

# 医用X线的防护



# 医用X线的防护

郑 钧 正 编

张 景 源 审

人 民 卫 生 出 版 社

**医用 X 线的防护**

**郑 钧 正 编**

**人 民 卫 生 出 版 社 出 版**

**人 民 卫 生 出 版 社 印 刷 厂 印 刷**

**新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行**

**787×1092毫米32开本 4 $\frac{1}{2}$ 印张 97千字**

**1980年7月第1版第1次印刷**

**印数：1—12,600**

**统一书号：14048·3837 定价：0.35元**

## 前 言

随着我国医疗卫生事业的发展，医用X线技术已经广泛地普及应用。为了促进医用X线技术在防病治病中更好发挥作用，同时又尽量避免X线可能带来的危害，必须认真搞好医用X线的防护。

加强X线防护知识的宣传教育，对推动搞好医用X线的防护是很重要的。在研究制定有关放射卫生防护标准和开展医用X线的防护工作中，不时听到各地迫切希望能见到专门介绍医用X线防护的新书的呼声。尤其在贯彻执行有关放射卫生防护标准中，这一需要显得更突出了。

这本小册子就是为适应一部分上述需要而编写的。本书力图针对实际存在的一些问题，简明扼要地阐述与医用X线防护有关的基本知识。希望能够对有关人员领会放射卫生防护标准的精神，指导搞好医用X线的防护有所帮助。

医用X线的防护涉及面颇广。其中与之关系更为直接和密切的是放射卫生防护专业人员和医用X线工作者（包括放射科医师、技师等），本书即以他们为主要对象。当然，各科临床医师，与医用X线机的生产、使用和防护管理有关的人员，都有必要了解掌握一定的X线防护知识，本书也可供这些同志参考。

关于X线的物理学基础和辐射防护剂量学基础是掌握X线防护知识的必要前提，所以本书占一定篇幅概述这些问题。

医用X线工作者当然已经熟悉了X线在医学上的应用，而这些内容也是放射卫生防护人员应该有所了解的，特别应

知道发展动向等，以有利于搞好防护工作。

电离辐射的生物效应是制定放射卫生防护标准的重要依据。了解辐射效应和放射损伤方面的发展情况，对认识X线的规律，对领会放射卫生防护标准的精神，以及掌握卫生预防措施是很有益的。

有关放射卫生防护标准和医用X线防护的具体原则是本书的重点。在医用X线的防护中，必须重视被检者和患者的防护，因此正文最后一部分专门强调了这个问题。

对X线防护的认识，应该以辩证唯物主义观点为指导。既要充分利用X线造福于人类，又不可忽视其可能带来的危害。而X线可能引起的危害往往是与一定大小的剂量相联系的，既不能麻痹大意，也不必盲目恐惧。随科学技术的发展，放射损伤的规律是可知的，X线的危害是可防的。只要认真注意改善设备的防护性能，坚持搞好防护安全操作，并加强防护管理，以正确合理使用X线，则完全可以控制其危害，更好发展其应用。当然，辐射效应的规律和放射损伤的防治有其特殊性，有些问题还有待于更进一步研究揭晓，因此宜慎重对待X线的防护。

由于作者水平所限，以上主观意图并不一定能在书中很好体现。书中也必定会有缺点或错误，恳请广大读者批评指正。

本书承我所副所长张景源同志指导和审阅，并得到所内外有关同志的热情帮助，谨此表示诚挚的谢意。

**中国医学科学院放射医学研究所 郑钧正**

# 目 录

一、引言 .....	1
二、X线的性质 .....	2
原子结构 .....	2
X线的产生 .....	5
X线的特性 .....	9
X线与物质的相互作用 .....	11
三、X线的测量 .....	14
X线的量与质 .....	14
辐射量及其单位 .....	16
场所辐射监测 .....	23
个人剂量监测 .....	26
四、X线在医学上的应用 .....	29
X线透视 .....	29
X线摄影 .....	30
造影检查 .....	33
X线诊断技术的新进展 .....	34
X线在治疗方面的应用 .....	39
五、X线对人体的危害 .....	42
放射损伤概述 .....	42
影响辐射效应的因素 .....	44
慢性外照射放射病 .....	47
远期效应 .....	49
关于慢性小剂量辐射效应的估价 .....	55
六、放射卫生防护标准 .....	57
剂量控制限的变迁 .....	57

