



卫生部“十一五”规划教材
全国高等医药教材建设研究会规划教材

全国高等学校教材 | 供医学影像学专业用

医学影像设备学

第3版



主 编 徐 跃 梁碧玲
副主编 赵 强 李 彪



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

卫生部“十一五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会规划教材

全国高等学校教材
供医学影像学专业用

医学影像设备学

第 3 版

主 编 徐 跃 梁碧玲

副主编 赵 强 李 彪

编 者 (以姓氏笔画为序)

李 彪 (上海交通大学医学院)

李庆刚 (哈尔滨医科大学)

李林枫 (天津医科大学)

李晓原 (中山医科大学)

赵 强 (徐州医学院)

秦瑞平 (河北医科大学)

徐 跃 (泰山医学院)

梁碧玲 (中山医科大学)

彭平冀 (长治医学院)

韩丰谈 (泰山医学院)

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

医学影像设备学/徐跃等主编. —3 版. —北京:
人民卫生出版社, 2010. 7

ISBN 978 - 7 - 117 - 13068 - 4

I. ①医… II. ①徐… III. ①影像诊断 - 医疗器械学 - 医学院校 - 教材 IV. ①R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 096917 号

| | |
|---|-----------------------|
| 门户网: www.pmph.com | 出版物查询、网上书店 |
| 卫人网: www.ipmph.com | 护士、医师、药师、中医师、卫生资格考试培训 |

版权所有, 侵权必究!

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 3 版

主 编: 徐 跃 梁碧玲

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010 - 59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010 - 67605754 010 - 65264830

010 - 59787586 010 - 59787592

印 刷: 尚艺印装有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 889 × 1194 1/16 印张: 15.5

字 数: 485 千字

版 次: 2000 年 11 月第 1 版 2010 年 7 月第 3 版第 14 次印刷

标准书号: ISBN 978 - 7 - 117 - 13068 - 4/R · 13069

定 价: 32.00 元

打击盗版举报电话: 010 - 59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换)

全国高等学校医学影像学专业规划教材

第三轮修订说明

随着医学影像学的飞速发展,对医学影像学高等教育教学内容和体系的改革提出了更高的要求,为了满足学科发展和教学需要,我们在进行多次调查研究、分析论证的基础上,并经全国高等医药教材建设研究会和卫生部教材办公室审议同意,决定从2009年开始启动医学影像学专业规划教材第三轮的修订工作。此次修订仍以《中国医学教育改革和发展纲要》为指导思想,强调三基(基础理论、基本知识和基本技能)、五性(思想性、科学性、先进性、启发性和适用性)原则,紧扣医学影像学专业培养目标,密切结合专业发展特点,按照医学影像学教学改革的要求,重新修订了原有的9种教材,同时新增《医学超声影像学》教材。本套教材共10种,各自成册又互成系统。修订后的教材将满足培养医学影像学专业高级人才的要求。

第三轮教材目录

- | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|
| 1. 人体断面与影像解剖学(第3版) | 主 编 | 王振宇 | 徐文坚 |
| | 副主编 | 段菊如 | 付升旗 |
| 2. 医学影像物理学(第3版) | 主 编 | 吉 强 | 洪 洋 |
| | 副主编 | 周志尊 | 甘 平 |
| 3. 医学电子学基础(第3版) | 主 编 | 陈仲本 | |
| | 副主编 | 鲁 雯 | 柴 英 |
| 4. 医学影像设备学(第3版) | 主 编 | 徐 跃 | 梁碧玲 |
| | 副主编 | 赵 强 | 李 彪 |
| 5. 医学影像检查技术学(第3版) | 主 编 | 张云亭 | 于兹喜 |
| | 副主编 | 郑可国 | 余建明 |
| 6. 医学影像诊断学(第3版) | 主 编 | 白人驹 | 张雪林 |
| | 副主编 | 孟俊非 | 李健丁 |
| | | 徐 克 | 龚洪翰 |
| 7. 介入放射学(第3版) | 主 编 | 郭启勇 | |
| | 副主编 | 申宝忠 | 滕皋军 |
| 8. 影像核医学(第2版) | 主 编 | 黄 钢 | |
| | 副主编 | 左书耀 | 陈 跃 |
| 9. 肿瘤放射治疗学(第2版) | 主 编 | 徐向英 | 曲雅勤 |
| | 副主编 | 李国文 | 伍 钢 |
| 10. 医学超声影像学 | 主 编 | 姜玉新 | 王志刚 |
| | 副主编 | 胡 兵 | 周晓东 |

