



医学影像技术学 术语详解



YIXUE YINGXIANG JISHUXUE
SHUYU XIANGJIE

主 编 / 燕树林 牛延涛



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

医学影像技术学 术语详解

YIXUE YINGXIANG JISHUXUE
SHUYU XIANGJIE

主 编 燕树林 牛延涛

副主编 王鸣鹏 余建明 高振龙 李 萌

付海鸿 张富利 王鹏程 苗 英



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目(CIP)数据

医学影像技术学术语详解/燕树林,牛延涛主编. —北京:人民军医出版社,2010.7

ISBN 978-7-5091-3837-3

I. ①医… II. ①燕… ②牛… III. ①影像诊断—名词术语 IV. ①R445-61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 098312 号

策划编辑:高爱英 文字编辑:刘新瑞 雷荣强 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

质量反馈电话:(010)51927290;(010)51927283

邮购电话:(010)51927252

策划编辑电话:(010)51927242

网址:www.pmmp.com.cn

印刷:北京国马印刷厂 装订:桃园装订有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:39 字数:948 千字

版、印次:2010 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

印数:0001~2500

定价:118.00 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

内容提要

本书采用词汇详解的形式,将X线摄影成像技术、乳腺X线摄影与质量控制、CT成像技术、MR成像技术、数字减影血管造影与介入放射技术、放射治疗技术、医疗照射与防护、医学图像存储与传输系统、质量管理与统计学等医学影像技术学内容的精华进行了归纳和总结。本书内容紧跟目前学科发展,系统全面,收录了目前医学影像学临床、教学、研究领域的主要知识点,可作为学习医学影像理论和技术的参考书,也可以作为一本专业辞典使用,适合医学院校医学影像系师生、影像科技师和医师、相关临床专业医护人员以及相关医药公司技术人员学习参考。

编著者名单

- 主 编** 燕树林 牛延涛
- 副主编** 王鸣鹏 余建明 高振龙 李 萌
付海鸿 张富利 王鹏程 苗 英
- 编 委** (以姓氏笔画为序)
- 于 群 华中科技大学同济医学院附属协和医院
王 焱 首都医科大学北京同仁医院
王鸣鹏 上海复旦大学附属华东医院
王鹏程 泰山医学院
牛延涛 首都医科大学北京同仁医院
付海鸿 中国医学科学院北京协和医院
刘云福 首都医科大学北京同仁医院
刘建新 北京煤炭总医院
刘澜涛 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所
李 萌 山东医学高等专科学校
李硕鹏 首都医科大学北京同仁医院
李清军 加拿大安大略省 Humber Riner Reginal 医院
肖文丰 胜利油田中心医院
余建明 华中科技大学同济医学院附属协和医院
张永县 首都医科大学北京同仁医院
张富利 北京军区总医院
张宗锐 首都医科大学北京同仁医院
苗 英 浙江大学邵逸夫医院、浙江绿城医院
郁 鹏 首都医科大学北京同仁医院
赵 波 首都医科大学北京同仁医院
赵 雷 泰山医学院附属医院
赵潭元 上海(锐珂)医疗器材有限公司
侯庆峰 泰山医学院
倪红艳 天津第一中心医院
高振龙 中国医科大学第一附属医院
郭 雷 济南市中心医院
康天良 首都医科大学北京同仁医院
彭振军 华中科技大学同济医学院附属协和医院
韩 杰 中国医科大学附属盛京医院
雷子乔 华中科技大学同济医学院附属协和医院
綦维维 北京大学人民医院
燕树林 首都医科大学北京同仁医院

前 言

历经 8 个春秋的资料搜集、整理和编辑,《医学影像技术学术语详解》一书终于和读者见面了,感谢业界同道们多年来对我们的鼓励和相助!

自 20 世纪 70 年代以来,医学影像技术学飞速发展,面对这一海量信息变化的形势,我们应如何面对?编写此书的目的,就是要将当前医学影像技术学的精髓加以提炼,以供业界同仁享用。

“术语”就是专业技术中所使用名词的定义及概念的注释。除此之外,为了透彻理解术语,我们还扩展了其相应内容,把术语相关的因素、要点也归纳进来,以满足临床应用的需要,体现出“详解”的风格。所以本书是以“术语”的形式,将“医学影像技术学的精彩内容”呈现给大家。我们力争使本书达到两个功能:既是一本“医学影像技术学术语的词典”,又是一本经过加工提炼的、经典的“医学影像技术学的参考书”。这种构思可能更适合国内医学影像技术界的需求。

全书共包含 X 线摄影成像技术、乳腺摄影与质量控制、CT 成像技术、MR 成像技术、数字减影血管造影与介入放射技术、放射治疗技术、医疗照射与防护、医学图像存储与传输系统、质量管理与统计学等 9 章内容。此外,我们将书中出现的所有术语,分别按照英文字母和汉语拼音字母排序编制索引,便于读者查阅。

虽然医学影像技术已经逐步进入数字化时代,我们还是将传统摄影技术的部分内容收录了进来,因为学科的历史进程是不能逾越的。本书涵盖了对医学影像学基础概念的定义和注释,其读者对象不仅局限于医学影像技师,同样适用于医学影像医师、医学物理师及影像设备工程师。

