



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等医学院校本科教材

供医学影像、生物医学工程、医学物理学等专业类用

# 医学影像

## 物理学实验

YIXUE YINGXIANG WULIXUE SHIYAN

主编 王鹏程

 人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等医学院校本科教材

供医学影像、生物医学工程、医学物理学等专业类用

# 医学影像物理学实验

YIXUE YINGXIANG WULIXUE SHIYAN

主 编 王鹏程

副主编 张学龙

编 者 (以姓氏笔画为序)

王鹏程 泰山医学院

吉 强 天津医科大学

刘东华 新乡医学院

孙存杰 徐州医学院

邱建峰 泰山医学院

汪红志 上海理工大学医疗器械学院

张学龙 上海理工大学医疗器械学院

陈艳茹 华北煤炭医学院秦皇岛分院

柴 英 大连医科大学



人民军医出版社

People's Military Medical Press

北 京

---

图书在版编目(CIP)数据

医学影像物理学实验/王鹏程主编. —北京:人民军医出版社,2007.7  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-5091-1098-0

I. 医… II. 王… III. 影像诊断—医用物理学—实验—高等学校—教材 IV. R445—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 102417 号

---

策划编辑:郝文娜 文字编辑:高磊 责任审读:张之生

出版人:齐学进

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店

通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编:100036

电话:(010)66882586(发行部)、51927290(总编室)

传真:(010)68222916(发行部)、66882583(办公室)

网址:www.pmp.com.cn

---

印刷:北京天宇星印刷厂 装订:京兰装订有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:11.5 字数:267千字

版、印次:2007年7月第1版第1次印刷

印数:0001~4000

定价:26.00元

---

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

电话:(010)66882585、51927252

# 前 言

医学影像物理学是学习医学影像诊断学、医学影像设备学以及医学影像检查技术学的基础,它涵盖了医学影像成像原理、方法以及医学影像质量保证与质量控制等众多内容。学习、设计医学影像物理学实验,可以加深学生对各种医学成像原理的认识,掌握医学影像质量评价的方法,了解医学影像技术的最新发展。

《医学影像物理学实验》是配合医学影像专业基础课《医学影像物理学》教学而编写的实验教材。教材编写依据医学影像专业五年制本科生的培养目标,总结 10 余年来医学影像物理学实验教学成果与经验,在泰山医学院承担的“山东省医学影像试点专业与教学改革课题”研究基础上,综合了上海理工大学医疗器械学院、天津医科大学、大连医科大学、徐州医学院、新乡医学院等多所高校教研成果编写完成。

教材共分十章,内容涵盖影像物理学实验基础、常规 X 射线成像、数字化 X 射线摄影成像、磁共振成像、CT 成像、核医学成像原理与技术。实验内容既有成像原理的验证性实验,也有影像质量保证与控制综合设计性实验。教材编写充分注意了学科的现状和发展,教材内容紧扣《医学影像物理学》教学大纲要求,摒弃医学物理学实验中已经开设的实验项目,增加专门针对数字 X 线成像技术质量保证与质量控制的综合设计性实验项目。在编排格式上不同于一般的实验讲义。考虑医学影像成像原理的多样性和复杂性,全书章节按照不同成像技术划分,集中讲授实验原理与方法,实验内容、实验步骤、实验讨论按照实验项目分别讲授,使得本教材既可以与《医学影像物理学》教材配套使用,也可以独立使用,独立开设实验课程,为实验教学改革提供了条件。

作为医学影像学专业实验教材,本书综合平衡理论与实验内容比例,增加了反映在医学影像领域的新技术、新进展的知识内容。本教材还可以作为放射医师工作手册,上岗资格考试、专业晋升考试参考书及医学物理学、生物医学工程专业实验教学参考书或教材使用。

本教材 2006 年由教育部列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是国内首本《医学影像物理学实验》本科规划教材。作为编者,我们深感任务艰巨、责任重大,虽然我们付出了艰辛努力,但教材编写中仍存在不足之处,恳请国内同行在教材使用过程中对所发现的错误与不足,不吝赐教,以便再版时加以修订。

王鹏程

2007 年 3 月 28 日

# 目 录

第 1 章 医学成像技术 .....	(1)
第一节 医学成像技术的分类与识别 .....	(1)
一、X 线成像技术 .....	(1)
二、超声成像技术 .....	(2)
三、磁共振成像技术 .....	(2)
四、核医学成像技术 .....	(2)
第二节 医学影像系统评价与技术展望 .....	(3)
一、X 线成像系统 .....	(3)
二、超声成像系统 .....	(4)
三、磁共振成像系统 .....	(5)
四、核医学成像系统 .....	(5)
第三节 医学影像物理实验在医学影像中的重要地位 .....	(6)
第 2 章 医学影像物理实验基础 .....	(7)
第一节 实验的基本要求 .....	(7)
一、科学实验的类型与方法 .....	(7)
二、医学影像物理学实验的教学目的与任务 .....	(8)
第二节 误差理论与实验数据处理 .....	(9)
一、测量误差及产生原因 .....	(9)
二、误差和测量结果的表示 .....	(10)
三、实验结果的数据处理 .....	(11)
第 3 章 X 线物理基础 .....	(13)
第一节 X 线的产生及特性 .....	(13)
一、X 线的发现 .....	(13)
二、X 线的产生 .....	(13)
三、X 线的性质 .....	(16)
四、X 线的质、量与 X 线强度 .....	(17)
第二节 X 线与物质的相互作用 .....	(19)
一、X 线与物质相互作用的五种形式 .....	(19)
二、X 线与物质相互作用的衰减规律 .....	(20)
第三节 实验 .....	(21)

