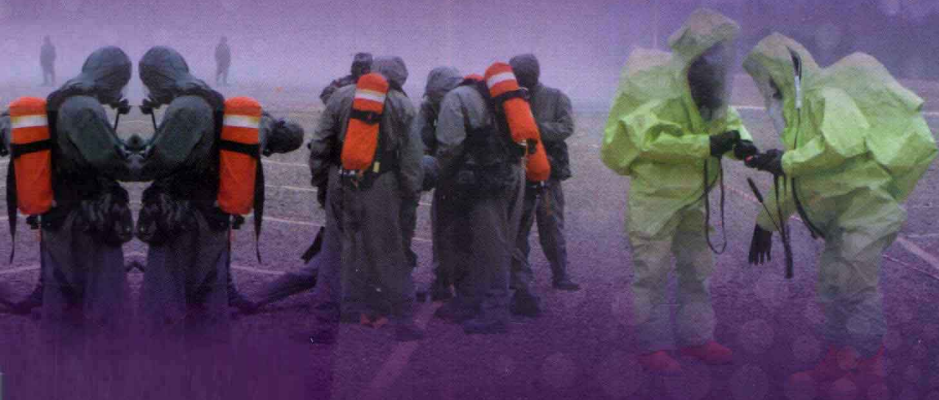


核与辐射 医学防治手册

HE YU FUSHE YIXUE FANGZHI SHOUC

主 编 / 刘素刚 艾辉胜



人民軍醫出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

核与辐射医学防治手册

HE YU FUSHE YIXUE FANGZHI SHOUCHE

主 编	刘素刚	艾辉胜		
副主编	何跃忠	张 宏	余长林	胡锴勋
编 者	郭 梅	刘广贤	乔建辉	孙琪云
	乔均晓	姚 波	满秋红	董 征
	王漪然	张金超	刘秋艳	王赛男
	陈燕琴	宁 新	康 岩	覃宝珍
	刘 莎	李颜博		



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

图书在版编目(CIP)数据

核与辐射医学防治手册/刘素刚,艾辉胜主编. —北京:
人民军医出版社,2011.4

ISBN 978-7-5091-4748-1

I. ①核… II. ①刘…②艾… III. ①辐射防护—手册
IV. ①TL7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 039025 号

策划编辑:张怡泓 文字编辑:郁 静 责任审读:余满松
杨德胜 管 悦 曾 星

出版人:石 虹

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)51927300-8026

网址:[www. pmmp. com. cn](http://www.pmmp.com.cn)

印、装:三河市春园印刷有限公司

开本:787mm×1092mm 1/32

印张:4.125 字数:85千字

版、印次:2011年4月第1版第2次印刷

印数:5001~8000

定价:10.00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

本书由军事医学科学院附属医院放射病防治专家编写,共分6章,第1章至第4章分别介绍了核辐射基本知识、核辐射及医学防护、辐射损伤与急性放射病、核恐怖防控及核电站的核防护等相关内容,第5章重点介绍了日本福岛核电站辐射事故的近况及辐射防护等问题,第6章简要介绍了日常生活中的辐射及防护小常识。本书内容科学,简明实用,可供广大人民群众学习了解核辐射及防护相关知识,也可作为各级医疗单位和疾控中心的核辐射及防护教育指导参考书。

前 言

核能和核技术在促进人类文明进步中发挥着巨大作用，但是，核能的广泛应用也使人类接受各类辐射照射的机会明显增加。“9·11”事件后，核辐射恐怖被作为制造恐怖事件的手段之一而受到各国的普遍重视。2011年3月11日发生在日本的大地震及海啸并引起日本福岛核电站辐射事故，不但给当地民众的生命财产带来了严重威胁，更引起当地甚至周边地区公众的普遍担忧。为了普及公众对核辐射的认识及防治知识，提高医疗机构一线医务人员诊断及治疗核辐射的能力，我们组织在军队核救治及核防护一线工作、具有丰富临床实践经验及理论知识的专家编写了本手册。本书共分6章，分别介绍了核辐射的概况、核辐射损伤及危害、日常生活中辐射安全、辐射损伤及放射病等内容。尤其第5章重点介绍了日本福岛核电站辐射事故的概况及核辐射防护等问题，第6章简要介绍了辐射防护小常识，希冀对核辐射的医学防护提供一本全面、系统的实用手册。