我要特别提及并感谢的是香港理工大学罗婉仪教授,她给了我们很大的鼓励,并在本书编写的初期给我们提供了“放射治疗与诊断统计学”的基本术语。

由于时间和篇幅的限制,本书没能将核医学技术、超声技术涵盖进来。我们希望再版时将其包括进来,以便成为一本“大影像学”的技术专业参考书。

书中不足之处,敬请广大读者专业界同仁批评指正。

龚树林

2010 年 6 月

目 录

第 1 章 X 线摄影成像技术	(1)
1.1 X 线摄影物理学与成像技术学基础	(1)
1.2 X 线摄影相关解剖	(30)
1.3 X 线摄影体位	(50)
1.4 X 线造影检查	(85)
1.5 数字 X 线摄影	(98)
1.6 X 线装置系统	(121)
1.7 医学影像的照片冲洗与打印技术	(135)
第 2 章 乳腺 X 线摄影与质量控制	(158)
2.1 乳腺 X 线摄影	(158)
2.2 数字乳腺 X 线摄影	(161)
2.3 乳腺 X 线摄影的质量控制	(171)
2.4 数字乳腺摄影的质量控制	(184)
2.5 乳腺影像报告和数据系统	(188)
第 3 章 CT 成像技术	(192)
3.1 CT 成像技术的基本概念	(192)
3.2 CT 成像设备的基本构成	(212)
3.3 CT 成像技术	(221)
3.4 CT 图像后处理与 CT 伪影	(229)
3.5 CT 剂量	(236)
第 4 章 MR 成像技术	(241)
4.1 磁共振成像的物理学基础	(241)
4.2 磁共振成像技术	(264)
4.3 磁共振成像的脉冲序列	(296)
4.4 磁共振流体成像技术与对比剂	(318)
4.5 MR 成像设备	(333)
4.6 美国放射学院磁共振成像质量控制	(353)
第 5 章 数字减影血管造影与介入放射技术	(370)
5.1 血管造影与数字减影	(370)
5.2 介入放射技术学概述	(390)
5.3 血管造影成像设备与器械	(403)
5.4 血液感染的对策	(418)
5.5 血管造影的辐射防护	(420)
第 6 章 放射治疗技术	(424)
6.1 医学放射物理学基础	(424)
6.2 放射治疗剂量学	(438)

6.3	放射源和放射治疗机	(449)
6.4	放射治疗计划设计的物理原理和生物学基础	(456)
第7章	医疗照射与防护	(468)
7.1	医疗照射基本概念	(468)
7.2	辐射剂量	(473)
7.3	辐射损伤与辐射防护	(477)
第8章	医学图像存储与传输系统	(489)
8.1	计算机基础	(489)
8.2	计算机网络	(498)
8.3	医学数字成像与传输	(503)
8.4	ACR 远程放射学标准	(510)
8.5	医学图像处理与信息学	(513)
8.6	医学图像存储及传输系统 PACS	(516)
第9章	质量管理与统计学	(522)
9.1	质量管理	(522)
9.2	设备管理	(529)
9.3	统计学	(535)
参考文献		(540)
索引		(541)
	以汉语拼音字母排列为序	(541)
	以英文字母排列为序	(580)

第 1 章 X 线摄影成像技术

1.1 X 线摄影物理学与成像技术学基础

1.1.1 X 线摄影物理学基础

原子(atom)

- 原子是构成物质的最小结构单位,它由质子、中子和电子构成。
- 原子的特性取决于其质子数目(原子序数),通常用“Z”表示。
- 质子数带电量与原子核带电量是相等的,并且在原子壳层保持一种平衡关系。
- 原子核数用“A”表示。中子数为 $A-Z$, A 约为原子的重量。
- 质子数决定了原子的化学特性。因此, Z 又是元素的代名词, $Z=1$ 表示元素氢; $Z=6$ 表示元素碳。
- 原子可分为:同分异构体、同重核、同中子体、同位素等。原子之间又存在着多种关系类型。
- 原子的大小约等于 10^{-10} m ($=10^{-8} \text{ cm}=0.1 \text{ nm}=1 \text{ \AA}$)。

中子(neutron)

- 原子中不带电荷的粒子,与质子共同组成原子核。
- 中子的静止质量 $m_n = 1.674\,954 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ($=939.573 \text{ MeV}$),与质子和 $1/2$ 自旋核的质量相通。

原子核(atomic nucleus)

- 原子的中心部分,由质子和中子组成,原子核的线性尺寸为 $10^{-14} \sim 10^{-15} \text{ m}$ ($=10^{-12} \sim 10^{-13} \text{ cm}=0.01 \text{ pm}=1 \text{ fm}$)。
- 具有相同质子数的原子核称为同位素。
- 具有相同数量质子数和中子数称为同量异位素(同重元素)。
- 具有相同的中子数称为同中子异荷素(等中子异位素)。

质量数(mass number)

- 质量数是原子核内核子的个数,即质子数和中子数之和。

原子序数(atomic number)

- 原子核中的质子数,即为原子序数。质子数决定了原子的化学特性。
- 原子序数决定了元素的化学特性,如原子序数=6 则表示化学元素碳。

原子量(atomic weight)

- 原子的质量。
- 由于原子质量很小,采用“千克”作为质量单位,书写、记忆、计算和使用都不方便。因此国际上采用原子的相对质量,即相对原子质量来表示原子的质量。科学家规定:以一个 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ (约 $1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$) 为标准,其他的原子质量同这个标准相对照得出相对质量,称为这个原子的原子量,又称相对原子质量。所以,原量子是没有单位的。例如氢的原子量等于 1,碳是 12,氧是 16,钠是 23 等,这在化学计算等方面很有用。
- 在国际单位制中,一摩尔的同一原子的质量就等于该原子的原子量,单位是克(g)。

