

国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材配套教材  
全 国 高 等 学 校 配 套 教 材



→ 供医学影像技术专业用

# 医学影像成像理论 学习指导与习题集

→ 主 编 李真林 雷子乔  
→ 副主编 仇 惠 邱建峰 汪红志

国家卫生和计划生育委员会“十三五”规划教材配套教材  
全国高等学校配套教材

供医学影像技术专业用

# 医学影像成像理论 学习指导与习题集

主 编 李真林 雷子乔

副主编 仇 惠 邱建峰 汪红志

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁晓东 (大连医科大学)

仇 惠 (牡丹江医学院)

甘 平 (重庆医科大学)

冯发文 (遵义医学院)

刘启榆 (西南科技大学)

孙 静 (西安医学院)

孙文阁 (中国医科大学附属第一医院)

李素平 (川北医学院附属医院)

李真林 (四川大学华西医院)

李祥林 (滨州医学院)

邱建峰 (泰山医学院)

何卫红 (南华大学附属第二医院)

汪红志 (上海健康医学院)

岳松伟 (郑州大学第一附属医院)

高云飞 (包头医学院)

唐鹤菡 (四川大学华西医院)

彭友霖 (赣南医学院)

雷子乔 (华中科技大学同济医学院附属协和医院)

编写秘书 唐鹤菡 (兼)

人民卫生出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

医学影像成像理论学习指导与习题集 / 李真林, 雷子乔主编.  
—北京: 人民卫生出版社, 2016  
全国高等学校医学影像技术专业第一轮规划教材配套教材  
ISBN 978-7-117-23318-7

I. ①医… II. ①李…②雷… III. ①医学摄影—医学院校—  
教学参考资料 IV. ①R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 232705 号

人卫智网	<a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a>	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	<a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	人卫官方资讯发布平台

版权所有, 侵权必究!

## 医学影像成像理论学习指导与习题集

主 编: 李真林 雷子乔

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](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京铭成印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 11

字 数: 261 千字

版 次: 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-23318-7/R·23319

定 价: 24.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto:WQ@pmph.com)

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

为满足新时期医学教育改革要求,适应现代阅读和教学的需要,全国高等学校医学影像技术专业第一届教材评审委员会和人民卫生出版社在充分调研论证的基础上,着力打造医学影像技术专业系列教材。该教材为一套包含纸质教材、配套教材和数字教材为一体的立体教材,是医学影像技术专业立体化教材体系的重要组成部分。

《医学影像成像理论学习指导与习题集》是《医学影像成像理论》的配套教材。按照编写会确定的编写精神,《医学影像成像理论》纸质版的编写专家全部参与了《医学影像成像理论学习指导与习题集》的编写,确保了编写质量和知识点的连续性。全体编委延续纸质版教材严谨的编写风格,严格遵循“三基、五性、三特定”的编写原则。通过交叉互审,集体审阅,反复推敲成稿。

本教材与理论教材的知识点配套,不漏编、不超纲,字数约为理论教材的一半。以理论教材的框架为骨干,以“章”为单位,包含学习目标、重点和难点,习题及参考答案。《医学影像成像理论学习指导与习题集》按照掌握、熟悉和了解3个层次编写学习目标,并概括性地总结提炼本章或节的主要内容、指出重点和难点。

