

放射性剂量 及射线的防护

FANGSHEXING JILIANG JI SHEXIAN DE FANGHU

方 杰 編 著
江苏人民出版社

放射性剂型 及射线的防护

王德林 著

北京人民卫生出版社

前 言

現在已進入了和平利用原子能時代。進步的人們掌握了原子能，可以作進一步的和自然鬥爭，為人類謀更多更大的福利。

由於射線本身具有特殊性，如果對它認識不足，注意不周，那末對於人們是有害的，今後和平利用原子能的範圍日益擴大，也就可能帶來嚴重的疾病，到目前為止，人們對這種輻射病還沒有特效的治療方法，只好在防護方面下些功夫。

我國和平利用原子能事業正在迅速的發展，放射性物質的開采、冶煉、制取和應用的範圍日益擴大，接觸放射性物質的人員也會相應地增多。要很好地和平利用原子能，必須弄清射線對人體的影響，以及在各種工作中如何採用適當的措施，使工作人員避免受到有害健康的劑量。一門新的科學技術放射性劑量及射線的防護，正在迅速地成長起來。這一本小冊子所要介紹的就是關於這方面的知識。

方 杰

目 录

一、放射性剂量及射线的防护简史.....	1
二、射线对人体的作用.....	5
三、剂量的单位.....	12
四、最大允许剂量的确定.....	19
五、最大允许剂量的计算.....	27
六、 γ 射线放射性物质的剂量强度.....	44
七、外照射剂量的计算.....	49
八、内照射剂量的计算.....	65
九、外部照射的防护.....	72
十、内部照射的防护.....	96
十一、常用的几种剂量仪器介绍.....	110
附录:	
1. 苏联运输、保管、登记和使用放射性物质的卫生规则.....	116
2. 长期进入机体放射性物质的最高允许浓度.....	133
3. 一次注入的最大允许量.....	137
4. 一次吸入的最大允许量.....	141
5. 苏联现行电离射线最大允许水平.....	146
6. 常用放射性同位素表.....	150

一、放射性剂量及射线的防护简史

1895年底，康拉特·伦琴发现一种贯穿辐射，定名为伦琴射线或X射线。过了几个月之后，就发现了在某些从事X射线的实验工作者的手上，生长起一种新型的异于寻常的皮炎。

1896年初，亨利·贝克莱尔发现铀矿石放射出一种射线，能贯穿不透明的物质。两年后，居里夫妇又发现了钋和镭等天然放射性物质，这些放射性物质同样引起生物效应。贝克莱尔本人由于在讲课后将有镭的试管放在衣袋中，以致发生了很厉害的皮炎。在1897年文献就记载了23人由于X射线而引起了皮肤病。1934年，玛丽亚·居里由于长期受到镭的作用而逝世。

在一个比较短的时间内，人们就已经发现伦琴射线在使用射线的工作者身上，以及用来进行实验的动物身体上，引起了很多的变化。那时已经发现的几种疾病，~~斑疹性~~皮炎、眼痛、毛发脱落、一般性的症状如疲劳、虚弱、~~恶心~~和呕吐、由伦琴射线引起的慢性溃疡所致癌症、家兔和~~豚鼠~~的绝育症、白血球发生减少、骨髓发生的变化等等。在1901年以前，已经发现伦琴射线作用会使绝大部分器官发生变化。

电离辐射引起了损害，防护它们的必要性是很明显的，但是确定对于人体无害的照射剂量却发现得很晚。在1902年，劳伦斯曾经企图采用照相法来确定危险辐射强度，但只能定性地确定，而不能定量地确定剂量。

在二十年代中，逐渐对放射线的有害作用有所认识，并了

解到即使是小量的作用也会引起遺傳功能的損害，因而对放射綫的使用又开始引起人們的注意，开始出現了一些防护放射綫的方法和建議。1921年，英国成立了不列顛倫琴射綫及鐳的防护委員會，这个委員會提出了确定有害剂量的任务，在后来的一些年代里，关于确定最大允許剂量的研究愈来愈广泛地开展起来。在1924年之前，关于确定最大允許剂量的問題，只是从事于倫琴射綫的工作者和这时已經建造起为数不多的带电粒子加速器上的工作的科学家們感到兴趣。