本书由国家核事故医学应急救援中心临床三部主任、军事医学科学院附属医院院长刘素刚主任医师和国家临床三部放射病救治中心及全军放射病中心主任艾辉胜主任医师任主编，该中心主要人员均参加编写。

编 者

2011年3月20日

目 录

第 1 章 核辐射基本知识	(1)
第一节 核辐射的概念及其分类	(1)
一、核辐射相关概念	(1)
二、辐射来源及分类	(4)
三、辐射途径及分类	(6)
第二节 核辐射的剂量概念	(7)
一、放射性活度	(7)
二、半衰期	(8)
三、辐射剂量及单位换算	(9)
第三节 核辐射的物理剂量检测	(11)
一、个人剂量监测	(12)
二、工作场所剂量监测	(13)
三、事故后的剂量测量	(14)
四、事故剂量估计的一般程序	(17)
第四节 核辐射的生物剂量估算	(19)
一、染色体畸变分析	(20)
二、淋巴细胞微核检测	(24)
三、早熟凝集染色体分析	(26)
第 2 章 核辐射及医学防护	(29)
第一节 辐射防护的基本原则	(29)

核与辐射医学防治手册

一、实践的正当性原则	(30)
二、辐射防护最优化原则	(30)
三、个人剂量限值	(31)
第二节 辐射防护的对策和措施	(32)
一、辐射防护三要素	(32)
二、核辐射事故的干预	(34)
三、核辐射事故的应急防护	(35)
四、剂量限值和过量照射	(37)
第三节 放射性核素体内污染的应急处理	(38)
一、减少胃肠道吸收	(38)
二、阻断吸收和稀释	(40)
三、螯合剂	(42)
四、肺灌洗	(48)
 第3章 辐射损伤与急性放射病	(50)
第一节 急性放射病的早期症状与诊断	(51)
一、受照史	(51)
二、早期临床症状	(52)
三、实验室检查	(54)
第二节 急性放射病的分型和分度诊断	(57)
一、骨髓型急性放射病	(57)
二、肠型急性放射病	(60)
三、脑型急性放射病	(60)
第三节 急性放射病的治疗	(61)
一、内科综合治疗	(62)
二、造血干细胞移植(HSCT)	(65)
三、微移植及间充质干细胞治疗	(67)

第四节 急性放射病的护理	(67)
一、急性放射病的护理原则	(68)
二、防治感染的护理	(69)
三、主要并发症护理	(69)
第 4 章 核恐怖防控及核电站的核防护	(70)
第一节 核恐怖事件定义、分类及主要危害	(70)
一、核恐怖事件定义	(70)
二、核恐怖事件类型	(70)
三、核恐怖事件的主要危害	(71)
第二节 核恐怖事件的分期及防治措施	(71)
一、核恐怖袭击事件的时间阶段	(71)
二、核恐怖事件应急防护措施	(72)
三、核响应人员自我防护	(74)
四、突发事件现场伤员医疗自救、互救	(74)
第三节 我国核辐射及核恐怖事件应急响应体系	(75)
一、核和辐射恐怖事件处置原则	(75)
二、核与辐射事件的报告	(78)
三、辐射事件的分级	(79)
四、辐射事件的分级医学响应及各级职责	(80)
五、应急响应的终止	(82)
第四节 核电站及核防护	(83)
一、核电站工作原理	(83)
二、核电站的防护措施	(83)
三、核电站核事件的应急状态分级	(84)
四、核电站核事件的医学响应	(84)
五、核事件国际分级	(87)

六、历史上的十大重大核辐射事故	(89)
第 5 章 日本福岛核电站辐射事故简介	(92)
第一节 福岛核电站辐射事故	(92)
一、福岛核电站核事故的位置	(92)
二、福岛核电站核事故的发生	(92)
三、福岛核电站核事故的核泄漏	(94)
第二节 福岛核电站核泄漏的原因和机制	(95)
一、1 号及 3 号机组	(95)
二、2 号机组	(96)
三、4 号机组	(96)
第三节 福岛核事故的影响	(101)
第 6 章 日常生活中的辐射及防护小常识	(104)
第一节 辐射及其危害	(104)
一、辐射	(104)
二、日常生活中的辐射	(105)
三、辐射的危害	(105)
四、辐射危害机制	(107)
第二节 公众、医疗照射限制原则	(108)
一、公众照射	(108)
二、医疗照射	(109)
第三节 日常生活辐射预防措施	(112)
一、常用电器辐射防护	(112)
二、医用 X 线的防护	(114)
三、其他辐射防护	(116)
四、辐射的营养防护	(119)