前 言

卫生部“十一五”规划教材 全国高等医药教材建设研究会规划教材 供医学影像学专业使用的《医学影像设备学》(第3版)是在第1、2版的基础上,由国内部分医学院校的影像设备学专家共同编写而成的。

在分析、总结第1、2版教材使用情况的基础上,继续贯彻“三基”(即基本知识、基本理论和基本技能)、“五性”(即思想性、科学性、先进性、启发性和适用性)的指导思想和原则,根据专业培养目标的要求,结合教学和临床实践,编写中力求进一步提高教材的思想性、科学性、先进性、启发性和适用性,以介绍医学影像设备学的基本理论、基本知识和基本技能为重点,尽可能结合设备学的发展现状,对第2版教材进行修订和增补。

全书共分九章,第一章概论,简要介绍了医学影像设备的发展历程和分类,使学生了解该领域的历史和现状;第二章至第九章分别介绍了常规X线机、数字X线机、X线计算机体层、磁共振、超声和核医学等成像设备,以及PACS系统的基本结构、功能、技术参数和应用特点,在内容处理上力求把握主题,选材适当。同时,加强本专业与其他专业之间的紧密联系,相互配合,为学习相关课程和将来从事临床实践准备必要的知识。

在编写过程中,泰山医学院的张里仁教授对本版教材提出了许多指导性的意见,在此,我们表示衷心的感谢。同时,也对中山大学肿瘤医院邓小武教授、河北医科大学戴建教授和上海理工大学李哲旭教授,以及对本教材提出许多宝贵意见和建议的专家、教师和医务工作者一并表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中缺点、错误在所难免,恳请读者给予批评指正,以便再版时改进和提高。

编 者

2010年3月

目 录

| | |
|----------------------------------|----|
| 第一章 概论 | 1 |
| 第一节 发展历程 | 1 |
| 一、常规 X 线设备问世, 为放射学的建立奠定了基础 | 1 |
| 二、CT 扫描设备的诞生, 是医学影像设备的新里程碑 | 2 |
| 三、现代医学影像设备体系的建立 | 2 |
| 四、我国医学影像设备发展简况 | 4 |
| 第二节 医学影像设备分类 | 4 |
| 一、医学影像诊断设备 | 4 |
| 二、医学影像治疗设备 | 7 |
| 第二章 X 线发生装置 | 11 |
| 第一节 X 线管 | 11 |
| 一、固定阳极 X 线管 | 11 |
| 二、旋转阳极 X 线管 | 13 |
| 三、特殊 X 线管 | 15 |
| 四、特性与参数 | 18 |
| 五、管套 | 21 |
| 第二节 高压发生器 | 22 |
| 一、高压变压器 | 22 |
| 二、高压元器件 | 24 |
| 第三节 控制台 | 27 |
| 一、对电路的基本要求 | 27 |
| 二、基本电路 | 27 |
| 三、单元电路简介 | 28 |
| 第三章 诊断 X 线机 | 38 |
| 第一节 工频 X 线机 | 38 |
| 一、常规 X 线机 | 38 |
| 二、程控 X 线机 | 40 |
| 第二节 高频 X 线机 | 41 |
| 一、主要技术参数 | 42 |
| 二、主要特点 | 42 |
| 三、构成 | 43 |
| 四、工作原理 | 44 |
| 五、直流逆变电源 | 44 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| 第三节 医用 X 线电视系统 | 45 |
| 一、影像增强器 | 46 |
| 二、电视基础知识 | 48 |
| 三、摄像机 | 52 |
| 四、自动亮度控制装置 | 55 |
| 五、监视器 | 56 |
| 六、高清晰度电视 | 58 |
| 第四节 诊断用 X 线机简介 | 59 |
| 一、胃肠 X 线机 | 60 |
| 二、摄影 X 线机 | 65 |
| 三、其他专用 X 线机 | 73 |
| 四、成像辅助装置 | 77 |
| 第四章 数字 X 线设备 | 83 |
| 第一节 计算机 X 线摄影装置 | 83 |
| 一、基本组成与工作原理 | 83 |
| 二、影像板 | 84 |
| 三、读取装置 | 85 |
| 四、计算机图像处理 | 86 |
| 五、图像存储装置 | 89 |
| 六、评价标准 | 90 |
| 七、使用注意事项 | 91 |
| 第二节 数字 X 线摄影装置 | 91 |
| 一、组成 | 91 |
| 二、工作原理 | 92 |
| 三、注意事项 | 94 |
| 四、CR 与 DR 的比较 | 94 |
| 第三节 数字减影血管造影装置 | 95 |
| 一、基本结构 | 95 |
| 二、影响图像质量的因素 | 96 |
| 三、对 X 线机的要求 | 96 |
| 四、专用支架 | 97 |
| 五、导管床 | 98 |
| 六、高压注射器 | 98 |
| 七、数字系统 | 100 |
| 八、DSA 系统的特殊功能 | 102 |
| 九、图像质量检测 | 103 |
| 十、注意事项 | 103 |
| 第五章 X 线计算机体层成像设备 | 105 |
| 第一节 概述 | 105 |
| 一、发展简史 | 105 |
| 二、发展趋势 | 108 |
| 第二节 成像系统 | 110 |

