



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

医学影像设备学

主编 石明国



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

医学影像设备学

主 编 石明国

编 者 (以姓氏笔画为序)

石明国 (第四军医大学)

付海鸿 (中国医学科学院北京协和医院)

朱 霆 (第四军医大学)

牟文斌 (中国医学科学院北京协和医院)

余厚军 (第四军医大学)

余建明 (华中科技大学)

杨正汉 (卫生部北京医院)

杨燕敏 (上海交通大学)

张 虹 (西安交通大学)

国志义 (吉林大学)

徐光明 (安徽医科大学)

高振龙 (中国医科大学)

黄 林 (四川大学)

梁星原 (西安交通大学)

程晓玫 (中山医科大学)

曾勇明 (重庆医科大学)



高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

本教材是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由国内 12 所高等医学院校的知名影像技术学专家共同编写而成。

全书共 11 章,主要讲述了普通 X 线成像设备与原理、计算机 X 线摄影成像设备与原理、DR 设备与原理、DSA 成像设备与原理、CT 成像设备与原理、磁共振成像设备与原理、超声波成像原理、设备与临床应用、核医学影像设备及临床应用、医用激光相机以及医学影像存储与传输系统。随文配图,内容充实、新颖。

本教材适用于临床医学各专业和生物医学工程专业本科生,也可供在职专业人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

医学影像设备学/石明国主编. —北京:高等教育出版社,2008.6

ISBN 978-7-04-023977-5

I. 医… II. 石… III. 影像诊断—医疗器械学—高等学校—教材 IV. R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 067969 号

策划编辑 冯娟 责任编辑 薛玥 封面设计 张楠 责任绘图 尹莉
版式设计 王莹 责任校对 俞声佳 责任印制 韩刚

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
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京外文印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 41.5
字 数 1 030 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 6 月第 1 版
印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价 68.00 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 23977-00

前 言

医学影像设备的发展和当代科技的发展紧密相关。20世纪70年代初,随着物理学、电子学、计算机和微电子技术等的飞速发展,先后发明了一系列全新的影像设备,如CT、MRI、DSA、CR和DR等成像设备。影像设备的发展推动了影像技术的革新,促进了医学影像设备不断更新换代和发展。鉴于传统影像设备向现代影像设备转型的关键时刻,医学影像设备学专业高等教育体系的建立已成必然,而目前医学影像设备学急需一本成熟的本科教材,以满足影像设备学教学的需求。在多年的教学实践中,广大师生深感编写一本较规范、有特色的医学影像设备学教材的时机已经成熟,迫切需要尽快组织编写,以满足培养高层次医学专门人才的需要。

医学影像设备学是一门多学科交叉的边缘学科。本教材充分反映了当代医学影像设备的最新成就,在内容和体系上具有明显的特色,其主要特点是:

1. 把握住当代医学影像设备发展的特点,重点介绍各种新成像设备和新技术。
2. 建立综合医学影像设备背景下的大系统影像设备学观,涵盖普通X线成像设备、CT成像设备、MR成像设备、DSA成像设备、CR成像设备、DR成像设备、超声波成像设备、核医学成像设备和影像打印设备及PACS系统。淡化了学科意识,密切了各影像专业间的融合。
3. 教材编写以实用为目的,倡导医学影像设备学理论知识实用化,避免与实际脱节,以医学检查设备为主线,删除了过时和滞后的知识点。
4. 教材编写具有系统性和逻辑性,由浅入深,深入浅出。介绍每种成像设备均遵循注重基础理论、基本知识和基本技能的原则。
5. 教材编写注重整体化、标准化和规范化。每章前有本章提要,章末附有一定量的复习思考题,书后附有常用英汉名词对照,便于学生课外复习。
6. 本门课程按80学时的教学学时数安排,在使用过程中,各院校可根据实际情况相应增减学时和内容,灵活掌握。教材采用分大小字印刷,小字部分主要供生物医学工程系本科生使用,临床医学本科生可作参考。

参加本教材的编写人员全部在各医学院校的临床第一线工作多年,年富力强,基础扎实,临床经验丰富,外语过关,并具有多年的教学实践经验,在各自的专业内都参加过编写过医学设备方面的讲义或教材,可广泛吸收全国不同医学院校丰富的教学和临床工作经验。