在习题编写部分,编者按照规定的题型要求编写习题及参考答案,并力求答案的唯一性、正确性和合理性。

本书配套《医学影像成像理论》教材,通过对教材重点、难点的凝练,去粗取精;读者通过对本书的阅读、练习各类型习题,可尽快掌握医学影像理论知识,提高理论水平。

本书适用于医学影像技术和生物医学工程本科在校生使用,也适用于具有一定工作经验的医学影像技师提升理论水平参考。

在编写和审校过程中,我们力求严谨规范,言简意赅,充分体现章节的重点和难点。但是由于能力所限,差错难免,望各位老师和同学批评指正。

李真林

2016.6



## 第一章

### 绪论 1

- 一、学习目标 1
- 二、重点和难点内容 1
- 三、习题 3
- 四、参考答案 4

## 第二章

### X线成像基本理论 7

- 一、学习目标 7
- 二、重点和难点内容 7
- 三、习题 9
- 四、参考答案 11

## 第三章

### 模拟X线成像 13

- 一、学习目标 13
- 二、重点和难点内容 13
- 三、习题 15
- 四、参考答案 17

## 第四章

### 数字X线成像 19

- 一、学习目标 19
- 二、重点和难点内容 19
- 三、习题 23
- 四、参考答案 38

## 第五章

### 医学影像成像相关基础 41

- 一、学习目标 41
- 二、重点和难点内容 41
- 三、习题 43
- 四、参考答案 51

## 第六章

### CT成像基本原理 56

- 一、学习目标 56
- 二、重点和难点内容 56

	三、习题	64
	四、参考答案	75
<b>第七章</b>	<b>CT 特殊成像原理</b>	<b>79</b>
	一、学习目标	79
	二、重点和难点内容	79
	三、习题	82
	四、参考答案	83
<b>第八章</b>	<b>CT 图像质量</b>	<b>86</b>
	一、学习目标	86
	二、重点和难点内容	86
	三、习题	93
	四、参考答案	96
<b>第九章</b>	<b>磁共振成像原理</b>	<b>98</b>
	一、学习目标	98
	二、重点和难点内容	98
	三、习题	103
	四、参考答案	111
<b>第十章</b>	<b>磁共振成像序列</b>	<b>117</b>
	一、学习目标	117
	二、重点和难点内容	117
	三、习题	123
	四、参考答案	132
<b>第十一章</b>	<b>特殊磁共振成像原理</b>	<b>137</b>
	一、学习目标	137
	二、重点和难点内容	137
	三、习题	139
	四、参考答案	150

## 第十二章

### 磁共振图像质量 156

- 一、学习目标 156
- 二、重点和难点内容 156
- 三、习题 157
- 四、参考答案 159

## 第十三章

### 核医学成像理论 161

- 一、学习目标 161
- 二、重点和难点内容 161
- 三、习题 163
- 四、参考答案 168

## 一、学习目标

1. **掌握** 普通 X 线成像基础, CT、MRI 成像理论; 各类成像方式的特点、医学影像成像理论新进展。
2. **熟悉** 放射性核素成像原理。

## 二、重点和难点内容

### (一) 普通 X 线成像基础

1. **CR 首先实现了常规 X 线摄影信息数字化** 将 X 线摄影的模拟信息换转为数字信息; 提高图像的分辨和显示能力, 突破 X 线摄影技术的固有局限性; 采用计算机技术实施图像后处理, 增加显示信息的层次; 线性化处理模式传送稳定且高质量的影像, 可实现 PACS 存储及远程会诊。

2. **DR 成像是现代医学诊断领域中新型的数字化成像技术** DR 成像系统与传统 X 线成像系统最大的区别在于用平板探测器 (FPD) 替代传统 X 线信息存储介质, 有效避免数据链上诸多环节影响图像质量, 提升图像对比度与分辨力, 促进影像动态范围的扩展。DR 技术发展的焦点是 FPD 的动态显示能力, 目前 DR 可直接进行透视和采集动态图像。在即将到来的全数字成像和医学信息网络化时代, 希望这种探测器能普及应用于从普通 X 线摄影到胃肠道、心脏和血管对比研究的各种检查, 能够向临床提供更多有用的信息。