波尔原子模型(Bohr's model of atom)

- 通过将围绕原子核周围旋转的电子的角动量量子化,各元素的电子均获得各自既定能量轨道的原子模型,此称为波尔原子模型。

质子(proton)

- 质子是原子核中离子与中子的总称,即质子数=离子数(Z)+中子数(N)。
- 质子是属于重子群的一种坚固的基本粒子,一个质子可以构成 H 原子核,而质子的不同群集则可构成其他所有的原子核,其原子量为 $M=1.673 \times 10^{-24} \text{ g}$,其电子价是 $+e$,自旋

是 $1/2$, 磁力矩是 $1.411 \times 10^{-26} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ 或 2.793 核磁子(nuclear magnetons), 氢原子电离可产生自由电子。

离子(ion)

- 电荷粒子。
- 离子的静止质量 $m_p = 1.672\ 648\ 5 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ($= 938.279\ 6 \text{ MeV}$)。

光子(photon)

- 当将光、电波、X 线、 γ 射线等电磁波作为粒子流来考虑时, 这些粒子即称为光子。

光电子(photoelectron)

- 在光电效应下, 从原子释放出来的电子, 称为光电子。

量子(quantum)

- 用于表示在某过程中吸收、放出一定量的能量。
- 电磁放射学的量子称为光子。

电离(ionization)

- 从一个原子中丢失一个电子的过程。

电离辐射(ionizing radiation)

- 电离产生的辐射能量。

结合能(binding energy)

- 一个电子被原子核束缚的能量。
- 离原子核越近, 结合能越大。对于较小的原子而言, 该结合可能在几个 eV 范围内, 对于较大的原子(如钨)其结合能达到几百个 keV。

原子结合能总量(total nuclear binding energy)

- 将一个核子分离成它们各组成部分所必需的能量, 此能量是由于核子之间强大的吸引力造成的。
- 将一个原子分离成其组成部分所需要的能量被称为原子束缚能量。它是电子束缚能和核子束缚能的总和。当与核子束缚能比较时电子束缚能可忽略。当 2 个次原子粒子在它强大的核子力的作用下彼此靠近时, 它们的总能量减少, 并且能量的变化以辐射的形式发射出去。但是, 结合粒子的总能量要少于分

开的粒子能量的和。

- 这种结合能可通过原子质量和它的组成的中子、质子和电子的总的质量的差来计算, 这一质量差称为质量缺损。

核的平均结合能(average binding energy per nucleon)

- 从一个原子核内去除一个质子、中子或 α 粒子所需要的能量。
- 通过稳态氢原子核质量与 2 个质子和中子质量比较可显示结合能的关系。由于氢原子核的部分实际质量转换成了结合能, 所以稳态氢原子的质量要轻于各组成部分的质量之和。

能级(energy level)

- 根据量子理论系统中允许存在的能量状态。
- 量子理论预言并且用物理数据证明, 很多系统中的要素(如原子)仅有一定程度状态的能量, 而其他状态的能量是不允许存在的。那么, 存在于原子壳电子中、原子的质子中和中子及原子核中的这种允许的能量状态称为能级。
- 原子核中的磁偶极子如质子, 当它置于外加电场中时, 假设只有两种能级状态存在, 那么质子同外磁场排列方向相同或相反, 此时在质子和外磁场间将通过频率为 $e = h\nu$ (h 为 Planck 常数)放射线的吸收或释放来实现能量的转移。

能态(energy state)

- 将分子、原子及原子粒子联系在一起的不同能级。
- 显微系统下展示了多种量子化的能级或能态(量子理论)。这些能态要么是被占用, 要么是空的。
- X 射线是在原子中电子从一个电子壳跃迁到另一个电子壳时产生的; 而 γ 射线是原子核级能量跃迁的结果, 跃迁时产生高能的光子(和其他粒子), 从电子壳跃迁时将产生几伏到几百伏不等的电压。其他具有不同能级的粒子还有电子、光子、中子。自旋状态下能量的跃迁是很小的, 其中电子的能量跃迁比光子和中子要高; 因为原子核电磁距比电子要小。

- 在磁场强度为 1.0T 的磁共振设备上,自旋光子转移的能量为 10^{-8} eV。分子和其他多原子成分可因旋转和振动而产生额外的能量。不同的能级之间跃迁时,要求的能量很少,并且物质的热量散发与能级跃迁有关。

能量单位(energy unit)

- 放射性能量的传统单位是电子伏特(eV)或 EV,其定义为 1 伏特的电子做功所获得的动能。
- 在电离辐射中用的最多的单位是千伏(keV)和兆伏(MeV)。在微粒辐射当中使用电子伏特作为单位是比较方便的,因为电场的能量可以很方便的由带电荷的电子数乘以电势差获得。
- 能量的国际单位是焦耳(J)。在放射能量中使用千万亿分之一焦耳(fJ)是比较方便的单位,其与 eV 之间的关系如下: $1\text{fJ}(=10^{-15}\text{J})=6.241\times 10^{-3}\text{eV}$ 。

原子吸收系数(atomic absorption coefficient)

- 吸收物质原子衰减系数。

原子散射因子(atomic scattering factor)

- 用来描述由一个原子发出的一定波长的 X 线在各个方向上的分布情况。

原子截获能(atomic stopping power)