本教材在吸收了同类专业教材精华的同时,其内容充实新颖、前后衔接紧密,拓展了知识面。书中对当前不断涌现出来的新成像设备、新技术进行了较详细的讲解。

本教材内容丰富全面,理论联系实际,注重实用性、科学性和系统性。可作为临床医学各专业和生物医学工程专业本科教材使用,也可作为在职专业人员培训教材或参考书。

为了吸收全国不同院校医学影像学的教学经验,本教材的编者来自不同地区的医学院校,在编写过程中,各位编者倾尽全力,一丝不苟,在时间紧、任务重的情况下,圆满而高质量地完成了

教材的编写。第四军医大学的领导和同志们对本教材的编写给予了大力的支持,对在各方面给予本书关心和帮助的同行们表示最诚挚的感谢。

由于我们水平所限,时间仓促,难免存在不足之处。望使用本教材的师生、同行提出宝贵的意见,以便再版时修订和改进。

石明国

2007年10月于西安

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》，其行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给予严厉打击。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)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E-mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第一章 总论	1	五、专用 X 线成像附属装置	33
第一节 X 线成像设备的发展	1	第三节 X 线管灯丝加热变压器	46
一、初始阶段	1	一、X 线管灯丝加热变压器的作用	46
二、实用阶段	1	二、X 线管灯丝加热变压器的基本结构	47
三、提高完善阶段	2	第四节 高压发生装置	47
四、影像增强器阶段	2	一、高压发生装置的基本结构	47
五、CT 阶段	2	二、高压变压器的结构与特点	48
六、数字化阶段	2	三、高压整流器	51
第二节 CT 成像设备的发展	3	四、高压电缆	51
一、非螺旋 CT(普通 CT)	3	五、其他高压部件	52
二、螺旋 CT	4	第五节 X 线管组件	54
第三节 磁共振成像设备的发展	5	一、X 线管概述	54
一、磁体	5	二、静止阳极 X 线管	55
二、梯度	6	三、旋转阳极 X 线管	57
三、射频系统	6	四、特殊 X 线管	60
四、采集技术和重建系统	6	五、X 线管的焦点	61
五、软件技术的发展	6	六、X 线管管套	63
第四节 超声成像设备的发展	7	七、X 线管冷却	65
第五节 核医学成像设备的发展	8	八、X 线管的主要规格与特性	65
第二章 普通 X 线成像设备与原理	10	第六节 X 线机的基本结构与电路	69
第一节 X 线基础知识	10	一、X 线发生器的基本结构	69
一、X 线的发现与产生过程	10	二、电源电路	72
二、X 线能谱	11	三、灯丝加热电路	73
三、X 线的本质与特性	15	四、工频 X 线发生器高压初级电路	76
四、X 线与物质相互作用过程及主要效应	17	五、中、高频 X 线发生器高压初级电路	77
第二节 医用 X 线机的基本结构与临床功能	21	六、高压次级电路	82
一、医用 X 线机概述	21	七、其他控制电路	83
二、普通摄影 X 线机的附属装置	23	第七节 X 线机常见典型故障分析	90
三、普通 X 线透视与造影的附属装置	27	一、X 线机的正确使用与常规保养及	
四、床旁移动与便携式 X 线机	30		

