

LINCHUANG
FANGSHEXIAN
FANGHU

山东科学技术出版社

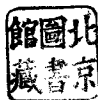
临床放射线防护

14
3

临床放射线防护

高鸿举 编

11:54/15



山东科学技术出版社

一九八八·济南

B

506309

责任编辑 初世均 宋增艺
封面设计 李承东
插图绘制 韩慕南

临床放射线防护

高鸿举 编

山东科学技术出版社出版

山东省新华书店发行

山东省章丘县印刷厂印刷

787×1092毫米22开本10.875印张 214千字

1982年3月第1版 1982年3月第1次印刷

印数：1—7700

ISBN7-5331-0303-3/R·78

定价 2.60元

前 言

随着放射医学的迅速发展,放射线已被广泛应用于医学的各个领域。从事放射线工作的人员逐年增加,接受放射线检查与放射治疗的人也越来越多。为总结交流经验,正确使用放射线,搞好放射线防护工作,笔者根据多年来从事临床放射线工作的亲身体会,参阅国内、外部分有关文献资料,编成本书。

全书共分十章,主要讲解了放射物理学,放射生物学,放射线测量,放射线防护原则、防护标准、防护措施、剂量计算和屏蔽措施,介绍了国际辐射防护委员会和我国放射线防护的有关规定,阐述了患者及放射线工作人员的辐射防护、辐射管理与健康管理等知识。内容丰富,简明扼要,文字通俗,切合实用。为了便于读者理解记忆,书中还附有技术插图40余幅。

由于水平有限,书中可能存有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
于山东省立医院
1986年6月

目 录

第一章 放射物理学	1
第一节 原子结构与放射线	1
一、原子结构	1
二、基本粒子	9
三、原子能	11
四、原子的核衰变	12
第二节 放射线的产生	40
一、X 线	40
二、天然放射性	41
三、人工放射性核素	42
附：粒子加速器	42
第三节 放射线与物质相互作用	43
一、带电粒子	43
二、不带电粒子	46
第四节 放射线的剂量单位	48
一、照射量与照射量率	48
二、吸收剂量与吸收剂量率	49
三、线性能量转移	50
四、相对生物效应及其剂量单位	50
五、生物伦琴当量	52
六、放射性强度	52
七、剂量当量	52
第五节 容许剂量与最大容许剂量	55

一、范畴	55
二、不同时期的最大容许剂量	58
三、国家规定标准	65
第二章 放射生物学	69
第一节 放射损伤及其发生机制	69
一、损伤的作用方式	69
二、损伤的发生机制	75
第二节 辐射对人体细胞代谢的影响	77
一、对能量代谢的影响	78
二、对核蛋白与核酸代谢的影响	79
三、对蛋白质代谢的影响	79
四、对糖代谢的影响	79
五、对脂肪代谢的影响	79
第三节 人体放射效应分类	80
第四节 人体放射效应影响因素	81
第五节 辐射对人体器官的影响	82
一、乳腺	82
二、骨骼	83
三、眼睛	84
四、皮肤	84
五、其他组织	84
第三章 放射线测量	86
第一节 测量原理	86
一、利用放射线的电离作用	86
二、利用放射线对荧光物质的闪光作用	92
三、利用放射线的热效应	95
四、利用放射线的化学效应	96
第二节 常用辐射仪	97

一、70—1型辐射仪	93
二、FD—71型辐射仪	101
第四章 放射线防护原则	106
第一节 正当合理地使用放射线	106
第二节 采用优良的防护条件	109
一、标准的设备	109
二、良好的设施	116
三、严格的操作制度	116
第三节 限制使用剂量	118
一、外照射	118
二、内照射	119
第五章 放射线防护标准	121
第一节 基本极限与推定极限	121
第二节 特准极限	136
一、放射性“三度”的处理	136
二、透视用X线机	137
三、摄片用X线机	138
四、治疗用X线机	139
五、远距离治疗 γ 射线机	140
六、医用电子加速器	141
第三节 参考标准	144
第六章 放射线的防护设施	145
第一节 透视用X线防护设施	145
一、X线机房要求	145
二、X线机的防护设施	146
三、个人防护设施	148
第二节 摄片用X线防护设施	151
一、X线机房要求	151