- 每个原子的线性截获能量。
- 绝对线性截获能量是粒子通过物质时的能量损失,通常用 MeV/cm 表示。相对截获能量在产生相同的能量损失的前提下,物质长度与参照物长度(如空气)成反比。原子截获能量的单位是 MeV/cm²。
- 根据 Bragg-Kleeman 法则,原子截获能量与介质原子质量的平方根成正比。

电子(electron)

- 一种轻的、稳定的、基本粒子,它是构成原子的基本要素,构成原子轨道。
- 电子的静止质量 $m_e=9.109\ 534\times 10^{-31}\text{kg}$ ($=0.511\ 003\ 4\text{MeV}$),电荷量 $e=-1.602\times 10^{-19}$ 库仑。离子、中子与电子的质量比约等于 1 840:1。
- 电磁距是 $9.285\times 10^{-24}\text{Am}^2$ 。角动量和电子

能量受原子核的束缚,量子数取决于量子理论。

电子轨道(electron orbit)

- 由围绕在原子核周围的电子形成。该术语起源于解释原子结构的波尔模型。
- 电子像卫星围绕太阳一样围绕在原子核周围,形成电子轨道。
- 这种原子结构模型已经被电子壳取代而不是轨道。

电子对(electron pair)

- 两个原子之间的一对电子非极性联结,通常称为共价键。

电子壳(electron shell)

- 由原子核外具有一定能量差的电子在没有损失能量的情况下移动而形成。
- 对电子壳结构的理解是最著名的量子理论的主要成就。

电子伏特(electron volt,eV)

- 真空具有 1 伏特静电势能条件下电子获得的能量。
 $1\text{电子伏特(eV)}=1.602\ 189\ 2\times 10^{-19}\text{J}$
- 在讨论原子的进程等涉及低能级的单位时,电子伏特是常用的能量单位。
- 千电子伏特(keV)为在 1 000 伏特的加速电压作用下,一个电子所获得的能量。

电子结合能(electron binding energy)

- 电子和原子核相互作用时之间的能量(量子理论)。

电子密度(electron density)

- 每单位体积中的电子数目,如电子数/cm³。

电子电荷(electronic charge)

- 电子单位电荷 $e=(-1.602)\times 10^{-19}$ 库仑。电子(和反质子)及其他一些原子颗粒带 $-e$,质子、正电子及一些其他基本粒子带 $+e$ 。

电子跃迁(electronic transition)

- 发生在同一原子中的电子从一层电子壳跃迁到另一层电子壳的过程。如果电子从高能级向低能级跃迁则是一个释放过程。
- 并不是所有的跃迁都是在两层之间进行的。

一般情况下,电子从较外层进入较内层是经过多步跃迁的。如当 K 层缺乏电子时,由 L 层的电子来填满,而 L 层的电子则由 M 层的电子来填满,依此类推。

电子结合能总量(*total electron binding energy*)

- 在一个原子中需要从一定的层中完全转移一个电子所需的能量。
- 在大多数稳定结构中,轨道电子占有一个原子的内层,并在那里被原子核紧紧束缚。
- 束缚能量对于最内层轨道来说是最大的并且随着原子序数(Z)的增加而增加。需要从内层轨道转移到外层轨道的能量完全等于两个轨道之间束缚能量的差。因此,对于碘来说, K 层束缚能量是 33.2keV, L 层是 5keV。所以,需要大约 28keV 才能将电子从 K 层转移到 L 层。
- 每一个电子层束缚能量在数值上随着距核的距离的增加而减少。

电子有效截面(*electronic cross-section*)

- 与电子的相互作用有关,并与相互作用的可能性成比例的特别区域。有效截面的单位是 b, $1b=10^{-28}m^2$ 。

能量(*energy*)

- 基本的物理特性。在物理学中能量有以下几种:重力和机械能、电磁能、热能、核能和化学能。能量的单位有焦耳、格尔、电子伏特和卡路里。

$$1 \text{ 焦耳(J)} = 1\text{kg} \times \text{m}^2 / \text{s}^2$$

$$1 \text{ 格尔(eV)} = 1\text{g} \times \text{cm} / \text{s}^2$$

$$1 \text{ 电子伏特(eV)} = 1.602 \ 189 \ 2 \times 10^{-19} \text{J}$$

$$1 \text{ 卡路里(cal)} = 4.186 \ 8\text{J}$$

- 能量是在封闭的物理系统中保持恒定的分量之一。这种观点的依据是能量守恒定律。
- 在量子理论中能量是量子化的分量之一,如在氢原子中电子水平的能量。

能量-质量守恒(*energy-mass equivalence*)

- 这个概念首先由爱因斯坦(Einstein)在其相对论中提出,即质量是能量的一种形式,并且给出了质量和能量之间的公式:

$$E=mc^2$$

这种观点导致了原子弹的产生和原子能的利用,即质量的减少就意味着能量的释放。

- 在影像学领域,该规律被应用在 PET 中。

能量转换(*energy conversion*)

- 在 X 线球管中受激发电子的动能转变为电磁能。
- 当产生 X 射线时,朝向阳极飞速行进电子的动能转换成了电磁辐射(韧致辐射和标识辐射)和热量。换句话说,移动的能量部分换成了电磁能。
- 量子理论预言并且用物理数据证明,很多系统中的要素(如原子)仅有一定状态的能量,而其他状态的能量是不允许存在的。
- 原子核中的磁偶极子(如质子),当它置于外加电场中时,假设只有两种能级状态存在,那么质子同外磁场排列方向相同或相反。此时,在质子和外磁场间将通过频率为 $E=h\nu$ (h 为普朗克常数)放射线的吸收或释放来实现能量的转移。