国际放射防护委员会的新建议·····	60
有关放射防护的规定·····	63
医用诊断 X 线防护的剂量控制原则·····	65
七、X 线的屏蔽防护·····	68
X 线防护的基本原则·····	68
X 线的减弱规律·····	69
屏蔽防护材料·····	79
屏蔽防护计算·····	82
八、医用诊断 X 线的防护·····	95
X 线机的防护性能·····	95
X 线机房的防护设施·····	102
旧 X 线机的防护改进·····	104
防护安全操作·····	109
九、医用治疗 X 线的防护·····	113
十、被检者和患者的防护·····	118
医疗照射与全人口剂量负担·····	118
被检者和患者防护的一般原则·····	128
附录 I 国际单位制词冠·····	135
附录 II 常用单位的换算·····	136
附录 III 若干有关的物理常数·····	137
附录 IV 质量能量吸收系数·····	138
附录 V 一些国际组织的有关报告目录·····	139

## 一、引 言

1895年，德国物理学家伦琴在进行阴极射线管实验时，出乎意料地发现了一种看不见的“光线”。它能穿透许多物质，还能使铂氰化钡发出荧光。由于当初对这种射线还不够了解，便借用数学上代表未知数的符号，给它起了个奇特的名字——X线。后来，人们为了纪念伦琴的功绩，亦称X线为伦琴射线。

X线发现后，第二年便首先在医学上开始了应用。现在，它不仅成为诊断、治疗疾病的一种不可缺少的重要手段，而且在物质结构分析、工业无损探伤等方面的科学研究和生产实践中，发挥了很大作用。然而X线在医学上的应用仍是面广量多的一个重要方面。随着电工技术、电子学技术和医学科学的发展，医用X线技术不断有新的飞跃。同时它又丰富了近代医学，有力地促进了医学的发展。

任何事物都是一分为二的。X线既可用于造福人类，又有可能给人带来辐射危害。在X线刚发现不久，X线管的制造者格鲁贝的手就发生了特异性皮炎。当时，由于对射线的生物学作用尚不清楚，缺乏防护知识和措施，早期X线发生装置又较简陋，因而先后引起了一些较重的放射损伤事故。

虽然X线存在着对人体有害的一面，但人们绝不会因噎废食而抛弃它，相反更促使人们研究其规律，控制其危害，发展其应用。数十年应用X线的实践中，正反两个方面的经验，使人们对X线的认识不断从必然王国向自由王国发展。

X线的特殊命名所包含的未知数成分已经逐步被揭晓，放射



卫生防护标准的研究制定工作不断深入，搞好防护的重要性日益受到人们的重视，从理论到实践已探索出许多更好利用X线并防御其危害的好办法。事实证明，世界上的事情，总是一物降一物，有一个东西进攻，也有一个东西降它。X线可能造成的危害并不可怕，关键在于认识其本质，掌握其规律，贯彻预防为主方针，认真搞好防护，防患于未然。

只有搞好医用X线的防护，才能很好地发展和利用医用X线技术。同时，搞好医用X线的防护，不仅关系到保障医用X线工作者的健康与安全，而且关系到保障被检者和患者以至广大群众的健康与安全。从电离辐射的遗传效应考虑，这还是关系到保护子孙后代的事情。

要搞好医用X线的防护，不但要认识到搞好防护的意义，更重要的是必须掌握基本的防护知识。比如搞清楚X线的性质特点，懂得X线的防护监测，了解X线的应用与危害，领会放射卫生防护标准的精神实质和有关规定，掌握屏蔽防护和其它具体防护原则等。这些内容将逐一扼要介绍于后。

