

第2版

全国高职高专卫生部规划教材  
供医学影像技术专业用

# 医学影像设备学

主 编 黄祥国

副主编 樊先茂 张佐成



人民卫生出版社

全国高职高专卫生部规划教材

供医学影像技术专业用

# 医学影像设备学

(第2版)

主 编 黄祥国

副主编 樊先茂 张佐成

编 者 (按姓氏笔画排序)

李华锋 (山东医学高等专科学校)

李志凯 (河北邢台市第三医院)

吴发强 (湖南永州职业技术学院)

张佐成 (山东医学高等专科学校)

罗烈斌 (河南南阳医学高等专科学校)


黄泉荣 (浙江医学高等专科学校)

黄祥国 (湖南永州职业技术学院)

龚跃华 (云南医学高等专科学校)

裴作升 (湖北襄樊职业技术学院)

樊先茂 (四川雅安职业技术学院)

 人民卫生出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

医学影像设备学/黄祥国主编. —2 版. —北京: 人民卫生出版社, 2009. 5

ISBN 978-7-117-11795-1

I. 医… II. 黄… III. 影像诊断-医疗器械学-高等学校: 技术学校-教材 IV. R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 055676 号

本书本印次封底贴有防伪标。请注意识别。

## 医学影像设备学

第 2 版

主 编: 黄祥国

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E - mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 北京市安泰印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24 插页: 5

字 数: 589 千字

版 次: 2002 年 9 月第 1 版 2009 年 5 月第 2 版第 5 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-11795-1/R·11796

定 价: 39.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

## 出版说明

全国高职高专医学影像技术专业卫生部规划教材第一轮于2002年8月出版,共8种。第二轮教材共10种,是在上轮教材使用5年的基础上,经过认真调研、论证,结合高职高专的教学特点进行修订的。

第二轮教材修订的原则,是以专业培养目标为导向,以职业技能培养为根本,力求体现高职高专教育的特色,内容以“必需,够用”为度,特别强调基本技能的培养,力求将相关内容写细、写透,使学生毕业后能独立、正确处理与专业相关的临床常见问题。

依据目前高职院校实际开设的课程以及课时数,第二轮教材将原有的《医学影像诊断学》拆分为《医学影像诊断学》、《超声诊断学》、《核医学》;增设了《介入放射学基础》;删减了《医学影像设备管理》,将其内容并入《医学影像设备学》中。为了增强学习效果,《医学影像检查技术》、《超声诊断学》、《介入放射学基础》、《医学影像成像原理》教材配了视听内容丰富的光盘。

第二轮教材的主编和编者是来自全国各地高职高专教学一线的专家学者。在卫生部教材办公室和全国高职高专相关医学类教材评审委员会的组织和指导下,对编写内容的科学性、适用性进行了反复修改,对教材的体例和形式也进行了规范,并列出了学习要求,以便于师生在教学中参考。

# 教材目录

影像电子学基础(第2版)	主 编	朱小芳
	副主编	郭树怀
* 医学影像检查技术(第2版,配盘)	主 编	袁聿德 陈本佳
	副主编	伍建林 徐建国
医学影像诊断学(第2版)	主 审	祁 吉
	主 编	王兴武
	副主编	夏瑞明 赵汉英 唐陶富
超声诊断学(第1版,配盘)	主 审	胡 兵
	主 编	周进祝
	副主编	谭 文
核医学(第1版)	主 编	韩建奎 王荣福
	副主编	李思进 刘兴党
介入放射学基础(第1版,配盘)	主 编	刘作勤
	副主编	刘 筠
放射治疗技术(第2版)	主 编	韩俊庆 王力军
	副主编	王 平 殷国生
* 放射物理与防护(第2版)	主 编	王鹏程
	副主编	马 彦 刘东华
医学影像设备学(第2版)	主 编	黄祥国
	副主编	樊先茂 张佐成
* 医学影像成像原理(第2版,配盘)	主 编	李月卿 李 萌
	副主编	杨立辉

\* 为普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 前 言

《医学影像设备学》第2版是由卫生部教材办公室组织编写,供高职高专医学影像技术专业使用的卫生部规划教材。在总结第1版的基础上,根据培养目标,结合教学实际和临床实践,以“必需、够用、实用”为原则取舍内容,删繁就简;按照医学影像设备的结构逻辑、电路逻辑及相互关联度来编排章节顺序。全书整体上强调“三基”,即基础理论、基本知识和基本实践技能;体现“五性”,即思想性、科学性、先进性、启发性、适应性。以进一步突出医学影像技术专业的教育特色,使之更加符合培养实用型人才的要求。