### (二) CT 成像理论概述

1. **CT 成像的基本过程** 从 X 线球管发出 X 线, 经过准直器形成很窄的射线束, X 线束对人体一定厚度的被检部位进行扫描, 探测器接受透过该层面带有人体信息的 X 线, 转变为可见光之后, 由光电转换器变为电信号, 再经模拟 / 数字转换器转为数字信号, 输入计算机处理。扫描所得的信息经计算机处理获得每个体素的 X 线衰减系数或吸收系数, 再排列成矩阵, 即数字矩阵。数字矩阵可存储于磁盘或光盘中。经数字模拟转换器把数字矩阵中的每个数字转换为黑白不等灰度的小方块, 并按矩阵排列, 即构成 CT 图像。

2. **CT 发展趋势** 近几十年来, CT 的发展一直围绕着扫描速度 (数据采集速度)、图像清晰度 (空间和密度分辨力) 及扫描范围 (数据采集范围和方位) 的和谐统一而进行。后 64 排时代, CT 技术发展趋势出现了横向、纵向两个发展理念。横向主要针对扫描速度和临床应用的开发, 体现在时间分辨率的不断提升和覆盖范围的增宽; 纵向主要体现



在能量成像的发展,更充分地挖掘病灶的性质。Force、Revolution 等的发布,被视为自滑环时代以来最大的技术飞跃。这些高端设备将前沿的物理学、材料学领域的技术完美统一,克服了诸如散射线、锥形束伪影、射线剂量、系统稳定等,淋漓尽致的实现“宽、快、能量、低剂量”。

### (三) MRI 成像理论概述

**1. 磁共振概念** MRI 是利用磁场与射频脉冲使人体组织内进动的氢核(即  $^1\text{H}$ ) 发生章动产生射频信号,经计算机处理成像。原子核在进动中,吸收进动频率相同的射频脉冲,原子核就发生共振吸收;去掉射频脉冲之后,原子核磁矩又把所吸收的能量中的一部分以电磁波的形式发射出来,称为共振发射。共振吸收和共振发射的过程叫做“核磁共振”。核磁共振成像的“核”指的是氢原子核,因为人体的约 70% 是由水组成的, MRI 即依赖水中氢原子。当把物体放置在磁场中,用适当的电磁波照射,使之共振,然后分析它释放的电磁波,就可以得知构成这一物体的原子核的位置和种类,据此可以绘制成物体内部精确立体图像。

**2. 磁共振发展趋势** 近十几年来,尤其是近 5 年来 MR 成像技术飞速发展,改变了过去成像时间长,图像质量不稳定,无法进行动态扫描的局面,可以方便快捷的进行多参数、多方位成像,并由当初单纯的形态学成像发展成包括形态学和功能成像、分子成像在内的综合性检查手段。

### (四) 各类成像方式的特点

1. DR 的成像优势与特点。
2. CT 的成像优势与特点。
3. 磁共振成像的优势与特点。
4. 放射性核素成像优势与特点。

### (五) 医学影像成像理论新进展

**1. 提高 CT 影像设备的性能** 近年来, CT 技术主要分为三个发展方向: 能谱、宽体和时间分辨率。具备这些技术的 CT 称之为超高端 CT。这些超高端设备将前沿的物理学、材料学领域的技术完美统一,淋漓尽致的实现 CT“宽、快、能、低”成像。

