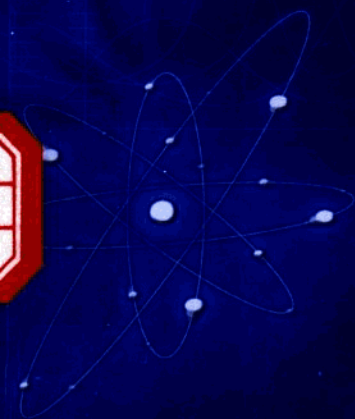


核辐射事故医学应急

郭力生 耿秀生 主编



原子能出版社

0.1

核 辐 射 事 故 医 学 应 急

郭力生 耿秀生 主编

原 子 能 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

核辐射事故医学应急/郭力生,耿秀生主编. —北京:原子能出版社,2004.2
ISBN 7-5022-3120-X

I. 核… II. ①郭… ②耿… III. 急性病:放射病—诊疗 IV. R818.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 007037 号

内 容 简 介

本书是论述核辐射事故医学应急的专著。全书共八章,简明系统地介绍了国内外核辐射事故概况,核事故的特点、分级及应急状态与应急计划区划分,核辐射的生物效应,一些放射性核素的危害与防治,核事故时的防护对策与措施,核事故时对环境及人员的辐射监测与评价,核辐射损伤的医学处理,核事故医学应急准备与分级救治等。全书重视理论联系实际,既论述了基本理论,又介绍了实际应用的具体技术和经验。本书可作为本专业领域的培训教材,可供参加核辐射事故医学应急救援的医务工作者、辐射防护人员参考,也可供高等医学院校放射医学、放射卫生学等有关专业的师生参考,对制定核辐射事故医学应急计划,以及做好核和辐射突发事件的医学应急准备等,也有重要参考价值。

核辐射事故医学应急

出版发行	原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100037)
责任编辑	鲍世宽
责任印制	丁怀兰 刘芳燕
印 刷	保定市印刷厂
经 销	全国新华书店
开 本	850 mm×1168 mm 1/32
字 数	407 千字
印 张	11.875
版 次	2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-5022-3120-X/R818.71
印 数	1~3 000 定 价 30.00 元

版权所有 侵权必究

《核辐射事故医学应急》编者名单

主编 郭力生 耿秀生

编者(以姓氏笔画为序)

毛秉智

叶常青

朱昌寿

刘 英

范深根

金瑾珍

耿秀生

郭 勇

郭力生

阎效珊

魏 康

前 言

随着我国经济建设的迅速发展,放射性核素、电离辐射源及核能的开发利用更为广泛、深入,对推动我国国民经济和国防的现代化,起了积极的促进作用。但实践表明,虽然核能是一种清洁、安全并具有广阔发展前景的能源,尽管采取了一系列安全防护措施,核技术与辐射技术应用中,事故仍不能完全避免。

核及辐射事故的发生概率虽低,但发生突然,有时造成的后果严重,涉及范围广,受累人数多,可造成较严重的公众心理影响及社会后果。核事故应急救援所需人力物力往往较大,因而对核及辐射事故必须坚持预防为主、有备无患的原则。

核及辐射事故医学应急是整个事故应急救援工作的重要组成部分。本书受国家卫生部卫生法制与监督司委托,在卫生部核事故医学应急中心的组织下完成,国家核事故应急办公室也给予了大力支持。编写本书的目的,在于为我国核及辐射事故的医学应急工作提供一本较全面、系统地介绍核及辐射事故医学应急方面的理论和技术的教程或专著。核事故与辐射事故的引发原因、后果、应急防护措施等,虽有很多差异,但就电离辐射对人体的健康影响及辐射损伤的医学防护和临床诊治等问题,却又是基本相同的。为此将本书定名为《核辐射事故医学应急》。全书分八章,即核辐射事故与事故应急,核辐射的生物效应,一些放射性核素的危害与防治,核事故时的防护对策与措施,核事故时对环境监测与评价,核辐射事故时个人剂量监测和估算,核辐射损伤的医学处理,核事故医学应急准备与分级救治。

本书由军事医学科学院放射医学研究所郭力生研究员及中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所耿秀生研究员主编。参加

编写的有:军事医学科学院放射医学研究所魏康研究员、金瑾珍研究员(第二章),阎效珊研究员(第三章),郭勇研究员、叶常青研究员(第六章),毛秉智研究员(第七章),郭力生研究员(第一章、第四章);中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所范深根研究员(第一章国内事故部分),朱昌寿研究员(第五章),刘英研究员(第八章),耿秀生研究员(第四章第三节)。卫生部宋玉芳处长和原卫生部工业卫生实验所李述唐副所长也参加了部分编写工作。