爱倫 (Elron) 指出在1896年到1936年間，由于使用X射綫或放射性物質而死亡的已有100人。按照曼恩 (Manh) 发表的材料，美国在1929年到1943年死亡的193名X射綫医生中，死于白血病的有5%，而在死亡的50000名非X射綫医生中只有0.5%名是死于白血病的。

在1930年后，加速器的发展，虽然有了一些防护，但是仍有不少人，因为不小心而引起受伤和眼睛失明。

1942年，第一个原子核反应堆开始工作以来，幅射的剂量防护和安全照射水平問題，无论对于居民或成千上万在工作时受到照射的工作者來說，都已成为现实的問題了。美国原子能委員會在1955年2月发表，自1942年展开原子能工业以来，已有17人受到放射性損伤，2人因受照射而死亡。又如1958年10月，南斯拉夫零功率堆的超临界事故，結果有6人受伤，其中1人在一个月之后死亡。1958年12月，美国罗斯阿拉莫利鐳工厂的超临界事故，一个操縱員得到12000 rem 剂量經36小时后死去，还有二个工作人員分別得到134 rem 和53 rem，他們患着典型的射綫病。

从1921年英国倫琴射綫及鐳防护委員會企图制訂一个耐受量的标准以后，紐約的默契勒 (Mutscheller) 为了找出

这一个剂量,他和另一部分人合作,1925年提出0.1~0.2伦琴/天为耐受量,一直应用到1936年才有些国家改用0.1伦琴/天。

在制订外照射耐受量的期间,又出现了内照射耐受量的问题。1930年左右出现了两组内照射的病人,一组是在萨克沙(Saxouy)的斯契尼勃(Schneebeerg)的瀝青矿内的工人发生了肺癌(他们吸入含钍粉尘及氡气),另一组是纽琴斯雷(Newjensly)使用夜光粉(内有镭)的女工因防护不好而发生了骨瘤,而且有许多工人因此而死亡。

这样又需要订出内照射的标准,即是要研究各种放射性物质进入人体内时多大剂量以下才是安全的问题。在1941年,曾订出Ra的标准,即存在于人体内的Ra的含量不能超过0.1微克(即 $0.1\mu\text{g}$),这个标准当然是很粗糙的,不完备的。

在1950年国际放射性防护委员会在伦敦开会,决定外照射为每星期0.3伦琴或每天不超过0.05伦琴[1953年(哥本哈根)及1958年(纽约)先后作了两次修订],并订出局部的照射最大允许剂量、内照射量。在1950年之后,国际放射性防护委员会还相应地订出水和空气中的最大允许浓度的标准。

先进的社会主义国家苏联,在发展和平利用原子能工业和广泛利用放射性物质的同时,就注意卫生防护措施,国家公布了完整的有关卫生防护的法规和标准,规定了工作人员的工作日和休假制度以及定期健康检查和剂量检查,所有这些保证了从事放射性工作人员的安全。

我国在大力发展和平利用原子能事业的同时,非常重视放射线的安全防护工作,采取有效的措施,以保证和平利用原子能事业的发展和工作人员及居民的健康和安全。

由于实践的需要,一门新的科学技术放射性剂量和射线

二、放射綫对人体的作用

当射綫碰到原子时,由于射綫有很大的能量,可以在原子上打出一个电子来,这样,一个中性原子就被分为两部分,一部分是成游离状态存在的带负电的电子,另一部分是因失去一个电子而带正电的原子残余部分,这两个东西称为离子对,这种作用叫做电离作用。生物的細胞是由蛋白质、水分和其他化学分子组成的,当射綫与它们相撞时,也会产生这种电离作用,而产生许多离子对。这些离子对,或者很快地重新结合起来,或者又与其他化学分子起作用,这样就引起一连串的連鎖反应,引起一系列的化学变化。这些变化的结果,就使細胞正常的化学物理状况被破坏了,最后就会引起生物全身生理上的变化。