**2. 提高 MR 影像设备的性能** MRI 进展主要包括扫描及成像速度的提高,场强、梯度场强及梯度切换率的提高,新扫描序列、对比剂的开发和新技术的应用,以及功能成像的发展等。

(1) 扫描及成像速度的提高。

(2) 场强、梯度场强及梯度切换率的提高。

(3) 新扫描序列、对比剂的开发和新技术的应用。

(4) 功能成像的发展: 功能性成像包括扩散加权成像(DWI)、灌注加权成像(PWI)和脑皮层功能定位及磁共振波谱分析(MRS)等。

**3. 提高 PET 影像设备的性能**

**4. 分子影像** 分子影像学是运用影像学的手段观察和显示组织分子水平、细胞和亚

细胞水平的特定分子,反映活体状态下分子水平变化,对其生物学行为在影像方面进行定性和定量研究的科学,是影像学的最新、最重要的研究方向,被誉为21世纪的医学影像学。

### 三、习 题

#### (一) 填空题

1. 医学影像学是临床诊断、治疗和医学研究的一个重要领域,它包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_以及可见光成像、红外成像和微波成像等。
2. 数字X线成像包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和数字X线透视等。
3. \_\_\_\_\_是CR成像的重要组成部分。
4. CT发展的方向可以概括为:\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
5. 在众多的降低剂量的方法中,\_\_\_\_\_已经成为现代CT降低辐射剂量的重要方法。

#### (二) 单项选择题

##### 【A1型题】

1. DR与CR最大的区别是,DR所用的
  - A. IP板
  - B. FPD
  - C. A/D转换器
  - D. D/A转换器
  - E. PSL现象
2. 关于乳腺X线摄影说法,不正确的描述是
  - A. 利用40kV以下管电压产生的X线成像
  - B. 摄影所用的射线能量低,波长较短,穿透力较强
  - C. 目前常用钨靶X线机
  - D. 数字合成体层成像、双能量减影等高级应用技术也应用于乳腺摄影
  - E. 相位对比乳腺摄影也在逐步应用
3. 关于MRI的说法,不正确的描述是
  - A. 以射频脉冲作为成像的能源,不使用电离辐射,对人体安全、无创
  - B. 图像具有较高的组织对比度和组织分辨力
  - C. 多方位成像
  - D. 多参数、多序列成像
  - E. 成像速度较快,常用于危重病人及不合作病人的检查
4. PET/CT具有独特的优越性是
  - A. 能够提供丰富的分子、功能信息
  - B. 能够对功能参数进行定量分析
  - C. 该检查属于非侵袭性的无创性检查,安全可靠
  - D. 该检查在对病人相同体位进行一次性成像后,同时得到PET的功能代谢图像和CT的解剖图像
  - E. 该检查所获得的影像常具备有较高的特异性

### (三) 简答题

1. 试述 CR 成像的优势与特点。
2. 试述 DR 成像的优势与特点。
3. 试述 CT 成像的优势与特点。
4. 试述 MRI 成像的优势与特点。
5. 分别简要阐述 CT、MRI 的局限和不足。
6. 简述 MRI 的进展主要体现在哪些方面？

## 四、参 考 答 案

### (一) 填空题

1. X 线摄影 X 线计算机体层成像(CT) 磁共振成像(MRI) 超声成像(USI) 放射性核素成像(RNI)
2. CR DR 数字减影血管造影(DSA)
3. 影像板(IP 板)
4. 宽 快 能量 低剂量
5. 迭代重建算法

### (二) 单项选择题

#### 【A1 型题】

1. B 2. B 3. E 4. D

### (三) 简答题

#### 1. 试述 CR 成像的优势与特点。

CR 成像的优势与特点如下：

- (1) 最大优势在于以 IP 板代替传统的屏 / 片系统，可取消暗室，实现全明室化操作，彻底改善了工作环境。
- (2) CR 灵敏度较高，即使是采集较弱的信号，也不会被噪声所掩盖，能获得较好的图像。
- (3) CR 动态范围较大，系统能够同时检测到极强和极弱的信号。CR 另一个显著特点是能把一定光强度的图像信号分得更细，使图像显示出更丰富的层次。
- (4) CR 识别性能优越，其系统装有曝光数据识别技术和直方图分析，能更加准确地扫描出图像信息，显示高质量图像。
- (5) CR 系统曝光宽容度较大，传统屏 - 胶系统因曝光宽容度较小，图像质量很大程度上决定于摄影条件。
- (6) X 线曝光量比常规 X 线摄影有一定程度的降低，降低病人的辐射损伤。
- (7) IP 替代探测器可重复使用，且 IP 潜影存储时间比较长(高达 8h)，适合野外与床旁 X 线摄影。可与原有的 X 线摄影设备匹配使用，实现普通 X 线摄影数字化，其成本

