

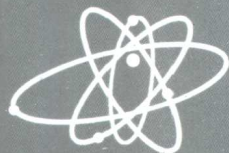
放射医学系列专著



# 放射医学

F A N G S H E Y I X U E

主编 吴德昌



军事医学科学出版社

放射医学系列专著

# 放 射 医 学

主 编 吴德昌

副主编 陈家佩 毛秉智

军事医学科学出版社

·北 京·

## 内 容 简 介

本书是《放射医学系列专著》中的第一部,系统地概述放射医学及卫生防护的学科建设与发展和学术研究的进展。全书主要内容包括:概论;辐射与物质相互作用的原理及规律;辐射的分子和细胞生物效应;辐射对机体主要系统作用的病理生理过程;放射损伤病理形态学;急性放射病的临床表现、诊断和治疗;急性放射病的药物防护;中子急性放射病;局部放射损伤;放射性核素内照射损伤;外照射慢性放射病及小剂量外照射;辐射的非随机性远后效应;辐射致癌效应和遗传效应及21世纪放射医学展望等,资料新颖,内容翔实。

本书可供放射医学、放射生物学、辐射防护学、卫生毒理学、放射损伤治疗学、核事故医学救援及相关学科的科研、教学和临床人员参考,也可作为相关专业研究生和大学学生的学习参考书。

\* \* \*

### 图书在版编目(CIP)数据

放射医学/吴德昌主编. —北京:军事医学科学出版社,2001.3

(放射医学系列专著)

ISBN 7-80121-332-7

I. 放… II. 吴… III. 放射医学 IV. R81

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第10388号

\* \*

军事医学科学出版社出版

(北京市太平路27号 邮政编码:100850)

新华书店总店北京发行所发行

潮河印刷厂印刷 春园装订厂装订

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:19.25 字数:480千字

2001年9月第1版 2001年9月第1次印刷

印数:1-2500册 定价:38.00元

---

(购买本社图书,凡有缺、损、倒、脱页者,本社发行部负责调换)

100121

放射医学系列专著  
组织委员会、编辑委员会名单

组委会	贺福初	沈廷才	刘雅珠	陈惠鹏
	张铭芳	周平坤	毛秉智	胡向军
编委会	吴德昌	毛秉智	陈家佩	龚诒芬
	王德文	金瑾珍	郭勇	王秉伋

# 《放射医学》编辑委员会

主 编 吴德昌

副主编 陈家佩 毛秉智

编 者 (以姓氏笔画为序)

王玉芝 王 珏 王宝勤 王德文

毛秉智 叶根耀 叶常青 吴德昌

杨志祥 陈家佩 邱丽玲 金瑾珍

夏寿萱 袁丽珍 高沛永 郭 勇

龚诒芬 葛忠良 魏 康

## 总 序

我所于 1958 年建立。40 多年来,在总后党委、院党委的关怀和正确领导下,全所几代科技工作者齐心协力,艰苦奋斗,拼搏创新,获得了包括国家科技进步特等奖在内的 23 项国家奖和 82 项军队科技进步二等奖以上的成果奖。通过对放射病防、诊、治系统的研究,建立了急性放射病早期分类诊断和临床诊断的方法,提出了重度骨髓型急性放射病综合治疗原则,放射病治疗达到了国际先进水平;研究出一批具有我国特色、国际先进的抗辐射药物;开展了放射防护学、辐射剂量研究和核事故医学应急、环境放射性水平调查与卫生评价研究,解决了部队放射防护的主要问题;在急性放射病基础研究方面,实验血液学、微循环、辐射损伤病理、生物化学研究取得了很好进展,促进和推动了急性放射病防、诊、治水平的提高,带动了一批相关学科的发展,培养了一批放射医学研究人才。

我所 40 年的辉煌,40 年的发展,是老一代科技工作者艰苦创业、开拓奋斗的凝聚,他们为放射医学研究贡献了毕生精力,在各自的研究领域为放射医学研究事业作出了历史性的贡献。进入 20 世纪 90 年代,建所初期入所的老科技人员陆续到了离、退年龄,他们在放射医学研究领域辛勤耕耘数十载,积累了丰富的经验,这是一笔十分宝贵的财富。在 21 世纪,我所肩负着新的历史使命的年轻一代科技工作者面临着新的机遇和挑战,因此,将老一代科技工作者几十年积累的宝贵知识财富继承和发展,完成老新传承,是促进我所在新的世纪创造新的业绩,步入新的辉煌的重要措施。

鉴于此,所党委决定由一批放射医学研究领域的知名专家牵头,利用 2~3 年时间撰写出放射病治疗、抗辐射药物、生物剂量诊断、物理剂量诊断、放射病理学、放射毒理学等汇集我所几十年研究成就,同时启迪后人的放射医学系列专著。这套专著将系统地总结我所 40 多年的研究成就,并前瞻性地提出本学科领域的前沿问题和最新进展。据我所知,这套放射医学系列专著为我国第一套系统介绍放射医学研究进展的专业著作,希望这套专著的出版对于推进我国放射医学研究将产生积极影响。

军事医学科学院  
放射医学研究所所长  
贺福初

二〇〇〇年十月

## 前 言

放射医学是随着辐射现象的发现继而对它研究而逐步形成的一门交叉学科,主要的研究方向是:急性放射病的防、诊、治及其发病机理、核能利用中的辐射防护、核事故伤员医学处理、辐射的致癌和遗传效应及其机理、人体辐射剂量学等。近 10 多年,医学科学特别是分子生物学的高速发展,促进放射医学研究有了长足的进展。

