

放射卫生防护培训系列教材

电离辐射与 人体健康

◎ 万 李
编 雅
著 玲 春



原子能出版社

放射卫生防护培训系列教材

电离辐射与人体健康

李雅春 万玲 编著

图书在版编目(CIP)数据

电离辐射与人体健康/李雅春,万玲编著. —北京:原子能出版社,2009.3

ISBN 978-7-5022-4464-4

I. 电… II. ①李… ②万… III. 电离辐射—辐射防护—基本知识 IV. R14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 025297 号

电离辐射与人体健康

出版发行 原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 刘 朔

责任校对 徐淑惠

责任印制 丁怀兰 刘芳燕

印 刷 廊坊市佳艺印务有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 850 mm×1168 mm 1/32

印 张 1.5

字 数 37 千字

版 次 2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-4464-4

印 数 1—15 000 定 价 18.00 元

目 录

第一章 作用于人体的电离辐射	1
一、天然本底辐射	1
二、人工辐射	4
第二章 电离辐射的生物效应	8
一、辐射生物效应的分类和特点	9
二、辐射生物效应的影响因素	11
三、辐射生物效应的机制	14
第三章 常见的几种效应	19
一、急性效应	19
二、慢性效应	23
三、胚胎效应	27
四、远期效应	28
五、皮肤损伤	31

第四章 内照射放射损伤	35
一、放射性核素进入体内的途径	35
二、放射性核素在体内的分布	36
三、放射性核素的排出	37
四、内照射放射损伤的特点	38

第一章 作用于人体的电离辐射

作用于人体的电离辐射可分为天然辐射和人工辐射两大类。来自天然辐射源的电离辐射称为天然辐射,自古以来人类所受到的天然辐射源的照射又称为天然本底照射。来自人工辐射源或经过加工的天然辐射源的电离辐射称为人工辐射。

一、天然本底辐射

天然本底辐射包括:宇宙射线和自然界中天然放射性核素发出的射线。

(一) 宇宙射线

宇宙射线又分为初级宇宙射线和次级宇宙射线。初级宇宙射线是从宇宙空间进入地球的高能粒子流,主要由质子、 α 粒子和电子所组成,粒子能量一般在 $1 \sim 10^{14}$ MeV 范围之内。初级宇宙射线与大气层中的原子核(氮、氧等)相互碰撞而释放出次级质子、中子、介子、重子等形成次级宇宙射线。

宇宙射线的强度随海拔高度的增加而增大，在距地球表面约 17~20 km 的高空达到最大值。因此，高原地区的人群比平原地区人群受宇宙射线照射剂量高。在海平面上，宇宙射线对人体的年平均照射当量剂量约为 0.3 mSv(30 mrem)，在海拔 10 km 内，每升高 1.5 km，剂量约增加一倍。

(二) 天然放射性核素

天然放射性核素可分为三类：① 铀系、钍系和镭系三个天然放射系中的核素；② 地壳中存在的除以上三个放射系以外的天然放射性核素，如⁴⁰K(钾)、⁸⁷Rb(铷)等；③ 宇宙射线与大气原子核相互作用而产生的³H(氚)、¹⁴C(碳)等放射性核素。前两类称为原生核素，后一类称为宇生核素。

存在于自然界中的放射性核素一方面可对人员造成外照射，另外还可以随空气、水和食物进入人体造成内照射。随食物进入人体内的²²⁶Ra每日食入量为 0.5~1.8 pCi，在体内含量为 30~40 pCi，其中约有 80%~85%沉积在骨内，在成年人骨代谢已恒定的情况下、骨中每克钙的²²⁶Ra 含量约相当于食物中每克钙内²²⁶Ra 含量的 2.4%。

(三) 人体受天然本底照射的剂量

正常本底地区由天然辐射源对人类造成的照射水平的估计值见表 1-1 所列。天然辐射源对成年人造成的平均年有效剂量约为 2.4 mSv, 其中内照射所致有效剂量比外照射高, 在引起内照射的各种辐射源中, ^{222}Rn (氡)及其短寿命子体最为重要, 由它们造成的有效剂量为全年天然辐射源贡献的 50%。

表 1-1 天然辐射源所致人体的辐射剂量

辐射源	世界平均年有效剂量/mSv
外照射	
宇宙射线	0.4
地表 γ	0.5
内照射	
吸入(主要是氡)	1.2
食入	0.3
总计	2.4

世界上有些地区, 由于地表层含有高浓度的铀、钍, 从而使地表 γ 射线剂量高于一般地区, 称

为本底地区。例如,印度的喀拉拉邦、巴西的大西洋沿岸以及我国广东省阳江县的部分地区。这些地区地表空气中的吸收剂量率分别高达 $1.3 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$, $28 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$, $0.34 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

二、人工辐射

人类除受到天然本底辐射的照射外,还经常受到各种人工辐射的照射。现今世界上主要人工辐射源包括:医疗照射、核能生产应用中产生的人工辐射源或经过加工的天然辐射源,以及核爆炸和消费品中添加的辐射源等。