低,便于普及和推广应用。

(8) 图像阅读器还具有登记患者姓名、性别、年龄等基本信息,选择检查部位、图像扫描方式、图像预览、图像预处理、打印等功能。

(9) 具有多种后处理技术,如谐调处理、空间频率处理、时间减影、体层伪影抑制、动态范围控制等。具有多种后处理功能,如测量(大小、面积、密度)、局部放大、对比度转换、对比度反转、影像边缘增强及减影等。

(10) 数字化储存,可进入网络系统,节省胶片,也可节约保存图像胶片库占有的空间及经费。实现数据库管理,有利于查询、统计和比较,实现图像资料共享。

## 2. 试述 DR 成像的优势与特点。

DR 成像的优势与特点如下:

(1) 成像速度快。与其他 X 线摄影方法比较,DR 成像速度最快,几乎实时的图像预览保证了摄影成功,减少了重照的几率。

(2) 图像动态范围大。图像动态范围由两个因素决定,即探测器信号采集的动态范围和图像显示的动态范围。

(3) 图像后处理功能丰富。DR 图像最重要的特征之一是具备图像后处理功能,后处理能力决定数字图像的软阅读能力,强大的后处理功能可以满足不同诊断要求。

(4) 图像存储与传输能力强。DR 图像在本质上属于数字化信息,DR 图像可以进行图像压缩,图像格式变换,各种网络通信方式传输、发布,多种存储介质存储等。

(5) DR 与 CR 相比:病人受照射剂量更小;能覆盖更大的对比度范围,使图像层次更丰富;操作快捷方便、省时省力,提高工作效率。

## 3. 试述 CT 成像的优势与特点。

CT 成像的优势与特点如下:

(1) 具有较高的 X 线利用率。CT 成像中,由于采用窄束 X 线,绝大部分散射线被排除掉,并由检测器前的准直器进一步滤去窄束 X 线的散射线,提高了 X 线的检测能力和利用率。

(2) 获得真正的断面图像。由于 CT 成像中消除了人体内器官或组织结构间的相互重叠影像,能够准确的反映体层平面上器官或组织的解剖结构,为观察人体内器官或组织形态变化和诊断疑难病灶提供一种新的检查手段。

(3) 能分辨人体内组织密度细小的变化。CT 克服了人体内器官或组织影像重叠现象和散射线的干扰,又经过高精度的图像重建,从而提高了对器官或组织密度分辨力,使传统 X 线摄影难以区分的低对比度的软组织结构清晰可见,并能反映出器官或组织内密度分布上的细小差异,扩大了对病灶的识别和诊断能力。

(4) 强大的图像后处理功能。图像后处理可以将 CT 原始横轴位图像以二维或三维的形式再现,包括多平面重建(MPR)、曲面重建(CPR)、表面遮盖显示(SSD)、最大密度投影(MIP)、最小密度投影(MinP)、容积重建(VR)、仿真内镜(CTVE)等。

(5) CT 在硬件技术和成像的软件方法上发展日新月异,如:宽体薄层各向同性探测器、大热容量高散热率长寿命球管、重建方法的改进(Z-Sharp 技术)、器官功能成像检查、操作平台和后处理功能(颈部血管、心脏一站式后处理)进一步完善等。

## 4. 试述 MRI 成像的优势与特点。

MRI 成像的优势与特点如下:

(1) 以射频脉冲作为成像能源,无电离辐射,对人体安全、无创。

(2) 图像具有较高的组织对比度和分辨力,能清楚地显示脑灰质、脑白质、髓鞘、肌肉、软骨、肌腱、韧带等软组织,对软骨结构的组织形态、解剖结构和病理改变的显示有较高的敏感性。