第 1 章

核辐射基本知识

第一节 核辐射的概念及其分类

一、核辐射相关概念

核辐射亦称放射性辐射。它是原子核从一种结构或一种能量状态转变为另一种结构或另一种能量状态时,释放出的微观粒子流。如 X 射线、伽马(γ)射线、中子等。

核辐射是一切能引起物质电离的辐射的总称,其种类很多,按其粒子是否带电可分为两大类:带电粒子及不带电粒子,其中带电粒子有 α 粒子、 β 粒子、质子;不带电粒子有 γ 射线、X 射线以及中子。

(一)带电粒子

1. α 射线 也称“甲种射线”,是放射性物质所放出的 α 粒子流,其实就是氦的原子核,它可由多种放射性物质(如镭)发射出来,有很强的电离作用,但由于 α 粒子的质量大,通过物质时极易使其中的原子电离而损失能量,所以,它能穿透物质的能力比 β 射线弱得多,射程短,在空气中的射程只有

几厘米,容易被薄层物质所阻挡,例如一张纸或健康的皮肤就能挡住。因此, α 粒子对人体不存在外照射危害,但如果 α 粒子源进入人体内重要器官,就会对该器官造成严重损伤。

2. β 射线 β 射线是高速运动的电子流 $0/-1e$,在 β 衰变过程中,放射性原子核通过发射电子和中微子转变为另一种核,产物中的电子称为 β 粒子。在正 β 衰变中,原子核内 1 个质子转变为 1 个中子,同时释放 1 个正电子,在“负 β 衰变”中,原子核内 1 个中子转变为 1 个质子,同时释放一个电子,即 β 粒子。它所带电荷及质量均小于 α 射线,所以其电离本领比 α 射线小得多,但穿透能力比 α 射线大,射程亦较 α 射线远,但较 X、 γ 射线的射程要近得多。 β 粒子能引起内、外照射损伤。对于 β 射线的防护,应采用原子序数较低的材料。几毫米的铝片、衣服或有机玻璃等能较好地防护 β 射线的外照射。

(二)不带电粒子

1. γ 射线 1900 年由法国科学家 P. V. (Paul Ulrich Villard)发现,将含镭的氯化钡通过阴极射线,从照片记录上看到辐射穿过 0.2mm 的铝箔,称这一贯穿力非常强的辐射为 γ 射线,是继 α 、 β 射线后发现的第 3 种原子核射线。

γ 射线是一种光量子,其既不带电荷,又无静止质量,是波长很短的电磁波,属电磁辐射。电离作用较小,但具有很强穿透力,能轻易穿透人的身体,对人体造成危害,故又称贯穿辐射。由于其携带高能量,容易造成生物体细胞内的 DNA 断裂进而引起细胞突变、造血功能缺失、癌症等疾病,危险性大,但它可以杀死细胞(包括癌细胞),因此可作医疗之用。 γ 射线主要引起外照射损伤。常用的防护材料有水、砖、混凝

土、铝、铁、铜、铅、钨、贫铀等。

2. X射线 波长介于紫外线和 γ 射线间的电磁辐射,由德国物理学家伦琴于1895年发现,故又称伦琴射线。是由X线机产生的高能电磁波。波长比 γ 射线长,射程略近,穿透力不及 γ 射线,几英尺厚的混凝土能阻挡X射线。常应用于医疗照射及工业照射。

X射线和 γ 射线的性质大致相同,是不带电、波长短的电磁波,因此把他们统称为光子。两者的穿透力极强,在辐射防护中要高度重视。

3. 中子 中子主要由核反应产生,其质量略大于质子。中子不带电,自由中子是稳定的,它的半衰期大约为11.0min,发生 β -衰变,最大能量为0.785MeV。使用放射源和一定的靶物质,借助于 (α, n) 或 (r, n) 反应,或在加速器中用高能粒子打击靶物质,或在反应堆中裂变物质的裂变和某些超铀元素的自发裂变都可产生中子。按能量大小将中子分为热中子($<0.0005\text{MeV}$)、中能中子(0.02MeV),快中子(0.5~10MeV)等。中子像 γ 射线一样,是一种具有很高穿透能力的辐射,由于其不带电,所以,在空气和其他物质中可以穿行很大距离。同时,中子与物质相互作用能产生反冲原子核、质子和 γ 射线。中子产生的辐射危害有效性约是 γ 射线的2.5倍。中子一般不构成体内危害,因为没有任何天然中子放射源存在,所以中子源进入人体的机会罕见。中子防护:可用含氢高的水、塑料、石蜡等将快中子慢化;用锂、硼等吸收慢中子;用高原子序数的材料防护中子慢化和吸收过程中产生的 γ 射线。