故障检修原则	90	五、各类人员质量控制的职责和 周期	139
二、常见典型故障分析	92	第七节 CR 常见故障检修基本原则与 实例	139
第八节 X 线防护	101	一、CR 系统故障检修基本原则	139
一、X 线对人体的辐射损伤	101	二、CR 系统常见故障检修实例	140
二、医用诊断 X 线防护的目的与 原则	102	复习思考题	141
三、X 线个人受照剂量监测	104	第四章 DR 设备与原理	143
复习思考题	105	第一节 DR 概述	143
第三章 计算机 X 线摄影成像设备与 原理	107	一、DR 的定义和特点	143
第一节 计算机 X 线摄影概述	107	二、DR 的基本分类	147
一、CR 的原理与流程	107	三、DR 摄影的工作流程	148
二、CR 的优势与特点	108	第二节 非晶硅平板探测器数字化 X 线成像	149
三、CR 的分类	109	一、非晶硅平板探测器的基本 原理	149
第二节 普通 CR 的基本组成与原理	112	二、非晶硅平板探测器的类型	153
一、IP 的结构与特性	112	三、非晶硅平板探测器的主要 特点	161
二、读取装置	114	第三节 非晶硒平板探测器数字化 X 线成像	162
三、计算机系统	124	一、非晶硒平板探测器的基本 成像原理	162
第三节 CR 图像处理原理与技术	125	二、非晶硒平板探测器的两种 类型	164
一、图像的处理环节	125	三、直接数字化 X 线摄影的特点	168
二、读取灵敏度自动设定	125	第四节 CCD 探测器数字化 X 线成像	168
三、四象限图像理论	126	一、CCD 探测器数字化 X 线基本 原理	168
四、图像识别技术	127	二、CCD 探测器数字化 X 线的 类型和基本结构	170
五、图像处理技术	128	三、CCD 探测器数字化 X 线成像的 特点	174
第四节 CR 产品的主要技术参数及 意义	130	第五节 线扫描数字化 X 线成像	175
一、关于图像质量相关参数	130	一、线扫描技术的基本原理	175
二、图像工作站的相关技术参数	131	二、线扫描 X 线探测器的类别	176
三、IP	131	三、线阵探测器基本结构和工作 原理	177
第五节 CR 的临床应用	132	四、线扫描数字化 X 线成像系统与	
一、普通摄影	132		
二、乳房摄影	132		
三、床旁摄影	132		
第六节 CR 系统的质量控制	132		
一、影响 CR 图像质量的因素	132		
二、应用中注意事项	133		
三、日常保养与维护	134		
四、CR 系统质量控制检测	134		

工作原理	188	二、DSA 成像原理	242
五、线扫描数字化 X 线成像流程	190	第五节 DSA 的减影方式	243
六、线扫描数字化 X 线成像系统的 成像特性	190	一、时间减影	243
第六节 DR 图像质量评价	192	二、能量减影	247
一、X 线探测器评价项目和相 关性	192	三、混合减影	248
二、量子捕获效率	192	第六节 DSA 的主要临床应用	249
三、调制传递函数	196	一、静脉 DSA	249
四、探测器动态范围	198	二、动脉 DSA	249
五、像素与图像质量	199	三、动态 DSA	249
六、DR 平板探测器校准原理 和作用	200	四、其他 DSA 的临床应用	250
第七节 DR 的临床应用	201	第七节 DSA 图像质量控制	251
一、双能量减影基本原理和 临床应用	201	一、影响 DSA 成像的客观因素	252
二、组织均衡基本原理和 临床应用	202	二、影响 DSA 成像的主观因素	259
三、融合断层基本原理和 临床应用	203	第八节 DSA 系统的常规维护与典型 故障分析	266
四、时间减影基本原理和 临床应用	205	一、DSA 系统故障检修基本原则	266
五、图像拼接基本原理和 临床应用	206	二、DSA 系统的常规保养与维护	266
六、计算机辅助检测	207	三、DSA 系统典型故障分析	266
复习思考题	208	复习思考题	267
第五章 数字减影血管造影成像设备 与原理	210	第六章 计算机断层成像(CT)设备 与原理	269
第一节 DSA 的基本结构与功能	210	第一节 CT 的发展简史	269
一、DSA 基本结构	210	一、历史回顾	269
二、图像检测装置	212	二、G. N. Hounsfield 的发明	270
第二节 DSA 系统设计与性能测试	224	三、各代 CT 扫描机的主要特点	270
一、DSA 系统的设计	224	四、CT 成像技术的发展	274
二、性能测试	228	第二节 CT 成像基本原理	281
第三节 DSA 的图像显示及处理	229	一、线衰减系数的概念	281
一、DSA 图像显示	229	二、CT 成像基本过程	284
二、DSA 图像处理	235	三、CT 值的概念	287
第四节 DSA 系统的工作原理	240	第三节 CT 的基本概念	288
一、DSA 图像的形成	240	第四节 螺旋 CT 扫描的基本概念	295
		一、基本概念	295
		二、螺旋 CT 的名词解释	296
		第五节 CT 扫描机的基本结构	298
		第六节 CT 扫描机的软件结构	310
		一、基本功能软件	310
		二、特殊功能软件	311