二、X线机防护措施	152
三、个人防护设施	153
第三节 治疗用X线防护设施	154
一、治疗X线机房要求	154
二、治疗X线机防护设施	155
三、个人防护设施	155
第四节 放射性核素防护设施	156
一、对建筑物的防护要求	157
二、医用核素室的防护设施	158
第五节 医用远距离 γ 射线防护设施	166
一、 γ 射线治疗机房要求	166
二、 γ 射线治疗机防护设施	167
三、观察室防护设施	167
第六节 医用电子加速器防护设施	167
一、加速器治疗室要求	167
二、加速器治疗机防护设施	168
第七章 放射线剂量计算与屏蔽防护	169
第一节 外照射剂量计算	169
一、 α 粒子	169
二、 β 射线	169
三、 γ 射线	174
四、X线	187
五、中子	189
第二节 内照射剂量计算	225
第三节 屏蔽防护与计算	226
一、屏蔽防护概述	226
二、 α 射线屏蔽计算	240
三、 β 射线屏蔽计算	241

四、 γ 射线点源屏蔽计算	247
五、X线屏蔽防护计算	266
六、加速器X线源屏蔽计算	282
第八章 放射工作人员防护	289
第一节 透视工作人员防护	289
一、机房的建筑材料与散射线	289
二、X线机的屏蔽防护与散射线	290
三、防护隔室与岗亭	291
四、平板影像增强器	291
五、遵循安全操作规程	292
第二节 摄片工作人员防护	294
一、活动式X线机摄片	294
二、特殊情况下摄片	294
第三节 放射性核素工作人员防护	296
一、个人安全防护要求	296
二、严格遵循安全操作规定	297
三、事故处理	298
第四节 放射治疗工作人员防护	299
一、X线治疗	299
二、镭疗	301
三、电子加速器治疗	302
第九章 患者防护	303
第一节 诊断X线检查	303
一、防止滥用X线检查	303
二、患者接受放射线量的影响因素	310
第二节 放射性核素检查	317
一、医生须知	317
二、放射性核素检查的适应症	321

三、参考数据	322
第三节 放射治疗	324
一、基础知识	324
二、放射治疗的适应症	327
三、对放疗技术人员的要求	330
第十章 辐射防护管理与健康管理	332
第一节 医用放射线工作防护管理	332
第二节 放射性核素工作防护管理	333
第三节 放射性工作人员健康管理	335

第一章 放射物理学

放射物理学是研究物质内部原子结构与放射线关系的一门科学。它探讨的是具有放射性的物质内部原子核能量变化，放射线释放的种类、性质及规律，以及与物质的相互作用等。

第一节 原子结构与放射线

物质微观世界发展的历史，充分说明了人类对宇宙间一切事物的认识都是通过反复实践、认识、再实践、再认识这个过程的。既往一系列的化学反应试验结果，使人们认为原子是构成物质的最小单位。放射线被发现后，人类探讨了这种现象的来源，发现了许多基本粒子，提出了原子的核式结构学说，并研究了这些基本粒子能量的互相转化都是以放射线的方式释放出来的。通过反复实践与研究，人们认识到了放射性核素的衰变过程及其演变规律，从而确定了原子结构与放射线之间的关系。

一、原子结构

(一) 原子的核式结构：人类从一系列化学实验中得知，物质是由分子组成的，分子是由原子组成的。因为在各种实验中，原子的种类和数目不变，所以最初认为原子为组

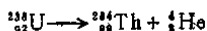
成物质的最小微粒。1895年伦琴发现x线，以后研究证实X线可使气体电离和产生光电效应。1897年汤姆生发现了电子，并证明真空放电中产生的阴极射线就是电子流。这些电子都是从物质的原子中击出来的。电子比原子小得多，例如，最轻原子——氢，其电子质量约为氢质量的 $1/1837$ ，说明电子为原子的组成部分之一。电子带负电荷，原子通常为中性的，这说明原子中还有带正电的物质。1911年英国物理学家卢瑟福提出原子的核式结构学说，即在原子的中心有一个很小的核，称为原子核。原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核内，带负电的电子在核外空间围绕核旋转。由于原子核内所带的正电荷数与核外电子数相等，所以整个原子是中性的。电子绕核旋转所需要的向心力，就是核对它的引力。

（二）原子核：

1.天然放射现象：人类认识原子核复杂结构及其变化规律，是从发现天然放射现象开始的。1896年法国物理学家贝克勒尔发现铀及其矿物，能发射出一种看不见的射线，它可穿透黑纸使照相底片感光，射线的这种特性称为放射性，具有放射性的元素称为放射性元素。玛丽·居里和她的丈夫皮埃尔·居里从铀矿中提取了两种放射性更强的新元素，一种命名为钋，另一种命名为镭。放射性元素能发出三种射线，分别称为 α 射线、 β 射线和 γ 射线。 α 射线是从放射性元素中射出来的一种粒子流，这种粒子就是氦原子核，它带有两个单位的正电荷，质量数是4，射出时的速度约为光速的 $1/10$ ，它的贯穿本领很小，在空气中只能行几厘米，一张薄铝箔或一张薄纸就能把它挡住。但它具有很强的电离作用，很容易