## 二、X线的性质

### 原子结构

自然界存在的一切物质，都是由各种不同的元素组成。迄今已知的元素有107种。元素的基本单位是原子。原子的直径仅约 $10^{-8}$ 厘米。若将1亿个原子逐个紧挨着排列，只不过约1厘米长。

但是，原子决不能被看作简单的东西或已知的最小粒子。所有的原子都类似一个小行星系，中心是一个原子核，周围有

绕核运转的电子。原子核又可分为质子和中子。质子和中子质量差不多一样，而电子的质量仅为质子质量的  $1/1840$ 。所以原子的质量几乎全集中于原子核。可是原子核却只占据整个原子的极小一部分空间，其直径不及原子本身直径的  $1/10000$ 。电子带负电荷，一个电子所带的电荷为  $1.6 \times 10^{-19}$  库仑，通常用字母  $e$  表示。中子不带电。质子带一个正  $e$  电荷。完整的原子中，其电子数目和质子数目相等，因此整个原子是中性的。

各种原子的结构虽然都很相似，但组成原子的质子、中子和电子数目不同，因而决定了各种原子具有不同的性质。一般用符号  ${}^A_Z X$  表示原子的结构，其中  $X$  代表元素的化学符号； $Z$  称原子序数，等于原子核中的质子数，亦即绕核运转的电子数； $A$  为质量数，等于原子核中的质子和中子的总数；中子的数目就是  $A-Z$ 。

由于原子核与电子之间相互作用力的制约，原子核周围的每一个绕行电子都有它自己的一定轨道，这些确定的轨道组成一系列壳层，这一个个壳层即能级。最靠近原子核的叫  $K$  壳层，顺序往外称  $L$ 、 $M$ 、 $N$ 、 $O$ 、 $P$ 、 $Q$  壳层。这 7 个壳层也可对应用主量子数  $n=1\sim 7$  表示，每个壳层上绕行的电子数的最大限值正好为  $2n^2$ 。如图 2-1 所示，氢原子 ( ${}^1_1\text{H}$ ) 结构最简单，核内有 1 个质子，核外仅  $K$  壳层上有 1 个电子。铝原子 ( ${}^{27}_{13}\text{Al}$ ) 核内有 13 个质子和 14 个中子，核外 13 个电子在  $K$ 、 $L$  壳层上均按壳层最大限值填满了 2 个和 8 个电子， $M$  壳层上尚有 3 个电子。

在某一轨道上绕行的电子具有与该能级相应的一定能量， $K$  壳层的电子能量最低，越往外层的轨道电子能量越高。电子可以吸收外来的能量，从能量较低的轨道跃迁至能量较

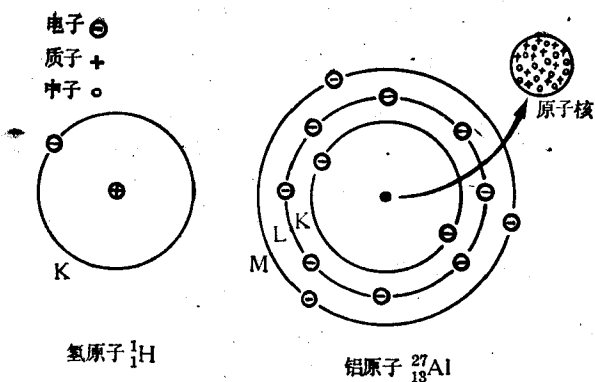


图 2-1 原子结构示意图

高的轨道，这种现象叫做激发。反之，如果能量较低的轨道缺少电子时，位于能量较高轨道的电子也可以跃迁到这能量较低的轨道，而该电子多余的能量一般就以电磁波(光子)辐射出来。电磁波的波长  $\lambda$ 、频率  $\nu$  和两个轨道能级( $E_n$ 、 $E_{n'}$ )的关系为：