电位能量(*potential energy*)

- 某种物理状态的一个物体与另一个物体结合时的能量。
- 一个自由电子具有成为结合电子的能量,这个能量范围可由 eV 到 keV,而核子状态的电子之间的能量变化范围为十几 MeV,在经典的物理中,一个物体的电位能量大致等于它的重量乘以高度(相当于参考水平)。

电磁波(*electromagnetic wave*)

- 电磁场中在时间和空间上以正弦波形振动的波。
- 电场和磁场两两相互垂直并且相互传播。电磁波按频率和能量分类,涵盖范围包括从宇宙射线到能量非常低的无线电波。
- 一些关于电磁波的定义和定量的属性非常重要。频率给出了以 Hz 为单位的每单位时间内电磁波的振动次数。空间频率给出了每单位距离(cm^{-1} 或 m^{-1})的振动次数时,在时间和空间上电磁波便可以用 sin 函数来描述: $\sin(2\pi\nu t)$ 。
- 注意:如果时间(t)和距离(x)等于 $1/\nu$,则 sin 函数的值将会是 2π ,并且 sin 函数将是全周期的。周期函数的 T 可以由以下函数给出:

$T=1/(2\pi\nu)$ 。并且为了简化公式,将角度函数 ω 定义为 $\omega=2\pi\nu$ 。对于使用波长 λ 的 $\sin$ 函数,用以下的公式: $k=2\pi/\lambda$ 。通常使用: $\sin\omega t$ 和 $\sin kx$ 。

- 一般,电磁波 C 和它的波长及频率有以下关系: $C=\lambda\nu$ 。其中的 C 即为光子在真空中的速率。此外,对于电磁波来说,能量(E)和频率(ν)具有以下关系: $E=h\nu$ 。这里的 h 为普朗克常数(量子理论)。
- 量子理论认为电磁线可以看作是由颗粒(光子)组成的。每个光子有自己的 $h\nu$ 。高能量电磁波如 X 射线及 γ 射线,通常在同物体相互作用时更多的表现为光子;而低能量电磁波的描述则通常用波的概念。

相干性(coherence)

- 波的一种性质。若一波源发出的基波波长相等,且波峰和波谷出现在同一时间和同一位置,即其相位相同,则这些波为相干波。
- 放射性相干波有激光、MR 和超声波。X 线和 γ 射线的发生是一个随机过程,故它们不是相干波。
- 在应用相干波源的成像模式中,波的相位也承载了成像信息,例如 MR 成像的相位图像中的运动。

爱迪生效应(Edison effect)

- 当灯丝被加热(如 X 线球管的阴极),在灯丝的周围将形成电子云,通过热电子发射而获得自由,这些自由电子在真空管中将被正极吸引而移动,形成连续的电流。这种现象称为爱迪生效应。
- 爱迪生效应在 1881 年被爱迪生(Thomas Alva Edison, 1847—1931 年,美国发明家)发现。

X 线的发现(discovery of x-ray)

- 1895 年 11 月 8 日,当威廉·康拉德·伦琴用一个高真空玻璃管和一台能产生高压的小型机器做实验时,发现了 X 线。
- 第一张 X 线照片是伦琴说服自己的夫人作为实验者,于 1895 年 11 月 22 日拍摄的手部的照片。
- 伦琴是一名德国物理学家,1901 年被授予诺贝尔物理学奖。伦琴于 1923 年 2 月 10 日

逝世。

阴极射线(cathode ray)

- 即电子线,其产生途径有二:一是来自真空管内被加热的阴极;二是低压放电式 X 线管阴极前方气体原子电离。产生的电子被朝向阳极加速。
- 这一过程在 X 线管中即可产生 X 线。

电子束(electron beam)

- 电子束为在 X 线管中从阴极到阳极的电子流。从阴极灯丝产生的电子在高电压条件下被聚焦槽轰击到阳极靶面上。
- 电子的宽度为 0.3~1mm,高度为 1~4mm,取决于希望得到的焦点尺寸。

X 线产生(x-ray production)

- X 线是由能量的转换而产生的。
- 在使用 X 线成像时,利用高能电子轰击(电子电离)金属靶面,产生 X 线。也就是说,X 线是在 X 线管中产生的。
- X 线管之所以能产生 X 线,还必须具备 3 个条件:电子源、高速电子的产生、电子的骤然减速。

X 线性质(nature of x-ray)

- X 线是高能电子与物质相互作用时产生的高能电磁辐射线。它与无线电波、可见光、 γ 射线一样具有一定的波长和频率。也就是说,X 线的本质是一种电磁波(electromagnetic wave)。由于 X 线光子能量很大,可使物质产生电离,故又属于电离辐射线。
- X 线具有二象性——微粒性和波动性,这也是 X 线的本质之一。X 线在传播时表现了它的波动性,具有频率和波长,并有干涉、衍射、反射和折射现象;X 线在与物质作用时表现出粒子性质,每个光子具有一定能量,能产生响应的效应,如光电效应、康普顿效应等。

X 线特性(properties of x-ray)