核辐射事故医学应急是一项技术性、政策性较强的工作,涉及的方面也较广泛,书中所述内容难免有不当之处,恳请读者批评指正。

编者

2003年12月

目 录

第一章 核辐射事故与事故应急	(1)
第一节 历史上的核辐射事故	(1)
一、国外核辐射事故简介	(1)
二、国内核辐射事故简介	(13)
第二节 核事故的特点及分级	(21)
一、核事故的基本特点	(21)
二、核事故的分级	(30)
第三节 核事故应急状态分级及应急计划区划分	(34)
一、核事故应急状态分级	(34)
二、核事故应急计划区划分	(35)
参考文献	(38)
第二章 核辐射的生物效应	(39)
第一节 辐射损伤原理	(39)
一、电离辐射的原初作用	(39)
二、DNA 的辐射损伤与修复	(42)
三、辐射对细胞的效应	(46)
第二节 辐射效应的分类及影响因素	(52)
一、辐射效应的分类	(52)
二、影响辐射效应的一些因素	(54)
第三节 辐射的确定性效应	(58)
一、对生殖系统的影响	(59)
二、对造血系统的影响	(60)
三、对眼晶体的影响	(61)
四、对皮肤的影响	(62)
五、对消化系统的影响	(63)

六、全身照射后的死亡	(63)
七、对儿童生长发育的影响	(64)
八、出生前受照对胎儿的影响	(64)
第四节 辐射的远后效应和随机性效应	(65)
一、远后效应的资料来源	(66)
二、影响分析、评价辐射远后效应的因素	(67)
三、辐射的随机性效应	(68)
四、辐射的遗传效应	(73)
第五节 小剂量电离辐射效应	(76)
一、小剂量的剂量范围	(76)
二、小剂量一次照射效应	(77)
三、小剂量低剂量率效应	(81)
四、小剂量电离辐射的适应性反应	(83)
参考文献	(85)
第三章 一些放射性核素的危害与防治	(86)
第一节 反应堆事故中毒理学意义较大的核素	(86)
第二节 放射性碘	(88)
一、理化特性	(88)
二、内污染的途径及在体内的代谢特点	(89)
三、生物危害	(94)
第三节 放射性铯	(95)
一、理化特点	(95)
二、内污染的来源及在人体的代谢	(95)
三、生物危害	(98)
第四节 放射性锶	(99)
一、理化特性	(99)
二、内污染的来源及在人体内的代谢	(100)
三、生物危害	(106)
第五节 放射性核素人体内污染的医学处理原则和措施	(108)
一、医学处理原则	(108)
二、医学处理措施	(110)
参考文献	(118)

第四章 核事故时的防护对策与措施	(119)
第一节 干预的概念与基本原则	(119)
一、干预的概念	(119)
二、干预的基本原则	(120)
第二节 应急防护措施	(121)
一、隐蔽	(122)
二、服用稳定性碘	(123)
三、撤离	(123)
四、个人防护	(124)
五、控制进出口通路	(124)
六、临时避迁	(124)
七、永久性重新定居	(125)
八、消除放射性污染	(126)
九、对食品和水的干预	(126)
十、对人员的医学处理	(127)
十一、减轻核事故造成的社会心理影响	(128)
第三节 应用稳定性碘的问题	(129)
一、对不同人群组的考虑	(130)
二、稳定性碘的副作用与服用限制	(134)
三、影响稳定性碘预防效果的因素	(137)
四、稳定性碘的储存、发放、剂型选择及持续服用次数	(142)
第四节 干预水平、导出干预水平及应急照射的控制	(145)
一、干预水平	(146)
二、导出干预水平	(150)
三、应急照射的控制	(151)
参考文献	(154)
第五章 核事故时对环境监测与评价	(156)
第一节 监测的目的及内容	(156)
一、监测目的	(156)
二、监测内容	(158)
三、监测方案	(161)
第二节 应急监测的组织实施特点	(168)

