

全国卫生院校高职高专教学改革实验教材

医学影像成像原理

(医学影像技术专业用)

主编 黄泉荣



 高等教育出版社

全国卫生院校高职高专教学改革实验教材

医学影像成像原理

医学影像技术专业用

主 编 黄泉荣

副主编 孙 静 姜建华

编 者 (以姓氏拼音为序)

范 平 阜新卫生学校

姜建华 浙江医学高等专科学校

黄泉荣 浙江医学高等专科学校

宋 端 辽东学院医学院

孙 静 云南医学高等专科学校

高等教育出版社

内容提要

本教材根据职业教育的目的,让学生毕业后就能与临床工作“零”距离结合。同时考虑到国家执业资格认证的资格考试,其内容层次与之紧密衔接。还注意对学生的科学思维和创新精神的培养,使之能成为高素质的实用型技术人才。

本教材共分十三章,三个大的部分,第一部分是第一章~第三章,主要介绍与医学影像成像有关的通用知识,如数字图像、图像显示等。第二部分是第四章~第十二章,主要介绍 X 线成像、超声成像、磁共振成像和核医学成像的原理及其物理学基础知识,第三部分是第十三章,将可见光成像及其他医学成像进行简略介绍。

本教材的读者对象主要是医学影像专业的五年制高职、高中起点三年制高职、大专函授教育学生的教学用书。也可作为其他医、护专业选修课用书,或者临床工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

医学影像成像原理/黄泉荣主编. —北京:高等教育出版社,2005.9

医学影像技术专业用

ISBN 7-04-017629-7

I. 医... II. 黄... III. 影像诊断-高等学校:技术学校-教材 IV. R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094094 号

策划编辑 秦致中 责任编辑 秦致中 封面设计 王 隼 责任绘图 朱 静
版式设计 胡志萍 责任校对 殷 然 责任印制 宋克学

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京人卫印刷厂		http://www.landaco.com.cn
开 本	787×1092 1/16	版 次	2005 年 9 月第 1 版
印 张	15.75	印 次	2005 年 9 月第 1 次印刷
字 数	380 000	定 价	26.30 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 17629-00

前 言

为落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》中提出的“积极推进课程和教材改革,开发和编写反应新知识、新技术、新工艺、新方法,具有职业教育特色的课程和教材”的要求,2004年3月,教育部职成司颁布了“关于制定《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》的通知”,根据“通知”中关于“积极开发编写新兴专业课程教材和教学改革试验教材”的要求,我们精心编写了本教材。

本教材的编写摒弃了过分依赖教学大纲的编写模式,淡化本学科独立完整性和系统性的意识,以理论够用、技术实用为出发点,把编写的重点放在实用型技能的培养上,进行大胆的创新。在结构上,首先介绍了各种医学成像都将涉及的数字图像基础和图像显示知识。其次,把与医学影像成像原理有关的物理学基础知识整合在本教材内,这样既可以缩减理论课时,教学上又能一气呵成,便于学生理解。在内容上,着重介绍了四大医学影像的成像原理及其物理学基础知识,还对其他医学成像进行了一定的介绍。

本教材着重培养学生的职业道德、理论基础以及职业能力,与用人单位实际需要接轨,与国家职业资格认证接轨,使之成为具备实用操作性技能的人才。

本教材编写前,来自全国13所院校的15位医学影像技术专业方面的教育专家,就教材编写有关问题举行了会议,制定了具体的编写要求。本教材经讨论后,第一、二、三、九、十、十三章由浙江医学高等专科学校的黄泉荣编写,第四、六章由云南医学高等专科学校的孙静编写,第五章由辽宁辽东学院医学分校的宋端编写,第七、八章由辽宁阜新卫生学校的范平编写,第十一、十二章由浙江医学高等专科学校的姜建华编写。参编者都具有丰富的医学教学实践经验,但是,医学职业教育是教学改革创新,用书又比较迫切,加之本人水平有限,恳请各位同仁、同学,对教材中的缺点、错误之处提出批评,进行斧正,以便修改。

本教材的参考总学时数约70时,理论和实验约3:1,学时分配如下:

章序	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	十三
理论	2	4	4	6	4	6	6	6	4	4	2	2	2
实验		2	2	2	2	4			2	2			2

本教材在编写过程中,得到了浙江医学高等专科学校领导和教师大力支持,特别是姜建华老师和许晓燕同学做了大量的工作,并得到参编单位和编者的精诚合作,在此深表感谢。同时对本教材所引用著作(附录1)的各位作者表示深深的谢意。