| | |
|--------------------|------------|
| 一、数据采集装置 | 110 |
| 二、计算机和图像重建系统 | 119 |
| 第三节 螺旋 CT | 122 |
| 一、特点 | 122 |
| 二、螺旋扫描装置 | 124 |
| 三、多层螺旋 CT | 128 |
| 第四节 X 线 CT 的设备质量保证 | 130 |
| 一、图像质量参数 | 130 |
| 二、影响图像质量的因素 | 134 |
| 三、伪影 | 134 |
| 第六章 磁共振成像设备 | 136 |
| 第一节 概述 | 136 |
| 一、发展简史 | 136 |
| 二、特点 | 138 |
| 三、组成及工作原理 | 139 |
| 第二节 主磁体系统 | 140 |
| 一、种类与性能指标 | 140 |
| 二、匀场技术 | 146 |
| 第三节 梯度磁场系统 | 147 |
| 一、梯度磁场的产生 | 147 |
| 二、梯度磁场线圈 | 149 |
| 三、技术参数 | 150 |
| 第四节 射频系统 | 151 |
| 一、发射线圈与发射通道 | 152 |
| 二、接收线圈与接收通道 | 156 |
| 第五节 计算机系统 | 159 |
| 一、梯度磁场的控制 | 160 |
| 二、射频脉冲的控制 | 160 |
| 三、图像重建 | 161 |
| 四、图像显示 | 161 |
| 第六节 磁共振成像设备质量保证 | 161 |
| 一、MRI 设备质量保证主要参数 | 161 |
| 二、磁共振成像设备检测体模 | 163 |
| 三、磁共振成像伪影 | 163 |
| 第七章 超声成像设备 | 165 |
| 第一节 概述 | 165 |
| 一、发展简史 | 165 |
| 二、分类及基本成像原理 | 165 |
| 三、我国应用超声诊断技术简况 | 166 |
| 四、超声成像新技术 | 166 |
| 第二节 超声探头及显示 | 167 |
| 一、医用超声探头 | 167 |

| | |
|----------------------|------------|
| 二、显示器 | 170 |
| 第三节 B 型超声成像设备 | 170 |
| 一、分类 | 170 |
| 二、机械扇形扫查和机械径向扫查 | 170 |
| 三、电子线阵 | 172 |
| 四、电子扇扫 | 174 |
| 五、实时显像 | 177 |
| 第四节 超声多普勒技术 | 178 |
| 一、工作原理 | 178 |
| 二、连续多普勒超声技术 | 179 |
| 三、脉冲多普勒技术 | 179 |
| 四、彩色多普勒超声成像设备 | 180 |
| 第八章 核医学成像设备 | 183 |
| 第一节 概述 | 183 |
| 一、发展简史 | 183 |
| 二、分类及应用特点 | 184 |
| 第二节 核医学成像设备的基本部件 | 186 |
| 一、基本结构与工作原理 | 186 |
| 二、准直器 | 188 |
| 三、闪烁晶体 | 189 |
| 第三节 单光子发射型计算机断层扫描仪 | 190 |
| 一、基本结构与工作原理 | 190 |
| 二、探测器 | 191 |
| 三、机架 | 191 |
| 四、控制台 | 192 |
| 五、计算机 | 192 |
| 六、外围设备 | 192 |
| 第四节 正电子发射型计算机断层扫描仪 | 192 |
| 一、基本结构与工作原理 | 192 |
| 二、探测器 | 193 |
| 三、机架 | 194 |
| 四、计算机和网络系统 | 194 |
| 五、图像融合设备的基本结构与原理 | 195 |
| 第九章 图像存储与传输系统 | 196 |
| 第一节 概述 | 196 |
| 一、发展简史与发展趋势 | 196 |
| 二、主要功能 | 197 |
| 三、分类 | 198 |
| 第二节 数字图像和通信标准 | 198 |
| 一、应用范围和领域 | 199 |
| 二、主要内容 | 199 |
| 三、文件格式 | 201 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| 四、网络结构····· | 201 |
| 五、接口与通讯····· | 202 |
| 第三节 图像存储与传输系统基本结构····· | 203 |
| 一、硬件结构····· | 203 |
| 二、软件结构····· | 209 |
| 第四节 应用····· | 212 |
| 一、医院信息系统简介····· | 212 |
| 二、全院级 PACS 的规划和建设····· | 216 |
| 三、HIS 与 RIS、PACS 的完全融合····· | 219 |
| 四、远程放射学系统····· | 224 |
| | |
| 参考文献····· | 226 |
| 中英文名词索引····· | 227 |
| 英中文名词索引····· | 232 |