- 物理效应(physics effect):体现为穿透性(penetrability)、荧光作用(fluorescent effect)、热作用(heat effect)、干涉(interference)、衍射(diffraction)、反射(reflection)、折射(refraction)作用、电离作用(ionization)。

- 化学效应(*chemical effect*):感光作用(*sensitizing effect*)、着色作用(*shading effects*)。
- 生物效应(*biological effect*):生物细胞在一定的X线照射下,可产生抑制、损伤、甚至坏死。

轫致辐射(*bremsstrahlung radiation*)

- 电磁场使带电粒子动量改变时发射的电磁辐射,称为轫致辐射。
- 轫致辐射又称连续辐射(*continuous radiation*),在X线摄影范畴内经常称作连续X线(*continuous x-radiation*)。轫致辐射是医用X线的重要辐射形式。
- 进一步解释,当高速电子接近原子核时,带负电荷的电子由于受核电场(正电荷)的吸引,而偏离原来的方向。在方向改变时,电子因丢失能量而减速。此时电子所丢失的能量以电磁辐射的形势释放出去,此称为轫致辐射。这样产生的X线称为连续X线。
- 电子在核电场减速以及所放射的X线光子的能量,决定于电子接近核的情况;电子的能量、核电荷。

连续X线能谱(*continuous x-ray spectrum*)

- 连续X线能谱将随管电压升高而变化。
- 管电压升高时,最短波长向短波一侧移动;管电压升高时,强度曲线向短波一侧移动;管电压升高时,最强波长向短波一侧移动;管电压升高时,产生的X线总能量将以管电压二次方比例增大。
- 阳极靶物质的原子序数大时,X线总能量增大;X线总能量将随管电流的增大而提高。

特征辐射(*characteristic radiation*)

- 特征辐射(放射)或称标识辐射(*characteristic radiation*)是高速电子冲击靶物质内层轨道电子而产生的。
- 高速电子击脱靶原子的内壳层轨道(K层)电子,当外壳层(L或M)电子跃迁填充空位时,其多余的能量以X线的形式放出,此即特征辐射或称特性X线(*characteristic x-radiation*)。
- 特征辐射(放射)也可以解释为速电子发射后能够在原子的某一壳层上产生空穴的电磁辐射。

- 字母K、L等也可加上希腊字母 α 、 β , α 表示相邻两壳层之间的电子跃迁(如L层到K层、M层到L层), β 表示非相邻两壳层之间的电子跃迁(如M层到K层、N层到K层、N层到L层)。这样 $K\alpha$ 辐射的能量将比 $K\beta$ 辐射的能量低。即使在同一壳层的不同电子之间其能量也是不同的,其所导致的不同特征辐射能以以下标1、2、3来区别。这样K特征辐射就有多种可能,如 $K\alpha_1$ 、 $K\alpha_2$ 、 $K\beta_1$ 等。
- 由于特性X线是在原子内层轨道电子跃迁中产生的。因此,无论产生电子空位的原因如何,也无论造成这种空缺的冲击电子的能量大小,只要能造成空缺,则产生的特性X线都是一样的。

“特性”的称谓是基于特定元素电子在原子中的结合能是唯一的。因此,结合能的差异也是唯一的,这是该元素具有的一个“特性”。

- 特性X线的波长取决于跃迁的电子能量差,与管电压无直接关系,它决定于靶物质的原子序数。
- 在X线诊断能量范围内,特性线产生的几率与管电压的关系大致为:70kV以下不产生K特性X线;80~150kV K特性X线占10%~28%;150kV以上特性X线减少。

边缘吸收(*absorption edge*)

- 当一个具有稍高于原子特定轨道上电子结合能的光子与该轨道电子相撞时,衰减曲线会出现一个不连续的变化。
- 光子与该轨道电子相互作用而原子电离。当光子能量大于原子内电子的结合能时,衰减系数就会突然增加,又称K缘吸收。

临界吸收波长(*critical absorption wavelength*)

- 若一光子能量恰好等于一个原子的电子结合能,则此光子对应的波长即为临界吸收波长。
- 在吸收曲线上,此能量处会出现中断,这种中断常称为“边缘”,如K边缘、L边缘等。

X线的不均等性(*x-ray disparity*)

- 诊断用X线为连续X线与特性X线的混合,主要为连续X线。
- 连续X线的波长由最短波长($\lambda_{\min}$)到长波长领域有一个很广的范围,这种X线称为不均

等X线。

- 不均等X线由于滤过板的使用,长波长领域的X线被吸收,成为近似均等X线。这种均等度以不均等度 h 或 ω 表示。

$h = H_2/H_1$ (H_1 :第1半值层, H_2 :第2半值层)或 $\omega = \lambda_{eff}/\lambda_0$ (λ_0 :最短波长, λ_{eff} :有效波长)。均等X线场合下, $h=1$, $\omega=1$; 不均等X线时, $h>1$, $\omega>1$ 。

- 有效波长(*effective wave length*):单一能量波长的半值层等于连续X线的半值层时,此波长称作有效波长(λ_{eff})。
- 有效电压(*effective voltage*):产生有效波长的最短波长的管电压,称作有效电压。

$$\lambda_{eff} (kV) = 1.24/V_{eff}(nm)$$

- 有效能量(*effective energy*):将有效电压用能量单位(keV)表示时,此能量为有效能量(或等效能量)。

最短波长(*minimum wavelength*)