黄泉荣
2005年5月

目 录

第一章 总论	1	一、图像的定义	21
第一节 医学影像在医学中的作用	1	二、图像的表述要素	22
一、医学影像学的诞生	1	三、图像的表达方法	22
二、医学影像在医学中的重要性	2	四、数字图像的表达方法	23
三、医学影像成像的基本原理	2	五、医学成像	24
四、医学成像技术的发展历程	3	六、图像数据格式	25
第二节 医学影像的分类及特点	5	第三节 医学影像的数学处理	25
一、X线医学成像	6	一、医学图像处理概述	25
二、超声医学成像	6	二、医学影像的数学处理	26
三、核医学成像	7	三、医学影像数字处理的应用	29
四、磁共振成像	7	第四节 图像质量的评价指标	31
五、可见光学医学影像	8	一、空间分辨力	31
六、红外、微波医学成像	8	二、图像对比度	32
第三节 医学成像系统的评价	9	三、时间分辨力	32
一、电磁波透射成像的分析	9	四、均匀性与畸变	33
二、超声成像与X线成像的比较	9	五、伪影	33
三、解剖形态学成像与功能成像	9	六、噪声	33
四、对人体的安全性	10	第五节 图像存档与通信系统	33
第四节 医学影像技术展望	11	一、概述	33
一、开发医学成像新的功能	11	二、PACS的基本组成和要求	34
二、各种医学影像数字化融合	12	三、PACS的基本类型	36
三、虚拟内镜	13	四、图像数据量的确定	39
四、医学影像存储和通讯系统	14	五、PACS的发展趋势	39
五、人体电阻抗成像	14	练习与思考	40
六、虚拟人体计划概述	15	第三章 图像显示原理	41
练习与思考	16	第一节 图像显示概述	41
第二章 数字图像基础	17	一、图像显示的意义	41
第一节 人眼视觉的生理特点	17	二、常见图像显示的原理及特点	42
一、人眼对图像亮度的感觉及分辨能力	17	第二节 CRT显示	43
二、人眼对图像细节的分辨能力	19	一、CRT显示的特点	43
三、人眼图像的时间分辨能力	20	二、单色显示CRT-MDT	44
四、人眼对图像色彩的感觉	20	三、彩色显示用CRT-CDT	44
第二节 数字图像的基本知识	21	第三节 LCD显示	45

一、液晶的基本知识	45	四、X线直接投影成像的基本原理	77
二、液晶显示器的原理结构	47	第二节 X线直接投影胶片成像	77
三、液晶显示的基本原理	48	一、X线成像有关基本概念	77
四、LCD的特点	49	二、X线成像信息的形成	77
第四节 等离子(PDP)显示	50	三、X线胶片	78
一、低压气体放电的基本知识	50	四、增感屏	80
二、PDP的工作原理	50	五、滤线栅	81
三、PDP的原理结构	51	第三节 X线直接投影数字成像	83
四、PDP的主要特点	51	一、数字X线成像概述	83
第五节 其他图像显示	53	二、计算机X线摄影	84
一、场致发射显示(FED)	53	三、直接数字X线摄影	90
二、场离子发射显示(FID)	53	第四节 数字减影血管造影	92
三、电致发光显示(ELD)	54	一、数字减影血管造影概述	92
四、立体显示	55	二、DSA减影原理	93
五、荧光显示器件	57	三、DSA的基本方法	94
练习与思考	58	练习与思考	96
第四章 X线物理基础	59	第六章 X线计算机体层成像	97
第一节 X线的本质与特性	59	第一节 CT概述	97
一、X线的发现	59	一、CT的发明及发展	97
二、X线的本质	60	二、CT图像的优点	98
三、X线的特性	61	三、CT的临床应用价值及限度	99
第二节 X线的产生与能谱特点	63	第二节 CT的基本结构和成像原理	100
一、X线产生的条件	63	一、CT基本结构	100
二、X线的能谱特点	64	二、CT成像原理	101
三、影响X线辐射谱线产生的因素	67	第三节 各代CT的特点	106
第三节 X线与物质的相互作用	68	一、第一代CT机——笔束平移+旋转式	106
一、不变散射(经典散射)	68	二、第二代CT机——窄扇形束平移+旋转式	106
二、康普顿效应	68	三、第三代CT机——宽扇形束旋转+旋转式	106
三、光电效应	69	四、第四代CT机——宽扇形束旋转+静止式	107
第四节 X线传播中的衰减因素	70	五、第五代CT机电子束CT	107
一、X线的质和量	70	第四节 螺旋CT	108
二、X线的衰减因素	71	一、螺旋CT简介	109
练习与思考	73	二、单层螺旋CT成像原理	109
第五章 X线直接投影成像	74		
第一节 X线直接投影成像	74		
一、X线直接投影成像概述	74		
二、X线成像发展简史	76		
三、X线成像特点	76		