第一章

概 论

自德国物理学家伦琴发现 X 线(X-ray)、并用 X 线拍摄了第一张 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了极其重要的作用,形成了放射诊断学(radiology)。此后的一百多年,随着现代科学技术的进步,特别是计算机技术的发展,医学影像设备不断进步,影像诊断的准确性、敏感性、特异性、快速性、无创伤性不断提高。并已从单一的 X 线常规诊断发展到包括 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)、超声成像(ultrasonography,USG)、 γ -闪烁成像(γ -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)与正电子发射体层成像(position emission tomography,PET)等多种成像技术组成的影像诊断学(diagnostic imageology);并开拓了在影像动态监视下诊断和治疗的介入放射学(interventional radiology)。

作为现代医学影像设备的一个重要的发展,图像存储与传输系统(picture archiving and communication system,PACS)和远程放射学系统得到普遍应用,实现了医学图像的软阅读,成为医院数字化和医疗资源共享进程中十分重要的环节。为此,PACS 在本书的新版中以独立的一章详细介绍。

第一节 发展历程

一、常规 X 线设备问世,为放射学的建立奠定了基础

1895年11月8日,伦琴在做真空管高压放电实验时,发现了一种肉眼看不见、但具有很强穿透能力的、能使某些物质发出荧光和使胶片感光的未知射线,称为 X 射线,简称 X 线。他利用 X 线为其夫人的手掌拍摄了一张 X 线照片,这便是世界上第一张 X 线照片。伦琴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。为此,伦琴于 1901 年 12 月 10 日荣获首次诺贝尔物理学奖。世人为纪念他的不朽功绩,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临床。由于人体各组织的密度、厚度不同,所以对 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 线的荧光和感光效应,荧光屏或胶片接收到辐射强度不同的 X 线就会形成黑白对比不同的影像。开始阶段,X 线检查仅应用于密度差别较大的骨折和体内异物的诊断,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。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。此后,由于 X 线管、高压变压器、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、影像增强器、电视、电影和录像记录系统的应用,到 20 世纪 60 年代中、末期,已形成了较完整的学科体系,称为放射诊断学。

单一或组合运用 X 线设备的透视和摄片两大基本功能进行放射诊断,可获得重要的、确切的诊断信息。X 线检查可应用于人体各系统,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。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;它在影像

诊断中,特别是对肺、骨骼、胃肠道和心血管(尤其是冠状动脉)的诊断,仍占有重要的、主导地位。

二、CT 扫描设备的诞生,是医学影像设备的新里程碑

1972年,英国工程师 G. N. Hounsfield 在英国放射学会上宣布世界上第一台用于颅脑影像检查的 CT 设备研制成功。并于 1979 年与柯玛克共同荣获诺贝尔生理学或医学奖。这是电子、计算机和 X 线技术相结合的产物。由于 CT 图像的密度分辨力和空间分辨力高,这种临床诊断价值高而又无创伤的影像学技术一经神经放射学家 Ambrose 应用于临床,即引起医学界的关注并广泛应用,极大地促进了医学影像学的发展,被誉为自伦琴发现 X 线以来医学影像学的又一里程碑,为现代医学影像设备学奠定了基础。

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% X 线衰减系数的差异,比传统的 X 线检查高 10~20 倍;还能以 CT 值(CT 值是以水为 0 的 X 线吸收系数的相对值)作定量分析。近 40 年来,CT 设备更新了五代,扫描时间由最初的 3~5 分钟缩短至 0.5 秒,空间分辨力也提高到 0.1 mm 量级。

21 世纪初以来先后研制开发的宽探测器使多层螺旋 CT(MSCT)扫描成为临床的常规影像设备。2007 年 CT 探测器已达 320 排 16 cm 宽,双源 128MSCT 使心脏扫描的时间分辨力提高至 75 毫秒、全心脏扫描 0.25 秒,可广泛应用于各种心率的病人。CT 设备与技术医学影像诊断中占有重要地位,尤其对颅脑、腹部的肝、胆、胰和后腹膜腔、肾、肾上腺等病变的诊断则占主导地位。螺旋 MSCT 获取的人体容积数据经图像处理后可显示三维解剖的信息,同时还可获取组织的功能信息,如血流的灌注、血管的通透性等诊断数据。