全书共分十章。第一章绪论,简要介绍了医学影像设备的发展历程、分类以及诊断用X线机的基本组成;第二章至第六章,对X线设备的基本结构、工作原理、电路分析、使用与维护等作了重点阐述;第七章至第九章分别介绍了磁共振、超声和核医学成像设备;第十章对自动洗片机、医用相机和PACS作了简要阐述。书后附有X线机的临床应用、体层摄影装置、专用X线机等相关知识链接,另还附有部分X线机电路图。在内容上力求把握主体,选材适当,同时注重与其他专业课程之间的紧密联系。使学生具备较为系统的、扎实的医学影像设备知识结构,具备较强的设备操作和使用技能,为学习相关课程和从事临床实践奠定基础。

本书以医学影像技术专业专科教学为基础,采用模块式结构,具有很强的可塑性,可以满足不同专业层次的教学需要,也可以作为在职培训教材和临床实践参考用书。本书是集体智慧的结晶,参加编写的有10位编者,大部分章节由多位编者共同完成,章后编者署名按其编写内容在目录中的先后为序。在整个编写过程中,湖南永州职业技术学院、四川雅安职业技术学院等编者所在单位的领导和老师们给予了多方面的关心、支持和帮助,在此一并致谢。同时,对本书提出许多宝贵意见和建议的专家、教师、医务工作者,以及为本书积累经验和提供参考的第1版教材和其他同类教材的编写人员,表示最诚挚的敬意和衷心的感谢。

医学影像设备的发展日新月异,加之编写经验和水平有限,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正,以便再版时改进,不断提高本书质量。

编 者

2009年2月

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
第一节 医学影像设备的发展历程 .....	1
第二节 医学影像设备分类 .....	4
第三节 X线机概论 .....	8
第二章 X线机基本装置 .....	15
第一节 X线管装置 .....	15
第二节 高压发生装置 .....	30
第三节 控制装置 .....	39
第四节 透视用影像装置 .....	53
第五节 机械辅助装置 .....	66
第三章 X线机单元电路 .....	80
第一节 概述 .....	80
第二节 电源电路 .....	83
第三节 X线管灯丝加热电路 .....	87
第四节 高压初级电路 .....	94
第五节 高压次级电路 .....	100
第六节 X线管安全保护电路 .....	106
第七节 限时电路 .....	114
第八节 操作控制电路 .....	121
第四章 X线机举例分析 .....	131
第一节 常规X线机 .....	131
第二节 程控X线机 .....	158
第三节 逆变X线机 .....	185
第四节 X线机的使用与维护 .....	195
第五章 数字X线设备 .....	208

第一节	X线计算机摄影装置 .....	209
第二节	X线数字摄影装置 .....	218
第三节	数字减影血管造影装置 .....	224
<b>第六章</b>	<b>X线计算机体层设备 .....</b>	<b>230</b>
第一节	概述 .....	230
第二节	扫描系统 .....	236
第三节	计算机系统、图像显示和存储系统 .....	249
第四节	螺旋 CT .....	253
第五节	CT 的使用与维护 .....	264
<b>第七章</b>	<b>磁共振成像设备 .....</b>	<b>270</b>
第一节	概述 .....	270
第二节	主磁体系统 .....	274
第三节	梯度磁场系统 .....	282
第四节	射频发射与接收系统 .....	285
第五节	计算机系统 .....	289
第六节	磁场的屏蔽 .....	290
第七节	超导及低温系统 .....	293
第八节	MRI 的使用与维护 .....	297
<b>第八章</b>	<b>超声成像设备 .....</b>	<b>300</b>
第一节	概述 .....	300
第二节	A 型和 M 型超声诊断仪 .....	309
第三节	B 型超声诊断仪 .....	310
第四节	超声多普勒成像仪 .....	315
第五节	超声诊断仪的使用与维护 .....	319
<b>第九章</b>	<b>核医学成像设备 .....</b>	<b>322</b>
第一节	概述 .....	322
第二节	$\gamma$ 照相机 .....	324
第三节	单光子发射型计算机体层设备 .....	331
第四节	正电子发射型计算机体层设备 .....	335
第五节	核医学成像设备的使用与维护 .....	338
<b>第十章</b>	<b>医学图像存储与通讯 .....</b>	<b>340</b>
第一节	自动洗片机和医用相机 .....	340
第二节	医学图像存储、通讯系统和远程放射学系统 .....	347



参考文献 .....	353
附录一 相关知识链接 .....	354
第一节 诊断用 X 线机的临床应用 .....	354
第二节 纵向体层摄影装置 .....	357
第三节 专用 X 线机 .....	361
附录二 附图 .....	374