- 如果一个电子与原子核相碰,其全部动能转换为X线光子,其最短波长为: $\lambda_{min} = hc/V$ (kV) = $1.24/V(nm)$ 。波长的单位是 nm 或 $\text{\AA}$, $1nm=10^{-9}m$, $1\text{\AA}=10^{-10}m$ 。
- 例如,当100kV管电压激发下的电子与原子核相碰,其全部动能转换为X线光子时,其最短波长为: $\lambda_{min} = 12.4 \times 10^{-10}/100kV = 0.124 \times 10^{-10}m = 0.0124nm = 0.124\text{\AA}$ 。

埃(*angstrom unit*)

- 埃(*Anders Angstrom*, 1814—1874年,瑞典物理学家)为距离单位, $1\text{\AA} = 10^{-10}m = 10^{-8}cm$ 。

有效波长(*effective wavelength*)

- 单位吸收体吸收的多能X线光子等同于单能光子能量的数值。
- 有效波长可以从吸收的光子数量(光子频率)和吸收的光子能量(能量频率)两方面来定义。

X线产生的效率(*efficiency of x-ray production*)

- 产生X线的能量(功率)与高速电子流的能量(功率)之比称为X线产生效率(η):

$$\eta = X\text{线能量}/\text{高速电子流能量} = K \cdot V^2$$

$$ZI/VI = KVZ(\%)$$

式中 V ,管电压; Z ,靶物质原子序数; I ,管电流; K ,系数。

- 在X线摄影领域内, $K=1.1 \times 10^{-9}$ 。例如管电压100kV,靶物质为钨(W)原子序数74时,X线产生效率 $\eta=0.8\%$,而99.2%则为产生的热量。

X线质(*x-ray beam quality*)

- 一种衡量X线穿透能力的表示。
- X线质有以下几种表示方法。

(1)半值层(*HVL*):使X线强度衰减到初始值一半时,所需的标准吸收物质的厚度。它反映了X线束的穿透力,表征X线质的软硬程度。

(2)电子的加速电压(管电压)。

(3)有效能量:在连续X线情况下使用这一概念。

(4)软射线与硬射线:将低能量X线称为软射线,高能量X线称为硬射线。

(5)X线能谱分布:它表示了X线的波长分布或能量分布。此分布将根据X线管固有滤过、附加滤过、管电压、管电流、整流方式等因素而变化。

峰值电压(*kilovolt peak, kVp*)

- 在X线球管阴阳极之间使用的加速电压峰值,该值不是连续的,而是随着时间的变化而变化。 kVp 表示电子到达阳极时电子所具有的能量,也是韧致辐射产生的多数X光子的能量。
- 韧致辐射产生X光子的效率随着 kVp 的增加而增加,换言之X线球管的输出增加。如果 kVp 大于X线球管靶物质电子的结合能,电子就会脱离其轨道层而产生特征辐射。
- 对于给定 kVp 产生的X线是一个广泛的能谱,最大能量与 kVp 成正比。但是低能光子数总是大于最高能光子数。X线束的平均能量也低于 kVp ,然而平均能量会随着 kVp 的增加而增加,光束的穿透能力也会增加。
- 总而言之,X线影像的对比度会随着 kVp 的增加而降低。使用金属附加滤过吸收掉低能X线会使X线束的平均能量增加。

X线强度(*x-ray beam intensity*)

- X线强度是垂直于X线束的单位面积上,在单位时间内通过的光子数和能量的总和,即线束中的光子数乘以每个光子的能量。
- 在实际应用中,常以量与质的乘积表示X线强度。量是线束中的光子数,质则是光子的能量(也称穿透力)。连续X线能谱中每条曲线下的面积表示连续X线的总强度。
- X线强度受管电压、管电流、靶物质及高压波形的影响。X线强度的增加与管电压的平方成正比。管电流的大小并不决定X线的质。但是,在管电压一定的情况下,X线强度决定于管电流。X线光子能量取决于X线的最短波长,即决定于管电压的峰值。当整流后的脉动电压越接近峰值,其X线强度则越大。

X线强度的分布(x-ray intensity distribution)

- X线管产生的X线,在空间各方向上的分布是不均匀的,即在不同的方位角上X线强度是不同的。这种不均匀分布称为辐射强度空间分布或辐射场的角分布。
- X线强度的分布主要取决于入射电子的能量、靶物质、靶厚度等因素。
- 诊断用X线管均为厚靶X线管,其强度的分布特点为阴极端的强度大于阳极端,而阳极端的有效焦点面积小于阴极端,此即所谓的“足跟效应”(heel effect)。

线束(beam)

- 电磁辐射或超声的传导方向,从X线管发出来的X线由准直器限制成型的一束X线。

软射线(soft radiation)

- 仅能穿透较薄物质的X线,例如 α 粒子或低能X线。
- 在X线诊断领域内,一般将软射线定义在15~25keV的能量上,它是应用在乳腺X线摄影的X线能量。
- X线的硬度通过给定的物质的厚度来特性化。

线质硬化(beam hardening)

- 使混合X线束在穿透物体时具有更大的穿透力或更硬的现象,此即线质硬化。
- 医用X线束是能谱较宽的混合X线。与硬

质X线相比,软质X线更易被吸收衰减。因此,线质硬化就是从X线束中将软线部分去除,然后线束穿透力会变强或更硬。线束变硬的量取决于原始X线能谱和衰减物质。但当原始X线能谱和衰减物质类型选定以后,线质硬化只能取决于衰减物质的厚度。

单能X线(monoenergetic x-ray)