一、兼容性是应急监测能及时启动的关键	(169)
二、适用性是做好应急监测的基础	(169)
三、有效性是完成应急监测的要求	(170)
四、适度性是做好应急监测准备的重要原则	(170)
第三节 监测方法和质量保证	(172)
一、监测范围和监测点的选取	(172)
二、采样方法和样品预处理	(175)
三、分析测量方法和仪器	(180)
四、监测的质量保证	(189)
第四节 监测结果的分析与评价	(191)
一、与干预水平和导出干预水平比较	(191)
二、公众内照射剂量估算模式	(198)
三、对进出口食品的监测与评价	(206)
参考文献	(208)
第六章 核辐射事故时个人剂量监测和估算	(210)
第一节 对人员的辐射监测	(210)
一、外照射的监测	(210)
二、体内污染的监测	(216)
第二节 外照射剂量的估算	(220)
一、事故剂量估算的基本原则和程序	(220)
二、事故剂量的表达	(222)
三、事故剂量的计算	(223)
四、事故剂量结果的评价	(231)
第三节 内照射剂量的估算	(234)
一、事故内照射剂量评估的要求	(234)
二、参考水平及剂量转换系数	(235)
三、内照射剂量评价步骤	(250)
第四节 切尔诺贝利核电站事故工作人员的剂量估算	(252)
一、应急工作人员	(252)
二、恢复作业工作人员	(256)
参考文献	(262)
第七章 核辐射损伤的医学处理	(264)

第一节 急性放射病的诊断和治疗	(264)
一、急性放射病的发病学特点	(265)
二、急性放射病的分类	(266)
三、急性放射病的临床表现	(267)
四、急性放射病的诊断	(283)
五、急性放射病的治疗	(294)
第二节 辐射防护剂的应用	(315)
一、概述	(316)
二、可用于核事故应急医学处理的几种辐射防护剂	(316)
三、辐射损伤防治药物的临床应用简述	(320)
第三节 皮肤放射损伤的诊断和治疗	(321)
一、皮肤放射损伤的发病学因素	(322)
二、皮肤放射损伤的诊断	(323)
三、皮肤放射损伤的治疗	(326)
第四节 皮肤、伤口放射性物质污染及放射复合伤的处理	(331)
一、放射性物质污染皮肤的处理	(331)
二、放射性物质污染伤口的处理	(333)
三、放烧复合伤的处理原则	(335)
参考文献	(338)
第八章 核事故医学应急准备与分级救治	(339)
第一节 我国的核应急医学救援体系	(339)
一、国家核应急工作方针	(339)
二、我国核应急医学救援组织体系及职责	(340)
第二节 核事故医学应急准备	(345)
一、医学应急的基本任务	(346)
二、医学应急计划	(346)
三、医学应急准备	(348)
四、核事故医学应急响应程序	(353)
第三节 核与放射事故的分级救治	(355)
一、一级医疗救治的组织机构和任务	(355)
二、二级医疗救治的组织机构和任务	(359)
三、三级医疗救治的组织机构和任务	(361)

四、放射事故的分级救治	(362)
五、 关于急救站	(363)
参考文献	(364)

第一章 核辐射事故与事故应急

第一节 历史上的核辐射事故

核能及辐射技术应用中,虽采取了一系列安全防护措施,但尚不能完全避免发生事故。国内外的经验证明,除核工业生产中可发生事故外,辐射装置及放射性同位素的应用中,也可发生不同类型的辐射事故。核辐射事故可概括为核事故及辐射事故,具体类型包括核反应堆事故,辐射装置事故,核材料临界事故,核武器事故,放射性废物储存事故,放射源丢失事故,以及医疗照射事故等。

根据事故的性质和人员受照的特点,也可将国内外的核事故大体上分为四种类型:①临界事故。包括核反应堆、临界装置及核材料的临界事故。据统计,1945—1983年期间,曾发生20起,有6人死亡。②核反应堆污染环境事故。是由于反应堆发生事故,有放射性物质异常释放,造成环境污染。据初步统计,1955—1986年期间,有14起较大的反应堆污染环境事故,造成大面积污染和人员辐射损伤,在事故受照人员中,有34人死亡。③外照射事故。系指除去反应堆及临界事故以外的外照射事故。据初步统计,1948—1987年期间,已发生59起,涉及20个国家和地区,死亡27人。④内照射事故。系指由各种原因,使人体内受到放射性核素的异常污染。据初步统计,1961—1987年期间,已发生13起,有2人死亡。

