

普通高等教育“十二五”规划教材 全国高等医药院校规划教材

医学影像新技术的临床应用

供医药院校相关专业使用

● 主编 詹松华



清华大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材 全国高等医药院校规划教材

医学影像新技术的临床应用

● 主编 詹松华



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书为医学生影像诊断学教学的补充教材,也是医学继续教育教材。编写定位为各种影像新技术的基本原理和临床应用的综述性介绍,内容主要包括CT、MRI、DSA、超声、核医学(PET/CT)的基本原理和主要技术进展,这些新技术在中枢神经系统、脊柱脊髓、胸部、腹部、骨骼等方面的临床应用,同时也介绍了介入放射学基本的技术。可以帮助广大临床医师了解和运用影像新技术来解决临床诊断的实际问题。全书具有简单、浅易、实用的特点。书中的大量图片将会增加读者对新技术的理解和对解决临床问题实际效果的认识。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

医学影像新技术的临床应用 / 詹松华主编. — 北京:清华大学出版社, 2013

普通高等教育“十二五”规划教材·全国高等医药院校规划教材

ISBN 978-7-302-32240-5

I. ①医… II. ①詹… III. ①医学摄影—临床应用—医学院校—教材 IV. ①R445

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第084949号

责任编辑:李 君 王 华

封面设计:戴国印

责任校对:刘玉霞

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:15.75

字 数:385千字

版 次:2013年5月第1版

印 次:2013年5月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:39.80元

产品编号:048409-01

编者名单

主 编 詹松华

副主编 王 嵩 常时新

编 者 (按姓氏拼音排序)

常时新 (上海中医药大学附属岳阳医院)

程瑞新 (上海中医药大学附属曙光医院)

何 峥 (上海中医药大学附属曙光医院)

童林军 (上海交通大学附属仁济医院)

王 嵩 (上海中医药大学附属龙华医院)

许茂盛 (浙江中医药大学附属第一医院)

姚伟武 (上海交通大学附属第六人民医院)

姚振威 (复旦大学附属华山医院)

詹松华 (上海中医药大学附属曙光医院)

张闽光 (上海中医药大学附属上海市中医医院)

前言

PREFACE

影像医学在最近数十年中飞速发展,现代医学影像诊断学已成为包括普通X线、CT、MRI、血管造影与DSA、超声、核医学的综合性学科。影像资料大多实现了数字化,许多影像诊断方法快捷而又准确。我国影像设备大量从国外引进和安装,影像诊断水平大幅提高,对临床医疗过程中的诊断、治疗方案的制订、疗效监测、预后判断、微创治疗等具有非常重要的意义,使影像医学在临床诊疗、科研产出、教学等业务活动中的作用日显重要。

影像医学的迅速发展,也带来知识更新的问题。目前明显存在专业研究的大量新技术、新方法的涌现与临床实际正确运用之间存在差距,对放射科医师的临床医疗工作既有巨大的帮助,也带来了巨大的再适应的问题。为适应影像医学不断发展的现状,使我国渐趋推广的现代影像医学新技术更好地应用于临床,为广大患者的早日正确诊断和及时治疗,提高医学综合诊疗水平,我们参阅国内外有关文献,结合自己的临床经验,编写了这本教材。

影像医学的学科范畴非常宽泛,其“新技术”也缺乏特定的定义,医学生也都学习过影像诊断学这门课程,对影像医学有了初步的认知。因此,我们参考多位专家的建议,将最近十余年中新出现的技术,而且是在原来影像诊断学这门课程中较少述及的新知识,纳入本教材编写范畴,再邀请各亚专业领域的专家就各自的专长进行一个概括性的新技术临床应用综述,使读者对新技术的临床应用有较为前沿的认识。本书共分12章,内容主要涵盖数字化X线摄影、CT、MRI、DSA与介入诊疗、超声、核医学(PET/CT)的基本原理和主要技术进展,包括这些新技术在中枢神经、脊柱脊髓、胸部、腹部、骨骼等系统或部位的主要临床应用,同时也介绍了介入放射学基本技术。全书具有简单、浅易、实用的特色,配合大量图片,达到通俗易懂、临床实用的效果,不求大而全的长篇深入的详细叙述。

本书可作为医学生影像诊断学教学的补充教材或选修课教材,也可作为医学继续教育教材,编写定位为各种影像新技术的基本原理和临床应用的综述性介绍。由于笔者水平有限、经验不足,错漏之处在所难免,恳请前辈和同道们给予批评指正。

编者
2013年春

目 录

CONTENTS

第 1 章 影像医学的主要进展 1

- 1.1 影像医学的历史与现状 1
- 1.2 医学影像的数字化技术 4
- 1.3 X 线摄影的数字化 8
- 1.4 分层影像显示与立体重组 14
- 1.5 超快速扫描成像技术 18
- 1.6 功能成像技术的进展 19

第 2 章 CT 的基本原理和主要技术进展 24

- 2.1 CT 体层成像的概念 24
- 2.2 CT 体层扫描成像的原理 25
- 2.3 CT 扫描技术的发展 27
- 2.4 CT 功能的发展 29
- 2.5 CT 技术的发展趋势和展望 30