三、多层螺旋 CT(简称 MSCT)简介	111	第四节 磁共振成像的参数与序列	
练习与思考	112	技术	143
第七章 磁共振成像物理学基础	114	一、脉冲序列	143
第一节 原子与原子核的结构	114	二、磁共振成像参数	143
一、原子的核式结构	115	三、自旋回波脉冲序列	144
二、原子核的结构	115	四、回波平面成像序列	146
第二节 磁与原子核的磁特性	115	第五节 磁共振其他成像简介	147
一、磁场	115	一、扩散成像	147
二、原子核的磁特性	118	二、灌注成像	148
三、医用磁性核	120	三、屏息心脏成像及磁共振电影成像	148
第三节 静磁场对自旋磁体的作用	120	四、化学位移成像与磁共振波谱技术	149
一、磁化	120	五、磁共振功能成像	149
二、核能级分裂	121	练习与思考	150
三、自旋核的进动	121	第九章 超声成像的物理基础	151
第四节 磁共振与自旋弛豫	123	第一节 医学超声的定义及特点	151
一、磁共振	123	一、医学超声概述	151
二、自旋弛豫	124	二、振动与波动	153
第五节 磁共振信号的产生和接收	127	三、超声的物理量	154
一、磁共振信号的产生和接收	127	第二节 超声在介质中的传播特性	159
二、射频脉冲的激励方式	127	一、超声的反射	159
三、自由感应衰减信号	127	二、超声的折射	160
练习与思考	128	三、超声的透射	161
第八章 磁共振成像原理	129	四、超声波的衍射	162
第一节 磁共振成像概述	129	五、超声的散射	162
一、磁共振成像检查的优点	130	六、超声的干涉	163
二、磁共振成像检查的一些局限	130	七、超声多普勒效应	163
第二节 磁共振装置基本组成及		八、超声波的衰减与吸收规律	166
作用	131	第三节 超声的产生与超声场	168
一、磁体系统	131	一、压电效应	169
二、梯度系统	132	二、超声换能器的原理结构	170
三、射频系统	134	三、超声场特性	171
四、计算机和数据处理系统	135	第四节 超声与物质的相互作用	173
第三节 磁共振平面成像原理	137	一、超声的理化作用	173
一、磁共振图像的构成及意义	137	二、超声的生物效应	174
二、磁共振图像的品质因素	137	练习与思考	176
三、傅里叶变换	138	第十章 超声成像原理	177
四、梯度场与定位	139	第一节 脉冲回波幅度信号成像	177
五、K 空间	142	一、脉冲回波成像工作的相关参数	177

二、脉冲回波幅度成像的基本原理	179	第一节 核医学成像概况	211
三、B型超声成像原理	181	一、核医学成像的范畴	211
四、M型超声成像原理	182	二、核医学成像特点	212
第二节 脉冲回波频移信号成像	183	三、核医学成像的发展简史	212
一、脉冲回波频移信号成像的工作原理	183	第二节 核医学成像原理	213
二、连续波多普勒超声显示	186	一、核素成像的基本原理	213
三、脉冲多普勒显像	186	二、核素成像仪器的基本结构	214
四、彩色多普勒血流成像	188	第三节 γ 照相机	214
第三节 其他类型的超声成像	190	一、 γ 照相机的成像原理	215
一、依据脉冲回波幅度信号成像	190	二、 γ 照相机的质量控制	219
二、依据脉冲回波多普勒信号成像	192	三、 γ 照相机成像的主要特点	220
三、依据超声的谐频回波成像	193	第四节 发射型计算机断层	220
四、依据时距测速式超声成像	193	一、单光子发射型计算机断层(SPECT)	220
五、超声透射成像	193	二、正电子发射型计算机断层(PET)	222
第四节 超声医学图像质量	194	练习与思考	224
一、超声波探测的分辨能力	194	第十三章 其他医学成像原理	225
二、超声图像质量的评价	197	第一节 医用光学内镜	225
练习与思考	197	一、医用内镜发展简史	225
第十一章 核医学物理学基础	199	二、纤维光学内镜	226
第一节 原子核基本性质	199	三、医用电子内镜	226
一、原子核的组成	199	四、无线胶囊式内镜	227
二、核力的基本概念	200	第二节 红外线成像	229
三、原子核的结合能	201	一、红外线成像概述	229
第二节 放射性衰变及衰变规律	201	二、红外线成像的基本原理	229
一、放射性核素	201	三、红外线成像的基本方法	230
二、放射性衰变	201	四、红外传感器原理	230
三、核衰变规律	204	五、红外线成像的应用前景及发展方向	231
第三节 放射性药物及来源	206	第三节 激光医学成像	232
一、放射性药物	206	一、激光概述	232
二、诊断用放射性药物	206	二、激光超声全息成像	234
三、放射性核素的来源	206	第四节 微波成像	235
第四节 射线与物质的相互作用	208	一、微波CT的基本原理	235
一、带电粒子与物质的相互作用	208	二、微波CT的基本类型	235
二、光子与物质的相互作用	209	练习与思考	236
三、中子与物质的相互作用	209	实验与实训项目参考	237
练习与思考	209	参考文献	241
第十二章 核医学成像	211		

第一章 总 论

本章概要 本章主要阐述医学成像的种类及其图像特点,医学影像在医学中的重要地位,并能初步了解不同成像手段在疾病诊断中的价值与限度,以及医学影像学的发展历史的总体认识。

知识要点 医学影像学 各种医学影像检查方法的比较



图例一:一位从山区农村进城工作的青年,半年后出现了低热,咳嗽,全身无力的感觉,上医院门诊,医生建议他去做肺部 X 线影像学检查,这位青年来到影像学科,产生了一些想法:

1. 什么是影像科啊?
2. 影像科有哪些内容?

第一节 医学影像在医学中的作用

一、医学影像学的诞生

人体的各个组织、器官在生命活动时,都会伴随有某种信息产生,这些信息以多种能量的形式表现出来,而且十分微弱。这些信息通过电的、光的、热的、压力的、化学的等等能量形式表达。有时,我们还可以利用某些物理能量和人体作用后,再来获取人体内的一些信息反馈的能量。我们采集到这些信息,并对其加工、处理,就能对人体的健康情况有所了解,发现疾病并对其进行有效的治疗。从信息检测方面来说,可以将这些信息分作两大类,即电信息与非电信息。对于电信息,例如心电、脑电、肌电、胃电、肠电等,可以直接用生物电极将其连接到生物放大器上进行放大,然后经数字化后送到计算机分析和处理。对于非电信息,例如体温、脉搏、血压等,则要用相应的传感器将它们转换为电信号,然后加以处理。早期对于人体信息的处理局限于离散的数据点、连续改变的生理曲线等。这些处理结果在临床上具有一定的意义,但很不直观。