(一) 医疗照射

当今,世界人口受到的人工辐射源的照射中,医疗照射居于首位。医疗照射来源于 X 射线诊断检查、体内引入放射性核素的核医学诊断以及放射治疗过程。

随着医疗保健事业的发展,接受医疗照射的人数愈来愈多。据统计,在发达国家接受 X 射线检查的频率每年每 1 000 居民约为 300~900 人次,在发展中国家接受 X 射线检查的频率约为发达国家的 10%。医疗照射造成的剂量小者每次

在 μGy 量级,大者如介入放射诊疗受检者皮肤剂量可达 20 Gy 以上。表 1-2 列出了各种 X 射线诊断检查所致的有效剂量值。

表 1-2 我国各类 X 线检查频度,
1 次检查的器官剂量和有效剂量

检查类别	检查年 频度人 次/千人	一次检查的器官剂量/mSv			有效剂量 /mSv
		皮肤剂量	骨髓	性腺	
胸透	64.3	10.4	0.17	<0.01	0.29
腹透(女性)	11.3	8.5	0.17	0.17	0.13
消化道	6.0	51.6	6.06	0.66	7.53
腰椎片	4.0	32.5	1.82	2.98	2.67
胸片	11.9	1.1	0.04	<0.01	0.07
腹部平片	1.4	22.1	1.63	0.10	1.37
骨盆片	1.3	11.0	1.04	3.05	1.63

全世界由于医疗照射所致的年集体有效剂量约为天然辐射源产生的年集体有效剂量的 $1/5$ 。与此相应的世界居民的年人均有效剂量均为 0.4 mSv 。

(二) 核能生产

核能生产包括铀矿开采、矿石加工、核燃料生产、反应堆动力生产、燃料后处理等一系列工业流程。核能生产的核燃料除用于制造核武器外,主要用作核电厂、舰船、潜艇等的核动力。现今应用核反应堆生产电能将继续增长之中。据 2005 年资料,全世界已有 441 座核反应堆在运行发电,还有 23 座核电厂正在建设中。在核能生产过程的各个环节中难免会有放射性物质排放到环境中。释放出的放射性物质的半衰期大部分较短,分散到较远的距离时已衰变掉很多,所以大部分放射性物质仅能造成局部环境污染,但是长寿命核素则能扩散到很远的地方。

核能生产的放射性物质对环境的污染所致世界居民人均年当量剂量为 $0.2 \mu\text{Sv}$, 美国、加拿大为 $0.03 \mu\text{Sv}$, 英国为 $2.5 \mu\text{Sv}$, 核电厂周围居民人均年当量剂量为 $10 \mu\text{Sv}$ 。预计将来核发电量达到人均 1 kW 时,世界居民人均年当量剂量为 $60 \mu\text{Sv}$ 。从事核能生产的职业人员接受的人工辐射的年有效剂量,基本与来自天然辐射源照射的平均值处于同一数量级。

(三) 核爆炸

核爆炸在大气中形成的人工放射性物质是环境广泛受到污染的原因,也是重要的人工辐射源的来源之一。核爆炸形成的放射性落下灰对居民的危害主要是通过食入引起内照射,其次是外照射。到 1981 年年底为止,由大气核爆炸造成的集体有效剂量负担总计为 3×10^7 人·Sv,相当于当今世界人口额外受到大约 4 年的天然本底辐射的照射。就核爆炸引起的人均年剂量而言,1963 年最大,相当于天然辐射源所致平均年剂量的 7%,1966 年则下降为 2% 左右,目前则低于 1%。

人类除了受到上述三种主要人工辐射源的照射外,还受到由于工业技术发展造成的增大了的天然辐射源的照射(例如,燃煤发电、磷肥生产造成的环境放射性污染,空中旅行、宇宙航行导致额外的宇宙射线照射等)以及各种生活用品(例如,含放射性发光涂料的夜光钟、表,含铀、钍的制品,某些电子、电气器件等)的人工辐射源的照射,不过,由这些人工辐射源所致的世界居民的集体有效剂量负担与天然辐射源所致的相比,一般都很小,总计不过天然辐射源的 1%。

第二章 电离辐射的生物效应

自从 1895 和 1898 年先后发现 X 射线和放射性核素镭之前,人类只受到天然辐射的照射。在长期的生活过程中,人类已适应了这种天然的放射性环境。以后,随着射线和人工放射性核素在原子能事业中的应用,由于缺乏防护措施,人们受到过量照射,相继出现了放射损伤,如放射科医生和 X 射线工作者发生放射性皮炎、白内障、皮肤癌等;居里夫人受射线过量照射,死于再生障碍性贫血;操作发光涂料(镭)的女工由于经常用嘴沾镭的刷子,长时间骨内积聚了大量的镭,受照后发生了骨癌;铀矿开采工人肺癌发生率增高;特别是 1945 年遭受原子弹袭击的日本广岛、长崎的居民大量死于急性放射病,以及幸存者受到辐射的远期效应的影响等等,这些引起了人们对射线危害的重视,从而就射线对人体所造成的生理、生化、病理及临床表现等方面的改变进行了大量的研究,使放射医学和放射生物学得到了极大的发展。为了评价辐射的可能危害,