第七节 滑环 CT 技术和螺旋 CT 技术	311	应用	333
一、滑环技术	311	五、冠状动脉 CT 成像	334
二、螺旋 CT 技术	312	六、体部 CT 灌注临床应用	335
第八节 多层螺旋 CT 的基本结构及特点	319	七、各部位 CTA 扫描临床应用	335
一、探测器阵列	319	第十三节 CT 机的选购	336
二、数据采集通道	321	一、指导思想与方法	336
三、X 线束	321	二、确定技术参数原则与要求	337
四、层厚的选择方法	321	第十四节 CT 机的安装和调试	348
五、图像重建算法	322	一、安装前的准备	348
六、MSCT 的主要优点	322	二、CT 机房设计	348
第九节 CT 检查剂量与防护	323	三、CT 机的安装	350
一、CT 剂量的有关定义	323	四、调试和验收	351
二、改进和降低剂量的措施	324	第十五节 CT 图像质量控制与保证	351
第十节 CT 的基本扫描方法	325	第十六节 CT 的主要性能参数检测和 控制	353
一、定位像扫描	325	一、CT 主要性能参数的检测	353
二、常规扫描	326	二、CT 机的验收和质量控制	354
三、高分辨率扫描	326	第十七节 CT 机常见故障及检修 方法	356
四、薄层和超薄层扫描	326	一、产生故障的原因	357
五、增强扫描	327	二、故障检修原则与方法	358
六、多期扫描	327	三、典型故障分析	359
七、动态扫描	327	复习思考题	361
八、灌注成像	328	第七章 磁共振成像设备与原理	362
九、心脏门控成像	328	第一节 磁共振成像基本原理	362
第十一节 CT 图像的基本后处理 技术	329	一、磁共振成像的起源和发展 简史	362
一、多平面重组	329	二、原子核的自旋与磁矩	362
二、表面遮盖显示法	329	三、原子核自旋磁矩在静磁场中的 进动	363
三、最大密度投影法	330	四、磁共振现象	364
四、容积再现三维成像	330	五、弛豫过程及弛豫时间	364
五、CT 仿真内镜	330	六、磁共振信号的产生	366
第十二节 CT 的临床应用	331	七、磁共振信号的空间定位	368
一、CT 临床应用概况	331	八、K 空间的基本知识	371
二、头、颈部 CT 常规扫描临床 应用	331	九、K 空间快速填充技术	373
三、体部 CT 扫描临床应用	332	第二节 磁共振成像设备的基本结构	377
四、脊柱、四肢 CT 扫描临床 应用	333	一、磁体系统	377

二、梯度系统	392	五、分子影像学	469
三、射频系统	398	复习思考题	470
四、信号采集和图像重建系统	406	第八章 超声波成像原理、设备与临床	
五、主控计算机和图像显示系统	409	应用	471
第三节 磁共振成像系统的保障体系	412	第一节 超声波	471
一、磁共振成像系统对人体的影响	412	一、超声的定义	471
二、磁场与环境的相互影响	415	二、超声的物理量	472
三、磁屏蔽	417	三、超声波的传播特性	473
四、射频屏蔽	417	第二节 超声换能器	475
五、配套保障系统	418	一、换能器	475
第四节 磁共振成像脉冲序列	420	二、压电效应	475
一、部分饱和序列	420	三、超声换能器的种类	475
二、自旋回波序列	420	四、医用超声换能器的结构	476
三、快速自旋回波序列	422	五、超声换能器的声场特性	480
四、反转恢复和快速反转恢复脉冲序列	425	第三节 医学超声成像原理	482
五、梯度回波序列	428	一、超声诊断设备的分类	483
六、平面回波成像序列	434	二、回声检测原理	483
第五节 磁共振成像技术方法	436	三、超声显示方式	484
一、生理门控及导航回波技术	436	四、声束聚焦	485
二、化学位移成像	439	五、电子线阵与凸阵扫描	488
三、脂肪抑制技术	441	六、电子相控阵扇形扫描	490
四、MR 水成像技术	442	七、机械扫描技术	491
五、MR 血管成像技术	444	第四节 超声诊断仪的组成结构	493
六、磁共振成像方法	448	一、医学超声诊断仪的主要指标	493
第六节 磁共振影像质量控制与保证	449	二、超声成像系统的构成	496
一、非成像参数	449	第五节 超声多普勒血流检测与成像	500
二、信号强度和对比度参数	451	一、医学多普勒信号的模型	500
三、几何参数	452	二、D 型超声诊断仪基本原理	501
四、磁共振成像产生伪影的原因与对策	454	三、彩色血流成像工作原理	503
第七节 磁共振成像新技术	460	四、多种工作方式复合显示的医学超声设备	505
一、扩散加权成像及扩散张量成像	460	第六节 超声成像新技术	507
二、MR 灌注加权成像技术	463	一、三维超声成像	508
三、磁共振波谱技术	465	二、超声造影技术	512
四、脑功能成像	467	三、超声多普勒新技术	518
		四、超声组织定征	520
		五、声学定量与彩色室壁运动	521
		六、应变成像及应变率成像	522