一、X线机输出量的测量实验 .....	(21)
二、铅当量的测量实验 .....	(22)
三、半价层的测量实验 .....	(23)
四、管电压在X线摄影中的作用实验 .....	(24)
五、毫安秒在X线摄影中的作用实验 .....	(26)
<b>第4章 医学成像系统影像质量评价 .....</b>	<b>(27)</b>
<b>第一节 质量评价方法 .....</b>	<b>(27)</b>
一、ROC解析 .....	(27)
二、调制传递函数分析 .....	(33)
三、噪声等价量子数与量子检出效率评价 .....	(40)
<b>第二节 实验 .....</b>	<b>(41)</b>
一、基本二值、五值ROC的测定与分析 .....	(41)
二、利用ALVIM体模进行数字乳腺X线摄影的ROC分析 .....	(44)
三、对医用LCD、CRT影像显示质量的ROC分析测试 .....	(45)
四、屏-片系统的一维调制传递函数(MTF)的测试 .....	(46)
五、X线管焦点一维调制传递函数(MTF)的测试 .....	(47)
六、屏-片系统的噪声等价量子数和量子检出效率测试 .....	(48)
<b>第5章 模拟X线成像 .....</b>	<b>(50)</b>
<b>第一节 X线影像形成 .....</b>	<b>(50)</b>
一、模拟X线信息影像的形成 .....	(50)
二、增感屏-胶片系统X线成像 .....	(50)
三、X线照片影像的密度和对比度 .....	(54)
四、X线照片影像的模糊 .....	(58)
<b>第二节 实验 .....</b>	<b>(64)</b>
一、胶片特性曲线的制作及特性值测试实验 .....	(64)
二、增感屏的增感率测试实验 .....	(64)
三、照射野的线量分布实验 .....	(65)
四、X线管有效焦点的测试 .....	(66)
五、X线管焦点的极限分辨率与散焦值的测试 .....	(67)
六、X线影像的几何学模糊实验 .....	(67)
七、滤线器的使用 .....	(68)
<b>第6章 数字X线成像 .....</b>	<b>(70)</b>
<b>第一节 数字化X线成像系统 .....</b>	<b>(70)</b>
一、计算机X线摄影 .....	(70)
二、数字X线摄影 .....	(73)
三、数字减影血管造影 .....	(76)
<b>第二节 数字影像技术 .....</b>	<b>(77)</b>
一、DICOM标准 .....	(77)
二、医学图像的存档与通讯系统 .....	(78)

三、计算机辅助诊断 .....	(80)
四、数字图像处理技术 .....	(80)
第三节 实验 .....	(81)
一、DR、CR 见习实验 .....	(81)
二、DSA 成像见习实验 .....	(82)
三、PACS 系统见习实验 .....	(82)
四、数字 X 线成像系统图像(后)处理实验 .....	(83)
五、基于 Web 技术的简易 PACS 构建 .....	(91)
<b>第 7 章 X 线计算机体层(X-CT)成像 .....</b>	<b>(92)</b>
第一节 CT 成像原理 .....	(92)
一、CT 成像 .....	(92)
二、CT 系统 .....	(97)
第二节 CT 图像处理与质量控制 .....	(100)
一、CT 图像处理 .....	(100)
二、CT 图像质量控制 .....	(102)
第三节 实验 .....	(105)
一、CT 成像见习实验 .....	(105)
二、CT 投影数据采集、反投影重建实验 .....	(105)
三、图像重建实验 .....	(109)
四、螺旋 CT 见习 .....	(111)
五、CT 常用二维、三维图像重建见习 .....	(112)
六、CT 图像质量的测试实验 .....	(113)
<b>第 8 章 核磁共振成像 .....</b>	<b>(115)</b>
第一节 核磁共振现象 .....	(115)
一、核自旋与核磁矩 .....	(115)
二、质子在磁场中的能级分裂与旋进 .....	(116)
三、宏观磁化矢量 .....	(116)
四、射频脉冲与磁化轨迹 .....	(117)
五、核磁共振现象 .....	(117)
第二节 弛豫与磁共振信号 .....	(118)
一、弛豫及弛豫过程 .....	(118)
二、 $T_1$ 弛豫 .....	(118)
三、 $T_2$ 弛豫 .....	(119)
四、 $T_2^*$ 弛豫 .....	(120)
五、综合弛豫轨迹 .....	(121)
六、旋转坐标系 .....	(121)
第三节 核磁共振信号的空间定位 .....	(123)
一、灰度医学图像信号的空间定位 .....	(123)
二、选层及选层梯度 .....	(123)