20 世纪 80 年代初开始用于临床的 MRI 设备,是一种崭新的非电离辐射式医学影像设备。1946 年,美国科学家 Bloch 和 Purcell 分别发现了磁共振(magnetic resonance, MR)现象,即含奇数质子或中子的原子核自身可产生自旋运动,自旋的进动产生磁矩(magnetic moment),并在其周围形成一个小磁场。为此,他们荣获了 1952 年的诺贝尔物理学奖。1972 年,美国科学家 Paul Lauterbur 成功地获得了 MRI 图像,使 MRI 在近年得到了长足的发展,他和英国科学家 Peter Mansfield 共同荣获 2003 年的诺贝尔生理学或医学奖。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学技术。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或优于 CT 的水平,颅脑影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 50~10 μm ,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)目前主要包括弥散(diffusion)、灌注(perfusion)和血氧水平依赖性皮层激发成像(blood oxygen level-dependent, BOLD),主要用于研究脑组织的生理解剖、工作状态和微循环情况,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超早期脑梗死。

数字减影血管造影(digital subtractive angiography, DSA)、计算机 X 线摄影(computed radiology, CR)是 20 世纪 80 年代开发的数字式 X 线设备。前者具有微创、实时成像、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。后者具有图像宽容度大的特点。两者都可获得数字化图像并可方便接入 PACS 系统。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,数字 X 线摄影(digital radiology, digital radiography; DR)设备逐步兴起,现已广泛应用于临床诊断。

20 世纪 50~60 年代,超声设备和核医学设备相继出现,并各成系统。1972 年 CT 的发明,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阶段。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。这些影像设备的成像参数、诊断原理和检查方法各不相同,可分别获得形态或功能影像。为同时获得形态图像和功能图像,出现了 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、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,深受医生和病人的重视与欢迎,现正处于不断发展和完善的过程之中。20世纪90年代备受人们瞩目的立体定向放射外科学设备,用于放射治疗设备治疗时的定位。常用的放射治疗设备有 ^{60}Co 、医用直线加速器、 γ -刀(γ -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,深受临床欢迎。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或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。各种医学影像设备发展的简况如表1-1所示。

表1-1 医学影像设备发展的简况

| 19 世纪 | 20 世纪 | | | | | | 21 世纪 |
|-------------------|--|---|--|---------------------------------------|--|---|----------------------------|
| | 10 ~ 40 年代 | 50 年代 | 60 年代 | 70 年代 | 80 年代 | 90 年代 | 2000 年代 |
| 发现 X 线 (1895) | 发 射 超 声 成 功 (1917) | 闪烁扫描 (1951) 影像增强器 (1954) | X-TV (1960) 六脉冲高压 发生器 (1963) | X-CT (1972) 超声 CT (1974) | DF、DSA (1980) CR (1982) | CT: 多层 CT | 移动式 DR DR 乳腺机 |
| 发现铀的放 射性(1896) | X 线机(10 ~ 20 年代) | B 超(1954) | 热成像设备 (1963) | 电子扫描 (1975) 小型回旋加 速器(1978) | 多普勒图像 (1982) | 组合式 CT CT 内镜 | 数字平板 DSA |
| X 线管 (1896) | 增感屏 (1930) 电子显微镜 (透射) (1932) | γ 相机 (1957) 纤维胃镜 (1958) | 介入放射学 系统(1964) | SPECT、PET (1979) | PACS (1982) 螺旋扫描 CT (1983) | 数字成像: 旋转 DSA DDR MRI: 开放型 MRI FMRI | 宽探测器 CT (~320) 双源 CT |
| | 旋转阳极 X 线管(1938) A 超(1942) | | | DR(70 年代 末) MRI(1979) | UFCT(1983) 电子内镜 (1983) 超声内镜 (80 年代初) | 核医学: 微型摄像机 | PET-CT PET-MR |
| | 发现磁共振 现象(1946) | | | | 超导 MRI (1985) | 全数字闪烁 相机 SRS: γ -刀 X-刀 | 干式激光照 相机 |

四、我国医学影像设备发展简况

伦琴发现 X 线后不久, X 线的知识就传入我国。19 世纪末, 山东登州一教会学校任教的美国传教士, 在他编译的中文本讲义《光学摘要》中已编入关于 X 线的内容。