一、国外核辐射事故简介

核辐射事故类型有多种,发生的原因、特点及后果等也各不相同。以下对国外曾发生过的不同类型事故的典型实例,作简要介绍。

(一)核反应堆事故

1. 英国温茨凯尔核反应堆事故

1957年10月10日,英国的温茨凯尔(Windscale)核反应堆发生事故。这是一座军用的石墨气冷堆,事故原因是人员误操作使堆芯的150根工艺管熔化,反应堆石墨起火,大火燃烧3 d。据估算,向环境释放的放射性核素的数量为: ^{131}I 740 TBq, ^{133}Xe 1.2 PBq, ^{106}Ru 12 TBq, ^{137}Cs 44 TBq。气载放射性物质从事故点向周围地区扩散,影响到欧洲大陆。据估计,事故现场附近居民最大剂量为10 mGy,伦敦儿童甲状腺剂量为0.8 mGy。反应堆周围10~50 km范围内短时间的 γ 辐射水平达 $50 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$,部分地区牧草受到污染,当地居民甲状腺集体剂量当量负担约为 $1.8 \times 10^4 \text{人} \cdot \text{Sv}$,不同放射性核素通过各种内外照射途径所致的集体有效剂量负担约为 $1.3 \times 10^3 \text{人} \cdot \text{Sv}$ 。事故过程中,人员受照的总剂量,约50%来自放射性碘对甲状腺的照射,40%左右来自沉积于地面的放射性核素的外照射,约10%来自除碘以外的其他放射性核素的内照射。此次事故造成较大的经济损失,但使公众受到的照射剂量很小,因而对事故现场周围居民的健康危害也不太大。

事故后26年(1983年),英国的一个环境保护组织督促英国辐射防护局公布因此次核事故可能造成的远期效应,在不得已的情况下,当局认为可能有约260人因核事故诱发甲状腺癌,有33人可能死于与事故有关的癌症或引起先天遗传性疾病或导致子女死亡。由于此次核事故,进一步促使公众对英国的其他核设施的安全及辐射影响更加关注。

2. 美国三里岛核电站事故

三里岛位于宾西法尼亚州首府哈里斯堡(Harrisburg)东南16 km。哈里斯堡地区有人口23万,发生核事故时,距核电站8 km范围地区内有24 527人,16 km地区内有133 672人,32 km范围内总人数为636 073人。

三里岛核电站有两座压水型核反应堆,其中2号堆运行不到一年,电功率为880 MWe,堆内装有37 000根 UO_2 锆包壳元件,堆芯封装在高12.4 m、内径4.31 m、壁厚21.4 cm的钢壳内,钢壳和一回路的主要设备均包容在混凝土安全壳内。1979年3月28日凌晨,2号堆以98%的功率运行,4时左右二回路除盐装置阀门发生故障,主给水泵和汽轮机停运,辅助给水泵自动开启,但因出水阀门在检修时忘记打开,辅助泵并未将水注入蒸汽发生器的二回路内,致使二次侧水很快烧干,堆芯失去冷却,一回路的温度及压力升高,超过额定值后,反应堆安全控制棒自动落入堆芯,反应堆停止运行。但由于堆芯内放射性核素衰变继续产生热量,温度和压力继续上升,与此同时稳压器内卸压阀自动开启向卸压箱喷洒冷水,一回路压力下降。因电磁卸压阀失灵,卸压后不能返座,一回路水继续进入卸压箱,导致堆芯失水。事故发生后2 min左右,反应堆堆芯致冷系统自动向堆内注入高硼水,此时指示系统给出“满水”信号,操作人员误认为堆内有水,错误地关闭了紧急致冷系统的高压注入泵。在一回路水外泄又得不到补充的情况下,堆内水量逐渐减少,堆芯外露,部分锆包壳破损,一部分元件发生锆水反应。大量放射性物质进入一回路冷却水,随之流入卸压箱。事故后15 min,卸压箱安全隔膜破裂,大量高温一回路水流到安全壳地面上,其中部分污水通过污水泵流入辅助厂房,造成放射性气体和气溶胶向环境释放。事故后7 h,安全注入箱紧急注水。10 h后安全壳喷淋系统开始工作,4月27日安全稳定停堆。

这次事故释放出的放射性核素,主要是放射性惰性气体。据估算,主要核素的释放量为: ^{88}Kr 2 257 TBq, ^{133}Xe 307 000 TBq, ^{135}Xe 500 TBq, ^{131}I 1 TBq, ^{90}Sr 及 ^{137}Cs 的量极小。尽管释放出的放射性总量比温茨凯尔事故大得多,但周围人群受照剂量却较小。核电站周围80 km范围内的216万居民,其集体剂量负担约为16~35人·Gy,个人平均剂量约15 μGy ,外照射个人最大剂量约0.85 mGy,上述剂量均小于天然本底辐射的1%。放射性污染的情况调