三、频率编码 .....	(124)
四、相位编码 .....	(124)
第四节 核磁共振图像重建 .....	(125)
一、图像重建方法 .....	(125)
二、K空间 .....	(126)
三、图像重建 .....	(127)
第五节 磁共振脉冲序列 .....	(127)
一、自旋回波序列 .....	(128)
二、梯度回波序列 .....	(128)
第六节 实验 .....	(129)
一、核磁共振现象与共振频率测量 .....	(129)
二、自旋回波质子密度成像实验 .....	(132)
三、核磁共振成像实验 .....	(135)
四、采样参数对图像大小及形状的影响规律 .....	(137)
五、核磁共振成像见习实验 .....	(140)
六、核磁共振信号可视化 .....	(141)
第9章 超声成像 .....	(142)
第一节 超声成像原理与超声成像系统 .....	(142)
一、超声成像原理 .....	(142)
二、超声成像系统 .....	(144)
第二节 实验 .....	(148)
实验一 超声诊断仪成像见习 .....	(148)
实验二 B型超声波诊断仪的使用 .....	(148)
第10章 核素成像 .....	(152)
第一节 核素成像的原理 .....	(153)
一、核素成像的物理基础 .....	(153)
二、核素成像的检测技术 .....	(153)
三、放射性核素及其来源 .....	(156)
第二节 核素成像系统 .....	(156)
一、 $\gamma$ 相机 .....	(156)
二、单光子发射型计算机断层成像(SPECT) .....	(159)
三、正电子发射型计算机断层成像(PET) .....	(160)
第三节 实验 .....	(162)
一、光电倍增管特性曲线的测定实验 .....	(162)
二、原子核衰变的统计规律验证 .....	(167)
三、 $\gamma$ 照相机或 SPECT 成像(见习) .....	(172)
四、PET 成像(见习) .....	(173)
参考文献 .....	(174)



医学影像技术学是借助于某种能量(如 X 线、超声波、电磁场等)与生物体的相互作用,提取生物体内组织或器官的形态、结构以及某些生理功能的信息,以曲线、图形等方式显示,为生物组织研究和临床诊断提供影像信息的一门科学。

随着医学成像技术的成熟和发展,各种影像技术在临床上广泛应用。医学成像设备在诊断中的应用,已成为现代医学发展的重要标志之一。近年来的统计表明,现代化医院中 1/3 以上的资金是用在成像设备上的,而各大跨国公司的民用产品开发中,医学成像设备也占有很大的比例。

## 第一节 医学成像技术的分类与识别

医学影像信息的载体按其物理性质可分为电离辐射类和非电离辐射类。X 线、 $\gamma$  线和其他带电粒子辐射属电离辐射类;超声波、磁共振信号、红外线、可见光等属非电离辐射类。目前应用较为广泛的成像设备有 X 线透视和摄影、X 线计算机体层摄影(x-ray computed tomography, X-CT)、超声波成像、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)、放射性核素成像(radio nuclide imaging, RNI)、热成像、光学成像等。计算机技术的发展,给成像原理提供了更加广阔的应用空间,许多新设备相继问世,如螺旋 CT(spiral CT, SCT)、多层螺旋 CT(multislice spiral CT, MSCT)、彩色多普勒血流显像仪、单光子发射型计算机断层(single photon-emission computed tomography, SPECT)及正电子发射型计算机断层(positron emission computed tomography, PET)等。不同的设备由于成像原理的不同,各有其特点,可以相互补充,从而更全面地反映人体组织、器官的结构和功能状态,使所获信息更丰富,对疾病的诊断更准确,对医生和病人的损害更小。

### 一、X 线成像技术

X 线成像系统检测的信号是穿透组织后的 X 线强度,反映人体不同组织对 X 线吸收系数的差别,即组织厚度及密度的差异;图像所显示的是组织、器官和病变部位的形状,而对它们的功能检测较差。

X线成像是最早发明和发展起来的医学成像系统,类型很多,传统的有X线透视、普通X线摄影、X线特殊摄影检查、X线造影检查等,这类技术集图像采集、显示、存储和传递功能于一体,简单、全面、应用广泛。近年来迅速发展的数字化X线成像技术则将上述功能中的某一独立部分分解出来,进行单独优化。数字X线检查技术包括计算机X线摄影、直接数字X线摄影、数字减影血管造影和X-CT等。

## 二、超声成像技术

超声成像系统的检测信号是超声回波,图像信号反映人体组织声学特性的不同,从而显示甚至动态显示器官的大小和形状。超声成像设备主要应用超声波良好的指向性和其反射、折射、衰减规律及多普勒效应等物理特性,采用各种扫查方法,将给定频率的超声波导入体内,超声波遇到不同组织或器官界面时,将发生不同程度的反射和透射,接收携带信息的回声,利用不同的物理参数,将信号经处理后,显示为波形、曲线或图像,观察分析这个结果,结合临床表现可对疾病做出诊断。