不同的射綫对生物作用是不同的,这是由于射綫的射程及电离本领的不同,表 1 就表明这种差异。

表 1

2 Mev 的不同射綫	在空气中的射程 (以米为单位)	电离密度 (每毫米 距离上的离子对数)
α 射 綫	0.01	6000
β 射 綫	1.0	60
γ 射 綫	~ 100	0.6

在外部照射时 γ 与 X 射綫是主要的,因为 α, β 射綫的射程很短,甚至穿不过表皮組織。但是在内部照射时, α, β

射線的杀伤能力是強于 γ 及X射線，因为 α 、 β 射線的电离密度很大。

特別需要指出的：(1) 慢中子在电离放射中占有特殊的地位，它的损伤作用在于使受照射时的机体内出現誘发放射性，使构成生命物質的主要成分輕元素(如氫和氧)，都变成放射性。(2) 虽然外照射和內照射的物理作用是相同的，但是它們的生物学效应却各不相同，这是由于各种化合物所产生的各种同位素在机体内有不同的定位的緣故。

1. 放射綫对于生物机体的影响

低等生物机体具有較高的对射線的抵抗力，使病毒或微生物及原生物死亡，需要 存活率 %
 数万至数十万倫琴的放射
 剂量。其特点是死亡率与
 剂量的关系是指数形式，
 而对于高等动物(包括人)
 則是S形式，如图1所示。

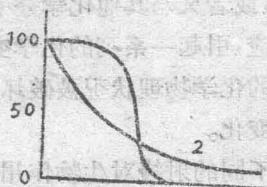


图 1. 不同类型的活率曲綫

I S形曲綫；II 指数曲綫。

在許多情况下，导致細胞的死亡是由于有絲分裂机制失調所引起，但是又 不是完全如此，例如神經細胞的死亡可能是由于酶系統的抑制或某一代謝作用的障碍所致。关于細胞对放射性的敏感性問題，有的人認為是細胞核，有的人認為是細胞漿，究竟誰的說法比較确切，还需要作进一步的研究。

各种不同射線对細胞的作用的效应有所不同，在大多数情况下，生物学的效应与放射的电离密度成正比，但当生物效应仅是由于电离密度引起时，它才与电离密度成反比。

对于高等生物机体,受照射的机体組織愈复杂,放射性敏感性愈高,其原因,現在还没有了解清楚。

各种不同器官与組織对于射綫的敏感性有很大差異,一般是按照这样次序而敏感性递增的:神經組織;軟骨及骨組織;肌肉組織;結締組織及血管;甲状腺;消化腺;肺;心包;表皮;汗腺及脂腺;毛乳头;唾液腺;粘膜、卵巢及睪丸;淋巴組織;骨髓胞腺。

机体的各种器官和組織虽然对射綫的敏感性有重大的差别,但在照射的影响下,机体的所有各系統都产生不同程度或不同形式的变化。

放射性对生物机体的作用的一般效应,有时表现为局部的(如癌),有时表现为全部的(出血);有即时效应的,也有晚期效应的(遺傳变化要在几代以后);有形态上的,也有机能上的;有的可以恢复,有的不可以恢复。

(1) 形态效应:細胞染色体凝固,細胞核破裂,空胞形成。

(2) 細胞分裂:微弱剂量有刺激作用,大剂量有抑制作用。正分裂的幼嫩細胞对射綫的忍受力比已成熟的老細胞小得多。

(3) 新陈代謝:蛋白质分子分解成简单的物质,由于酵素(酶)的活力发生变化而引起新陈代謝过程中許多生物化学的过程受到障碍。

(4) 細胞壁血管的物理性質发生变化,因此通透性高。

(5) 特种細胞(腺体)的分泌机能受到抑制。

(6) 遺傳效应:遺傳性发生变化,产生突变,形成怪胎。不过遺傳的变化要到若干代以后才会表現出来。剂量愈大,突变的可能性也愈大。

特別需要強調的:(1)內分泌腺抑制,可影响其他方面的

器官及組織的機能活動，所以它們的放射性損傷有着特殊的意義。(2) 胚胎對射線的敏感性一般說來是隨胚胎發育過程而遞降。在器官生成期間，胎兒死亡率固然顯著降低，但出現大量的畸形。他們在產後死亡率很高。在胚胎發育中有些特別危害的時間，如受到照射，可以導致個別器官的破壞。在器官生成末期，胚胎對射線敏感性急劇降低到接近於生長發育期的敏感性水平。青年的比成年的敏感性高，這表明處於妊娠早期階段的婦女受照射尤為危險。(3) 全身或局部照射對各組織的再生能力有很大的影響。接受全身照射的機體各組織的再生過程，比接受局部作用的被照射區域的再生過程受到抑制強，甚至根本不能再生。