第七节 超声诊断仪	523	第五节 正电子发射型计算机断层 成像仪	581
一、飞凡影像超声诊断仪	523	一、PET 的物理基础	582
二、Vivid 7 全数字彩色多普勒超声 诊断仪	526	二、PET 的探测系统	582
第八节 超声诊断的临床应用基础	532	三、PET 的图像重建	586
一、超声成像的一般规律	532	四、PET 采集和重建中的各种 校正	587
二、检查项目	532	五、PET 的性能指标	590
三、观察分析的内容	533	六、用双探头 SPECT 进行符合 采集	593
四、测量和分析功能	534	第六节 PET/CT 成像系统	594
五、不同器官或组织成分的显像 特点	535	一、PET/CT 硬件的融合	594
复习思考题	535	二、PET/CT 采集系统软件的 融合	595
第九章 核医学成像设备与临床应用	537	三、PET/CT 后处理工作站软件	596
第一节 核医学简介	537	四、PET/CT 的临床应用	597
第二节 核医学的物理基础	539	五、PET/CT 扫描和图像处理 技术	599
一、原子核的组成和性质	539	复习思考题	601
二、放射性核素的衰变	540	第十章 医用激光相机	602
三、放射性核素的衰变规律	541	第一节 医用相机历史和分类	602
四、放射性物质测量常用单位及 其含义	541	第二节 激光相机工作原理和结构	603
五、射线与物质的相互作用	541	一、湿式激光相机	603
六、核医学射线的测量	545	二、激光干式相机	605
第三节 核医学设备基础	546	三、直热式干式相机	609
一、核辐射探头	546	第三节 常用医用相机参数	612
二、基本核仪器	547	第四节 医用相机未来发展与趋势	612
第四节 单光子发射型计算机断层 成像仪	548	第五节 激光相机质量控制	613
一、SPECT 探头	548	一、运用 SMPTE 测试卡所需的检测 设备	613
二、机架	556	二、如何解读 SMPTE 质量控 制图	613
三、扫描床	557	三、何时需要进行检测	614
四、采集工作站	558	第六节 典型故障维修	615
五、图像后处理工作站	558	复习思考题	618
六、SPECT 的图像扫描模式	560	第十一章 医学影像存储与传输系统	619
七、SPECT 断层重建方法	561	第一节 PACS 的基本组成与作用	619
八、SPECT 的图像处理	566	一、PACS 系统的基本观念	619
九、SPECT 的性能指标及 质量控制	569		
十、SPECT 的临床检查常规	574		

二、PACS 的基本组成	620	三、RIS 工作流程	630
三、PACS 的功能结构	621	第四节 PACS 的临床应用	631
四、临床工作流程	622	一、图像的储存	631
五、工作站的功能设计	623	二、图像的管理	631
六、总体功能设计及特点	623	三、图像的后处理	633
第二节 PACS 的数据标准及 IHE	625	第五节 PACS 的数据融合及集成	633
一、HL7	625	一、PACS 集成的指导思想	634
二、DICOM	626	二、融合的目标设计	634
三、IHE	628	三、融合中的接口设计	635
四、非标准图像的采集和转换	628	四、融合中的功能管理设计	635
第三节 RIS 的功能及其工作流程	629	复习思考题	635
一、RIS 的功能	629	参考文献	636
二、RIS 的应用	630	英汉名词对照	640