超声成像设备有利用超声回波的超声诊断仪、超声多普勒系统、谐波成像系统,利用超声透射的超声计算机体层成像系统。前者应用更为广泛,根据其显示方式不同,可以分为A型(幅度显示)、B型(切面显示)、M型(运动显示)、D型(超声多普勒)等。目前医院中用得最多的是B型超声波诊断仪,俗称B超,其横向分辨率可达到2mm,所得到的软组织图像清晰而富有层次。超声多普勒系统利用回声的频差,显示运动器官的动态特性,实现血流和心脏参数的测量。谐波成像是近年来发展起来的又一种新超声技术,显示二次谐波和高频传递的信息,用于观察心脏室壁运动和心肌灌注质量的对比谐波成像,改善深部组织图像质量。

## 三、磁共振成像技术

磁共振(MRI)成像系统检测的信号是生物组织中的原子核所发出的磁共振信号。原子核在外加磁场的作用下接受特定射频脉冲时会发生共振现象,MRI系统通过接收共振信号并经计算机重建图像,用图像反映人体组织中质子状态的差异,从而显示体层内的组织形态和生理、生化信息,系统通过调整梯度磁场的方向和方式,可直接获得横、冠、矢状断面等不同体位的体层图像。MRI的空间分辨率一般为0.5~1.7mm,虽不如X-CT高,但它的密度分辨率远远好于X-CT,在图像上可显示软组织、脂肪、肌肉、肌腱、神经、韧带、血管等。它的特点是多参数、多方位、大视野、组织特异性成像,利用波谱技术能进行分子水平成像,同时进行血管造影成像、水成像、电影动态成像、脑功能成像等。MRI的成像源是磁体,因此无电离辐射,安全可靠。

## 四、核医学成像技术

核医学成像系统又称放射性核素成像(RNI)系统,所检测信号是摄入体内的放射性核素所放出的射线,图像信号反映放射性核素的浓度分布,显示形态学信息和功能信息。核医学成像与其他影像学成像具有本质的区别,其影像取决于脏器或组织的血流、细胞功能、细胞数量、代谢活性和排泄引流情况等因素,而不是组织的密度变化。它是一种功能性影像,影像的清晰度主要取决于脏器或组织的功能状态,而X-CT、MRI及超声显像均建立在形态

学基础上,主要是显示脏器或组织的解剖学形态变化。由于病变过程中功能代谢的变化往往发生在形态学改变之前,故核医学成像也被认为是最具有早期诊断价值的检查手段之一。在操作上,核医学成像对不同脏器需要不同的放射性药物,即使是同一器官,为达到不同的目的也可能需要不同的显像剂。因此,核医学成像在技术条件等方面比其他显像技术更为复杂。

上述影像检查技术,各有所长。在达到诊断目的的前提下,应遵循简便、安全、价廉的原则,合理利用,为临床诊断提供高质量的影像信息。

## 第二节 医学影像系统评价与技术展望

### 一、X线成像系统

在X线成像系统中,X线透视是一种经济、简便的常用检查方法,其优点是可以动态观察器官的形态,使用方便,价格较低,可立即得到检查结果,而且分辨率比较高,是目前各级医院中使用最普遍的设备之一。但X线机得到的是人体不同深度组织信息叠加在一起的平面像,所以病变的深度很难分辨,对软组织分辨也不够敏感,而且不能留下永久记录。

普通X线摄影也称平片检查,其主要优点是照片可长期保存记录,便于复查对比,影像空间分辨率较高,病人接受的X线剂量也少。缺点是照片仅是瞬间的固定影像,难以了解脏器的动态变化。

软X线摄影采用低能X线,以检查乳腺疾病为主要目的。由于肌肉、脂肪和腺体等软组织对软X线的吸收差别比较大,软X线摄影对于乳房的腺体组织、结缔组织、脂肪、血管等细微组织结构以及乳腺的其他疾病甚至肿瘤的边缘,都有较清晰的显示,在此领域的研究和实践发展很快。

X线造影检查是将对比剂引入脏器或其周围,选择的对比剂与被检脏器对X线的吸收衰减有很大差异,因而使其在成像媒质上产生有较大密度差别的影像,用此方法可以显示心脏、血管、脑、肾和胆囊等中间含有腔道的软组织器官的影像,扩大了X线检查的范围和价值。

数字X线检查技术包括计算机X线摄影(computed radiography,CR)、直接数字X线摄影(direct radiography,DR)和数字减影血管造影(digital subtraction angiography,DSA)等。

CR系统的影像通过一种涂在成像板上的光激励发光物质来完成影像信息的采集。其优势在于它在进行X线拍摄时所需X线剂量比传统X线摄影的剂量要小,而且只需要一次曝光就能捕捉到多层次的影像信息,在曝光量不足或过量时还能在一定程度上较好地显示图像,避免了因参数选择不当而导致重拍,从而减少被检者X线接受剂量。此外,还可通过磁盘保存图像,便于照片的打印及网上传输、会诊、资源共享。