第 3 章 CTA 技术在冠状动脉和心脏大血管疾病中的诊断应用 36

- 3.1 CTA 显示冠状动脉的技术 36
- 3.2 CTA 对冠状动脉狭窄的评价 37
- 3.3 CTA 对冠状动脉粥样硬化斑块的评价 38
- 3.4 CTA 对冠状动脉支架的评价 39
- 3.5 冠状动脉搭桥和成形术后的评价 39
- 3.6 CT 图像重组的心脏功能分析 40
- 3.7 胸痛三联征的病因诊断 41
- 3.8 冠状动脉扩张 42
- 3.9 心肌桥与壁冠状动脉 42
- 3.10 冠状动脉瘘的 CTA 诊断 43

- 3.11 CTA 对主动脉缩窄的诊断 44

- 3.12 CTA 对主动脉夹层动脉瘤的诊断 45

第 4 章 CT 在肺部疾病诊断中的临床应用 48

- 4.1 概述 48
- 4.2 多层螺旋 CT 检查技术 48
- 4.3 多层螺旋 CT 在胸部的临床应用 55
- 4.4 肺部疾病 CT 诊断的研究和进展 59

第 5 章 CT 在腹部病变诊断中的应用 64

- 5.1 肝脏病变 64
- 5.2 胆管病变 69
- 5.3 CT 在胰腺占位病变诊断中的应用 73
- 5.4 CT 在脾脏占位病变诊断中的应用 77
- 5.5 CT 在肾脏及肾上腺占位病变诊断中的应用 80
- 5.6 CT 在子宫、附件及前列腺占位病变诊断中的应用 85

第 6 章 MRI 的基本原理和主要进展 93

- 6.1 MRI 物理现象 93
- 6.2 MR 成像技术 94
- 6.3 信号差别与组织特性 95
- 6.4 MR 成像的临床应用基础 98
- 6.5 MRI 的设备硬件新发展 100
- 6.6 MRI 的主要临床应用新技术 102

第7章 CT和MRI在中枢系统**神经疾病诊断中的应用**·····111

- 7.1 血管性疾病·····111
- 7.2 脑肿瘤·····118
- 7.3 脑脓肿·····123
- 7.4 脑损伤·····123
- 7.5 MRI技术在肿瘤与非肿瘤性
病变、肿瘤定性中的应用·····130

第8章 脊柱和脊髓疾病的**MRI诊断**·····132

- 8.1 MRI检查技术·····132
- 8.2 脊柱或硬膜外肿瘤·····136
- 8.3 脊髓病变·····140
- 8.4 髓外硬膜下肿瘤·····145
- 8.5 炎性病变·····147
- 8.6 椎体和椎间盘退行性病变·····152
- 8.7 脊柱脊髓外伤·····154
- 8.8 先天性畸形·····155

第9章 MRI在骨关节疾病中的**诊断应用**·····158

- 9.1 检查方法与扫描序列·····158
- 9.2 正常骨关节结构MRI表现·····159
- 9.3 MRI在骨关节肿瘤中的应用·····161
- 9.4 骨关节创伤性病变·····166

9.5 炎性病变、退行性变、

缺血坏死·····172

**第10章 介入诊断和治疗的主要
技术和临床应用**·····177

- 10.1 数字减影血管造影成像原理·····177
- 10.2 血管性介入技术·····180
- 10.3 非血管性介入技术·····183
- 10.4 中医药在介入治疗中的应用·····186
- 10.5 常见病介入治疗简介·····187

**第11章 超声医学的主要进展
和临床应用**·····199

- 11.1 超声造影·····199
- 11.2 超声弹性成像·····206
- 11.3 四维超声成像·····208
- 11.4 腔内超声·····210
- 11.5 超声引导下介入诊疗·····214
- 11.6 肿瘤热疗·····216

**第12章 核医学成像和PET/CT
技术的临床应用**·····219

- 12.1 核医学显像的定义·····219
- 12.2 核医学显像的基本原理·····220
- 12.3 PET及PET/CT的基本原理·····220
- 12.4 PET及PET/CT肿瘤显像·····225

参考文献·····234

之间缺乏密度差别而无法显示,通过口服液体对比剂,使其在胃肠道表面均匀分布,就可清晰显示胃肠表面的肿瘤不规则隆起或凹陷改变,达到直观诊断疾病的效果。目前,由于许多副作用极少的安全对比剂的研制成功,使各种造影技术得以临床推广使用,如食管造影、上消化道钡餐造影、结肠气钡双对比造影可以很好地显示胃肠形态结构,静脉肾盂造影、子宫输卵管碘油或碘水造影也是常用的造影方法,心血管造影也正快速地成为普通的常规检查,由于技术的娴熟和安全型非离子型对比剂的应用,造影检查的风险或副作用已大大降低。

而今,由于计算机技术、电子工程技术等快速发展及其与医学的密切结合,X线在医学上的应用日趋成熟,检查方法不断更新,检查疾病的范围不断扩大。20世纪70年代后,由于计算机技术的出现和快速发展,诞生了计算机体层摄影(computed tomography, CT),使X线摄影的平面重叠影像发生了彻底的改变,实现了分层无重叠的断面成像;当今的多排螺旋CT已经实现数秒钟内完成全脏器扫描的快速成像,计算机图像处理技术已经能使图像立体三维重组和四维显示,对疾病的诊断能力有了显著的提高。特别是在近二十年来,介入治疗技术也不断发展,介入微创治疗的技术和应用领域不断更新,使影像医学在临床工作中的作用日益扩大,从最初的透视间、X线室,现已发展成为医学影像综合学科,在医院的医疗业务、设备投资、科研产出等方面具有举足轻重的地位。医学影像学的范围包括了X线摄片诊断、造影诊断、CT诊断、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)诊断、数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)诊断、超声切面成像、核素(emission computed tomography, ECT和positron emission tomography, PET)成像、介入诊断和治疗学等众多内容。相信今后医师利用影像技术进行各种诊疗的要求仍将不断增加,必将不断推动影像医学学科快速发展。