查表明,在 152 个空气样品中,仅 8 个样品有微量放射性碘;在牛奶样品中测出的 ^{131}I 最高浓度为 $0.6\sim 1.5\text{ Bq}\cdot\text{L}^{-1}$;在 147 个土壤样品和在 3 km 范围内采的 171 个植物样品中,均未测出放射性碘;在核电站附近的哈斯奎哈纳河下游不同地点采集的河水样品,也未测出异常的放射性。事故处理过程中,有 261 名电站工作人员受到大于 1 mSv 的全身照射,其中 3 人受照剂量分别为 31,34 及 38 mSv ;在 255 名外来支援人员中,也只有 23 人受照剂量大于 1 mSv ,其中 7 人为 $5\sim 10\text{ mSv}$ 。但此次核事故造成较大经济损失,据估计,仅清理现场的费用就达 10 亿美元。同时,调查表明,事故最重要的健康影响是心理应急,最苦恼的人是居住在离核电站附近又有学龄前儿童的母亲。

事故后,来自英、法、德、日、意等国的专家和美国科学家组成的联合调查组进行远期效应调查,结论认为,此次核事故可能诱发的癌症远期死亡率接近于零;美国宾夕法尼亚州卫生厅对核电站周围居民进行的调查也表明,在 1974—1983 年期间,这一地区癌症死亡数在核事故前后无明显变化。

3. 前苏联切尔诺贝利核电站事故

切尔诺贝利核电站位于乌克兰境内,距基辅市 130 km,在普里皮亚特河畔,靠近白俄罗斯和俄罗斯。核电站 30 km 范围内有居民 10 万人,人口密度约 $70\text{ 人}\cdot\text{km}^{-2}$ 。此核电站已建成 4 座反应堆机组,还有 2 座待建。事故发生于 4 号机组,该机组的核反应堆于 1983 年 12 月投入运行,采用的是前苏联研制的 RBMK—1000 型石墨沸水堆,用石墨作慢化剂,以沸腾轻水作为冷却剂。堆芯由直径 12 m、高 7 m、重约 1 700 t 的石墨砌体、金属铀燃料及压力管等构成。堆内共装 1 659 根燃料棒,其中 75% 是首次装料时装入的,其输出热功率为 $3\,200\text{ MW}$ 。反应堆运行时石墨砌体温度达 700°C ,易燃烧,遇水也可产生易燃气体,系安全隐患。另外,反应堆还存在其他缺点,如冷却剂存在相的转化,有可能形成空泡正反应性效应;在反应堆的金属构件和石墨砌体中积累大量能量,紧急停堆时热功率

降低较慢;没有安全壳等。按计划,该反应堆于1986年4月26日停堆检修。停堆前,准备在8号汽轮发电机上进行惯性条件下提供电力的试验,目的在于检验在失去场外供电的情况下,延长强制冷却堆芯的时间,但试验未严格按安全规定进行。4月25日凌晨1时,操作人员开始降低功率,14时关闭了堆芯紧急冷却系统,23时10分又降功率,原定降至700~1 000 MW,因误操作降到了30 MW以下。为尽早结束试验,工作人员将安全控制棒大部抽出,留下不到10根,而按规定,不得少于15根。4月26日1时许,反应堆功率才稳定在200 MW水平,尔后各有一台备用主循环泵接入,增加了反应堆内冷却能力,蒸汽量减少,压力下降。1时23分半时,过反应性已到要求立即停堆的水平,但运行人员未停堆,反而关闭了事故紧急调节阀等安全保护系统。当反应堆功率开始迅速上升时,试图将所有控制棒插入堆芯紧急停堆,但因控制棒受阻而未能及时插入堆芯底部,使堆芯失水熔毁,核燃料因热量聚集过多而炸成碎块。当紧急注入水后,使产生的过热蒸汽与烧熔的元件、包壳及石墨发生反应,产生大量氢气、甲烷和一氧化碳,这些易燃易爆的气体与氧气结合,发生猛烈的化学爆炸,1 000 t重的堆顶盖板被掀起,堆中所有管道破裂,反应堆厂房倒塌,使堆芯进一步被破坏,熊熊烈火达十层楼高,热气团将堆芯中的大量放射性物质抛向1 200 m空中,而后才水平传输。这次核事故的原因,是由于核电站设计上的缺陷和人为因素造成的。为了灭火及覆盖反应堆和吸收放射性气溶胶颗粒,从4月27日到5月10日,调动300多架次军用直升飞机空投了5 000 t碳化硼、白云石、砂土和铅等混合物。为防止堆底部结构破坏,修筑了人工排热通道。后来将整个反应堆用混凝土封闭,形成所谓的“石棺”。

据估计,此次事故释放出的放射性物质总量约 12×10^{18} Bq,相当于反应堆内已烧过的核燃料总量的3%~4%。释放出的放射性核素成分复杂,但对环境污染和人员有害影响的主要是碘和铯。由于释放出的放射性物质随大气扩散,造成大范围的污染。据估算,事故释放量的地区分配比例大体为:事故现场12%,20 km范围内