1911 年, 河北省中华医院(今开滦医院)引进了一台小型 X 线机, 它是我国最早的一台 X 线设备, 其 X 线管为冷阴极式三极管, 高压裸露。到 1915 年, 上海也引进了 X 线机。

1951 年, 上海精密医疗器械厂首先试制 200 mA 四管单相全波整流 X 线机, 到 1953 年便以“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 γ -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

按影像信息载体的不同, 现代医学影像诊断设备可分为: ①X 线设备, 包括 X 线机和 CT; 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(医用内镜)。

(一) X 线设备

X 线设备是通过测量透过人体的 X 线来实现人体成像的。此类设备主要有 X 线机、数字 X 线摄影设备(DSA、CR、DR 等)和 CT 设备等。

用 X 线作为医学影像信息的载体, 应考虑两个制约因素, 即分辨力和衰减系数。从分辨力来看, 为获得有价值的影像, X 线波长应小于 1.0 cm。另一方面, X 线透过人体时, 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, 将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 $1 \times 10^{-12} \sim 5 \times 10^{-11}$ m 的 X 线, 其波长比所要求的图像分辨力短得多, 并沿直线传播, 且透过人体时对大部分组织呈现出明显的衰减差别, 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, 可达到 100 LP/cm, 且使用方便、价格较低, 广泛应用于各级医院。但它得到的是人体各层组织影像重叠在一起的二维平面像, 不能区分病变的深度, 且对软组织病变的分辨力低。数字 X 线设备可方便地进行图像的处理、存储、传输, 便于接入 PACS, 扩大了诊断范围, 适于进行胃肠和心脏等部位的诊断。CT 图像的清晰度很高, 空间分辨力可达到 0.5 mm, 可分辨的组织密度差别为 0.5%, 并可确定被检脏器的位置、大小和形态变化。

(二) 磁共振设备

MRI 设备通过测量构成人体组织元素的原子核发出的 MR 信号, 实现人体成像。其空间分辨力一般为 0.5 ~ 1.7 mm, 不如 CT 高; 但其组织分辨力远优于 CT。它可清楚显示骨骼、软骨、肌肉、肌腱、脂肪、韧带、神经、血管等各种组织结构。此外它还有一些特殊的优点: ①MRI 剖面的定位完全是通过调节梯度磁场, 用电子方式确定的, 因此可方便地在任意方向上按照要求选择断面进行体层成像; ②对软组织的分辨力优于 X 线机、CT, 能非常清楚地显示脑灰质与白质; ③MR 信号携带着丰富的反映被检体生理、生化特性的信息, 可获得被检体的功能图像, 而 X 线机、CT 只能获得被检体的形态图像; ④可在活体组织中探测到体内化学物质的成分和含量, 可提供人体内部器官或细胞新陈代谢方面的信息; ⑤无电离辐射, 不存在辐

射危害,目前尚未发现 MR 对人体危害的报道。

MRI 设备的缺点是:①近年来成像速度虽有很大提高,但与 CT 相比,成像时间仍较长;②植入金属假体的病人,特别是植入心脏起搏器或神经刺激器的病人,禁止进入 MRI 检查室,不能进行 MRI 检查;③设备价格昂贵,超导 MRI 设备运行费用高。

总之,MRI 设备可作任何方向的体层检查,可反映人体分子水平的生理、生化等方面的功能特性,对某些疾病(如肿瘤)可作早期或超早期诊断,是一种很有发展前途和潜力的高技术医学影像设备。

(三) 超声成像设备

超声成像设备分为利用超声回波的超声诊断仪和利用超声透射的超声 CT 两大类。超声诊断仪根据其显示方式不同,可以分为 A 型(幅度显示)、B 型(辉度显示)、D 型(多普勒成像)、M 型(运动显示)等。目前医院中使用最多的是 B 型超声诊断仪,俗称 B 超,其横向分辨力可达到 2 mm 以内,所得到的软组织图像清晰而富有层次。利用超声多普勒系统,可实现各种血流参数的测量,是 20 世纪 90 年代来广泛应用的超声技术。随着超声对比剂的发展,超声造影也成为近年来越来越受重视的新技术。临床上,超声设备在检查甲状腺、乳房、心血管、肝脏、胆囊、泌尿科和妇产科等方面有其独到之处。至于超声 CT,因其扫描时间较长、分辨力低,尚需进一步改进与提高;但因它是一种非侵入式、无损伤的诊断设备,故很有可能成为重要的影像设备。