从上述粒子的特点可以判断出: α 、 β 、X、 γ 这四种射线由于其特征不同,其穿透物质的能力不同(图1-1),它们对人体

造成危害的方式也不同。 α 粒子只有进入人体内部才会造成损伤,这就是内照射; γ 射线和 X 射线主要从人体外对人体造成损伤,这就是外照射; β 射线既造成内照射,又造成外照射。

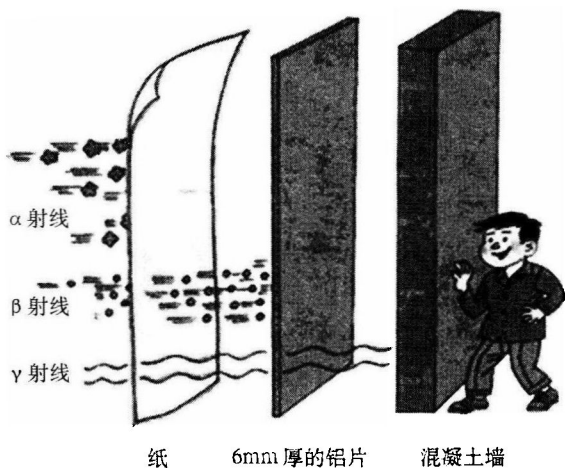


图 1-1 α 、 β 、 γ 射线穿透力

二、辐射来源及分类

核辐射可分为天然辐射和人工辐射两大类。来自天然辐射源的辐射称为天然辐射,来自人工辐射源或加工过的天然辐射源的辐射称为人工辐射。

(一)天然辐射

通常把自古以来所受到的天然辐射源的照射称为天然本底照射。天然辐射对人体的照射可分为天然辐射源的正常本底照射(天然本底照射)和由于工业技术发展所变更的

天然照射两类。

1. 天然本底照射 天然本底照射按照内、外辐射源的照射分为外照射和内照射两类。

(1) 外照射: 来自于地球外的宇宙线(初级宇宙线、次级宇宙线)和地球本身的天然放射性核素(存在于地壳、建筑物和空气中的天然放射性核素)。

(2) 内照射: 进入人体内产生内照射的核素有宇生放射性核素(^9Be 、 ^{14}C 、 ^{23}Na)和原生放射性核素(^{40}K 、 ^{85}Rb 、 ^{238}U 系、 ^{232}Th 系)。环境中的放射性核素进入人体的主要途径是经口食入,其次是经呼吸道吸入。

2. 工业技术发展所变更的天然照射 由于工业技术的作用,许多天然照射亦受到了变更,这种变更可能是增加,也可能是减少。这里主要介绍增加的辐射,其定义为:随着某些非特意设计用来产生辐射的工业技术活动而引起的天然辐射源的照射。主要有以下几种:燃煤发电厂引起的照射、地热能生产引起的照射、开采磷酸盐岩引起的照射、增加的室内照射、增加的宇宙线照射(飞机乘客、宇航员)等。

(二) 人工辐射

放射性核素在现代人类社会中得到广泛应用,目前世界上主要的人工辐射源包括:核爆炸、核能生产中产生的人工辐射源或加工过的天然辐射源、医疗应用中的辐射源及消费品中的辐射源等。

1. 核爆炸 自从原子弹问世以来,人类进行的核爆炸就没有真正停止过。核爆炸后的裂变产物、剩余的裂变物质和结构材料通过各种方式“溶解”在地球这一人类的家园中,对人类产生着各种各样的影响。

2. 核能生产 核能生产包括铀矿开采、矿石加工、铀燃料生产、反应堆动力生产、燃料后处理、各生产部门之间的放射性物质的运输和放射性废物的最终处置等一系列工业流程。从事放射性工作的人员会受到职业性照射,发生意外事故时,尤其是在发生反应堆严重事故时,可能造成局部环境的严重污染,如 1986 年切尔诺贝利核电站的事故及今年 3 月 11 日的日本福岛核电站事故。