第一章 总 论

本章提要

完整的医疗护理应包括三种性质不同又有联系的内容:诊断、治疗和监护。通过诊断确定人体生理上发生异常的原因,然后,医师或采用内科药物或采取外科手术的方法使患者机体获得结构或功能上的变化,致使患者总的功能好转,这个过程称为治疗。医师需要监视疾病及治疗的进程,并根据效果来改进医疗方案。用于上述医学诊断和治疗的医疗设备或仪器通常统称为医用仪器设备。

治疗仪器设备是实现包括内科或外科在内的治疗方法,使功能增进或变更病程的设备。监护仪器设备是确定治疗进程和患者对治疗方案反应的设备。

医学影像设备是诊断检查设备,能够确定由于疾病或损伤所造成的功能失常的原因,获取人体内部结构的有关信息,用以了解人体内部病变是否存在,及其病变的大小、形状、范围与周围器官的关系。如计算机 X 线摄影成像、磁共振成像、超声成像设备和核医学设备等。

医学影像设备学的主要任务是研究医学影像设备的基本结构、基本原理、基本临床应用、质量保证和日常维护管理的学科。

第一节 X 线成像设备的发展

自德国物理学家威廉·康纳德·伦琴(Wilhelm konrad Röntgen, 1845—1923)发现 X 线 100 多年以来,X 线机发生了很大变化,特别是近 30 多年来,随着电子、材料、工艺和计算机技术的迅速发展,引入了许多新的 X 线成像方式和成像技术,从而使 X 线成像发生了彻底的改变,也使 X 线成像的质量产生了质的飞跃。它是一个包括多学科理论、知识和技术的综合性医疗设备,它的发展过程大致可以分以下几个阶段:

一、初始阶段

初始阶段 X 线应用处在试验时期,X 线机十分简单。用含气离子管产生 X 线。用蓄电池供电给感应圈或用大的静电起电机产生供给离子管的电压,把产生的高压用裸线输送给离子 X 线管,无防电击和防散射的措施。因此,X 线图像质量很差,只能拍摄密度差较大的部位,操作不方便,也不安全。

二、实用阶段

由于高真空技术的发展,第一只高真空热阴极、固定阳极 X 线管于 1913 年由美国 Coolidge 研制成功,并应用于 X 线发生器。1915 年,高压变压器和高压整流管相继投入使用。使 X 线发生器所产生的 X 线的量(管电流, mA)和质(管电压, kVp)均有了很大程度地改善和提高,并不

断扩大了其在医学领域里的应用范围。同时由于电磁学的发展,X线机的构造步入了电磁部件控制阶段,而且有了配合摄影、透视、治疗所需的机械结构和辅助设备,从而使X线进入了实用阶段。

三、提高完善阶段

1927年,研制成功了旋转阳极X线管。由于旋转阳极X线管焦点小,输出功率高,增加了X线发生器的输出功率,改善了X线图像质量,为某些运动器官的X线检查(如心血管造影)创造了条件。同时X线检查设备的结构向更完善、更精密、多功能和自动化方向发展。除主要电路有较大改进和提高外,各种预示电路、稳压电路、保护电路也相继完善。高压发生器普遍使用单相全波整流方式,提高了X线管的效率,改善了X线输出的质量。高压电缆由裸露式发展为防电击式。机械和辅助设备结构更加坚固灵活,操作简便。这个时期还研制和开发了直线断层、记波摄影、荧光摄影和放大摄影等设备。所有X线检查设备的X线防护有了进一步加强,使X线机进入了防电击、防散射、高功率、多功能的时期。

四、影像增强器阶段

20世纪50年代初,出现了影像增强器,随之闭路电视和X线机组合成为X线电视成像系统,从而改变了X线图像的显示方法,实现了X线电视透视、电影摄影等新技术和新方法。由此,X线发生器主机电路和机械结构都有了改进,各种操作实现了自动化或半自动化。高压发生器广泛采用高压硅堆整流器,连接成3相6管和3相12管整流电路,高压波形的波纹系数为13.4%或3.4%,增强了X线发生器容量。控制电路采用新型电子器件、数字技术、集成电路、自动监视、检测装置和计算机系统等。实现了自动化或半自动化控制以及遥控透视和摄影等。机械结构除更精密和灵活外,出现了悬吊架、C形臂、U形臂,并制造出多轨迹断层床、带片库胃肠检查床、血管造影床、多功能摇篮床、自动换片器、压力注射器、自动准直器等。