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = E_n - E_{n'}$$

式中  $h$  为普朗克常数， $c$  为光速。

如果外来的能量足够大，可以使得轨道上的电子脱离原子核的吸引力而自由运动，或者也可使电子附加到另外的原子上。于是中性的原子变成了带正电或负电的离子。离子所带电荷的多少取决于失去或得到电子的数目。这种形成正负离子的过程称电离。图 2-2 形象地表示一个原子在致电离粒子作用下引起的电离过程。电离作用是射线的基本特性。

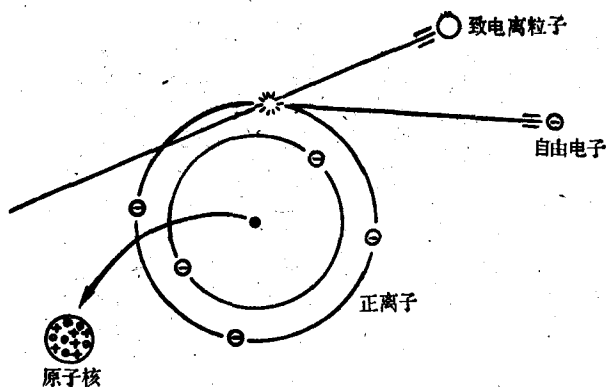


图 2-2 一个原子的电离

## X 线的产生

自从八十多年前伦琴发现 X 线后，人们努力研制产生 X 线的设备，找到了每当一物体被高速电子轰击时就产生 X 线的规律，很快制成了第一支气体电离 X 线管。

X 线管可谓 X 线机的核心，是产生 X 线的关键部件。为了获得性能稳定又便于调节的 X 线，以及适应 X 线应用的新需要，X 线管在实践中不断得到改进和发展。本世纪初改用了  $45^\circ$  倾角的阳极靶面的气体电离管；1913 年发明了热阴极 X 线管；二十年代采用了双焦点固定阳极 X 线管；三十年代旋转阳极管问世，并迅速发展了大功率、高毫安的 X 线管。

现在所用的 X 线管多属高真空热阴极电子式。一种最简单的装置如图 2-3 所示。普通的 X 线管有一个阳极和一个阴极，密封于高真空的玻璃管内。阳极通常是一粗大的铜棒，其端面装有小钨靶。阴极是装于一个浅的聚焦杯中的钨丝。钨的熔点高达  $3410^\circ\text{C}$ 。当灯丝电源接通，灯丝被充分加热，

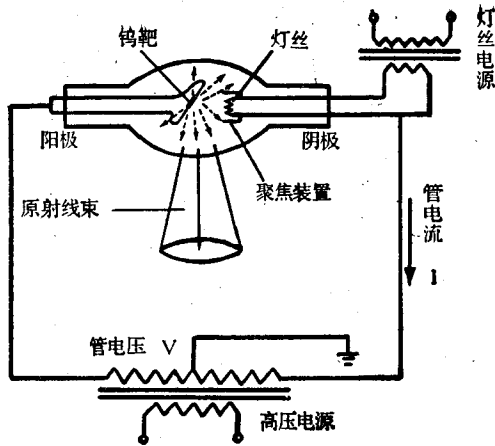


图 2-3 X 线管及其基本电路示意图

温度可升高到白热的程度，于是发射出足够数量的电子。这时如果在阳极和阴极间加上高电压  $V$ ，且以阳极为正电性时，则电子被加速通过真空管而达到很高速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡便发射出 X 线。通过 X 线管的窗口可得到有用的原射线束。管电压  $V$  也称加速电压或激发电压。

由此可见，X 线管产生 X 线必须具备下列条件：要有足够数量的高速运动的电子；有一个能经受高速电子撞击而产生 X 线的靶；还应该有一个真空度较高的空间，以使电子不受气体分子阻挡而降低能量，同时保护灯丝不致氧化而烧毁。灯丝发射的电子只有在 X 线管加上高电压后才能获得高速运动。显然，单接通灯丝电源如没有加上管电压还是产生不了 X 线的。