使空气电离，对相底片感光的作用也很强。 β 射线是电子流，速度接近光速，它的贯穿本领很大，很容易穿透黑纸，甚至能穿透几毫米厚的铝板，但它的电离作用比较弱。 γ 射线是一种波长很短的电磁波，它的贯穿本领最强，甚至能穿透几厘米厚的铅板，但它的电离作用很小。这三种射线都是从放射性元素的原子核里放射出来的。

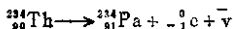
2. 放射性元素的核衰变：放射性元素的核衰变有一定的规律性，例如放射性元素铀核，放出一个 α 粒子后，就变成另一种元素的新核。原子核由于放出某种粒子而转变为新核的变化，称为原子核的衰变。在衰变中，电荷数和质量数都是守恒的。我们用 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 代表铀原子核，上标“238”表示核的质量数，下标“92”表示核的电荷数（可以省去下标，简写为 ${}^{238}\text{U}$ ，还可以简写为 238 铀）。同样地，用 ${}_{2}^4\text{He}$ 代表氦原子核（即 α 粒子），用 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 代表钍原子核等等。 ${}^{238}\text{U}$ 核放出 α 粒子后即变成 ${}^{234}\text{Th}$ 核，其衰变可用下列方程式表示：



从这个方程式中可以看出，方程式两边的质量数和电荷数都是相同的。这种放出 α 粒子的衰变称为 α 衰变。 α 衰变的规律是：新核的质量数比原来核的质量数减少4，新核的电荷数比原来核的电荷数减少2，因此新核在元素周期表中的位置要向前移两位。

${}^{238}\text{U}$ 发生 α 衰变后变为 ${}^{234}\text{Th}$ 。钍也具有放射性，它能放出一个 β 粒子而变成 ${}^{234}\text{Pa}$ （镤）。由于 β 粒子就是电子，电子的质量比核的质量小得多，原子核放出一个 β 粒子后，它的质量数不变，因此可以认为电子的质量数为零，电

子的电荷数为 -1 ，于是我们就用 ${}_{-1}^0\text{e}$ 来表示电子（即 β 粒子）。上述的衰变可用下列方程式来表示：



$\bar{\nu}$ 为反微中子，从这个方程式中可以看出，两边的质量数和电荷数也是相同的。这种放出 β 粒子的衰变，称为 β 衰变。 β 衰变的规律是：新核的质量数不变，电荷数增加 1 ，新元素的核在元素周期表中的位置要向后移一位。

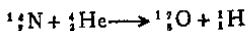
放射性元素的原子核在发生 α 衰变或 β 衰变时产生的新核，如具有过多的能量或者是核处于激发状态中时，它就会辐射出 γ 光子。因此， γ 射线是伴随 α 射线或 β 射线而产生的。当放射性物质连续发生衰变时，各种放射性元素原子核中有的发生 α 衰变，有的发生 β 衰变，同时伴随有 γ 辐射。这时在放射线中就会同时有 α 、 β 和 γ 三种射线。

放射性元素衰变有一定的速率，例如 ${}^{222}\text{Rn}$ 经过 α 衰变后变为 ${}^{218}\text{Po}$ 。如果间隔一定时间测定一次剩余 Rn 的数量就会发现，大约每过 3.8 天，约有 $1/2$ 的 Rn 要发生衰变。即经过第一个 3.8 天以后，剩有 $1/2$ 的 Rn ，经过第二个 3.8 天以后，剩有 $1/4$ 的 Rn ，再经过 3.8 天以后，就只有 $1/8$ 的 Rn 了。因此，我们可以用半衰期来表示放射性元素衰变的速率。半衰期是指放射性元素的原子核有半数发生衰变所需要的时间。每一种放射性元素都有一定的半衰期。不同的放射性元素，其半衰期不同，甚至可以差别很大。例如放射性元素 ${}^{222}\text{Rn}$ 变为 ${}^{218}\text{Po}$ 的半衰期为 3.8 天， ${}^{226}\text{Ra}$ 变为 ${}^{222}\text{Rn}$ 的半衰期为 1620 年， ${}^{238}\text{U}$ 变为 ${}^{234}\text{Th}$ 的半衰期竟长达 4.5×10^8 年。放射性元素衰变的速率是由核内部本身的因素决定的，与原子所处的物理状态或化学状态无关。也就是说，无论它是 以单质存

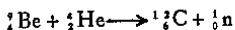
在，还是以化合物存在，其半衰期是不变的，例如对它施加压力或增高温度，都不能改变它的半衰期。