人们希望能够直接看到人体的内部结构,甚至微观的图像,从而对人体组织形态、病理改变、功能以及代谢变化有直观的了解。随着科学技术的发展,各种医学成像系统应运而生,并得到迅速的发展。从发展的过程来看,有些成像是紧随着某种基本的物理现象发现之后出现的,例如投影 X 线成像系统。有些成像系统,其基本原理早已证实,但技术应用实现还不成熟,在相关技术如高速计算机等的发展后才得以普及,如 X 线 CT。有些成像系统还与军事技术研究的突破密切相关,例如超声仪器的发展。而核医学成像 γ 光子检测器等又是核反应技术的副产品。现代医学的发展,促使医学成像探测方法和显示手段日臻精确、直观、完善。于是,形成了一门内容丰富、技术先进的学科——生物医学影像学。

二、医学影像在医学中的重要性

医生在对患者进行诊疗的过程中,首先是要取得足够的患者状态的信息,如体温、血压、心电图、化验等。从信息量的角度来看图像所包含的信息要比几个数据或几条曲线含有的信息多得多。以一幅人像为例,如果用文字来表示,即使用很多篇幅详细地描述,也难以使人知道是谁。但用照片观察,往往一看就知道是谁,这就是俗语所说的:“千字不如一画”。医学上自古就以观察患者外部所表现的形态、颜色等来获得有关患者机体的信息,如中医的舌象等,但因技术以及人眼主观的局限,应用受到较大限制。

自古以来,“望、闻、问、切”是进行医学诊断最基本的手段。但现在,显微镜使人们观察到了肉眼所不能看到的微观世界,X 线检查使得人们能观察到人体内部的结构,各种内镜又使目力延伸到器官的内部观察腔内的图像变化,各种技术的超声对实质性脏器的成像,计算机断层扫描技术(Computed Tomography,简称 CT)的发明,以及随后出现的各种能量信息的重建图像,如 MR、R-CT(ECT、PET)、微波 CT 等,它们不仅提供形态解剖方面的信息,而且还提供代谢、生化和生理功能等信息。从成像系统所取得的图像形式多样,有静止的(如细胞切片),也有运动的(如心脏图像);有二维的、也有三维立体的(如表面凹凸不平的器官等);有黑白的(如 X 线片),也有彩色的(如电子内镜)。这些医学影像含有极其丰富的人体信息。

在目前所有的医学信息检测中,医学影像不但信息含量最大,而且又能以最直观的形式向人们展示人体内部的结构形态、成分或脏器的功能。它们给医生提供了直观、精确的解剖学、病理和功能的基础信息,为医学研究和临床诊断提供正确可靠的依据,在有些疾病的诊断中,甚至达到“了如指掌”的地步。现代医学的任何专业都已无法离开医学影像学。因此,医学影像已成为医学研究和临床诊断中最活跃、发展最快的领域之一,它促进了医学临床诊断水平的提高,而且能为医学培训、教学、计算机辅助临床外科手术等提供数字实现方法,越是现代医学就越离不开医学图像,医学影像为现代医学的发展和进步,做出了不可磨灭的贡献。

三、医学影像成像的基本原理

人体是由组织和器官构成的,它们主要包括软组织、水、骨骼和气体,其中主要成分是水,约占 80%。此外,人体内还存在着各种微量元素,例如甲状腺中的碘、肝中的磷、血液中的铁等。医学影像成像是借助于某种信息载体(电磁波或者机械波等)与人体的相互作用,把人体内部组织器官的结构形态、成分、代谢、功能或是温度等信息通过各种方式探测,经过一定算法处理后以相应影像的方式表现出来,以进行医学研究、诊断和治疗。计算机断层技术(CT)的诞生和发展,

改变了医学成像传统概念,使医学成像的能力快速发展,现代医学成像已呈现出综合性、互补性的大学科特点。

生物医学影像学的内容包括影像的形成、获取、传输、存储、处理、分析、识别与应用等。可归为三大部分:医学成像、医学影像处理和医学影像的应用,医学影像除供医学研究、诊断和治疗外,在其他领域的应用也是很需要的。

医学成像是指影像形成的过程,主要是指医学影像原始数据的获取,其任务是根据临床的需求或医学研究的需要,对成像机制(成像原理和成像模式)、成像设备(信息传感器和图像显示器等)、成像系统的分析(影像感知、观察性及评估)等问题的研究,将生物体内感兴趣的信息提取出来转换为计算机的二进制数据,并以影像的形式进行显示。目前医学影像数据的获取基本上通过以下的主要途径:X射线(透视、摄影、CT等)、超声(B超、彩色多普勒等)、磁共振(MRI、MRS)、放射性核素(γ 照相、PET、SPECT)、各种电子内镜、新型显微镜等(见图1-1)。