由于X线电视和遥控的实现,更进一步减少了X线对放射工作者的危害,也减少了被检查者接受的照射量。

五、CT阶段

20世纪70年代初第一台CT(computed tomography)扫描机问世,给X线诊断设备带来了一次革命。这种设备是把X线发生器的主机与扫描部件、转换组件、电子计算机、重建软件、存储和显示设备相结合的结果。它能准确地检测出一定切层厚度中的各种组织对X线衰减的微小差异,较精细地分辨出各种软组织间的密度差。同时,在这个时期,中、高频X线发生器实用化,微型计算机已进入X线发生器各个电路,并控制各部件工作,使X线发生器使用更方便、参数更精确、保护措施更完善,从而推动了X线发生器向高自动化、高集成化、小型化、高精度和更加适用的方向发展,这是X线发生器的又一次飞跃。

六、数字化阶段

CT扫描机问世不久,在20世纪80年代初计算机摄影(computed radiography,CR)技术开始推广应用,90年代末数字射线成像(digital radiography,DR)技术以及医学影像存储和传输系

统(picture archiving and communication system, PACS)的引入,使 X 线成像特别是普通 X 线摄影数字化成为可能,为全数字化 X 线成像奠定了良好基础,数字化 X 线成像诊断技术将成为主流,相信在不久的将来就会实现全数字化 X 线成像乃至全数字化医院。但我们国家要使所有医院 X 线成像实现全数字化,还有一段相当长的路程要走。不过发展是相当迅速的,在短短的几年之内,许多大中型医院和较发达地区的中小型医院就很快实现了 X 线成像全数字化,不亚于世界发达国家的速度,这使我们从事放射工作的人员倍感欣慰。

平板探测器的问世,不仅使普通 X 线摄影得到了飞跃的改善和提高,也使心血管 X 线成像方式发生了根本性的改变。其中最主要的是由平板探测器替代了影像增强-电视链,使所获取的原始图像(如畸变)质量高出很多,同时采取了许多新的图像处理方法与技术,从而使最终的数字 X 线图像质量得到了很大的改善和提高。另外,所需要的 X 线剂量也有了明显的降低,减少了被检者与操作者(特别是介入医师)所受的辐射剂量。

数字化的实现,特别是 PACS 的推广与应用,使 X 线图像的存储与传输发生了质的变化,不仅存储与查阅方便、操作简单、传送快捷、便于教学和远程会诊等,为数字化医院创造了先决条件,而且也大大地减少了人力和物力,所以为放射科与医院带来了前所未有的便利和效率。

第二节 CT 成像设备的发展

自 20 世纪 70 年代初 CT 机问世以来,前 20 年 CT 的发展主要体现在扫描方式的改进上,大致经历了五代。进入螺旋 CT 时代,CT 扫描方式仅以螺旋扫描和非螺旋扫描划分,大大拓展了 CT 的临床价值,从 4 层、16 层、32 层、40 层、64 层到 320 层 CT。在此期间,CT 的硬件、软件技术经历了几次大的革命性进步,CT 技术的发展突飞猛进。

第一次进步是 1989 年,在普通 CT 扫描的基础上采用了滑环技术和连续进床技术,从而实现了螺旋扫描(helical 或 spiral CT)。

第二次进步是 1998 年,推出的多层螺旋 CT(MSCT 或 MDCT)的问世,使机架球管围绕人体旋转一圈能同时获得多幅断面图像,它的真正价值在于较之于单层螺旋 CT,大大提高了扫描速度。

第三次进步是 2004 年,在 RSNA 上推出的 64 层螺旋 CT,又称容积 CT,开创了容积数据成像的新时代,以 1 s 单器官、5 s 心脏、10 s 全身的检查,几乎对所有器官真正同时实现了扫描速度、覆盖范围和层厚的改善。

第四次进步是 2005 年,在 RSNA 上推出的单源螺旋 CT 到双源螺旋 CT(DSCT)。DSCT 改变了目前常规使用的一个 X 球管和一套探测器的 CT 成像系统,通过两套 X 线球管系统和两套探测器来采集 CT 图像,这种简单而创造性的设计,突破了目前常规 CT 的局限性,大大提高了时间分辨率。