放射性并不是少数几种元素所独有的。实际上，凡原子序数大于83的所有天然存在的元素，它们的原子核都是不稳定的，均可自发地衰变，放出射线，然后变成另一种元素。原子序数小于83的天然存在的元素，也有一些具有放射性。

3. 原子核人工转变及其实验：1919年卢瑟福在用 α 粒子轰击氮原子核的实验中证明， α 粒子打进氮核后可形成一个复核，并立即发生衰变，放出一个新粒子。根据新粒子在电场和磁场中的偏转，测定它的质量和电量，最后确定它就是氮原子核，称为质子，通常用符号 ${}^1_1\text{H}$ （或 ${}^1_1\text{P}$ ）表示。上述变化过程，在云室里可见三条各不相同的径迹。其核反应方程式为：



1932年查德威克在研究原子核的人工转变现象时又发现了中子，其核反应方程式如下：



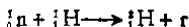
因在许多实验中都可以从原子核里打出中子来，所以中子也是原子核的组成部分。

4. 原子核的组成：人们最初认为，原子核是由质子和电子组成的，这种假说虽然容易解释 β 衰变现象（因为 β 射线中的电子是从核里放射出来的），但与后来的许多实验发生了矛盾。1930年物理学家玻特和白克尔用天然放射性元素钋(Po)放出的 α 射线轰击铍(Be)时，发现从铍中发出了一种看不见的穿透力很强的射线，这种射线是由什么粒子组成的？当时还搞不清楚。1932年英国物理学家查得威克用这

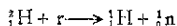
种射线轰击氢原子和氮原子，结果打出一些氢核和氮核。此外，查得威克还用别的物质来代替氢和氮，重复了这个实验，所测到的结果都是这种未知粒子，其质量差不多都等于氢核的质量。这样，查得威克就发现了一种新的与氢核（质子）的质量差不多的粒子。由于这种粒子不带电，所以称为中子。

自从发现中子以后，人们就认为原子核是由质子和中子组成的。目前，这种看法得到了公认。质子和中子统称为核子。由于质子带一个单位的正电荷，中子不带电，质子和中子的质量几乎相等，都等于一个质量单位，所以原子核的电荷数等于它的质子数，原子核的质量数等于它的质子数与中子数的和。具有相同质子数的原子，它们的核外电子数也相同，因而有相同的化学性质，属于同一种元素，但它们的中子数可以是不同的。这些具有相同质子数和不同中子数的原子互称为同位素。

5. 原子核的结合能，原子核的半径很小，其中的质子之间的库仑力很大，除此之外，还有另一种强大的力，叫做核力。二者共同维持着原子核的相对稳定性。由于核子间存在着强大的核力，所以当核子结合成原子核和原子核分解为核子时，都伴随有巨大的能量变化。例如，一个中子和一个质子结合成氘核时，要放出2.22MeV（兆电子伏特）的能量，这个能量即以γ射线的形式辐射出去。这时的核反应方程式为：



相反的过程是用γ射线轰击氘核，使其分解成为质子和中子：



从上述实验得知，当 γ 射线的能量小于2.22MeV时，这个反应即不能发生，只有当 γ 射线的能量等于或大于2.22MeV时，这个反应才会发生。核子结合成原子核时放出的能量，或原子核分解为核子时吸收的能量，称为原子核的结合能。

(三)核外结构：1913年丹麦物理学家玻尔在卢瑟福学说的基础上，把普朗克的量子理论运用到原子系统上，成功地解释了氢原子光谱的规律，得出了如下结论：

1.原子核周围的每一个绕行电子，都有圆形或椭圆形的固定轨道。这些轨道又分几个壳层，每一个壳层又有一定数目的几个轨道，每个轨道最多只能有一个电子。从最靠近核的K壳层开始，它有两个轨道，最多只能有两个绕行电子。外层称L壳层，有两个支壳层。一个支壳层有两个轨道及两个绕行电子，另一个支壳层有六个轨道及六个绕行电子。再向外称M壳层，有三个支壳层，共有绕行电子18个。壳层里的最大电子数目，用 $2n^2$ 表示， n 为层次。

2.电子在一定的轨道上运动，具有一定的能量，即不吸收能量，亦不辐射能量。各层轨道都有一定的能量，K壳层上的电子能量最低，越向外轨道上的电子能量越高。

3.当电子由外层高能级跳到内层低能级时，原子放出能量，以电磁辐射——光子的形式放射出来；反之，当电子由内层低能级跳到外层高能级时，将吸收外加能量，这种现象称为原子的激发。如果激发的能量很大，可使轨道上的电子脱离原子核的吸引力而自由运动，称为电离现象。

(四)原子的定态和能级：原子内部的电子能运动，并