1.1.2 医学影像学的现状

1.1.2.1 影像医学蓬勃发展的现状

当代的医学影像学正进入了一个史无前例的大发展阶段,从单纯诊断向诊断和治疗并举的综合学科发展,人员素质不断提高,设备技术不断更新,在临床医学中的作用越来越重要。可以从以下几个方面来看影像医学的现状。

(1) 影像医学已经从单纯利用X线成像向无X线辐射的MRI和超声的多元化发展,核素成像则利用核素的 γ 射线;而以前令人生畏的X线辐射损伤问题,一方面因感光接受材料或设备的改进,使同样摄片所需要的X线量较前大幅下降,另一方面是X线管性能的提高和X线防护设施的改进,使散射X线或导致人体吸收的软X线量下降,加上MRI、超声等检查设备的不断普及,医学影像的获取已经非常丰富多样和对人体“无害”。

(2) 获得的影像也从平面投影发展到普遍的分层立体显示,如CT、MR、PET/CT及超声切面成像均为体层图像,人体的组织或器官可以被有规律地切层显示,可以克服以前普通X线投照脏器影像互相重叠的缺点。

(3) 计算机被普遍引用到影像医学各种设备中,图像的计算机综合处理技术飞速发展,使目前所有的医学影像都可以实现数字化,图像的数字化存储、传输和显示器显示有逐步代替胶片的趋势,放射科医师的工作地点不一定要在检查的现场,只要影像通过计算机联网传

输而实现在终端显示,那么放射科医师的诊断报告也就随时随地可以进行。计算机重组或重组软件的快速发展和应用于临床,使放射科医师在计算机上实现多平面重组和多种立体显示方式的任意角度观察病变,非常有利于提高阅片效率及诊断准确性。

(4) 功能成像已经在临床上达到实用阶段。目前发展最迅速的 MRI 技术把传统影像诊断从单纯形态学显示向形态、功能和代谢等综合诊断发展。扩散成像(diffusion weighted imaging, DWI)可以发现脑组织缺血半小时左右的细胞水肿,功能 MRI 可以发现肢体活动或思维活动的相应脑组织代谢增强现象, PET/CT 能够及早发现组织形态和糖代谢活动的改变。

(5) 介入放射学的发展日新月异,临床应用范围和治疗效果不断提高。如今介入治疗的简便、微创、高效正日益受到重视,使影像医学从单纯诊断向诊断和治疗共存的临床综合学科发展,影像医学代表了当代医学发展的前进方向。

1.1.2.2 我国影像医学与国际水平存在的差距

医学影像学的发展与临床各学科互相促进,相得益彰。我国在 20 世纪 80 年代后大量引进 CT、MRI、DSA、ECT、PET/CT、彩色超声等先进设备,使医学影像学在经济快速发展的基础上日益发展和壮大,目前在设备性能上已经拥有许多当今世界先进的功能。但是,我国医学影像学现阶段的总体水平仍与国际水平有较大差距,主要表现在:

(1) 我国医学影像学的体制仍以条块分割状态为主。由于医院领导对影像医学的认识程度存在差异,导致影像设备被分开独立的状态随处可见,如 B 超室、CT 室、MRI 室等的独立行政管理模式使工作人员难以从影像医学的大范围得到锻炼和业务提高,知识面窄、合作科研少,影响了我国医学影像学的整体快速发展。

(2) 我国的自主创新和科研突破明显不足。一方面,我国现今使用的影像医学大型设备绝大多数是进口的,这方面的工程技术水平与先进发达国家差距很大。另一方面,我国的影像医学基础研究和实验研究水平较低,经费投入较少,人才匮乏。虽然我国人口众多,设备使用率很高,临床经验积累丰富,但仍然在临床研究和资料系统总结方面存在资料不全和随访困难等许多问题,这里有人力投入不足的因素,也有管理体制方面的不足,与国际水平尚有较大距离。

(3) 影像医学整体上仍停留在大体形态学的粗浅阶段,功能检查较少。X 线摄影和 CT、MRI 形态学诊断是临床工作的绝大部分,灌注成像、功能磁共振、ECT 或 PET 代谢成像、MR 波谱分析、超声造影等功能检查还没有在基层临床普及使用。

(4) 介入放射学蓬勃发展与规范化水平存在差距。介入放射学作为新兴的诊断和治疗学科,受到医学界的普遍关注,新技术不断涌现。但是,目前的介入放射学参与人员纷杂,专业人员的培养缺乏规范,各种操作技术在具体应用中依操作人员的理解和技能水平而差异较大,导致疗效不一,众说纷纭。

(5) 医学影像学的高要求和人员素质不高之间存在矛盾。医学影像学从 X 线诊断发展而来,一直处于医院中的辅助科室地位,优秀的人才不愿参与到医学影像学的实践中来,虽然近几年较多的博士、硕士不断毕业和参加具体工作,但是许多医院的放射科仍然医师、技师不分,许多放射科医师仍然不到内、外、妇、儿、病理等各科轮转学习,甚至医学影像学各专业分支学科之间也不轮转,我国也没有国家层面统一的“医学影像学专科医师”培养制度,工作人员素质水平难以一概而论。