# 第一章

## 绪论

### 学习目标

1. 掌握诊断用 X 线机基本组成和分类。
2. 熟悉医学影像设备的分类。
3. 了解医学影像设备的发展历程。

图像科学是现代科学技术领域中的一个重要分支,它包括图像的形成、获取、传输、存储、处理、分析与识别等研究内容。生物医学影像学(biomedical imaging, BMI)是图像科学研究领域中的重要学科,是 20 世纪生物医学工程(biomedical engineering, BME)领域中发展最为迅速的学科之一。在 BMI 研究中包含以下两个相对独立的研究方向:医学成像系统(medical imaging system)和医学图像处理(medical image processing)。医学成像系统主要研究生物医学图像(简称医学图像)的形成过程,包括对成像原理、成像设备、成像系统分析等问题的研究。医学图像处理是指对已经获得的医学图像作进一步的分析处理,其目的或者是使原来不够清晰的图像复原;或者是为了突出图像中的某些特征信息;或者是对图像作模式分类等。由于医学图像能提供生物体内脏器官、组织、细胞甚至分子水平的相关信息,能以非常直观的形式向人们展示人体内部的结构形态与脏器功能,已成为临床诊断最重要的手段之一。

医学成像系统涉及理学、工学、医学等各个学科领域,是生物医学、物理学、电子技术、计算机技术、材料科学与精细加工等多种高新技术相互渗透的产物,其成像设备的种类日益增多,结构也越来越复杂,20 世纪 90 年代已形成较为完整的医学影像设备体系,医学影像设备学也由此建立。

医学影像设备学是以医学图像形成过程中的成像设备为研究对象,以成像设备的基本构造、工作原理、维护保养、安装维修、使用方法、操作规程等为研究内容,已成为 BME 领域中的一门新的学科,也是医学影像技术专业必修的课程之一。

### 第一节 医学影像设备的发展历程

自 1895 年德国物理学家伦琴(Wilhelm Conrad Rontgen)发现 X 线(X-ray)、并用 X

线为其夫人拍摄了世界上第一张 X 线照片以后, X 线便广泛应用于多个领域, 特别是在临床诊断上发挥着极其重要的作用。在此后的一百多年中, 随着现代科学技术的进步, 特别是计算机技术的发展, 各种医学影像设备不断涌现, 临床诊断的准确性、敏感性、特异性、快速性、无创伤性不断提高, 并已从单一的常规 X 线机发展到包括 X 线计算机体层成像(X-ray computed tomography, X-CT)(简称 CT)、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)、超声(ultrasonography, US)成像、 $\gamma$  闪烁成像( $\gamma$ -scintigraphy)、发射型计算机体层成像(emission computed tomography, ECT)如单光子发射型计算机体层成像(single photon emission computed tomography, SPECT)和正电子发射型计算机体层成像(positron emission computed tomography, PET 或 PET)等多种设备组成的医学影像设备体系; 建立了医学影像诊断学(diagnostic imageology)以及在动态监视下诊断和治疗的介入放射学(interventional radiology)等。

### 一、常规 X 线设备的发展

1895 年 11 月 8 日, 伦琴(1845—1923)在做真空管高压放电实验中, 意外地发现了一种不可见的、具有很强穿透能力并能使某些物质发光和使胶片感光的 X 线。伦琴当时的工作条件极其简陋, 但 X 线的发现却震撼了全世界, 为世界科技史增添了光辉的一页, 开启了医学影像设备的发展历程。为此, 伦琴于 1901 年 12 月 10 日荣获了首次诺贝尔物理学奖。世人为了纪念他的不朽功绩, 又将 X 线称为伦琴射线或伦琴线。

X 线发现伊始即用于医学领域。由于人体各组织的密度、厚度不同, 故对 X 线的吸收程度亦不同, 透过人体被检部位后的 X 线辐射强度就有差别。根据 X 线的荧光效应和感光效应, 荧光屏或 X 线胶片接受辐射强度不同的 X 线后就会形成具有一定黑白对比度的图像。在开始阶段, X 线检查仅局限于密度差别较大的骨折、体内异物等诊断, 以后才逐步应用于人体各部分的检查。与此同时, 各种 X 线设备相继出现, 并逐步得到发展和改进。1896 年, 研制出了第一支 X 线管; 20 世纪 10~20 年代, 出现了常规 X 线机这一常规 X 线设备。此后, 由于 X 线管、高压发生器、相关的仪器和装置以及人工对比剂的不断开发应用, 尤其是体层摄影装置、连续摄影、快速换片机、高压注射器、影像增强器(image intensifier, I. I)、X 线电视系统(X-TV)的应用, 到 20 世纪 60 年代中、末期, 已初步形成《放射诊断学》这一学科体系。