一、非螺旋 CT(普通 CT)

CT 的扫描是指 X 线管和探测器同步围绕患者某一断面进行 360°投影数据采集的过程。在滑环技术出现以前,CT 的扫描运动由于受 X 线管高压电缆、信号传输电缆等的牵制,只能在一定角度范围内旋转,扫描速度的提高受到限制。

第一、二代 CT 扫描方式是平移+旋转扫描方式。第一代扫描方式只有 1 个探测器,用笔形 X 线束。扫描时 X 线管和探测器一起对患者某一断面作直线平移运动扫描,从身体一侧扫描至另一侧;然后 X 线管和探测器一起旋转 1° ;再反方向平移扫描。直至完成 180° 内的 180 个平行投影采集。扫描一个断面需 3~5 min。第二代扫描方式探测器增加到 3~30 个, X 线束扩展为 $5^\circ\sim 20^\circ$ 的小扇形束,覆盖探测器全部。平移扫描后的旋转角度提高到扇形射线束夹角的度数,扫描时间缩短到 20~90 s。

第三代 CT 扫描方式为旋转/旋转扫描方式。X 线管和探测器一起围绕患者旋转扫描,没有平移运动。这是因为探测器数目增加到 300~800 个, X 线束是能覆盖整个人体断面的宽扇形束,扫描时间缩短到 1~5 s。

第四代 CT 扫描方式仅有 X 线管的旋转运动,探测器的数目达 600~1 500 个,固定在 360° 的圆周上。扇形 X 线束覆盖人体整个断面,接受 X 线束照射的探测器输出信号。扫描速度也达 1~5 s。它是在第三代方式尚不完善时出现的,与第三代扫描方式同时存在。

第五代 CT 扫描方式又称电子束 CT。其扫描系统由一个电子束 X 线管和由 864 个固定探测器组成的阵列构成,扫描过程没有机械运动。其 X 线管由一个电子枪、偏转线圈和处于真空中的巨大的半圆形钨靶(4 个)构成。扫描时电子束沿 X 线管轴向加速,电磁线圈将电子束聚焦,并利用磁场使电子束快速偏转,轰击半圆形钨靶。扫描时间可达 50 ms,主要用于心脏检查。

二、螺旋 CT

滑环技术诞生后螺旋 CT 应运而生。其扫描架秉承了第三代扫描方式的结构。

1. 滑环技术 扫描架转动部分和固定部分的电器连接经由铜质滑环和碳刷的接触完成。控制信号和功率电源经滑环导入转动部分,采集信号经滑环导出。从而使转动部分可以单方向连续转动。滑环的类型有高压滑环和低压滑环两种。

(1) 高压滑环 高压发生器在扫描架外,供给 X 线管的高压经滑环导入转动部分,高压滑环的缺点是碳刷和滑环的接触容易打火放电,造成干扰,影响图像质量。

(2) 低压滑环 高频高压发生器进入转动部分,由很短的高压电缆连接到 X 线管。由滑环导入动力电源和控制信号,导出测量信号。现在生产的各类型 CT 都采用低压滑环技术。低压滑环有平面同心圆排列方式和柱面排列方式两种。

由于滑环技术的诞生,首先出现了滑环 CT,即在转动部分的第一个 360° 范围内发生 X 线,进行数据采集;在下一个 360° 范围内停止 X 线发生,这期间患者移动换层。连续旋转速度可达每周 1~2 s,这样可在屏气期间连扫数层,一定程度上提高了检查速度。单纯的滑环 CT 仅使用了很短时间,很快发展到螺旋 CT。

2. 单层螺旋 CT 螺旋 CT 使用滑环技术,扫描架的转动部分连续转动、X 线连续发生、床面带动患者连续移动、探测器数据采集连续进行。螺旋 CT 患者一次屏气期间可把某一区段的信息全部扫描采集下来,称作容积采集,然后可以回顾性进行任意位置、间距的层面图像重建,为三维图像处理提供了很好的基础。

螺距是指在扫描转动部分旋转 1 周期间扫描床带动患者移动的距离与准直宽度(扇形 X 线束厚度)之比。

螺距是一个无量纲的比值。其大小影响到图像质量。螺距等于 1 时,重建使用的数据量与