1.1.3 医学影像学的未来展望

医学影像学的大发展时代已经展现在我们面前,未来充满机遇和挑战,生命科学和计算机、工程机械等学科的发展都将对医学影像学的发展产生影响。

(1) 医学影像学科向综合性学科的融合方向发展和在具体课题中的独立深入研究,将互相促进和推动学科全面发展。由于学科间边缘热点问题的合作研究需要,疾病病理变化的规律性特点使不同影像学方法共同显示病变的要求加强,将改变现阶段的医学影像学运行模式,在影像科各种检查设备大统一的“大影像”体制下,医师的分工将更细,更多的医师将以疾病作为工作对象来深入分析病情,更多地向临床需求靠拢。但是,由于检查的快速实现和健康水平的提高,使患者一次完成全身扫描的检查成为现实,因此在临床工作中需要影像学范畴内的“全科医师”出现。

(2) 随着生命科学的发展,分子生物学、生物和基因工程等将进一步深入揭示生物体内微观世界的发展规律,形成生物医学成像(biomedical imaging)的新领域,影响医学影像学基础研究的方向,影像医学的成像目标将是疾病的生理、功能、代谢等过程,而不是单纯的形态学显示。同时,人类基因研究的成果被应用于影像诊断和治疗中的灿烂前景即将实现。

(3) 伴随医学生物工程、计算机、微电子、特殊材料、信息科学等快速发展,新一代的影像设备和介入诊疗器械将更多地应用于临床。多排螺旋CT最终将被平板CT代替,CT与DSA将融合一体,CT目前已经与PET融合显示病变而形成PET/CT;MRI也将与PET融合,MRI/PET已经在国外应用于临床,MRI还将出现小儿、四肢骨骼、头颅、心脏等专用机型,对多种原子的MR成像和对多种化合物的含量成像都将实现。影像的合成和重组显示将成为诊断的主要依据。

(4) 随着信息科学的发展,影像资料的数字化、图像存储和传输的在线即时调用、远程影像学的成熟发展、智能化计算机诊断系统(computer aided detection, CAD)的使用等,都将改变影像医学工作者的工作方式和知识结构,区域性影像集中管理和亚专业放射科医师远程诊断的模式将被推广,网络和计算机显示屏将代替传统的胶片和纸张。

(5) 随着经济的发展和生活水平的提高,促使微创或无创伤的医学诊疗新方法快速发展,影像诊断新技术和介入放射学的发展将使许多传统的创伤性侵入性医疗项目淡出临床,促进医疗更符合心理需求和社会经济综合状况。

以上这些发展都将改变医学影像学的科学研究和诊疗实践方式,促进医学影像学管理体制和运行方式的改革。加速人才培养、适应现代医学影像学的发展潮流,才能有所作为,有所收获。

1.2 医学影像的数字化技术

近年来,随着计算机技术的不断进步,影像数字化在各个领域的应用不断推进。在放射影像领域,最先开始数字化的影像学检查技术是CT。随后,MRI的问世也形成了数字化的图像。随着平板X线探测器技术的发明和发展、DSA的出现、计算机X线摄影的应用及数

字化X线摄影的不断普及,使整个影像科的各种成像技术都可以实现数字化信号采集和在计算机中存储。当前,数字化的影像学检查技术不但给影像科检查流程带来革命性变化,而且在患者接受射线剂量减少、图像清晰程度、定性定量确定等方面都有实质性的改进,为患者早期诊断、全面评价和疗效观察等各个就诊环节带来了实实在在的巨大益处。

1.2.1 影像数字化

1.2.1.1 影像的形成条件

照片或X线片上的影像都是通过肉眼观察的,两者被肉眼感知的原理是一样的,需要一定的条件,影像必须具有适当的亮度、对比度、空间分辨率和信噪比。这些也是确定一幅图像质量的主要指标。医学影像要显示组织器官的解剖形态或病理改变,就必须用某种原理使组织间或病变与正常组织间出现图像灰暗亮度上的不同,也就是说使病变的灰度与周围组织的灰度出现差别,以显示病变的边缘形态、大小和内部组织结构的灰度差别。

1.2.1.2 传统胶片影像的概念

X线摄片技术由来已久,临床使用已达数十年时间。它采用溴化银均匀涂布在塑胶薄膜上形成底片,然后经由X线曝光后,接受到X线照射部分的溴化银解析出银粒子。由于人体投照后X线将会部分被吸收,而且各部位的X线被吸收程度各不相同,导致胶片上银粒子的析出多少各不相同。在胶片后续冲洗过程中,胶片上的银粒子将黏合在胶片上,溴化银被冲洗消失,黏合在胶片上的银粒子呈黑色,根据银粒子留存多少,即形成亮暗差别的灰阶图像。

普通胶片影像是由胶片冲洗中沉积的许多黑色微小银点组成的,小点的密度构成了图像的不同黑度,银粒子形成的黑色程度是一种渐进的亮暗差别,较亮的地方银微粒少。这种黑亮度(灰度)变化是连续的,由灰度不同构成的图像称为模拟图像(analogue image),有通过模型或者灰度大致估计具体数值的意思。模拟图像的亮度分辨率只能由肉眼分辨能力决定,一般人眼只能分辨16或32个亮度等级,可见是很有限的,影像间细微的亮暗差别常不能被察觉,而数字影像就没有这种限制。