利用超声作为医学影像信息的载体,从分辨力考虑,其波长也应小于 1.0 cm,才有可能适于人体研究。诊断用超声频率应高于 0.15 MHz;但因频率越高衰减越强,故对较深部位的诊断,常选用的频率为 1.0~3.0 MHz;而对较浅部位如眼球,可选用 20 MHz。与 X 线不同,超声成像通常是利用回波(反射波)成像,由已知的声速来计算传播深度。应当指出,在适用于软组织成像的波段内,空气对声波呈现明显的衰减特性;而 X 线则不存在这一问题,空气对 X 线的衰减作用可忽略不计。因此,人体的某些部位不宜用超声检查,特别是肺部。但整个胸部并非全被肺部所覆盖,左胸的前面有一个叫做心脏窗口的非覆盖区,通过这个“窗口”仍可用超声(如超声扇扫诊断仪)检查疾病,这种检查正在日益受到重视。

X 线成像与超声成像之间的一个重要区别是对人体有无危害。就 X 线来说,尽管现在已经显著降低了诊断用剂量,但其危害仍值得重视。实践表明,长期大剂量的电离辐射将增加癌症、白血病和白内障等疾病的发病率。而目前诊断用超声剂量还没有使受检者发生不良反应的报道。

此外,X 线在体内沿直线传播,不受组织差异的影响,是其有利的一面;但其不利的一面是难以有选择地对所指定的平面成像。而超声检查可自由、实时地对受检部位进行多切面扫查。对超声波来说,不同物质的折射率变化范围相当大,这将造成影像失真;但它在绝大部分组织中的传播速度是相近的,骨骼和含有空气的组织(如肺)除外。超声和 X 线这些不同的特性,决定了其各自适宜的临床应用范围。例如:对于胸部组织,X 线检查因胸部有良好的 X 线自然对比,可获得较为满意的诊断图像,但因肺部含有空气而不宜用超声检查。骨关节与软组织有良好的密度对比,X 线检查至今仍是骨骼肌肉系统影像诊断的基本检查;超声脉冲回波法适用于腹部实质性结构或心脏的显像,而利用 X 线对腹部检查只能观察部分器官的形态,采用 X 线造影方法则可显示空腔性脏器的形态和功能方面的改变。

20 世纪 80 年代初,超声内镜问世。它是将超声探头和内镜连在一起,在内镜的引导下,将超声探头送入体内进行扫描,所得到的信息要比在体表上扫描获得的信息准确、详细。目前这类设备主要用线形和扇形两种扫描方式;采用凸式扫描做彩色多普勒和 B 型图像显示较为少见。

(四) 核医学设备

核医学设备是通过有选择地测量摄入体内的放射性核素所发出的 γ 射线来实现人体成像的设备。此类设备主要有 γ 相机、SPECT 和 PET。

γ 相机既是显像仪器,又是功能仪器。临床上可用它对脏器进行静态或动态照相检查;动态照相主要用于心血管疾病的检查。SPECT 具有 γ 相机的全部功能,又增加了体层成像功能,所以明显提高了诊断病变的定位能力;加上各种新开发出来的放射性药物,从而在临床上得到日益广泛的应用。SPECT 在动态功能检查或早期诊断方面有其独到之处,其缺点是图像分辨力不如 X 线机和 CT,操作中要使用放射性药物,比较麻烦。PET 可用人体物质组成元素(如 ^{15}O 、 ^{11}C 、 ^{13}N 等)来制造放射性药物,特别适合做人体生

理和功能方面的研究,尤其是对代谢功能的研究;其缺点是在其附近需要有生产半衰期较短的放射性核素的加速器和建立放射化学实验室,而且费用较昂贵。

核医学成像的横向分辨力很难达到 1.0 cm,且图像比较模糊。这是因为核医学成像所用的放射性物质浓度较低,穿出体外的光子数有限所致。相比之下,X 线成像具有较高的分辨力和较低的量子噪声。但 X 线成像只显示解剖学结构,不能对疾病的功能改变进行诊断。

作为核医学设备发展的新动向,PET 日益受到临床工作的重视。它是目前唯一用解剖形态方式进行功能、代谢和受体显像的设备。将发射正电子的放射性同位素标记在示踪化合物上,再注射到研究对象体内,这些示踪剂就可对活体进行生理、生化过程的示踪,显示生物物质相应的活动的空间分布、数量及其时间变化,以达到研究人体病理和生理过程的目的。由于 PET 所需的放射性药物是与人体内自然存在的物质相似,所以 PET 也被称为“人体生化代谢显像”设备。双探头 SPECT 相合探测(coincidence detection)正电子显像的成功应用,大大地提高了正电子显像技术在临床中的应用。