DR利用平板检测器和计算机数字化手段,使模拟视频信号经过采样、模/数(A/D)和数/模(D/A)转换,进行信号存储、图像处理、直接输出数字化的影像信号,此技术避免了X线胶片感光过程中和暗室化学处理过程中两个方面图像信息的丢失,具有较高的分辨力,放射剂量小,曝光宽容度大,曝光条件易掌握,可以根据临床需要进行各种图像后处理。

DSA 是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前,先进行一次成像,并将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后,再次成像并转换成数字信号。两次数字相减,消除相同的信号,得到一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观,一些精细的血管结构亦能显示出来。

CR、DR 和 DSA 都具有诸如影像数字存储、数字传输以及图像后处理功能,可改变图像对比度、灰阶、大小,并可计算面积、体积、距离,测量感兴趣区的密度值等。数字图像可通过图像存档与传输系统处理,可储存在磁、光盘上并可进行图像传输,实现数据共享。数字 X 线检查技术无需连续辐照,有图像冻结功能,便于在辐照的情况下观察和分析图像。传统 X 线摄影对于 X 线能量的利用率不高,其量子检测效率仅为 20%~30%。数字化 X 线成像系统量子检测率可达 60% 以上,成像一次曝光所获图像数据经处理与多次曝光的传统方法效果相同。数字 X 线检查技术的不足之处是影像空间分辨力较模拟影像(屏-片系统)小,但经过图像处理仍能提供比传统 X 胶片影像丰富的诊断信息。

X-CT 是以测定 X 射线在人体内的衰减系数为基础,采用一定数学方法,经电子计算机处理,实现组织剖面的扫描和图像显示的现代医学成像技术。工作原理是: X 线束经人体横断层组织衰减后到达检测器,检测器将透射 X 线转变为相应的电信号,通过测量电路将电信号放大,再由 A/D 转换器变为数字信号,计算机系统按照设计好的图像重建方法,求解出衰减系数在人体体层平面上器官或组织剖面上的二维分布矩阵,再应用电子技术转变为图像画面上的灰度分布,从而实现建立断层图像。它以较高的密度分辨能力和无重叠的清晰的体层图像,显著提高了临床诊断的正确性和效率。CT 检查技术几经发展,不断得到完善和提高,由最初的头颅普通 CT 发展到电子束扫描 CT、螺旋 CT,现已进入平板检测器 CT 时代,极大地提高了成像速度。常用的检查技术有 CT 平扫、增强扫描、造影 CT 检查等。X 线计算机体层的空间分辨率低一些,可以达到 0.5mm,但密度分辨率显著提高,能分辨的组织密度差别达到 0.5%,上下层面的图像中几乎无前后影像重叠,可确定受检脏器及其病变的位置、大小和形状,可得到清晰度很高的图像。

MSCT、EBCT 使 X 线成像技术的临床应用范围进一步扩大,诊断效果进一步提高。MSCT 具有薄层、大扫描范围、时间分辨率高的特点。EBCT 的超高速扫描则能完全避免跳动的心脏及流动的血在成像过程中的伪影问题,使图像有更高的时间分辨率和空间分辨率,而且无创伤。

在 CT 技术的进展方面,目前已有厂家研制了 256 列的超宽检测器,每列宽 0.5mm,覆盖范围为 128mm;已开发了多种低剂量技术,如智能自动毫安技术,它可根据检查部位、层面和体态不同,即时的自动调节球管的输出毫安量,降低对病人的辐射剂量,使球管的有效利用率增加 30% 以上,并且在临床上得到均匀的图像质量;智能 X 线轨迹跟踪技术能有效克服曝光过程中由于阳极靶面受热造成的层厚难以准确控制和射线利用率降低的问题,是实现低剂量扫描的必要硬件基础。

## 二、超声成像系统

人体各种不同组织的声学特性不同,根据声阻差大小,超声成像系统可从不同的方面对脏器的形状、功能进行无创性评价,用图像信号反映人体组织弹性和密度的变化,显示器官的形状。通过数据测量与分析还可以定量评估脏器的功能,例如对心脏功能的评价;通过脂

餐检查可以评估胆囊的收缩功能;通过多普勒检测可以评估血管的功能等;利用彩色多普勒、频谱多普勒等技术,能对心腔、大血管腔甚至微血管腔内的血流信号进行显示,可以测定血流的速度、方向、血管的阻力,判断有无反流与分流等,从而判断血流动力学的改变。