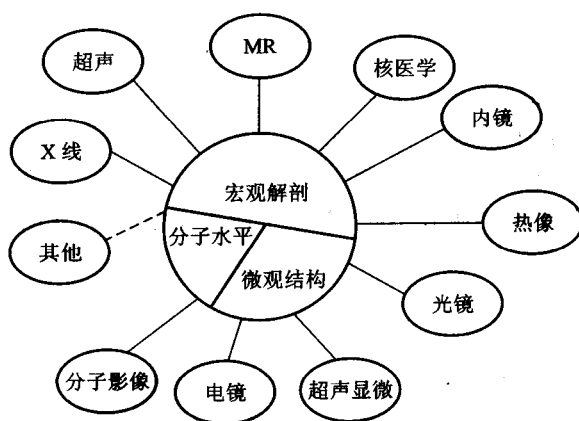


图 1-1 医学影像范畴示意图

医学影像处理是指对已经获得的影像原始数据作进一步的处理,从中提取我们所关心的数据,使原来不够清晰的影像复原,或者是为了突出影像中的某些特征信息,或者是对影像作模式分类,或者是进行多维可视化重建等直至于对图像的机器理解。常用的影像数据处理有滤波、增强、恢复、插值以及几何处理(缩放、旋转、平移)、分割分类、仿真内镜、立体可视处理等,以期得到最好的显示效果。

医学影像临床应用是在诊断和治疗的具体过程中需要解决的医学问题。在临床上根据各种医学影像的特点,以最敏感的信息、最快的速度 and 最经济的手段获得丰富的客观资料,达到最客观诊断目的,帮助最优治疗方案的选择、确定和实施。

四、医学成像技术的发展历程

(一) 伦琴开创了人体成像的先河

1895年11月8日,德国物理学家伦琴(Wilhelm Conrad Rontgen),如图1-2(a)。在研究阴极射线时,惊奇地发现阴极射线管能使远处的荧光物质发光。阴极射线(电子束)在空气中不能穿透这么长的距离,因此伦琴把这种未知的射线称作X射线,并用X射线给他夫人的手拍了

人类史上第一张医学影像,如图 1-2(b)。为了纪念他,人们将 X 射线又叫做伦琴射线。伦琴本人也因为这一重大贡献而在 1901 年获得第一个诺贝尔物理学奖。

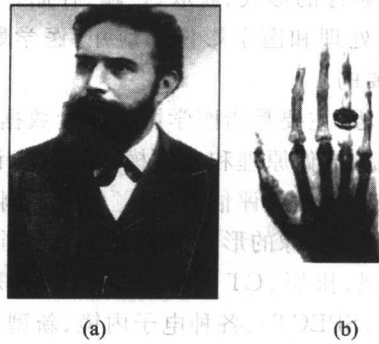


图 1-2 伦琴和伦琴夫人的手 X 线片

100 多年来,X 线透视和摄影技术在临床医学上得到广泛的应用,几乎应用在所有的医院和诊所之中。成像设备也得到了不断的发展,如 20 世纪 50 年代的影像增强与 X 线电视,70 年代的 X 线 CT,80 年代的计算机 X 线摄影、数字血管造影(DSA)等。X 射线成像是基于人体各组织、器官的密度不同,对 X 射线的吸收不同,透射 X 射线强度不同,从而在乳胶片上建立影像的。如图 1-3(a)。但是同样大小和密度的病灶,无论在体内前、中或后部,它在 X 线片上表现的影像是一样的。如图 1-3(b)。

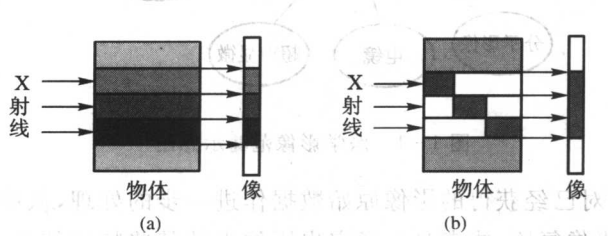


图 1-3 X 射线成像原理

(二) 超声成为无损伤探测成像的新手段

第二次世界大战后的 40 年代后期,将军用技术在医学上进行开发,医用超声技术开始临床应用。它们提供了在一维(A 超)、二维(B 超)和重建三维的超声影像,在实质性脏器的检查获得广泛应用。M 型超声成像被广泛应用于心脏和大血管的检查。50 年代后期的多普勒超声能获得血流、血管的多种信息。超声 CT(UCT)也正在向实用阶段迈进。

(三) CT 技术与重建三维仿内镜影像

从伦琴发现 X 线之后的近 60 年中,X 线成像技术的发展仅在成像设备部件方面,而非 X 线成像原理方面。

出身于南非开普敦的物理数学教授 Cormack 在 1963 年发表了 CT 重建的数学论文,英国工程师 Hounsfield 在 1972 年使用 X 射线实现 CT 的装置并在医院中应用,他俩分享了 1979 年诺贝尔生理学奖。CT 技术让我们能够从任何方向观察到人体内部任何位置的解剖结构。

X线CT技术发展到现在已经是第五代的电子束扫描了,特别要指出的是,20世纪80年代在第三代CT技术基础上发展起来的螺旋CT,其技术进步也很快,宽探测器多层(达32层以上)采集螺旋CT在1998年度推出,它与普通的螺旋CT相比较主要区别在于探测器的宽度和列数不同,进而决定了扫描的层厚更薄、采集时间更短。将CT产生的这些薄层影像组合起来就构成三维影像以及重建仿内镜影像的基础。