- 仅含一种能量的X线光子束。
- 诊断X线属韧致辐射,故是混合能谱。特征辐射,具有特定的波长,能量对应于不同的电子壳层的结合能的差异。

X线与物质的相互作用(x-ray interaction with matter)

- 一个物体的原子与入射X线光子之间产生的可能的相互作用。
- X线与物质的相互作用形式:相干散射、光电效应、康普顿效应、电子对效应、光核反应等。诊断用X线领域,主要涉及光电效应和康普顿效应。
- 在用于诊断成像的能量下,仅产生两种相互作用,即吸收或散射。

相干散射(coherence scattering)

- 低能量X线(如10keV)与物质相互作用能发生干涉的散射过程,称为相干散射。
- 在此过程中,一个束缚电子吸收入射光子能量跃迁到高能级,随即放出一个能量等于入射光子能量的散射光子。由于电子未脱离原子,故光子能量损失可忽略不计,相干散射不产生电离过程。
- 在X线诊断能量范围内,相干散射产生的几率只占5%。

经典散射(classical scattering)

- 经典散射指瑞利(Rayleigh)散射和汤姆森(Thomson)散射,二者都是相干散射,即光子在其运动方向上经历一次改变而波长不变。
- 汤姆森散射中是一个电子参与相互作用,而瑞利散射中原子的所有电子都参与了相互作用。这两种散射都可依照波动粒子的相互作用理论加以描述。
- 在X线与物质的相互作用中这是唯一的一种既无能量转移又无被辐射原子电离的

类型。

光电效应 (photoelectric effect)

- X线光子与构成原子的内壳层轨道电子碰撞时,将其全部能量都传递给原子的壳层电子,原子中获得能量的电子摆脱原子核的束缚,成为自由电子(光电子),而X线光子则被物质的原子吸收,这一过程称为光电效应,也可称光电吸收(photoelectric absorption)。
- 光电效应的产物有特性放射、光电子和正离子。X线光子与吸收物质之间,若全部都产生光电效应,则有80%的吸收是产生在K轨道。因为,用于摄影的X线在25~150keV范围。所以,对于人体不产生选择吸收。由于骨有效原子序数高于软组织的有效原子序数,按光电吸收与原子序数3次方成正比的关系,骨比软组织的光电吸收系数大。
- 光子能量与电子结合能必须“接近相等”(稍大于)才容易产生光电效应。光子能量过大,反而会使光电作用的几率下降。实际上,光电效应大约和能量的三次方成反比。
- 由于光电效应发生几率和原子序数的三次方成正比,它说明X线摄影中的3个实际问题:不同密度的物质能产生明显对比影像;密度的变化可明显的影响到摄影条件;要根据不同密度的物质,选择适当的射线能量。
- 光电效应在X线摄影中的意义在于:光电效应不产生有效的散射,对胶片不产生灰雾;光电效应可增加射线对比度;在光电效应中,因为光子的能量全部被吸收,使患者接受的照射量比任何其他作用都多,为减少对患者的照射,在适当的情况下,要采用高能量的射线。

康普顿效应 (Compton effect)

- 康普顿,1892—1962年,美国物理学家,1927年诺贝尔奖获得者。
- 康普顿效应也称散射效应或康普顿散射(Compton scattering)。当一个光子击脱原子外层轨道上的电子时,入射光子就被偏转以新的方向散射出去。光子的能量一部分作为反跳电子的动能,而绝大部分是作为光子散射。

- 一个光子被偏转以后,能保留多大能量,由它的原始能量和偏转的角度来决定。偏转的角度愈大,能量的损失就愈多。散射光子的方向是任意的,光子的能量愈大,它的偏转角度就愈小。但是低能量的光子,在散射效应中,向后散射的多。
- 在X线摄影用(40~150kV)能量范围内,散射光子仍保留大部分能量,只有很少的能量传给电子。
- 在X线摄影中所遇到的散射线,几乎都是来自这种散射。因为散射吸收是光子和物质相互作用中的主要形式之一,所以在实际工作中我们无法避免散射线的产生,而只能设法消除或减少它的影响。

电子对产生 (pair production)

- 在原子核场或原子的电子场中,一个入射光子突然消失而转化为一对正、负电子,这一产生过程称为电子对产生。
- 电子对产生在原子核场中发生的几率远大于电子场。
- 在原子核场中产生的电子对,要求入射光子能量 $h\nu \geq 2mc^2$ (1.02MeV)。
- 在X线诊断能量(20~100keV)范围内,不存在电子对产生。

光蜕变 (photodisintegration)

- 一个10MeV或以上的高能量光子冲击物质的原子核时,其能量被原子核吸收的同时,也会释放出原子核片段,此称为光蜕变。
- 在X线诊断能量(20~100keV)范围内,不存在光蜕变的产生。

电磁辐射 (electromagnetic radiation)

- 能量以电磁场中电磁波和光子(量子理论中说明两者选一)的形式在空间传播,称为电磁辐射。
- 电磁辐射的范围从几百米(长波)到非常短的波长(10^{-10} m或更短)。光子能量在1电子伏特以上[即 $>100 \sim 1\,000\text{eV}$]的电磁辐射称为电离辐射。因为,它移去原子核中的电子而产生离子对。
- 频率在 $(4 \sim 8) \times 10^{-7}\text{m}$ 的电磁辐射是可见光。在可见光以下的称为红外线、微波及无线电波,并且可以为人类所感知。