決定生物效應的條件：

(1) 劑量大小：劑量越大，變化越大。

(2) 照射時間：在總劑量相同的情況下，一次大量照射比長期小量照射的危害程度大好几倍。

(3) 被照射生物體特性：一般動物比植物忍受力小，高等生物比低等生物忍受力小，不同器官的忍受力不同，如腸、胃、性器官忍受力比較低，新陳代謝旺盛的部分比新陳代謝緩慢的部分忍受力低，淋巴細胞比神經細胞忍受力低，……。

2. 放射病

機體受到了過量的放射線的作用，就會逐漸引起機體某些部分機能失常，引起病理的變化，這種病稱為放射病。

這種病的病狀表現常常要經過一定的潛伏期。潛伏期的長短因所受劑量大小不同而異，有幾個星期的，也有幾年的。射線對人體的作用是積累的，放射病可以由一次強烈照射而引起，也可以由多次的小劑量照射積累而引起。

机体的病患的程度决定于总的剂量、受照射的时间以及机体的个体特征。約 600 倫琴X射綫或 γ 射綫是人的致死剂量。当被 400~500 倫琴剂量照射时，有 50% 的人死亡。这剂量叫做平均致死剂量。100~300 倫琴的剂量通常不致死，而引起不同程度的疾病。当照射量增加到平均致死剂量的 100~1000 倍时，能够在照射时间内死亡，即所謂“光下致死”。

全身受照射比局部受照射严重得多，这是由于再生能力受抑制之故。由于不同个体的敏感度不同，因此，同样的剂量会引起不同的损伤程度。表 2 表示全身被照射后可能引起的早期机体变化。

表 2. 不同的放射性剂量可能引起机体的变化

照射剂量(伦琴)	可 能 的 作 用
0~25	无明显的失調。
25~50	血液可能变化,无严重失調。
50~100	血液变化,某些整体状态失調,保持劳动力。
100~200	整体失調,劳动力可能失去。
200~400	不适,失去劳动力,可能致死。
400	受照射后有 50% 死亡。
600 以上	发生严重疾患,通常是致死的。