单一或组合运用各常规 X 线设备进行透视和摄影两大基本功能进行放射诊断, 可获得重要的、较为确切的诊断信息。X 线可用于人体各系统如呼吸、循环、泌尿生殖、骨骼、中枢神经及颌面五官等疾病的检查。常规 X 线设备是医学影像设备大家庭中的一名老成员, 至今仍是基本的、有效的临床检查设备之一; 尤其对骨骼系统、呼吸系统、胃肠道以及心血管系统疾病的诊断, 仍然占有重要和主导作用。

### 二、X-CT 设备的诞生

1972 年, 英国工程师豪斯菲尔德(GN Hounsfield)在英国放射学会上宣布了世界上首台用于颅脑检查的 X-CT 设备研制成功。并于 1979 年与美国物理学家柯玛克(AM Cormack)共同荣获了诺贝尔生理学医学奖。X-CT 是电子技术、计算机技术和 X 线技术相结合的产物, 其图像密度分辨力和空间分辨力较高, 引起了医学界的极大关注并广泛

应用,促进了医学影像技术的发展,被誉为自伦琴发现 X 线以来的又一里程碑,为现代医学影像设备体系的建立奠定了基础。

X-CT 以横断面体层成像为主,不受层面上下组织的干扰;同时由于密度分辨力显著提高,能分辨出 0.1%~0.5% 的 X 线衰减差异,比常规 X 线检查高 10~20 倍;还能以 CT 值做定量分析。近 30 年来,X-CT 设备更新了五代,扫描时间由最初的 3~5 分钟缩短到 0.5 秒甚至更短,空间分辨力也提高到 0.1mm 量级以上。X-CT 设备与技术在医学影像诊断中占有十分重要地位,尤其对颅脑、腹部的肝、胆、胰和后腹腔、肾、肾上腺等病变的影像诊断占有主导地位。20 世纪 80 年代,先后研制开发的超高速 CT (ultra-fast CT, UFCT)、螺旋 CT (helical/spiral CT, SCT),以及目前已大量投入临床应用的多层螺旋 CT (multi-slice CT, MSCT) (2~64 层),使其临床应用范围和诊断效率进一步扩大和提高。

20 世纪 80 年代初开始应用于临床的 MRI 设备,是一种新型的、非电离辐射式的医学影像设备。1946 年,美国斯坦福大学物理系的布洛赫 (F Bloch) 教授和哈佛大学的珀赛尔 (EM Purcell) 教授领导的研究小组同时独立发现了磁共振 (nuclear magnetic resonance, NMR) 现象,即含奇数质子或中子的原子核自身可产生自旋运动,自旋的运动产生磁矩 (magnetic moment),并在其周围形成一个小磁场。为此,他们两人共同荣获了 1952 年的诺贝尔物理学奖。1972 年美国科学家劳特伯 (Paul Lauterbur) 成功地获得了 NMR 图像,使 NMR 成像得到了长足的发展,为此他和英国科学家曼斯菲尔德 (Petter Mansfield) 共同荣获 2003 年的诺贝尔生理学医学奖。自 20 世纪 80 年代初 NMR 成像用于临床以来,为了与 ECT 等核医学成像相区别,改称为磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 或 MR 成像。在此期间, MRI 发展十分迅速。

MRI 是利用含奇数电荷的原子核在磁场内共振所产生的信号,经计算机重建成像的一种影像技术。MRI 图像的软组织分辨力高,调整梯度磁场的方向和方式,可直接获取横、冠、矢状断面和斜位等不同体位的体层图像。迄今, MRI 已广泛用于全身各系统的影像检查,其中以中枢神经系统、心血管系统和盆腔实质脏器、四肢关节和软组织等效果最好;近年来, MRI 腹部诊断效果已达到优于 CT 的水平,颅脑图像的分辨力在常规扫描时间下提高了数千倍,显微成像的分辨力达到 50~100 $\mu\text{m}$ ,现已成为医学影像诊断设备重要的组成部分之一。生物体 MR 波谱分析 (magnetic resonance spectroscopy, MRS) 具有无创伤性地检查机体物质代谢的功能和潜力。功能 MRI (functional MRI, FMRI) 主要用于研究脑组织的生理解剖,并为脑部手术设计提供各部分脑组织的功能区分布情况,以及诊断早期脑梗死。