(3) 多方位成像。能对被检查部位进行轴、冠、矢状位以及任何倾斜方位的层面直接采集成像,便于再现体内解剖结构和病变的空间位置与相互关系。

(4) 多参数、多序列成像。通过分别获取  $T_1$  加权像 ( $T_1$  weighted image,  $T_1WI$ )、 $T_2$  加权像 ( $T_2$  weighted image,  $T_2WI$ )、质子密度加权像 (proton density weighted image, PDWI) 以及  $T_2^*$ WI、重  $T_1WI$ 、重  $T_2WI$ , 在影像上取得组织之间、组织与病变之间在  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_2^*$  和 PD 上的信号对比,可以提高感兴趣区组织结构的显示及病变显示的敏感性。

(5) 除了能进行形态学研究外,还能进行功能、组织化学和生物化学方面的研究。

(6) 采用 TIM (total imaging matrix) 技术: 76 个线圈和 36 个通道,采集速度和图像质量明显增加。

### 5. 分别简要阐述 CT、MRI 的局限和不足。

虽然 CT 成像技术具有很多优点,但 CT 也有其局限性和不足。

(1) 空间分辨力低于常规 X 线检查。

(2) CT 虽然有很广的应用范围,但也不是所有脏器都适合 CT 检查。如空性脏器胃肠道的 CT 扫描,就不如常规 X 线检查,更不如内镜。

(3) CT 的定位、定性诊断只能是相对的,其准确性受各种因素的影响。在定位方面,对于体内小于 1mm 的病灶,常常容易漏诊。在定性方面,也常受病变的部位、大小、性质、配合检查等诸多因素的影响。

磁共振成像的局限性有以下几个方面:

(1) MRI 与 CT 等成像手段相比,空间分辨力较低。

(2) 成像速度较慢,不利于危重病人及不合作病人的检查,但是随着 MR 新技术的发展,MR 的成像速度将越来越快。

(3) 具有较严格的禁忌证,如装有心脏起搏器、动脉瘤夹、金属假肢等病人不适宜进行 MRI 检查。

(4) 对于不含或含少量氢质子的组织结构显示不佳,如骨骼、钙化灶在 MR 影像上呈低或无信号,不利于这些结构与相应病变的显示。

(5) MRA 对小血管的显示有一定的限度,而且血管的显示也受血管的走行、血流速度、血流方向及血流状态(如层流、涡流、湍流等)的干扰,可以产生伪影,造成假阳性、假阴性结果。

(6) 导致 MR 图像产生伪影的因素较其他成像装置多。

(7) 价格设备相对昂贵,检查费用高。

### 6. 简述 MRI 的进展主要体现在哪些方面?

MRI 进展主要包括扫描及成像速度的提高,场强、梯度场强及梯度切换率的提高,新扫描序列、对比剂的开发和新技术的应用,以及功能成像的发展等。

(李真林 潘雪琳)

### 一、学习目标

1. **掌握** X线与物质的几种相互作用过程及X线在物质中的衰减规律。
2. **熟悉** 影响X线衰减的因素。
3. **了解** X线在诊断放射学中各种作用发生的概率。

### 二、重点和难点内容

X线的本质是一种电磁波,由于X线频率高、波长短、能量大,在物质中可引起物理、化学及生物的各种效应。

X线强度是由光子数目(X线的量)和光子能量(X线的质)两个因素决定。在X线诊断中通常用X线管的管电流(mA)与曝光时间(s)的乘积来间接表示X线的量,即产生X线光子数目的多少;用X线管的管电压(kV)和滤过厚度间接表示X线的质,即X线光子穿透物质的能力。