(四) 医学放射性核素的功能成像

在核医学成像中, γ 相机在20世纪的60~70年代发展迅速,但其不足之处在于它只能进行平面成像而缺乏深度方面的信息。70年代后期在X线CT启发下,单光子发射型计算机断层仪(SPECT)和正电子发射型计算机断层仪(PET)相继研制成功,但直到80年代才广泛投入临床应用。

γ 相机、SPECT和PET反映人体组织、器官的动态信息,即人体组织、器官的功能和代谢情况。PET影像则能反映其生命过程,PET在研究人体生理、病理,肿瘤成因,代谢机制,药物动力学及脑科学方面都有十分重要的价值。在国内综合性大医院已逐步开始装备。

(五) 成像参数最多的磁共振影像

1946年磁共振现象发现后,直到1973年美国纽约州立大学石溪分校的保罗·劳特布尔才获得充有重水试管的第一幅磁共振图像。1978年英国诺丁汉大学的彼得·曼斯菲尔德实现第一幅人体头部的磁共振影像。劳特布尔曼斯菲尔德因此分享了2003年的诺贝尔生理学或医学奖。磁共振信号可用作成像参数很多,既可以利用外部设备的参数成像,也可以利用人体内部的参数成像,还可以进行磁共振波谱分析。磁共振成像也是一种分子成像和功能成像的主要手段,对人体的侵袭很小。所以目前研究十分热门。

(六) 多模式影像的后处理

由于像的原理和设备不同,存在有多种像模式。从大的方面来说可以分作两类:描述生理形态的解剖像模式,如X线影像(包括CT和DSA)、MR影像、超声影像、光学内镜像等。描述人体功能或代谢的功能像模式,如核医学影像、功能磁共振影像、热成像等。各种成像技术和方法各有优势与不足,并非一种成像技术可适用于人体所有器官的检查和疾病诊断,也不是一种成像技术能取代另一种成像技术,而是相辅相成、相互补充和印证。将两种以上影像融合的多模影像对人体可以获得互补的、更灵敏、更准确的信息。

自20世纪90年代起,借助计算机影像处理与分析、计算机图形学、虚拟现实和计算机网络等技术的医学影像处理与分析,使得人体多模三维影像已经发展到实用的水平。

(七) 基于图像存档与传输系统(PACS)的远程医学

PACS是近年来随着数字成像技术、计算机技术和网络技术的进步而迅速发展起来的。旨在全面解决医学影像的获取、显示、存储、传递和管理等问题。它是计算机通讯技术和计算机信息处理技术相结合的产物,也是目前放射信息学的一个重要组成部分,其最终的设想是完全由数字影像来代替胶片,实现远程医学(研究、教学、诊断、治疗)。

第二节 医学影像的分类及特点

根据生物医学影像学所研究的内容和层次,如果按其理论和技术的不同,可将这门学科的范

畴划分为两大主要领域:以研究生物体微观结构为主要对象的生物医学显微影像学;以人体宏观解剖结构及功能为研究对象的现代医学影像学。但近年来,在现有医学成像的基础上又发展起一门新的学科——分子影像学。分子影像学是利用现有的生物成像探针和医学成像技术(主要是 PET、MRI 和光学 CT),以体内特定分子为成像对比度源,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的成像。

现代医学成像系统若按其信息载体可分为以下几种类型:

1. X 线成像 测量穿过人体结构后的 X 线。
2. 核医学成像 测量放射性示踪剂在体内分布放射出的 γ 射线。
3. 超声成像 测量人体内结构对超声的反射波或透射波。
4. 磁共振成像 测量人体组织中同类元素原子核的磁共振信号。
5. 热、微波成像 测量人体发出或反射的红外线和透过人体的微波辐射。
6. 光学成像 直接利用光学及电视技术,观察人体部分器官的形态。

一、X 线医学成像

1895 年德国物理学家威廉·康拉德·伦琴发现 X 线,通过 X 线人们第一次看到皮肤内的骨骼,就立即被应用于医学诊断,也就开始了近代医学影像学,过去称之为放射学。经过 100 多年的发展到目前为止,各种 X 线图像数目占临床影像总图数的 70%~80%。可见,X 线成像占有着重要的地位。

在伦琴发现 X 线 3 个月后,两位英国外科医生借助前一天受伤妇女手指的 X 线照片,成功地从手指中取出了不慎插入的铁针,开创了影像学诊断的先例。但 X 线初期的应用检查只限于观察有自然对比的影像,人工对比是在 1920 年造影剂发明以后开始的。以后的近百年里,X 线图像随着其他学科的发展,在灵敏度、分辨率以及解决影像重叠问题等方面都得到了显著的改变。1952 年影像增强电视系统使 X 线诊断实现了“明室观察,隔室操作”的愿望。近几年在 X 线直接成像方面的最重要发展是采用影像板来代替感光底片或者用平板固体探测器直接数字化成像。1972 年英国 EMI 公司的工程师洪斯菲尔德发明的电子计算机 X 线体层扫描技术(X-CT),它以密度的高分辨率和无重叠的横断层图像显示出普通检查所不能显示的病变,显著地提高了临床诊断的正确性和效率。至今 CT 技术几经发展,已进入第五代的应用。1989 年螺旋体层扫描 CT 问世,使 CT 技术在临床应用上又有新的发展。CT 技术是医学影像学发展史上里程碑式的建树。