数字减影血管造影 (digital subtraction angiography, DSA) 和 X 线计算机摄影 (computer radiography, CR) 是 20 世纪 80 年代开发并开始应用的数字 X 线设备。CR 设备中,用影像板 (imaging plate, IP) 代替传统的胶片,具有图像宽容度大的特点; DSA 具有微创、适时成像、对比分辨力高、安全、简便等特点,从而扩大了血管造影的应用范围。DSA 和 CR 都可以获得数字化图像,并可方便接入医学图像存储与通讯系统 (picture archiving and communication system, PACS)。20 世纪 90 年代中期,随着 X 线实时高分辨力平板探测器 (flat panel detector, FPD) 的发明, X 线数字摄影 (digital radiography, DR) 设备也逐步兴起,并逐步应用于临床诊断。20 世纪 50~60 年代,超声和核医学设备相继

出现,并各成系统。

1972年 X-CT 的研制成功,使医学影像设备进入了一个以计算机图像重建为基础的体层成像新时代。20世纪70年代末80年代初,超声 CT、ECT 也相继研制成功并开始临床应用。这些设备的成像参数、诊断机制和检查方法各不相同,可分别获得形态或功能图像信息。为同时获得形态图像和功能图像,出现了 PET 与 X-CT、MRI 相互融合的设备,如 PET-CT、PET-MRI,它们可将形态图像和功能图像融合,提高了影像诊断的敏感性和特异性。

### 三、现代医学影像设备体系的建立

随着 X 线机、X-CT、MRI、US 和核医学设备的不断发展,介入放射学自 20 世纪 60 年代兴起,于 70 年代中期逐步应用于临床,近年来尤以介入治疗进展迅速。因其具有微创、安全、经济等特点,深受医师和患者的重视与欢迎,现正处于不断发展和完善的过程中。20 世纪 90 年代备受人们瞩目的立体定向放射外科 (stereotactic radiosurgery, SRS) 设备,用于放射治疗设备治疗时的定位。常用的有<sup>60</sup>Co、医用直线加速器、 $\gamma$ -刀( $\gamma$ -knife)和 X-刀(X-knife)等,由于它们可不作开颅手术而治疗一些脑部肿瘤和其他一些病变,深受临床青睐。介入放射学设备和立体定向放射外科学设备都是由医学影像设备给予引导和定位来实施治疗的设备,两者都属于医学影像设备的范畴。

综上所述,多种类型的医学影像诊断设备与医学影像治疗设备相结合,共同构成了现代医学影像设备体系。

### 四、我国医学影像设备的发展简况

19 世纪末,美国传教士将 X 线知识传入我国,在他编译的中文讲义《光学摘要》中编入了关于 X 线的内容。

1911 年,英籍医师康特(HB Kent)捐赠给河北省中华医院(今开滦医院)一台小型 X 线机。这是我国第一台小型 X 线机,其 X 线管为冷阴极式三极管,高压裸露。到 1915 年,上海少数医院也引进了 X 线机。

1951 年,上海精密医疗器械厂首先试制 200mA 四管单相全波整流 X 线机,到 1953 年以“和平号”命名,并批量生产。

1973 年,上海第二医学院附属瑞金医院等单位研制出乳腺摄影 X 线机。1983 年,第一台颅脑 CT 试制成功。1988 年,第二代颅脑 CT 问世。1990 年,第三代全身 CT 研制成功,并与国外大公司合作批量生产,整个 CT 的国产化率达到 80%(X 线管亦为国产)。1989 年以来,我国又先后研制出永磁型和超导型 MRI、X-刀、全身  $\gamma$ -刀等设备。

总之,我国医学影像设备的开发和应用,虽然起步较晚,但进展迅速,到 20 世纪 90 年代初已形成较完整的规模,且在某些方面有了突破性进展。

## 第二节 医学影像设备分类

现代医学影像设备按使用目的可分为医学影像诊断设备和医学影像治疗设备两大类。

## 一、医学影像诊断设备

医学影像诊断设备主要用于临床疾病检查和诊断,按照图像信息载体的不同可分为:①X线设备,包括X线机和X-CT设备;②MRI设备;③US设备;④核医学设备;⑤热成像设备;⑥医用光学设备(医学内镜)。

### (一) X线设备

X线设备以穿透人体的X线为图像信息载体,是通过测量透射X线来实现人体成像的。常见的X线设备有出现最早、发展历程最长的常规X线机;有以CR、DR、DSA等为代表的数字X线设备;有能获取人体断面图像的X-CT等。