**1. 线性衰减系数** 指X线通过物质时,X光子与单位厚度上穿过靶物质发生相互作用的概率,用“ $\mu$ ”表示

$$\mu = \frac{-dN}{N} \cdot \frac{1}{dx}$$

质量衰减系数指X线光子与单位质量厚度物质发生相互作用的概率。用“ $\mu_m$ ”表示

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

**2. 光电效应** 能量为 $h\nu$ 的X光子与物质原子的内层轨道电子发生相互作用,把全部能量传递给这个电子,光子本身被原子吸收,获得能量的电子摆脱原子束缚成为自由电子(称为光电子)的过程。入射X线光子的能量 $h\nu$ 和光电子的动能 $E$ 满足关系

$$h\nu = E_B + E$$

光电效应发生的概率与物质原子序数 $Z$ 的4次方成正比,光电效应发生的条件是入射光子能量必须等于或大于轨道电子结合能,但光子能量愈大光电效应的发生概率反而迅速减小。光电效应不产生散射线,图像对比度高,影像质量好,但被检者接收X线剂量大。

**3. 康普顿效应** 能量为 $h\nu$ 的X光子通过物质时,与物质原子核外的电子(多为外层电子)发生非弹性碰撞,光子损失一部分能量,并改变运动方向,电子获得能量而脱离原子的过程。损失能量后的X线光子称为散射光子;获得能量的轨道电子称为反冲电子。

入射 X 线光子的能量  $h\nu$  和反冲电子动能  $E$  满足关系为

$$h\nu \approx E + h\nu'$$

康普顿效应发生的概率与入射 X 线光子的能量成反比, 与靶物质的原子序数  $Z$  无关。随着入射光子能量的增加, 光电效应发生概率下降, 康普顿效应发生概率相对提高。康普顿效应与光电效应相比受检者的剂量较低, 但散射线能量大, 增加了照片的灰雾, 降低了影像对比度。

**4. 电子对效应** 一个具有足够能量的 X 线光子从原子核旁经过时, 在原子核库仑场的作用下, 光子突然消失, 同时形成一对正负电子的过程。入射光子的能量必须等于或大于  $1.02\text{MeV}$ , 光子的另一部分能量转变为正、负电子的动能  $E_+$ 、 $E_-$ 。即

$$h\nu = 2m_e c^2 + E_+ + E_-$$

电子对效应发生的概率与物质的原子序数成正比; 当光子能量较低时, 随 X 线光子能量的变化线性增加; 当光子能量较高时, 随 X 线光子能量的变化增加逐渐变慢。电子对效应由于要求入射光子的能量大, 在诊断 X 线能量范围内, 电子对效应不可能产生。

**5. 单能 X 线的衰减** 单能窄束 X 线在均匀物质中的衰减规律为

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

单能宽束 X 线的衰减规律, 它可以在窄束衰减规律基础上加以修正, 即

$$I = BI_0 e^{-\mu x}$$

**6. 半价层** X 线强度衰减到初始值一半时所需介质的厚度, 用“HVL”表示, 即

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu}$$

半价层的定义适用于单能和连续 X 线、宽束和窄束 X 线。在相同的入射 X 线能量下, 宽束 X 线的半价层大于窄束 X 线的半价层。

**7. 连续 X 线的衰减** 连续 X 线在均匀物质中的衰减规律为

$$I = I_{01} e^{-\mu_1 x} + I_{02} e^{-\mu_2 x} + \dots + I_{0n} e^{-\mu_n x}$$

由于物质对低能 X 线吸收能力强(氢除外), 所以连续谱 X 线通过物质层后, 即能谱变低变窄。

**8. X 线滤过** 能吸收 X 线束中的低能成分, 将 X 线的平均能量提高的过程。X 线滤过分为固有滤过和附加滤过, 固有滤过指 X 线管组件本身的滤过。附加滤过指 X 线离开窗口后的滤过。附加滤过可使 X 线总的强度减小, 提高了 X 线的有效能量, 但线质变硬了。