超声成像技术的优点是:无辐射、无损伤、无痛苦,取得的信息量丰富,图像层次清楚,接近于解剖真实结构;对活动界面能作动态的实时显示,便于观察;能及时取得结果,并可反复多次进行动态随访观察,可在床边检查;廉价,适应性广。目前它已成为临床诊断上不可缺少的手段,特别是以超声图像技术为中心的B型超声系统已成为普遍使用的医学检查手段,比较适用于肝、胆、肾、膀胱、子宫、卵巢等多种脏器疾病的诊断。B超检查的价格也比较便宜,又无不良反应,可反复检查。B超检查也有其不足之处,一些含气量高的脏器遮盖的部分不易被十分清晰地显示。同时检查者的操作细致程度和经验对诊断的准确性有很大关系。

### 三、磁共振成像系统

磁共振(MRI)检查技术是利用原子核具有磁性及自旋的特性和原子核在外加磁场内接受特定射频脉冲时引起共振这一现象来构成图像的。与人体组织密切相关的一类原子核,在外界射频场的作用下产生磁共振信号,与磁共振有关的参数可以用来作为成像的变量,最终得到一幅人体某切面的磁共振信号的空间分布。

其优点是:无损伤,无电离辐射,安全可靠,扫描方向灵活,有良好的组织分辨力,有高的软组织对比度,既能反映形态,也能反映功能,还可获取多参数成像以适应不同的需要。其短处是:对带有心脏起搏器或体内带有铁磁性物质的病人及危重病人不能进行检查;对钙化情况的显示不如X-CT;常规扫描信号采集时间长,因此对胸腹部检查受到限制;对质子密度低的结构如肺、骨皮质显示不佳。MRI检查技术近年来得到广泛的应用,是目前发展最迅速的医学影像检查技术之一。

随着MRI机性能的改进和软件的开发,MRI成像技术正在不断地向人体的微观结构进军。

### 四、核医学成像系统

核医学成像系统所检测信号是摄入体内的放射性核素所放出的射线,图像显示形态学信息和功能信息。生物组织与器官的功能主要表现为物质在其中的动态变化规律,例如物质在生物体内的运输、聚集、排泄,在细胞内的新陈代谢,物质代谢在空间的分布等。由于体内不同组织和器官对某些化合物具有选择吸收的特点,若将一定量的放射性核素引入人体,它将与体内原有的非放射性同位素一样参与人体的新陈代谢,或者在特定的脏器或组织中聚集。选用不同的放射性核素制成的标记化合物注入体内后,可以使体内各部位按吸收程度进行放射性核素的分布,而放射性核素在其衰变过程中会发出在体外可以检测到的射线,通过对射线的检测就可以做到对超微量物质的定量测量及较精确的定位,若将测量结果以图像的形式显示出来,便获得了被研究物质在生物体内的动态变化图像,图像提供脏器的形状、大小、功能和血流量的动态指标,显示组织、器官的功能,测量病变范围等。一般来说,RNI成像的空间分辨率较低,图像比较模糊,这是因为受到了光子数目的限制。相比之下,X-CT具有高分辨率和低量子噪声。但是,X-CT所提供的多是结构性信息,而RNI所得到的图像中还含有丰富的人体内部功能性、生理学信息。

早期开发的核医学成像仪器是放射性核素扫描仪,以后是 $\gamma$ 照相机。CT技术问世后,

将放射性核素扫描与 CT 技术结合起来,开发出发射型计算机体层扫描术(ECT)。

$\gamma$  照相机是将人体内部的放射性核素分布情况快速地、一次性显像的设备,它既可以提供器官、组织的静态图像,也可以进行动态观测,所提供的图像中功能信息丰富,是诊断肿瘤及循环系统疾病的重要设备。

ECT 技术不仅能动态观察脏器的形态、功能和代谢的变化,而且能进行体层显像和立体显像。ECT 可分为单光子发射型计算机体层(SPECT)与正电子发射型计算机体层(PET)两类,两者的数据采集原理不同。PET 可以用人体代谢所必需的物质标记上短寿命的放射性核素制成显像剂,注入人体后进行扫描成像,特别适合作人体生理和功能方面的研究,尤其是对脑神经功能的研究;缺点是有辐射危险且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放射化学实验室,临床使用时须有多人为之服务等。SPECT 具有  $\gamma$  相机的全部功能,又增加了体层成像功能,所以明显提高了定位能力,在动态功能检查或早期诊断方面有其独到之处。

从 1895 年德国科学家伦琴发现 X 线,到今天已经经历了一个多世纪的历程,这一重大发现及其在医学上的应用,以及其后放射学、现代医学影像学的形成和发展,改变了医学科学尤其是临床医学的进程,为人类的疾病防治作出了巨大的贡献。近 40 年间,伴随电子技术、计算机的发展和应用,医学影像技术又取得了飞速发展。新技术为临床提供了更直观、更早期、更具特异性的诊断信息。医学影像技术已经成为医学领域发展最为迅速、科技含量最高、应用最普遍的临床检查技术之一,其今后的发展方向将主要围绕着提高敏感性、提高特异性、减少创伤性、容积数据和功能信息五个方面进行。