用X线作为图像信息的载体,应考虑两个制约因素,即分辨力和衰减系数。从分辨力来看,为了获得有价值的图像,X线波长应小于 $1.0\text{cm}$ 。另一方面,X线通过人体时,将被衰减。若衰减过大,在测量透过人体的X线时,由于噪声的存在,很可能导致测量结果失去意义;反之,若X线透过人体时几乎无衰减,则因无法区分人体对X线的衰减,也使测量结果失去意义。只有波长为 $1.0 \times 10^{-12} \sim 5.0 \times 10^{-11}\text{m}$ 的X线(对应 $1.0 \sim 250\text{keV}$ ),其波长比所要求的图像分辨力短得多,并沿直线传播,且穿过人体时对大部分组织呈现明显的衰减差别,才能应用于X线诊断。

在X线设备中,常规X线机图像分辨力较高,可达 $10\text{LP/mm}$ ,且使用方便,价格较低,广泛应用于各级医院。但它得到的是人体不同深度组织叠加在一起的二维平面图像,故病变组织深度很难区分,且对软组织病变的分辨力低。数字X线设备可提高图像的分辨力,有利于发现微细病变,扩大了诊断范围,便于进行胃肠道和心脏等部位的诊断。CT图像的空间分辨力可达到 $0.5\text{mm}$ ,可分辨组织的密度差别为 $0.5\%$ ,并可确定被检脏器的位置、大小和形态变化。

除X线设备外,US设备、MRI设备、核医学设备在各级医院应用也很普遍。这些设备将在后续章节专门阐述,下面简单介绍热成像设备和医学内镜。

### (二) 热成像设备

热成像设备是通过测量体表红外信号和体内的微波信号,实现人体成像的设备。红外辐射与温度有关,因此又可以说,热成像就是利用温度信息成像的技术。

研究人体温度的分布,对了解人体生理状况、诊断疾病具有重要意义。影响人体表面温度的因素很多,其中最主要的是皮下毛细血管网的血流情况;此外,皮肤温度还受其他因素的影响,如疼痛感受器、化学受体、丘脑下部等。由于出汗而形成的局部热蒸发损失,也需予以考虑。由于血流主要受控于中枢神经系统,其四肢的交感神经系统主要控制着血管舒缩的节律,因此,热成像设备的用途是:①评价血流分布是否正常;②评价交感神经系统的活动;③研究皮下组织所增加的代谢热或动脉血流通过热传导使体温升高的情况。

医用热成像设备一般包括红外成像、红外照相、红外摄像和光机扫描成像等。光机扫描热成像仪是将人体的热像转变为连续变化的图像电信号,经放大处理后在显示器显示可见的热像。其温度分辨率为 $0.1 \sim 0.01\text{K}$ ,且具有灵敏度高、空间分辨力高等优点;目前已用于乳腺癌的普查和诊断、血管瘤和血管闭塞情况的检查和诊断,以及妊娠的早期诊断等。还有一种热释电摄像机,将输入的热辐射由红外透镜聚焦,在摄像管靶面上

产生空间和强度变化与热体温度分布相同的电荷图形,最后把反映温度变化情况的电信号转变为视频信号输出。热释电摄像机在整个红外光谱区相当平稳,又无需制冷,具有电子扫描、能与电视兼容等很多优点,是一种很有发展前途的热成像系统。但目前它存在着灵敏度低、工作距离近、性能指标比光机扫描热成像仪差的缺点,有待于进一步完善和提高。

体内以电磁波方式向外传播的热辐射,其中含有微波成分。微波成像系统借助体外微波天线接收体内传出的微波,并通过高灵敏度的热辐射计实现体内温度测量。如测量某一特定频率的信号,即可得到从体表到某一深度的平均温度;若采用多波段辐射计,并对测量数据作适当处理,就可推断出不同深度组织的温度。如以温度为参变量,则可获得不同深度的体层图像。

由于引起人体组织温度异常分布的原因很多,因此,热成像设备得不到准确的诊断结果,它所提供的信息仅供提示和参考。

### (三) 医学内镜

目前,只有医学内镜能直观地观察人体内部器官的形态,而前述的各种医学影像设备只能间接地显示人体组织的形态或功能。利用医学内镜,可直接观察人体内脏空腔器官的黏膜组织形态和病变,从而提高了诊断的准确性。内镜的诊疗优势,已成为医学界的共识。