做好辐射防护,应该了解电离辐射生物效应方面的有关知识。

一、辐射生物效应的分类和特点

放射性核素和电离辐射的应用,给人类带来巨大利益的同时也伴有一定的危害,主要是辐射对人体的健康危害。

按效应出现的个体可分为躯体效应和遗传效应。辐射效应出现在受照射本人身上,称为躯体效应;辐射效应出现在受照者的后代身上则为遗传效应。

按效应出现时间的早晚可分为近期效应和远期效应。在受照射后 60 d 内出现变化为近期效应。在受照射后几个月、几年或更长时间才出现的效应则为远期效应。

如图 2-1 所示,按效应与剂量的关系可分为随机性效应和确定性效应(也称必然性效应)。随机性效应是指发生概率(不是严重的程度)与剂量大小相关的效应,这种效应目前认为不存在剂量阈值,可能与个别细胞损伤有关,使受照射的体细胞或生殖细胞发生突变效应,产生癌或严重的遗传疾患。

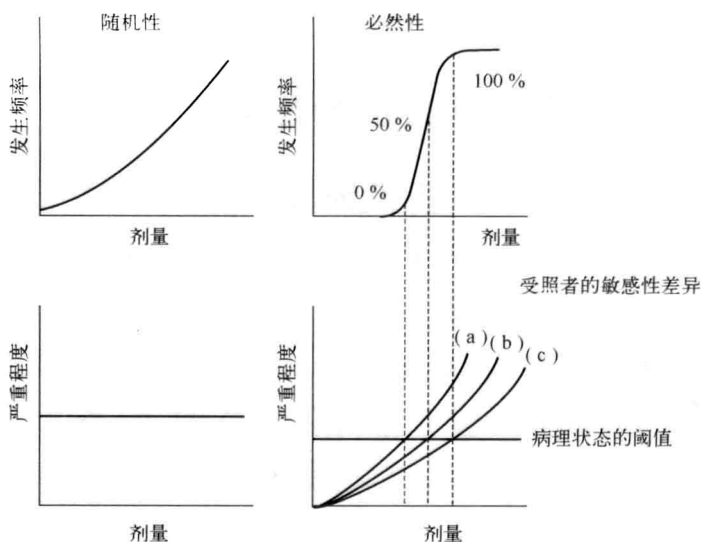


图 2-1 确定性效应的剂量曲线，
并与随机性效应相比较

a, b, c 是敏感性不同的三组人群, a 组人群为最敏感。

确定性效应是指损伤的严重程度与剂量大小相关的效应,即受照射剂量大,机体的损伤也大,也就是造成机体大量细胞集体受损害或死亡,一般需要受较大剂量的照射。这种效应,目前认为存在剂量阈值,见表 2-1。

表 2-1 辐射所致各组织器官确定性效应的剂量阈值

组织器官	效 应	单次照射剂量 阈值/Gy
皮肤	红斑(X、 γ 射线)	5~8
	暂时性脱毛	3~5
	永久性脱毛	7
	水泡	15
	溃疡	25
造血系统	受照者 50%死亡	2~3
眼睛	晶体混浊(X 射线)	2
	白内障(100%)	7.5
	白内障(X 射线,随访 35 年)	5
睾丸	暂时性不育	0.15
	永久性不育	3.5
卵巢	不育	2.5~6

二、辐射生物效应的影响因素

(一) 与辐射有关的因素

1. 射线种类和照射方式

不同种类的射线其电离密度和穿透力各不相

同,引起的生物效应也不同。 α 射线电离本领大,射程较短,外照射意义不大,仅能损伤表皮。但当释放 α 射线的核素进入体内时,其危害性最大。 X 、 γ 射线其电离密度小而穿透力大,主要是外照射的危害。

2. 照射剂量和剂量率

辐射生物效应与辐射剂量大小密切相关,总的规律是剂量越大,效应越显著。除照射的总剂量外,剂量率也是影响因素之一。在一定的剂量率范围内,高剂量率照射比低剂量率照射的生物效应强。

3. 分次照射和间隔时间

在辐射剂量相同的情况下,分次给予照射,其生物效应低于一次照射的效应。分次愈多,各次间隔时间愈久,则生物效应愈小。这显然与机体的修复过程有关。

4. 照射部位和面积

机体受照射的部位对生物效应有明显的影响,目前很多实验材料证明,当照射剂量和剂量率相同时,腹部照射的全身后果最严重,其次为盆腔、头颈、胸部及四肢。当照射的其他条件相同