这种模拟与数字的例子在生活中也有许多,如图1-2所示的手表,上方指针式表示的时间是模拟的,9点10分多一点,具体多多少只可依靠眼睛视觉猜测;而下方的数字式时间表述则非常清楚地告诉我们是晚上9点10分54秒。

胶片影像在实际使用中存在一些缺陷,如①胶片必须在暗室中冲洗,比较繁琐;②显影液、定影液对环境有污染,对操作者身体也有危害;③胶片成像一次定影,一切就此定型,曝光剂量大小的掌控对影像质量的影响巨大;④胶片既是X线摄片时X线的接收物质,又是影像显示的载体;⑤胶片上的影像一旦形成,无法做亮暗、对比的进一步调节,所以重摄的可能性较大。



图1-2 手表的上部是指针式的(模拟的),下部是数字式的

1.2.1.3 数字影像的概念

随着计算机技术的不断发展,利用计算机来处理图像已非常普及。计算机高性能的存储能力和图像后处理软件功能使传统的医学影像发生了革命性的变化。图像通过计算机处理能以数字形式存储运算和进行复杂的二次处理,以提高人肉眼的识别能力。

数字影像是指以数字矩阵形式表示的影像。数字矩阵是个数学概念,连续的一排数字我们称为数列,连续的数个数列的整体就形成了一个数字矩阵,纵向和横向上的数字多少就是这个数字矩阵的大小,就好像矩形平面图一样,如 256×256 或 512×512 就是矩阵大小的表示方法。一个 256×256 的数字矩阵中有 2^{16} 个数字,就是 65536 个数字,每个数字的值和位置,计算机都能准确记录,这种图像我们统称为数字影像或数字图像(图 1-3),民用的 VCD、DVD、LD 等都是数字影像。

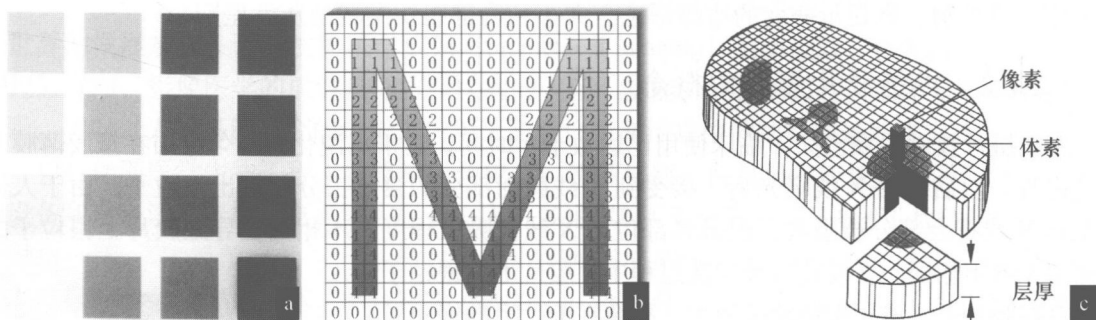


图 1-3 计算机将图像中的像素按照空间位置分割成许多小方块,就可以实现像素代表数字的亮暗差别(a),大量的像素组合在一起,如果像素值不同,就可形成图像(b),人体断面如果不同,组织或脏器的像素值(如 CT 值)不同,这些组织或脏器就会被显示出来(c)

1.2.1.4 数字影像与普通胶片影像相比的优点

首先,数字影像是存于计算机中的数字矩阵资料,可反复提取和摄片,还可进行放大、切割取舍和灰度对比调节等后处理;第二,数字化图像可以进行图像的重组,包括不同切面像的重组和表面重组、容积重组、内镜重组等复杂的后处理方法。第三,存于计算机中的数字资料体积小、不变性,管理方便,没有胶片的变质和存储问题。第四,数字图像可通过发达的网络进行传输和共享,使远程诊断、办公家庭化等成为可能。

1.2.1.5 数字影像的空间分辨率在有限条件下略微降低

空间分辨率表示在高对比下区分细小的相邻物质的能力,亦即可以识别的相邻物体尺寸的最小极限。在模拟图像中,空间分辨能力是胶片上的微小银粒所决定的,可以说远超过人眼的分辨能力。但在数字图像上,图像是被分解成 256×256 个小点的。如果图像代表的人体断面大小为 $25.6\text{cm} \times 25.6\text{cm}$,此时一个图像小点就是代表 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 大小的组织,这个大小远较银粒大。因此一般来说,数字图像的空间分辨率较低,但在一般情况下已能满足实际临床需要。

1.2.1.6 像素和体素的区别

像素是图像的单元 (picture element 或 pixel), 是一幅平面图像被分解成 512×512 或 256×256 个大小相同的正方形或长方形的小块单元, 是个平面上的一点的概念, 像素的多少就是数字矩阵的大小。而体素 (volume element 或 voxel) 是指某个像素代表的人体组织的立体小单位, 是个三维的概念 (图 1-4), 体素的三维关系通过像素的表达被简化为二维的影像, 一幅图像的矩阵不能表达具有厚度的体素的立体结构, 所以, 从体素到像素的转化有部分容积效应的假象存在。