3. 医疗照射 各种放射性核素及射线在当今的医疗事业中得到了越来越广泛的应用,如 X 线、CT、 γ 刀、PET-CT、放疗等技术手段,使患者及工作人员均不同程度地受到了照射。目前,医疗照射在公众受到的人工辐射源照射中居于首位。

4. 其他人工辐射 这里主要指消费品中的人工辐射,如辐射发光产品(各种钟表及仪表的夜光表盘)、电子和电气元器件(荧光灯启动器、电气装置和超压防护装置中的触发管、X 线荧光检查扫描系统等)、静电消除器、烟雾探测器、含铀或钍的制品、作为废物处理的掺有放射性物质的物品等。

三、辐射途径及分类

(一) 外照射

由放射源或辐射发生装置(如粒子加速器)释出的贯穿辐射由体外作用于人体,称为外照射。在向环境释放大量放射性物质的事故中,朝下风向移动的放射性烟云以及已沉降于设备、建(构)筑物及地面表面上的放射性物质也可成为人体外照射的放射源。

人们每时每刻都受到天然本底辐射的照射。在生产、应

用电离辐射源的过程中,工作人员除了受到天然本底照射外,还受到附加的职业照射。邻近生产、应用电离辐射源地区居住的或受人工放射性污染影响的公众,同样也受到天然本底照射以外的附加照射。在使用电离辐射源的医疗诊治措施(如X线检查、放射治疗)时,受检者或病人也会受到电离辐射外照射。一旦发生核与辐射事故或遭受涉及核与辐射的恐怖袭击,则可能导致较高水平的外照射。

(二)内照射

内照射是指外源性放射性物质经呼吸道、消化道、皮肤、黏膜和伤口以及其他各种途径吸入机体并沉积在体内,放射性核素在体内释放出射线(人体受内照射的主要射线是 α 射线和 β 射线),对邻近组织和器官造成照射。

在正常作业或事故性释放时,放射性物质一般通过空气和水的途径进入周围环境,在环境中借不同的照射途径(包括食物链),最终到达人体。

第二节 核辐射的剂量概念

一、放射性活度

放射性活度的定义是:处于特定能态的一定量的放射性核素,在 dt 时间内发生核跃迁数的期望值除以 dt (单位时间)。是表示放射性核素特征的物理量,是放射性物质的固有属性,只与放射性物质的多少(浓度)有关,而与温度、压强等外界条件无关。用符号 A 表示,国际单位为贝可[勒尔],符号为Bq,1Bq等于1秒的负1次方(s^{-1})。放射性元素每秒

有 1 个原子发生衰变时,其放射性活度即为 1Bq。实际工作中经常用到放射性比活度,它表示单位体积某种物质的放射性活度。现在使用单位是贝可[勒尔]/升,即 Bq/L。

二、半 衰 期

放射性元素的原子核有半数发生衰变时所需要的时间,叫半衰期。原子核的衰变规律是: $N = N_0 \times (1/2)^{(t/T)}$ 其中: N_0 是指初始时刻($t=0$)时的原子核数, t 为衰变时间, T 为半衰期, N 是衰变后留下的原子核数。放射性元素的半衰期长短差别很大,短的远小于 1s,长的可达数万年。

涉及放射性物质的放射事故时,有物理半衰期、生物半排期和有效半减期。

1. 物理半衰期 物理半衰期是指放射性核素由于放射性衰变使其活度衰减到原来的 50% 所经过的时间。

2. 生物半排期 生物半排期是指当某个生物系统中的某种放射性核素的排出速率近似地服从指数规律时,由于生物过程使该核素在系统中的总量减少 50% 时所需的时间。

3. 有效半减期 有效半减期是指进入人体的某种放射性核素,由于放射性衰变和生物排出的综合作用,在全身或某一器官内的数量,按指数规律减少 50% 时所需的时间,它结合了物理半衰期和生物半排期,比两者都小。

下面的方程表明了三者的关系。

$$\frac{1}{T_{1/2\text{有效}}} = \frac{1}{T_{1/2\text{物理}}} + \frac{1}{T_{1/2\text{生物}}}$$

有效半减期用于计算放射性物质引起的放射事故中受害者的剂量。如果放射性物质很快被排出体外,那么它带来的危害将会减少。这是在放射事故中吸入或食入放射性物