X 线管中高速运动的电子撞击阳极靶面时，仅小于 1% 的能量变为 X 线，绝大部分的能量变为热能。所以 X 线管工

作时，伴随着X线的产生，阳极靶面温度也急剧升高，这部分热量的散失成了突出问题。虽然治疗用X线管还用循环冷却油帮助散热，但X线管也不可能长时间连续工作。

高速运动的电子束撞击阳极靶产生的X线有轫致辐射和标识辐射两种类型。

图 2-4 是轫致辐射的示意图。能量为  $E$  的电子撞进靶原子核附近，在靶原子核电场作用下，改变了运动速度和方向，电子能量减为  $E - h\nu$  而离开碰撞点。该电子所损失的能量  $h\nu$  变为轫致辐射。受加速撞击靶的电子束中，各电子获得的能量不一，同时与靶原子相互作用损失的能量也各不相同，因此轫致辐射具有连续的能量分布。X线光子的能量从零一直到一个最大值。这个最大值取决于加速电压  $V$ 。

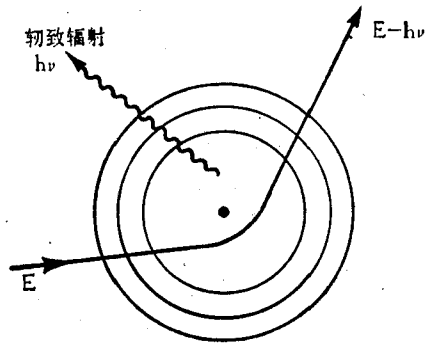


图 2-4 轫致辐射示意图

$$h\nu_{\text{最大}} = eV$$

能量最大的光子对应于波长最小，则有

$$\lambda_{\text{最小}} = \frac{c}{\nu_{\text{最大}}} = \frac{hc}{eV}$$

光子的波长一般用埃(代号  $\text{\AA}$ ， $10^{-8}$  厘米)作单位。上式普朗克常数  $h$ 、光速  $c$  和电子电荷  $e$  取相应单位制代入可得：

$$\lambda_{\text{最小}}(\text{埃}) = \frac{12.4}{V(\text{千伏})}$$

由此式可方便地求出由一定的管电压  $V$  所产生的 X 线的最短波长  $\lambda$  最小。

标识辐射如图 2-5 所示。能量为  $E$  的电子撞击靶原子时，打出一个 K 壳层电子，损失的能量为  $\Delta E$ 。 $\Delta E$  一部分用于克服 K 层电子同核的结合能，另一部分即 K 层电子脱离轨道后具有的能量  $E_1$ 。由于 K 层电子被逐出留有空位，则其它壳层电子如 L 层电子就跃迁来填补空位，多余的能量就以标识 K 辐射释出。因为 L 层与 K 层的能级差一定，所以 K 辐射的能量是特定的。依此类推，如果相互作用涉及 L 层电子，就产生标识 L 辐射。标识辐射的谱线各有一定的波长，具有靶原子的特征，也叫特征辐射。

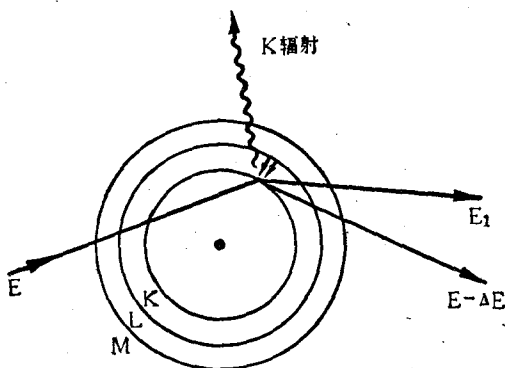


图 2-5 标识辐射示意图

因此，X 线谱是由连续分布的韧致辐射上叠加标识谱线构成，如图 2-6 所示。 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  分别为对应于不同管电压  $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$  的最短波长。X 线的强度也随加速电压  $V$  变化，但标识辐射的波长总是一样的。当管电压  $V$  较小时，被加速的电子所获得的能量不足以击出靶原子内壳层电子，所以