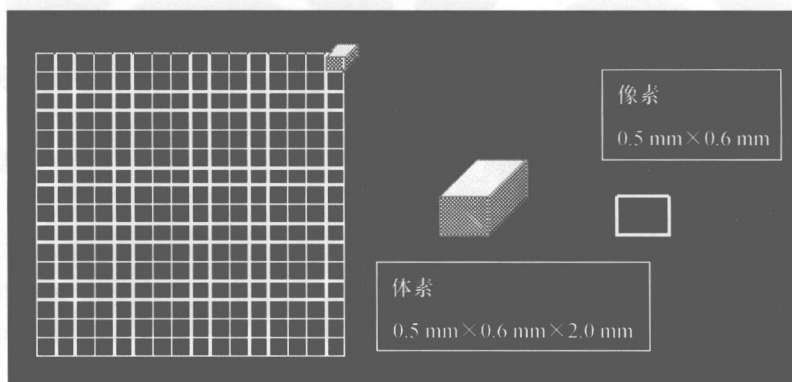


图 1-4 像素与体素的区别

像素是平面的概念, 体素是人体组织立体三维的概念

1.2.1.7 部分容积效应

上述的体素是一个立体的三维概念, 既有平面上的长、宽值, 也有深度或高度值, 深度或高度值其实就是成像的层厚。但是, 表现在平面图像上的像素只有二维, 没有了深度的表述。成像时这个体素中的所有分子都是有关的, 计算机只能取它们的总和的平均值, 忽略在深度空间上组织的组成有时差别很大。当其中存在很高密度或者很高信号的小块组织时, 会导致代表整个体素总体的像素呈很高亮度, 这就是部分容积的情况误导的以点盖面假象, 在 CT 和 MRI 图像上均存在, 我们称它为部分容积效应, 这是需要我们在工作中注意识别和避免失误的。部分容积效应的减少方法就是增加图像的空间分辨率, 如减少层厚、增加成像时的矩阵大小等。

1.2.1.8 窗位、窗宽显示技术

窗位、窗宽显示技术是为了更好显示影像中组织灰度差异而设计的显示技术。因为计算机允许每个像素的数值变化范围很大, 而肉眼所能分辨的灰度等级 (一般仅 16 或 32 个等级) 有限, 故根据被显示图像中感兴趣组织在计算机中的灰度值范围确定一个数值范围 (即窗宽), 将此范围的中心点称为窗位, 使人眼可能分辨的每一灰度等级代表恰当的数值。如在 MR 图像上颅内组织及病变的各个像素数值变化范围为 0 至 +160 之间, 我们就选择窗宽为 160, 其中间值 80 为窗位, 而像素值低于 0 的所有组织显示为黑色, 高于 +160 的组织均显示为白色。假如显示屏的灰度显示为 16 个等级的话, 每级灰度代表数值范围为 10, 也就

是当相邻两种组织间的像素数值相差 10 以上时,就可在屏幕图像上显示出亮度的不同;但此时如果相邻组织间的像素数值相差不足 10 时,显示屏上就不能表现亮度的差别。由于这个最小允许差别的数值由窗宽决定,随窗宽增加而变大,在具体工作中就不能把窗宽设置过大。但窗宽过小时,计算机内像素数值在窗宽两端以外的组织又都因为太亮或太黑而不能观察,有时甚至导致漏诊。因此,通过窗位、窗宽技术可使灰度分辨率得到充分的体现,并形象地被人感知;但是,只有窗位、窗宽选择恰当才能有效地显示病变形态和组织结构。在医学影像阅读分析时一定要注意摄片时的窗位和窗宽(图 1-5)。

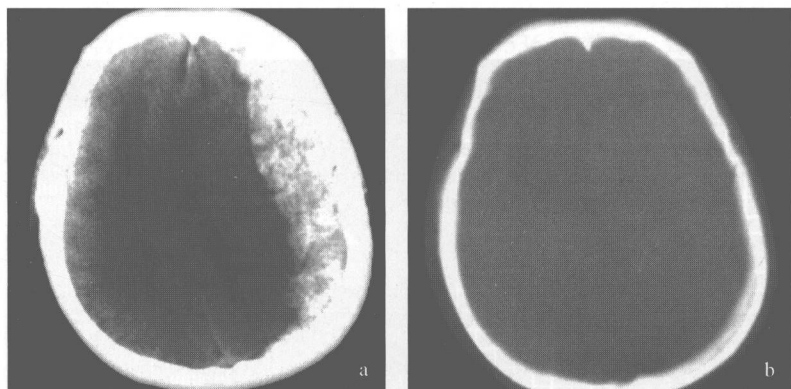


图 1-5 同一层面的 CT 图像,采用不同窗位窗宽显示,可观察到的组织内容不一样

a. 脑组织窗,显示硬膜下血肿;b. 骨窗,显示颅骨

1.3 X 线摄影的数字化

最近的 30 年间,随着计算机图像处理技术深入融合到医学影像处理领域,从最早的 CT 引发的医学图像数字化进程先后在 DSA、MRI、PET (PET/CT) 等医学影像领域得到应用。X 线摄片作为最基本、普及、方便、廉价的影像诊断技术,由于空间分辨率要求最高,对影像探测器的技术要求高,数字化不易。但随着技术障碍被克服和科研的进展,通过数年的数字化摄片技术研究和临床推广,在临床上绝大多数医院都开始了数字化摄片的应用。

1.3.1 数字化 X 线成像技术的分类

1.3.1.1 影像增强器数字 X 线摄影系统

由影像增强器 (I.I.)、电荷耦合器件 (charged coupled device, CCD) 或真空摄像管 (pickup tube)、电视系统和模数转换器件 (A/D) 组成。闪烁器将入射 X 线转换为可见光,经反光镜反射由组合镜头直接耦合到 CCD 芯片上,由 CCD 芯片将可见光信号转换成电信号,再由计算机把电信号变为数字信号。CCD 平面数字成像技术目前主要运用于数字胃肠系统与大型血管造影 (DSA) 系统。

