管。



图 1-3 B 超

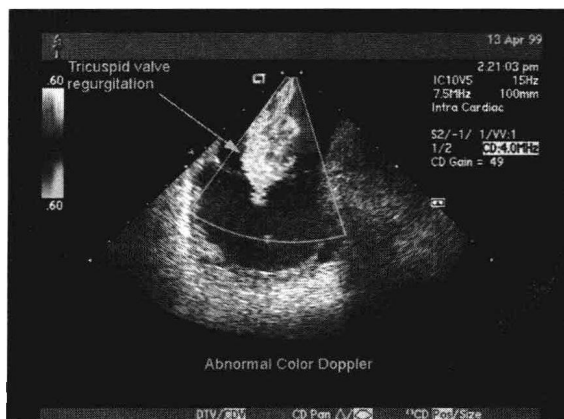


图 1-4 彩色多普勒血流显像仪

3. 医学核素成像技术的发展

放射性核素成像（radio nuclide imaging, RNI），是一种利用放射性核素示踪方法显示人体内部结构的医学影像技术。放射性核素显像主要是功能性显像，可以进行功能性的量化测量。由于体内不同组织和器官对某些化合物具有选择性吸收的特点，故选用不同的放射性核素制成的标记化合物注入体内后，可以使体内各部位按吸收程度进行放射性核素的分布，再根据核素衰变放射出射线的特性，在体外用探测器进行跟踪，就可以间接获得被研究物质在生物体内的