放射病，有急性放射病(短期内受大剂量照射的結果)和慢性放射病(小剂量多次照射，經過較長時間而出現的)。此外，还有放射性燒伤，也有急性与慢性之分。

这里不能詳細地对它們进行描述，仅将一般病状簡略地

介紹如下：

(1) 神經系統：疲乏，失眠，或反常地想睡，頭痛，出汗，記憶力減退或兴奋力增高。

(2) 循環系統：血液中血球數(淋巴球、白血球、紅血球、血小板等)改變，血管壁的通透性變大。

白血球有噬菌作用，對傳染病有抵抗作用，白血球的減少，會使人體的抵抗力變弱，容易感受各種傳染病(流行性感、肺炎等)，因此會引起併發症，以致死亡。

血管壁通透性變大引起兩種後果，其一是出血現象，其二是內臟中的一些微生物、寄生菌會穿過血管壁，進入血液，引起自家感染，這種原因引起的併發症也會導致死亡。

血小板有血液凝固的作用，血小板數減低，使血液失去凝固的能力，造成出血時間過長，嚴重地使內臟、胃、肺、性器官等出血，許多放射病的死亡是由於出血造成的。

(3) 消化系統：嘔吐，下瀉，消化液分泌酵素能力降低，因而食欲減低。

(4) 性器官：一般男性損傷要經相當時期後可以恢復，婦女則可能造成不可恢復的地步。

(5) 皮膚：強度照射引起皮膚紅腫起泡，以至潰爛，治癒後皮膚萎縮；輕度照射後發紅發庠，二、三周後脫皮，有時發生毛髮脫落，指甲變脆、指紋消失等現象。

(6) 恶性肿瘤：有時由於放射性物質進入人體，在內部進行長期照射，而引起恶性肿瘤，如骨肉瘤等，這種瘤常常會導致死亡。

綜觀以上所述，就令人不得不關心，現在和平利用原子能事業飛躍的發展，放射性同位素的应用迅速地深入到各種科學研究的領域。小劑量的電離放射慢性作用，會給人類未來

带来何种遗传危害？对于这个问题的回答，尚需要作进一步深入研究。以目前的医学水平而言，尚没有对由于放射性而引起的一系列病变的特效的疗法和特效的药物。我们需要与射线接触，利用射线对人类的积极作用。因此，在当前和平利用原子能事业中，一个新的课题放射性剂量的计算和对射线的防护，有着头等重要的地位。我们要求每一个从事于和平利用原子能事业的人，掌握一些有关放射性剂量的计算和对射线的防护知识。

(8)

$$= \text{克} \cdot \text{小时} \cdot \frac{1}{\text{克}} = \text{小时}$$

三、剂量的单位

剂量这个名词，原先是药理学上用的，是指药品的份量，如服用剂量、中毒剂量、致死剂量等。在和平利用原子能事业中，人体受到放射线的照射量也叫做剂量。

所谓剂量是指单位物质所受到的射线的全部或部分能量，这些能量是射线在物质中直接或间接触电离等作用而使物质吸收的。剂量率 P ，是在单位时间内单位物质所受到的射线的全部或部分能量。剂量率与剂量有下列的关系：

$$P = D/t \quad (1)$$

t 为照射时间， D 如下式所示：

$$D = \frac{E}{M} \text{ 尔格/克} \quad (2)$$

其中 D 为剂量， E 为全部被照射物质所吸收的能量， M 为物质的质量。在一克被照射的物质中所吸收的能量决定于单位质量物质内电子的数目及电子的结合能。单质原子的物质所含的电子数目及其结合能是决定于原子序数，复杂物质则是决定于某一有效原子序数。空气、水、机体组织的有效原子序数大约相同；所以一克空气、机体组织、水等所吸收的能量也大约相等。直接测量机体组织中的电离是很困难的，这是因为一般条件下机体组织含有大量电解质的离子，所以即使在很强辐射流的作用下，也不能发觉离子数由此而有小量增加。

因此，要测量辐射所致的电离效应，须选择在正常情况下没有电解离子存在的物质。空气是达到这一目的的最适合的

物质，根据空气中的电离，即可判断机体組織中所吸收的剂量。

1. 剂量单位——伦琴

放射性剂量学中最基本的单位是伦琴，而放射性的基本单位通常用居里表示。这是两个截然不同的概念，伦琴是表示进入物质的射线有多少能量会使物质吸收掉，而居里则表示一个放射源在单位时间内有多少个原子核蜕变掉。在1953年的国际放射学者会议公认，不论什么放射性物质，只要每秒钟内有 3.7×10^{10} 个原子核放射蜕变掉，那末它的放射性强度称为1居里，常用符号C表示。

$$1\text{C} = 10^3\text{mc}(\text{毫居里}) = 10^6\mu\text{c}(\text{微居里})$$

放射性剂量学中有其特有的单位系统。

1925年第一次国际放射学者大会(瑞典，斯德哥尔摩)上曾提出伦琴为X射线及 γ 射线的剂量单位，但是未达成协议，而是在1928年第二次国际放射学者会议(芝加哥)才正式采用伦琴作为X射线及 γ 射线的剂量单位。1937年第五次国际放射学者会议对这个定义作了修改。后来国际放射性测量和单位委员会又先后就这个单位提出了“1950年建议”和“1953年建议”。历次会议都是想把这单位弄得更精确一些。现在所沿用的(1953年建议)定义，其基本内容有下列三点：

- (1) X射线及 γ 射线量或剂量的国际单位称为伦琴。
- (2) X射线或 γ 射线在0.001293克或在标准状况下(摄氏 0°C 和760毫米汞柱压力)1立方厘米的空气(干燥)中产生正负电荷各为1静电单位的离子时，其放射性剂量为1伦琴。
- (3) 测量放射剂量时应以伦琴为单位，测量剂量率应以每分钟的伦琴数表示。