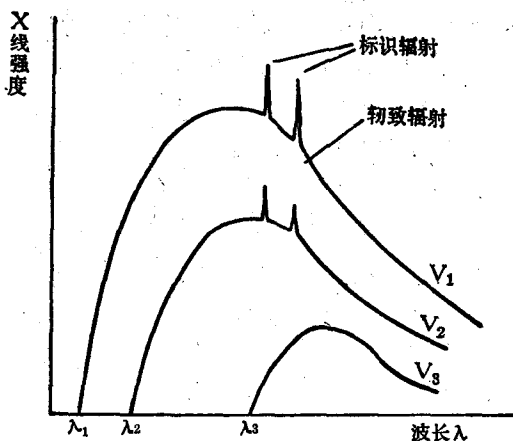


图 2-6 X 线谱示意图

没有标识辐射。

### X 线的特性

X 线与无线电波、红外线、可见光、紫外线及  $\gamma$  线一样，也是一种电磁辐射。同样具有波动性和粒子性。在电磁辐射谱中，它的波长介于紫外线与  $\gamma$  线之间，约为  $10^2$  埃至  $10^{-3}$  埃。通常用于诊断的 X 线的波长约 1 埃至  $10^{-2}$  埃，治疗用 X 线波长可更短。X 线也可看为一种电磁振荡的中性粒子束。每个 X 线光子具有一定的能量  $E = h\nu$ ，并以光的速度直线传播。同时服从光的反射、折射、散射和衍射等一般规律。

X 线的基本特性可概括为以下几方面：

#### (一) 物理效应

(1) 穿透性。X 线的波长短，即能量大，故穿透力强。X 线的穿透性与物质的性质、结构有关。一般高原子序数的物质，密度大，吸收 X 线多，穿透性差。如人体组织中，密度



最大的是骨骼，骨含钙质近70%，钙的原子序数20，比较高，所以骨骼吸收X线最多，属不透过性组织；各种软组织（包括结缔组织、肌肉、软骨等）以及体液，是由氢、碳、氮、氧等低原子序数的原子组成，它们的比重同水差不多，属于中等透过性组织；脂肪组织的原子成分和软组织相似，但排列稀疏，密度比软组织小些，X线的透过性较好；体内肺部、胃肠道、鼻旁窦及乳突内等均含有气体，气体虽然也是由氮、氢、氧等组成，但排列非常稀疏，所以密度最小，吸收X线很少，透过性最好。

显而易见，X线的穿透性还与X线的波长、被穿透物质的厚度有关。波长愈短的X线，穿透力愈强。物质厚度愈小，X线被吸收得愈少，穿透的就愈多。

(2) 荧光作用。X线是肉眼看不见的，但当它照射某些物质时，却能够引起发出荧光。这类物质称荧光物质，如磷、铂氰化钡、硫化锌、钨酸钙、次硫酸钆、次硫酸镧等。荧光物质受到X线照射，则物质原子受激与电离，当恢复常态时，便放射出位于电磁辐射谱中可见光和紫外线之间的荧光。X线机上的荧光屏和增感屏就是利用这一特性制成的。

(3) 电离作用。物质受X线照射将引起电离。图2-2已经描述过电离作用。具有足够能量的X线光子不仅可击脱物质原子的轨道电子产生一次电离，脱离了原子的电子又与其它原子碰撞，还会产生二次电离。电离作用对X线的测量和应用具有重要意义。

## (二) 化学效应

X线同日光一样，可使摄影用的胶片感光。胶片乳剂中的溴化银受X线照射感光，经化学显影，还原出黑色的金属银颗粒。黑度取决于感光程度。因而利用X线的穿透性和感