医用内镜的种类很多,以往临床上用得最多的是光导纤维内镜(纤镜),而目前最有发展潜力的是电子内镜,它正在世界范围内普及。

以胃肠纤维内镜为例,光导纤维内镜是由头端部直径为7.9~12.8mm的可弯插入管,以及将光源和头端部连接起来的连接管组成。头端部可以手持,它由目镜、远端弯角、抽吸和送水的各种控制件及工作钳孔组成。在可弯曲的套管中,密封有传像束和导光束,它们将头端和末端连接在一起。导光束将来自光源的光传输到内镜的末端以照明视物;传像束将图像作为反射光传回到目镜。导光束和传像束由30 000~50 000根光学纤维组成,它们即使在弯曲时也能进行双向光传输。传像束要连贯地排列,使每根纤维在内镜头、尾两端的相对位置保持一致,以便在目镜中重建一幅十分逼真的图像。

光导纤维内镜的出现,使医用内镜无论在功能和用途方面,还是在对人体脏器的适用性方面,都取得了突破性的进展。数十年来,光导纤维内镜不断发展完善,且以其性能的稳定性和技术的可靠性、种类的系统性、装置的小型性、使用的方便性以及性能价格比的可接受性等诸多优势,在医学界备受青睐。

电子内镜应用了微电子和计算机等高新技术,其功能比光导纤维内镜更强大,是内镜的一大进步。它主要由内镜、光源、视频处理中心、视频显示系统、图像与患者数据记录系统及附属装置组成。其最大的优点是采用电荷耦合器件(charge coupled device, CCD)摄像机将观察到的物像转换成电信号,并传输到视频中心进行处理,达到最终显示的目的。传输到显示器上的图像还可记录下来,用视频打印机打印;也可传输到另一场所同时观察,并可放大80~100倍以观察微小病变,图像记录系统可将其记录保存、打印成图像,亦可传输到异处同时进行观察。

超声内镜是将超声探头和内镜连接在一起。在内镜的引导下,将超声探头送入体内进行扫描,所得到的信息更加清晰和准确。目前此类设备主要用线性和扇形两种扫描

方式。

激光内镜和三维内镜还处于发展之中,激光内镜是将诊断与治疗结合在一起的新一代内镜。三维内镜可提供立体图像,可使许多高难度手术得以顺利实施,为手术安全提供可靠保证,使医学内镜技术迈上了一个新的台阶。

## 二、医学影像治疗设备

### (一) 介入放射学设备

介入放射学是在 20 世纪 70 年代初期以 Seldinger 技术为基础而发展起来的一个微创医学的分支,是以影像诊断学为基础,并在影像设备的导向下,利用经皮穿刺和导管技术等,对一些疾病进行非手术治疗或者用以取得组织学、细菌学、生理和生化材料,以明确病变性质。

医学影像设备的导向是完成介入治疗的关键,主要有 X-TV、US、X-CT 和 MRI。20 世纪 80 年代初发展起来的 DSA 设备问世后,由于它能实时、清楚、准确地向术者提供穿刺针和导管的位置、局部血管或生理管道系统的结构、介入治疗后栓塞或扩张的效果等有关介入诊疗的信息,因而具有很大的优越性,目前 DSA 设备已基本取代了常规心血管造影设备。而计算机的发展,使 DSA 设备向智能化、网络化、综合快速数据处理能力、无胶片处理方式,以及尽可能低的 X 线剂量和操作方便的界面、灵活的图像后处理技术等方向发展,从而为介入放射学提供了有力的保证。

介入性导管应具备以下条件:①合适的几何造型及硬度;②较好的弹性和柔韧性;③扭力顺应性小(为减小扭力顺应性,管壁置入金属网);④形状具有记忆性;⑤血液与组织相容性;⑥可进行高温、高压消毒或化学消毒;⑦可进行放射性跟踪;⑧管壁光滑、管腔满足流量压力的要求,摩擦系数适宜。根据用途不同,介入性导管可分诊断用导管和治疗用导管两类。前者包括心血管、脑血管造影导管,肝、肾、胰、脾等内脏器官用导管十余种。这种导管要有一定耐压性和满足大流量的要求(15~25ml/s)。后者包括消化道治疗导管、肿瘤化疗用导管、射频消融导管、溶栓导管、二尖瓣球囊扩张导管等。

导管附件有用于血管或腔管的内支架(stent);有用于永久性栓塞的弹簧圈(coil)以及用于引导导管用的导丝(guild-wire)等。其中内支架又可分为自扩式、球囊扩张式和热记忆式三种。