### 第三节 医学影像物理实验在医学影像中的重要地位

医学影像技术是随着物理学、电子学、微电子学、光电子学、机械学、生物工程学、计算机技术、材料学等学科的发展而形成的,是一门多学科交叉的边缘学科。它的特点是发展迅速,新技术不断涌现,更新周期短,陈旧的技术淘汰快。

医学影像专业的学生要能够在这样快速发展的、多学科交叉的领域中立足,就必须掌握牢固的基础知识。医学影像物理学是本技术的最基本的理论课之一,它立足于 X 线、超声波、电磁场等能量与生物体的相互作用规律,探索如何提取反映生物体内组织或器官的形态、结构以及某些生理功能的信息以及这些信息的处理。它研究的是物质世界的客观规律,其基本理论是建立在实验的基础之上的,是一门以实验为基础的自然科学,实验是其教学的重要环节。所以医学影像物理实验课程是医学影像技术专业的主要专业课程,影像物理实验课中的学习和实践是发展学生实验技能的基本途径,是培养学生对影像物理乃至影像医学的兴趣和激发学习动机的有效手段。本课程可以为学生学好影像物理学提供丰富的感性材料、创设良好的物理环境,通过学习,掌握了解医学成像系统的主要工作原理和工作过程,从而得到成像系统学习和研究的系统训练。本课程还肩负着对学生进行实验方法和实验技能系统训练的重任,要求学生通过在实验中验证、学习和探索来启迪思维能力,培养良好的科学作风和科学态度。通过本课程的学习,会扩大学生的知识视野,激发他们的兴趣,培养他们的科学创新精神和创新能力。

(柴 英)



## 第一节 实验的基本要求

### 一、科学实验的类型与方法

#### (一) 科学实验的基本类型

科学实验可以分成两种类型：一是创新型科学实验，是由实验设计者根据已有的科学知识、技术条件按照设定的技术路线对未知结果、结论、技术方法进行探索研究的过程。这种科学实验过程也称为科学研究过程，这是人类探索自然、揭示自然的基本方法，是科学理论的源泉，是工程技术与科学成果应用的基础。科学实验的另一种形式称之为验证性实验或模拟实验，是由实验设计者根据已知的结果、结论或技术方法，设计出实验技术路线，实验者通过整个实验过程验证已知的科学知识、工程技术的合理性，或者通过实验过程学习、掌握完成相应实验研究的基本技能与方法。验证性实验或模拟实验是人们实践理论知识，掌握科学研究技能的重要途径。

课程实验即是验证性或模拟实验，它包括了综合设计性实验和单纯验证性实验。医学影像物理学是学习医学影像诊断学、医学影像设备学以及医学影像检查技术学的基础，它涵盖了常规 X 射线成像、数字化 X 射线成像、核磁共振成像、超声成像、核医学成像原理、方法以及医学影像质量评价与控制的方法等众多内容。通过学习、设计医学影像物理学相关实验，可以加深对各种成像原理的认识，掌握医学影像质量评价的方法，了解医学影像技术的最新发展。

#### (二) 课程实验的设计与要求

1. 课前预习 实验前必须预习实验内容，做好实验准备工作。通过预习实验教材、参考资料，弄清实验目的、实验原理和仪器性能，了解实验要求及实验中应特别注意的问题。在此基础上，写出简要的预习报告，内容包括：实验名称、目的、仪器、简要的原理和计算公式、记录测试数据的表格，以及简单的实验装置设计图等。

2. 明确实验目的 根据学习的理论知识，实验所要达到的实验目的无外乎有以下几



种:

(1)验证某项研究结果或某种特殊的现象:如核磁共振现象实验,该实验的目的之一就是通过验证组织样品在射频电场作用下发生核磁共振的现象,并观察射频电场频率变化对核磁共振信号的影响。这类实验其实验过程、条件要求必须满足所要验证的物理现象发生条件。

(2)学习掌握某种技能:如胶片特性曲线制作实验,该实验的目的就是要求实验者独立完成、制作某种型号的胶片特性曲线,通过实验掌握特性曲线制作步骤、方法。在设计完成这类实验时,实验步骤必须严格按照技能训练项目要求的顺序进行。通常这类实验大都是综合设计性实验,对实验者要求较高,必须对实验过程的各个环节进行综合设计、优化。

(3)了解某项先进成像技术:近年来医学影像学在数字化技术带动下,有了突飞猛进的发展,大量先进的科学技术应用其中,产生了像多排螺旋 CT、高场强 MR、DR、CR、DSA、PET 等大量高新技术成像手段,了解这些新技术、新方法,是我们学习医学影像物理学的重要内容。见习性实验正是满足这样教学要求的实验。

3. 合理配置、使用实验设备与仪器 实验设备与仪器是完成实验过程的重要保证,实验者必须对实验设备性能非常熟悉,能够熟练操作,了解仪器设备的工作原理。特别对仪器设备使用中的注意事项必须牢记在心,要严格按照操作规程使用仪器设备。实验者必须养成通读设备使用说明书的良好习惯。