90 年代后期,随着图像技术的发展,使影像学又产生了新的飞跃,核医学影像和 CT 影像相融合是整个核医学影像设备发展的方向,功能影像与解剖影像的相互完善与优势互补,形成了一种全新的影像学,即解剖-功能影像学。而这种新颖的成像设备将成为今后一个时期最重要的影像设备,PET-CT 就是其代表。它能将 PET 在细胞和分子水平反映的生理和病理特点,与 CT 在组织水平反映的结构变化有机地结合在一起。二者的融合在一起并不是 PET 功能和 CT 功能简单相加,它所具备的同机图像融合功能,利用 X 线对核医学图像进行衰减校正的功能,都是各自原本不具备的功能。同机 CT 图像及 PET 图像进行图像融合时,由于 PET 和 CT 共用一个机架、同一检查床和同一图像处理工作站,所以能进行 PET 和 CT 图像的精确定位,可方便地实现准确的同机图像融合。PET-CT 从根本上解决了核医学影像解剖结构不清晰的缺点,同时又通过采取 CT 图像对核医学影像进行全能量的校正,使核医学影像真正达到定量的目的,可以更早期、灵敏、准确、客观地诊断和指导治疗多种疾病,对肿瘤的早期诊断、神经系统的功能检查和冠心病的诊断等起着越来越重要的作用。

小动物 PET 空间分辨率可达到 0.8 mm,其探测效率为临床专用型 PET 的 100~200 倍,能在较小的体积容量上对组织进行动态分析,从而实现利用动物进行新药研发、基因表达显像、基因治疗效果检测,以及建立新的动物模型的活体进行高灵敏度的实验研究。近来投入使用的小动物 PET-CT 大大地促进活体生化、生理过程等基础医学研究的发展。

(五) 热成像设备

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

研究人体的温度分布,对了解人体生理状况、诊断疾病具有重要意义。影响体表温度的因素很多,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,也须予以考虑。由于血流受控于棘状血管舒缩中心,其四肢的交感神经系统主要控制着血管舒缩的节律,所以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。光机扫描热成像仪将人体的热图像转变为连续变化的图像电信号,经放大处理即可在显示器上显示可见的热像。其温度分辨力可达 0.1~0.01 K,且具有灵敏度高、空间分辨力高等优点;目前已成功地用于乳腺癌的普查和诊断、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响应相当平稳,又无需制冷,具有电子扫描、能与电视兼容等优点,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陷,有待于进一步完善与提高。

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的微波天线接受

体内传出的微波,并通过高灵敏度的热辐射计以测量体内温度。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,并对测量数据做适当处理,就能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的异常分布有多种原因,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参考。

(六) 医用内镜

目前,只有医用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。利用光学内镜,可直接看到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,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 ~ 12.8 mm 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 3 万 ~ 5 万根光学纤维构成,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、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的优势,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、图像与病人数据记录系统及附属装置组成。其最大的特点是采用电耦合器件(charge coupled device, CCD)摄像机将观察到的物像由光信号转换成电信号,并传输到视频中心进行处理,达到最终显示的目的。传输到监视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进行同时观察,并可放大 80 ~ 100 倍,以观察微小病变。

胶囊内镜是 20 世纪末新发展起来的一种无损伤性的消化道疾病影像诊断设备,由胶囊内镜、阵列传感器、数据记录仪和图像分析工作站等组成。

M2A™ 式胶囊大小为 26 mm(L) × 11 mm(D),重量为(4.45 ± 0.35) g,其光学视野范围为 140°,放大 8 倍,最小分辨力 < 0.1 mm,可运行 6 ~ 8 小时。传感器为 8 片 40 mm 直径柔性传感器,固定于腹部,用于接受胶囊通过消化道时所获得的图像和数据。然后,将数据信息传送到数据记录仪中记录保存,记录时间 > 10 小时。图像分析工作站可使医生观看并分析病人的检查结果,保存特定的图像,并可在会诊记录和报告中加上注解,视频显示频率为 5 ~ 40 帧/s。

胶囊内镜最终将把普通内镜技术所能观察的区域扩展到全消化道。真正实现无创伤、无需镇静、无交叉感染和不影响日常工作,且周转快、效率高。

此外,激光内镜、三维内镜、超声内镜和仿真内镜亦在发展之中。前者是将诊断与治疗功能结合在一起的新一代内镜。后者可提供立体图像,能使许多高难度的手术得以顺利实施,且大大提高了手术的安全系数,是内镜发展史上又一新进展。

几种医学影像设备的比较如表 1-2 所示。

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种微创医学的分支,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。