1.3.1.2 计算机 X 线摄影

计算机 X 线摄影 (computed radiography, CR) 的特征是以成像板 (image plate, IP) 代替胶片作为载体, IP 含有微量元素铕 (Eu^{2+}) 的钡氟溴化合物 (BaFBrEu^{2+}) 的结晶。X 线穿过人体, 曝射后在 IP 上形成潜影, 将 IP 板放入激光扫描仪经过激光束扫描来读取存储于 IP 板中的影像信息; 随之通过光电倍增管和 A/D 转换器转换成数字信号, 进行计算机图像显示及各种图像处理、显示和摄影等。

1.3.1.3 数字化 X 线摄影

数字化 X 线摄影 (digital radiography, DR) 从 X 线曝光到图像的显示由设备自动完成, 患者经过 X 线曝光后, 无需其他人力投入和处理, 就可直接和快速地在显示器上观察到图像。数字化 X 线摄影可分为三种类型。

1. 间接数字化成像 (indirect digital radiography, IDR) IDR 的 X 线信号收集及数字化处理等均由平板探测器来完成, 是目前 DR 的主导成像模式。平板探测器的结构是由闪烁体或荧光体层上涂有具光电二极管作用的非晶硅层 (amorphous Silicon, a-Si), 再加上薄膜半导体 (thin film transistor, TFT) 阵列, 或 CCD, 或互补金属氧化物半导体 (complementary metal oxide semiconductor, CMOS) 构成。

常用的平板探测器有以下几种:

(1) 碘化铯 (CsI) + a-Si + TFT: CsI 闪烁发光晶体层受到 X 线照射后, 能量转化为可见光, 激发光电二极管产生电流, 并在自身的电容上积分形成储存电荷。该类技术的最大优势在于 X 线利用率高, DQE 一般在 60% 以上前提下快速获得图像。同时, 该技术的平板探测器已发展到了动态快速采集阶段, 并成熟运用于数字化心血管造影。

(2) 硫氧化钆 ($\text{Gd}_2\text{S}_2\text{O}$) + a-Si + TFT: 利用硫氧化钆来完成 X 线光子至可见光的转换过程。由此类材料制造的 TFT 平板探测器成像快、成本低, 缺点是灰阶动态范围较低 (12bit 以下)。

(3) 碘化铯 / 硫氧化钆 + 透镜 / 光导纤维 + CCD/CMOS: X 线先通过闪烁体或荧光体构成的可见光转换屏, 将 X 线光子变为可见光图像, 而后通过透镜或光导纤维将可见光图像送至光学系统, 由 CCD 采集转换为图像电信号。

(4) CsI ($\text{Gd}_2\text{S}_2\text{O}$) + CMOS: 此类技术受制于间接能量转换空间分辨率较差的缺点, 较难利用大量高解像度 CMOS 探头组成大面积矩阵。

2. 直接数字化成像 (direct digital radiography, DDR) 直接能量转换平板探测器的结构主要由非晶硒层 (a-Se) TFT 构成。入射的 X 线光子在硒层中产生电子 - 空穴对, 在外加电场作用下, 电子 - 空穴对向相反的方向移动形成电流, 电流在薄膜晶体管中积分成为储存电荷, 储存电荷量反映入射的 X 线光子的能量与数量。这种 DR 探测器的解像度达 $139\mu\text{m}$, 优于目前各种间接能量转换 DR 探测器的空间分辨率。

值得注意的是, 切不可将这种直接能量转换与“直接读出”相混淆。目前的概念, “直接数字化成像”就是指非晶硒材料组成的影像平板, 信号采集过程中没有可见光转换过程导致的能量损失。而间接的能量转换形式的数字化成像将所有中间环节由设备或计算机自动完成, 直接获得数字化图像, 但是能量转换是间接的, 只能说是“直接读出”而已。只不过目

前对于能量转换过程中的损失通过技术的不断改进而逐渐趋向于“忽略不计”。

3. 线扫描技术 采用狭缝式线扫描技术和高灵敏度的线阵探测器。X 线管发出的平面扇形 X 线束穿过人体到达探测器, 得到一行信号数据, X 线管和探测器平行自上而下匀速移动, 逐行扫描, 将一行行的数据经过计算机处理、重组后就得到一幅平面数字图像。线扫描数字成像的探测器包括三种: 多丝正比室探测器、光电二极管探测器、CCD+CMOS 探测器。该技术的缺点是曝光时间过长, 像素矩阵、空间分辨率等指标都不高。目前临床应用较少, 渐趋淘汰。

1.3.2 CR 的最新进展

CR 数字摄影系统问世已经三十多年了, 它是目前十分成熟的数字化 X 线成像技术。近年来在成像板结构和扫描方式方面有了重大的改进。

1.3.2.1 成像板的改进

IP 板结构上采用新感光材料, 目前大多数用针状结构的荧光物质作为闪烁体, 使荧光散射现象大大地降低, 使图像的锐利度及细节分辨能力大为提高, 图像质量得到了明显的改善。近年有些厂家推出双面读出 IP, 采用透明基板, 扫描时, 双面读出器同步读取图像信息。该技术可使噪声等价量子数 (noise equivalent quanta, NEQ) 提高 30%~40%。