4. 充分理解实验原理与方法 任何一项验证性实验设计都被寓以相应的科学原理,了解、掌握实验原理对于设计实验过程、完成实验内容都是非常必要的。如 X 线管调制传递函数(modulation transfer function, MTF)测量实验,我们必须了解 MTF 的物理含义,了解 MTF 对 X 线管成像性能评价的意义,才有可能选择狭缝或刃边体模来对 MTF 进行测量。

5. 实验操作 在动手操作前应首先认识和熟悉有关仪器,了解使用方法。实验要按步骤进行。在正式获取实验数据之前,要把仪器设备调试到最佳工作状态。要明确每一步操作的意义,切忌盲目操作。要认真观察实验现象,正确记录数据。实验中若出现不正常情况,应及时请教老师,不要自己随意处理。实验完毕,应将仪器设备整理复原后方可离开实验室。

6. 撰写实验报告 做完实验后,应及时处理实验数据,根据要求,写出实验报告。实验报告包括以下内容:①实验名称、日期;②实验目的;③仪器设备;④简要的实验原理、计算公式及必要的示意图;⑤简要的操作步骤;⑥数据记录及处理(包括实验曲线);⑦实验讨论。实验报告应力求文字简练、通顺,数据齐全,图表规范、正确。

## 二、医学影像物理学实验的教学目的与任务

医学影像物理学实验是一门实验科学,其教学目的和任务如下:

1. 通过对实验现象的观察、分析和测量,学习医学影像成像物理知识,加深对影像物理学原理的认识和理解;使学生掌握基本的实验方法、实验技能,正确合理地使用专用仪器设备。

2. 培养、提高学生的科学实验能力。注重培养并逐步提高学生对实验现象的观察和分析能力,以及理论联系实际的综合分析能力。这其中包括:能够通过阅读实验教材或资料,做好实验前的准备;能够借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器;能够运用成像理论对实

验现象进行初步的分析和判断,能够正确记录和处理实验数据,绘制曲线,说明实验结果,撰写合格的实验报告。

3. 培养与提高学生的科学实验素养。要求学生具有理论联系实际和实事求是的科学作风,严肃认真的工作态度,主动研究的探索精神,遵守纪律、团结协作和爱护公物的优良品德。

## 第二节 误差理论与实验数据处理

### 一、测量误差及产生原因

医学影像物理学实验离不开对物理量的测量,如放射性核素衰变常数的测量、照射量及照射量率的测量、核磁共振频率测量、像素值测量等,我们不仅仅要对各种物理变化过程要做定性的观察,而且还要对这些特征量进行定量测量。

物理量的测量方法可分为直接测量和间接测量。直接测量是将待测量与标准量做比较而直接得出结果的测量。例如曝光时间、胶片黑度等。间接测量是依靠直接测量的结果,再经过公式的计算,才能得出最后的结果。例如 MTF 的测量,要先测出在某个一维方向上的 X 射线强度分布,然后对其进行傅里叶变换得到 MTF 随空间频率的变化,医学影像物理学实验中多数测量都属于这一类。

科学测量的目的就是力图得到物理量的真值。所谓真值就是反映物质或现象自身各种各样特性的客观真实数值。严格来讲,由于仪器精度、测量方法、测量程序、实验环境、实验者的观察力等都不可能完美无缺,所以,尽管对同一个特征量进行多次测量,所得结果也只能达到一定限度的准确程度。因此,不能认为测量所得到的结果就是它的真值,真值不可能准确测得的。通常,将在相同条件下进行多次反复测量的算术平均值,称为测量的最佳值或近似值。当测量次数无限增加时,算术平均值将接近于真值。然而,我们不能对同一物理量进行无限多次测量。因此,常把有限次测量的算术平均值作为真值。

每个测量值与真值之间的偏差称为误差。由于测量值与真值不可能完全相同,所以误差总是存在的。根据误差的性质及产生原因,可分为系统误差、偶然误差和过失误差。

1. 系统误差 系统误差也称为恒定误差,是指在测量中由未被发觉或未被确认的因素所引起的误差。例如,仪器不准确、周围环境(温度、湿度、气压、电磁场等)变化的影响、个人习惯与偏向(读数总是偏高或偏低等)、理论和测量方法本身不严密所造成的误差。由于这些因素影响,测得的数值总是朝一个方向偏离,或总是偏大,或总是偏小。其特征是,偏离的确定性在增加测量次数时也不能有所改善。但如果根据其产生原因分别加以校正,例如,对仪器修正、改进测量方法、对影响实验的有关因素加以周密考虑等,则系统误差是能够尽量减小或消除的。

2. 偶然误差 偶然误差亦称随机误差,是由一些无法控制、纯属偶然的因素所引起的误差。其特征是,时而偏大,时而偏小,时正时负,方向不一定;其发生纯属偶然,受概率支配。减少偶然误差的方法是进行多次重复测量。

3. 过失误差 过失误差是人为的误差。实验者的粗心大意、实验方法的不当、使用仪器不准确、读错数据等,均可造成过失误差。实验者具有严肃认真的态度,实事求是和一丝