二、超声医学成像

在第二次世界大战军用技术——雷达和声纳的基础上,应用回声定位原理发展而来的超声医学成像,是继 X 线成像之后发展最迅速、应用普及最快的一种成像方法。在医院中超声成像应用,仅次于 X 线成像。目前医院使用最多的切面超声成像系统(简称 B 超),是采用脉冲回波方式成像,即用一个短暂的电脉冲激励换能器晶片,使之振动产生超声波并射入体内,进入人体的超声波在遇到组织界面时,就会产生较强的回波信号。于是,根据接收到的回波信号就可以直接获取扫描平面上的人体解剖形态图像,超声成像的突出优点是对人体无损、无创、无电离辐射,又能提供检查剖面的实时动态图像,被广泛地用在心脏或腹部等器官的检查。除了断面成像外,

20世纪50年代后期开始借助经典的多普勒原理,进行超声血流测量和显示,用于对心血管与脑血管疾病等诊断。

20世纪80年代初问世的超声彩色血流仪(CFM)是目前临床上使用的高档超声诊断仪。它的特点是把血流信息叠加到二维B型图像上。在一张图像上既能看到脏器的解剖形态,又能看到动态血流,它在心血管疾病的诊断中发挥了很大的作用。

近年随探测技术和数学处理技术的发展,在二维超声影像基础上进行三维图像重建,能够清晰显示所选择观察区域的立体形态及动态。

用于成像的超声波其波长必须小于1.0 cm,频率高于0.15 MHz才具有足够的分辨率,可在人体检查上应用,因为超声波在人体组织中的衰减与声频成近似反比关系,根据探查组织的深度及分辨率要求灵活选用超声波频率。对于腹部等较深部位的成像,人们总是选用1.0~3.0 MHz之间的频率;而对于浅部位器官成像,如眼部或其他浅部组织,则频率可达20 MHz。用于血管内超声探头频率达40 MHz甚至更高。

三、核医学成像

所谓核医学成像,实际上就是把某种放射性同位素直接或者标记在化合物上,然后引入受检者体内,当它被人体组织吸收后,人体自身便成了辐射源。采用核子探测器在体外定量地观察这些放射性核素在体内和细胞内转移速度、数量的差异以及变化而产生特征图像。从获得的放射性核素图像中,提供了脏器的形状、大小、功能和血流量的动态测定等指标,它反映了体内生理、生化和病理过程,表征着组织、器官的代谢状况和功能状态等,这是其他成像系统所不易做到的。因此,尽管图像的分辨率比较低(约为1 cm左右),仍是医学基础研究、临床诊断、疾病治疗的重要方法。

放射性同位素在衰变的过程中,将向体外放射 γ 射线。为使 γ 射线射出体外时不致过分衰减, γ 射线的能量应足够高,但也不宜过高,否则检测数据很困难而不易成像。核医学成像中所使用的 γ 射线的能量范围一般在25 keV~1.0 MeV之间,这与X线成像时应用的能量相近,但平均能量要高些。

放射性核素成像技术发展很快,最早采用的仪器是1951年的放射性核素扫描仪(即闪烁扫描仪)。1958年美国人Angr研制的 γ 闪烁照相机具有快速显像的本领,使得核素影像诊断从静态进入到动态观察,能指示脏器的生理代谢功能。20世纪70年代末,放射性核素扫描与CT技术结合起来,研制出发射型计算机断层扫描术(ECT)。不仅能动态观察各种脏器形态、功能和代谢的变化,而且能以假彩色进行断层、立体显像。

发射型CT(ECT)可分为单光子发射型CT(SPECT)与正电子CT(PET)两类。两者的数据采集原理不相同,目前SPECT在临床上已得到较广泛的应用。PET有许多引人注目的地方,用它来对人脑功能等研究,有其独特的优点。但由于PET系统价格昂贵,目前只在少数实验室或综合性医院的研究中心应用。

四、磁共振成像

1945年美国学者布洛赫(Felix Bloch)和珀塞尔(Edward Purcell)分别领导的两个研究小组同时独立地发现了磁共振现象,由此产生的磁共振谱学被广泛地用作对物质的非破坏性分析方

法。磁共振用作医学成像是 1973 年劳特布尔(P. C. Lauterbur)做出了仿真模块的二维核磁共振图像之后,直到 20 世纪 80 年代后期,借助电子计算机技术进展和图像重建新方法等科技成果后,才被快速地发展起来,成为最有前景的医学成像新技术。

磁共振成像实际上是利用磁场值来标记人体内共振原子核的位置,通过原子核对外界电磁力的反应来获取被检体化学等多种信息的一种全新方法。它所构成的图像被达马迪安(Damadian, 纽约州立大学最早发表有关 NMR 成像论文的教授)称之为“化学性图像”。MR 图像可反映原子、分子水平,可揭示人体内新陈代谢等生理、生化过程的早期变化,因而有人认为它有可能改变用病理解剖表达疾病的传统概念。从理论上讲, MRI 技术可以实现多核种的成像,但目前临床上还仅仅使用 H 核,这是由于人体组织含有大量水分,一个水分子中就有两个氢原子。但在实验室中已实现了 Fe、Na、P 等元素的磁共振信号检测。

磁共振成像的突出优点是对人体无创、无电离辐射,成像的参数和方法也较多,也可以对人体组织做出形态与功能两方面的诊断。此外,磁共振图像的分辨率比较高,而且可以较容易地获取人体的三维图像。磁共振成像的成像类型丰富,前景十分广阔。