1.3.2.2 扫描方式的改进

目前 CR 基本都采用飞点扫描的方法进行点状激光对 IP 板进行扫描和重组图像, 扫描速度和图像空间分辨率不足。最近已经成功推出线扫描技术, 每次读出 1 行图像信息, 图像信息收集器为 CCD, 激发光源与 CCD 器件分别做成 $1 \times n$ 个阵列, 扫描时间缩短很多, 基于新的透明或双面 IP、CsBr:Eu²⁺ 针状存储荧光体、自动扫描、双面读出等新技术的应用, 能够获得与基于 CsI:Tl 和 a-Si 平面阵列平板 DR 系统相媲美的图像质量。

1.3.2.3 后处理软件

随着计算机技术的发展和处理算法的改进, 各厂家相继推出了许多软件。组织均衡的处理软件可根据不同部位自动地使每幅图像最优化, 自动消除原曝光图像中过亮及过黑的区域, 降低细节损失, 从而提供高细节对比度, 显示更佳解剖结构的、协调的图像。

1.3.2.4 CR 不断向 DR 相似的临床工作流程方向发展

传统 CR 以片盒式操作、集中图像读出处理为基础, 与 DR 的直接图像读出存在工作流程上的明显不同, 但是, 随着 CR 技术的改进和成本下降, CR 的缺点不断被克服, 优势得到增强, 使得二者之间的差异越来越小。这些主要体现在以下三个方面:

(1) 原本 CR 的盒式 IP 系统, 要求技术员将 IP 送到中央处理室进行 IP 图像读出处理。现在的 CR 盒式读片器体积及成本降低, 速度增快, 以至于在每个 X 线摄片室或是操作控制台里都可以安装一个读片器, 也就如同 DR 的分散工作流了。

(2) 目前的无盒式光激发磷光体 (photostimulable phosphor, PSP) 的 X 线系统将图像二次扫描接收器融入 X 线摄影系统中, 自动完成 X 线曝光后的激光扫描和图像重组过程, 就如

同 DR 可以自动生成图像一样。

(3) 现在便携式(床旁) X 线机可以安装一个集成 CR 读片器,床边摄片后即时读出成图像。这样就可以获得和 DR 相似的功能,而 IP 较 DR 探测器轻薄,操作方便,节约人力,设备成本远较 DR 低。

1.3.3 DR 技术的进展

1.3.3.1 非晶硅和非晶硒平板探测器数字成像的进展

非晶硅和非晶硒平板探测器本身的进展主要在于晶体排列结构上的改进,目前研究集中于针状或柱状结构的非晶硅和非晶硒探测器,可以减少光散射,提高图像的锐利度和清晰度。

DR 在系统结构与处理软件上也有一些新的改进。目前市场上存在双板结构、C 形架结构、悬吊式 X 线管组件和立式胸片架组合结构、胸部专用式结构及目前最普及的单板多功能系统结构。采用悬吊式 X 线管组件和落地式多轴探测器架组合或双悬吊组合结构,配单端固定升降浮动式平床;或为可移动单板探测器配浮动摄影床和立式胸部摄影架,实现单板多用,即多功能 DR 摄影机。床旁移动平板数字 X 线摄影机现在也已面市。软件方面除了常规处理软件外,与 CR 一样各厂家有组织均衡图像处理软件和双能量减影、分层摄影、拼接处理软件等。

1.3.3.2 CMOS 平板探测器数字成像的进展

CMOS 平面探测器的像素尺寸可达 $76\mu\text{m}$,空间分辨率达到 6.1LP/mm ,是目前空间分辨率最高的探测器,但系统成像速度比较慢。CMOS 平板探测器荧光层可产生与入射 X 线束相对应的荧光,CMOS 芯片可将荧光信号转换成电信号,经电子放大与读出电路送到图像处理电脑系统进行处理。

1.3.3.3 CCD 数字成像的进展

很多新技术的引入(如材料、结构、图像处理等)使 CCD 平面数字成像技术有了长足的进步,主要有以下三个方面的改进和提高:① X 线闪烁体采用了针状结构的材料(Tl:CsI 或 GdSO:Tb 及 GdSO:Eu),减少了光散射,提高了图像的锐利度和清晰度;② 采用了航天高清晰高倍光学组合镜,提高了灵敏度和可靠性;③ 采用充填系数为 100% 的 CCD 芯片,像素变小(现有 $<100\mu\text{m}$ 的)、接收面积增大,从而使获取的图像信噪比增加、分辨率提高。

1.3.3.4 DR 未来临床应用的趋势

DR 相对 CR 来说在技术上具有明显的优势,辐射剂量小,图像清晰,但目前还是一个比较新的技术,价格相对于 CR 来说较贵。由于 DR 机器本身的技术含量增高、曝光条件自动测算,技术人员对 DR 的技术关注度不够,对成像参数的设置缺乏兴趣,对图像处理过程缺乏理解,需要在临床应用层面加以指导和加强技术培训。

DR 技术将会在以下的临床应用中得到扩展:计算机辅助诊断、三维体层摄影和合成、双能量减影、低剂量透视摆位、时间减影、图像无缝衔接(图 1-6、图 1-7),等等。尤其是三维体层摄影和合成,廉价、快速而低辐射量,该技术可以多平面重组图像,或是三维容积重组图像,已逐渐体现出用于胸、骨和乳腺检查的优越性。