在 21 世纪,应用微电子、分子生物学和基因工程的新成果,集多功能如内镜、超声、血流压力测量等于一体的新一代治疗导管及传输装置将进一步发展;生物适应性良好的材料、内支架、留置用导管的研制和临床应用将有助于进一步提高介入治疗水平。开放式 MRI 设备及其相配套器具的开发以及超声的配合使用,将使介入治疗向低辐射或无辐射方向发展。医学影像设备的不断开发与进步,如实时和立体成像引导下的介入性操作,以及新的抗癌药物、栓塞剂和基因疗法的应用,将进一步提高介入治疗的精度与疗效。

### (二) 立体定向放射外科设备

立体定向放射外科或称立体定向放射治疗(stereotaxis radiotherapy, SRT),是一门新的医疗技术。它是利用现代 X-CT、MRI 或 DSA 设备,加上立体定向头架装置对颅内病变区作高精度定位;经过专用治疗计划系统(具有三维显示和计算功能的计算机)做出



最优治疗计划;运用边缘尖锐的小截面光子束(MeV级)以等中心照射方式聚焦于病变区(位于等中心处),按治疗计划作单平面或多个非共面的单次或多次剂量照射。照射时,由于照射野边缘剂量下降很陡,就像用刀切一样,所以,用 $\gamma$ 射线时称为 $\gamma$ -刀,用X线时称为X-刀;但它并不是将病变切除,而是用放射线杀死肿瘤细胞。

$\gamma$ -刀的主体结构是一个半球形金属屏蔽系统,其中排列着201个 $^{60}\text{Co}$ 源,每个 $^{60}\text{Co}$ 源均配有双重不锈钢屏蔽,它所发出的 $\gamma$ 射线经准直校正后,形成一个狭光束,聚焦于半球的中心。准直分为内外两层,外层与 $^{60}\text{Co}$ 源一起固定于主机内。内准直为半球形头盔,根据孔洞直径分为4mm、8mm、14mm、18mm四种,以适应不同大小的病变。也可以通过部分准直孔来适应不同形状的肿瘤。患者须戴上立体定向头架进行X-CT、MRI或DSA定位。治疗时,患者平卧在治疗床上,剂量计算由专用计算机完成。

X-刀与 $\gamma$ -刀相似,只不过其主机是常用的电子直线加速器,用它作为产生X线的放射源,进行数个弧形照射,以达到治疗的目的。但其等中心的精度应作精细的调整,使其误差尽可能小于通常放疗要求值 $\pm 1\text{mm}$ 。病变的立体定位仍由X-CT、MRI或DSA设备来完成。其坐标参考系固定于患者头上的立体装置。支架固定于治疗床旋转平台上,支架上的头环可在三维方向(头足、前后、左右)上按病变影像所获得的坐标进行调节,以使病变被定位于治疗机的等中心。患者仰卧于治疗床上,调节治疗床使头环对准其位置。根据治疗计划确定的输出剂量率(剂量值/度)、旋转角度、初始角、停止角以及适当口径的附加准直器,直线加速器机架边旋转边照射。如通过治疗床旋转平台将治疗架与头架均旋转某一角度,可在此新的平面内重复上述旋转照射。根据治疗计划,可采用多个这样的非共面旋转照射平面作照射,但须全都聚焦于等中心(病变区),而正常组织剂量则被分散于一个较大的立体角区域内。

X-刀与 $\gamma$ -刀相比,各有其优缺点。前者机械精度高,易操作,但非常昂贵,须现场装源且5~10年更换 $^{60}\text{Co}$ 源,照射体积及形状改变范围小,只能治疗颅内病变。后者相对便宜,既可作X-刀又可作放疗,按病变需要,治疗时其体积和形状变化范围大,剂量准确,但机械精度差一些,须用计算机控制照射,操作较复杂。

总之,立体定向放射外科设备具有以下优点:①以立体影像定位;②形成立体剂量分布;③易选择合适的剂量进行照射;④肿瘤受到最大剂量照射,但周围正常组织的照射量较小;⑤适于治疗小的、边界清楚的肿瘤。它完全符合现代放射治疗发展的高剂量、高精度、高疗效及低损伤的主流方向。

### 第三节 X线机概论

X线机按用途可分为医用X线机和工业用X线机,医用X线机又可分为诊断用X线机和治疗用X线机两种。用于临床诊断的X线机称为诊断用X线机,用于疾病治疗的X线机称为治疗用X线机。目前,诊断用X线机仍然是各级医院普遍使用的X线设备,尤其对骨骼系统、呼吸系统、胃肠道的检查起着重要和主导作用。本书所介绍的X线机,若无特殊说明皆指诊断用X线机。

#### 一、X线机的组成

虽然X线机型号不一,其结构差异很大,但其基本结构都是由X线发生装置和外围