五、可见光学医学影像

可见光医学成像主要是利用各种类型的内镜直接获取观察面的光学图像,可将其以电子信号记录。可见光医学成像能提供方便、直观和费用较为低廉的诊断方法。自从 1958 年纤维胃镜诞生以来,至今已经发展成了电子内镜、无线胶囊内镜、超声内镜、激光内镜等各种不同性能的内镜。电子内镜抛弃了用光导纤维来传像的方式,而是在镜头端装有一只微型电视摄像器件,将物镜所成的图像变换为电视信号,再在显示器上转换成为真彩色光学图像。这样可将腔内状态直接在屏幕上显示,供多人同时观察,也可把图像用磁带录像机记录或打印机输出,还可以送入计算机对图像再处理。目前,内镜的使用范围已由消化道扩展到泌尿、循环、呼吸、生殖等多个系统,以及腹腔、耳、喉、血管、关节腔等器官。

整个内镜身内还有许多附属管道,可供给水、给气、照明、取活体组织检查及其他微创手术治疗之用。

激光是一种特殊的光源,用它制成的激光纤维内镜已成功地用于支气管癌、肺癌等腔内诊治。激光全息摄影技术能神奇地复原出被摄体的立体图像,激光透照影像能很好地显示体内异物和骨骼畸形。这些检查技术有的已用于临床诊断。

六、红外、微波医学成像

红外医学影像不仅可用于人体浅表疾病的探查,现在正积极研究对内部疾病利用热成像来观察。红外医学成像按能量来源可分为被动成像方式的红外热像术和主动成像方式的红外摄影术。

红外医学成像的最大优点,一是对人体无辐射损害;二是不会因检查而引起人体状态的变化;三是操作方法简便、经济,是一种具有广阔应用前途的医学影像检查方法。

微波是指波长从 0.1 mm(亚毫米波)到 1 m(米波)波段的电磁波(300 MHz~300 GHz),除利用微波热效应制成的各种临床治疗仪器外,微波还是 CT 机的一种理想能源,也可作为显微镜的“光源”。近年来微波医学成像技术在不断进步,不断开发自己特有的优势。

第三节 医学成像系统的评价

纵观上面提到的各种成像方式,它们在成像原理、成像参数及适用范围等方面各不相同,在临床应用中起着相互补充的作用。因此,在评价一个成像系统时,应从各个不同角度全面分析成像系统的优缺点,并指明其临床适用的范围。

一、电磁波透射成像的分析

我们可以将医学成像的模式或方法粗略地分为两类:在大多数情况下,医学影像的获得有赖于某种形式的能量与人体组织相互作用的物理过程(如 X 线成像、超声成像、磁共振成像等主动的形式);也有一些医学影像是反映人体生命过程中自身发出的某种信息(如红外成像等被动的形式)。

在用透射方法成像时,需要考虑的主要因素是分辨率与衰减,从分辨率的角度考虑,用于成像的辐射波的波长至少应小于 1.0 cm。此外,当射线照射人体时,人体组织会将其部分吸收或散射,或者说对射线起到了某种衰减作用。如果衰减得过多,那么只有少量射线透过人体,很难检测到。如红外、可见光及紫外线照射人体时会产生过度的衰减,就不能用于透射成像。反之,若几乎毫无衰减地全部透过人体,也是不可能得到对比清晰的图像。因为图像的对比度是靠经过一定的衰减后射线强度的差异来形成的。适度的波长是 50 pm~0.1 nm,这个频段中电磁波的光子能量约为 25 keV 至 1.0 MeV。

二、超声成像与 X 线成像的比较

目前临床上使用的超声仪器都是采用反射成像的方法。在反射成像系统中,可以根据超声波往返传播的时间来决定探查的深度。据测定,超声波在水中或大多数人体组织中的传播速度约为 1 540 m/s。在体内传播 1 cm 距离的时间约为 67 μ s,在这个数量级的时间内,现代电子技术完全有能力区分来自人体不同深度处的回波信号。也就是说,超声成像可直接获取三维空间中某一特定点的信息,这也正是超声成像方法可方便地获取人体断面图像的主要原因。显然,在 X 线成像系统中是做不到这一点的。

医学诊断用的超声波其波长一般选择在 0.5 mm 左右,它在人体中传播时将发生衍射,从而造成图像分辨率的降低,这是超声成像制约因素。在 X 线成像中,射线的波长短,它在人体中传播时不发生衍射且传播速度与人体组织基本无关,这是能获得高分辨率图像的原因。

此外,X 线与超声在人体中不同的传播特性也决定了它们各自在临床中的适用范围。例如,脉冲回波式超声对观察实质性脏器的软组织结构是很合适的,对胸腔的检查时,超声波方法就不行了(气体界面反射)。相反,用 X 线来探查胸腔则是很成功的,但探查腹部时则很难分辨出内部的脏器(软组织分辨差)。上述例子告诉我们,超声与 X 线成像适用于不同的部位,而在许多情况下它们起到了互补的作用。不同成像系统的分辨力比较,见图 1-4。

三、解剖形态学成像与功能成像

X 线成像所能显示的是人体结构的解剖学形态,对疾病的诊断也主要是根据形态上的密度变