**9. X 线在人体内的衰减** 诊断用的 X 线是宽束、连续的, 因此 X 线在人体中的衰减规律可表示为

$$I = BI_0 e^{-\mu' d}$$

X 线通过人体时, 增加 X 线的硬度就会减少衰减量而增加透过量; 当增加吸收物质的密度、原子序数和每立方米电子数时, 则衰减量增大而透过量将会减少。

当 X 线穿过人体组织时, 由于透过量不同, 从而形成带有信息的 X 线影像, 这种影像是肉眼看不见的, 当它到达荧光屏或 X 线胶片时, 将不可见的 X 线影像变为可见光影像。观察分析这种深浅不同的影像, 就能帮助判断人体各部分组织器官的正常或病理的形态, 这就是 X 线诊断的物理基础。



### 三、习 题

#### (一) 名词解释

1. 光电子
2. 单能 X 线
3. 窄束 X 线

#### (二) 填空题

影响 X 线衰减的因素有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。

#### (三) 单项选择题

##### 【A1 型题】

1. X 线管内高速电子的动能取决于
 

A. 管电流	B. 两极间的管电压
C. 靶物质的原子序数	D. 阴极灯丝焦点大小
E. X 线管灯丝加热电压	
2. 光电效应的特征是
 

A. 产生光电子	B. 产生俄歇电子
C. 产生反冲电子	D. 发射特征 X 线
E. 产生光子	
3. 康普顿效应的特征是
 

A. 产生光电子	B. 产生俄歇电子
C. 产生反冲电子	D. 产生正负电子对
E. 产生两个飞行方向相反的光子	
4. 有关光电效应叙述, **不**正确的是
  - A. 光电效应以光子击脱原子的内层轨道电子而发生
  - B. 光电效应是将 X 线光子的全部能量传递给了物质原子的壳层电子
  - C. 光电效应可产生光电子、正离子和特征 X 线
  - D. 光电效应是使入射光子能量的一部分以散射光子释放
  - E. 诊断用 X 线与铅的相互作用, 主要是光电效应
5. 有关光电效应在 X 线摄影中的实际意义, 叙述**不**正确的是
  - A. 光电效应不产生散射线
  - B. 光电效应可扩大射线对比度
  - C. 光电效应使患者接受的照射剂量小
  - D. 光电效应可增加不同组织密度的影像对比
  - E. 选用低千伏摄影, 可扩大脂肪与肌肉的影像对比



6. 关于散射线对照片影响的叙述, **不正确**的是
- X线穿过人体时产生散射线
  - X线波长越短, 产生的散射线越少
  - 受照射面积越大产生的散射线越多
  - 降低了影像对比度
  - 从受检者身上产生的散射线其能量与原射线相差很少
7. 在X线诊断能量范围内, 利用了X线与物质相互作用的形式是
- 光电效应和康普顿效应
  - 康普顿效应和电子对效应
  - 电子对效应和光核作用
  - 光核作用和相干散射
  - 相干散射和光电效应
8. 单能X线是指
- 特征X线
  - 连续X线
  - 用来产生高对比度的窄束X线
  - 由能量相同的光子组成的X线束
  - 宽束X线
9. 导致X线在传播中衰减的原因是
- X线是电磁波
  - X线频率
  - X线波长
  - X线能量
  - 物质和距离
10. 一单能X线通过2个半价层后, 强度变为原来的
- $\frac{1}{3}$
  - $\frac{1}{4}$
  - $\frac{1}{8}$
  - $\frac{1}{9}$
  - $\frac{1}{16}$
11. 在相同X线能量下, 宽束X线的半价层比窄束X射线的半价层
- 大
  - 小
  - 相等
  - 不相等
  - 无法确定
12. 对半价层的描述, **不正确**的是
- 用HVL表示
  - 表示X线质
  - 对同一物质, 半价层小的X线质软
  - 指X线束的穿透能力
  - 对同一物质, 半价层小的X线质硬
13. 关于X线滤过的说法, **不正确**的是
- X线的滤过分为固有滤过和附加滤过
  - 固有滤过是指X线管组件本身的滤过
  - 附加滤过是指X线离开窗口后的滤过