1978 年军事医学科学院放射医学研究所根据核能利用与发展的需要组织有关专家编写《防原医学与放射卫生学基础》,这本书内容适应当时的需要,系统地介绍了放射医学与防护知识,是一本很有价值的专著。但该书发表已有 20 多年,相关领域已取得不少新的进展,有鉴于此,军事医学科学院放射医学研究所为了适应当今科学技术发展的新形势,根据研究所 40 多年的研究积累并吸收国外的先进经验,组织编写了《放射医学》这部专著,作为《放射医学系列专著》的第一部。

本书系统地概述放射医学及卫生防护学科的建设和学术研究的进展,主要内容包括:概论;辐射与物质相互作用的原理及规律;辐射的分子和细胞生物效应;辐射对机体主要系统作用的病理生理过程;放射损伤病理学;急性放射病的临床表现、诊断和治疗;急性放射病的药物防护;中子急性放射病;局部放射损伤;放射性核素内照射损伤;外照射慢性放射病及小剂量外照射效应;放射损伤的远后效应;辐射致癌效应和遗传效应及 21 世纪放射医学展望等,资料新颖,内容翔实。

本书由 19 位长期从事放射医学研究的专家编写,在充分总结我国自己经验的同时,也广泛汇集国外的研究进展;即重视理论进展,又关注实际应用。希望本书对放射医学与卫生防护相关学科的教学、科研人员有所帮助。现代科学技术在不断发展,本书作者虽尽了很大努力,但因时间短促,缺点和不足在所难免,敬请读者斧正。本书在编写中得到军事医学科学院放射医学研究所领导和机关的大力支持,在此一并感谢!

主 编

2001 年 3 月



### 主编简介

吴德昌 中国工程院院士, 1927年10月生, 江苏武进人, 1949年北京大学毕业, 长期从事放射医学与辐射防护研究工作。1980年以来发表学术论文百余篇, 培养博士、硕士研究生数十名。现任军事医学科学院研究员、中国毒理学会名誉理事长、中华放射医学与防护学会主任委员等职。



## 内容提要

本书系统地概述了放射医学及卫生防护的学科建设与发展和学术研究的进展。主要内容包括：辐射与物质相互作用的原理及规律；辐射的分子和细胞生物效应；辐射对机体作用的病理及病理生理过程；急性放射病的临床表现、诊断、治疗和药物防护；中子急性放射病；局部及内照射放射损伤；辐射致癌效应和遗传效应。书中展望了21世纪放射医学的发展。本书可供放射医学、辐射防护及卫生毒理学，以及相关学科的科研、教学和临床人员参考。

## 目 录

第一章 放射医学概论	1
第一节 基本概念	1
一、电离辐射	1
二、辐射生物效应	1
(一)确定性效应	1
(二)随机性效应	2
三、放射医学	2
第二节 简史	2
一、学科形成阶段(19世纪末~20世纪40年代)	2
二、发展阶段(20世纪40年代~80年代)	3
三、提高阶段(20世纪80年代~)	4
第三节 我国放射医学研究的主要进展和成就	5
一、核试验生物效应和防护	5
二、放射损伤防治研究	5
(一)物理剂量学	5
(二)生物剂量估计	5
(三)急性放射病的治疗	6
三、放射损伤防治药物的研究	6
四、放射损伤应用基础研究	6
五、辐射防护和放射毒理学研究	7
六、辐射流行病学和低水平照射的适应性反应研究	7
第二章 辐射与物质相互作用的原理及规律	8
第一节 辐射的种类	8
一、电磁辐射	8
二、粒子辐射	9
三、电离辐射和非电离辐射	9
第二节 辐射与物质的相互作用	9
一、带电粒子与物质的相互作用	9
(一) $\alpha$ 粒子	9
(二)电子	10
(三)负 $\pi$ 介子	10
(四)重离子	10
二、X射线和 $\gamma$ 射线与物质的相互作用	10
(一)光电效应	11
(二)康普顿-吴有训效应	11
(三)电子对生成	11

三、中子与物质的相互作用·····	12
(一)弹性碰撞·····	12
(二)无弹性碰撞·····	12
(三)非弹性碰撞·····	12
(四)中子俘获·····	12
(五)散裂反应·····	12
四、几种电离辐射的比较·····	13
五、紫外线与物质的相互作用·····	13
第三节 自由基·····	14
一、自由基的种类和特性·····	14
(一)定义和种类·····	14
(二)活性氧和自由基·····	14
(三)自由基的理化性质·····	15
二、水的辐射分解·····	15
三、辐射的直接作用与间接作用·····	16
四、自由基与生物靶分子的主要反应·····	17
(一)靶分子损伤·····	17
(二)靶分子损伤的修复·····	17
第四节 电离辐射作用的时间进程·····	17
一、原初反应和继发反应·····	17
二、电离辐射的作用时间表·····	17
第五节 氧效应·····	18
一、氧效应和氧增强比(OER)·····	18
二、氧效应的需氧浓度·····	18
三、氧效应的作用时间·····	19
第六节 传能线密度和相对生物效能·····	19
一、传能线密度(LET)·····	19
二、相对生物效能(RBE)·····	20
三、LET, RBE 和 OER 的相互关系·····	20
(一)LET 与 RBE 的关系·····	20
(二)LET 与 OER 的关系·····	20
四、辐射权重因子和组织权重因子·····	20
第三章 辐射的分子生物学效应·····	23
第一节 靶分子和靶结构·····	23
一、DNA·····	23
二、膜·····	24
第二节 DNA 辐射损伤及其对功能的影响·····	24
一、DNA 损伤·····	24
(一)碱基的破坏或脱落·····	24

(二)糖基的破坏 .....	25
(三)DNA 链上不定位点的形成 .....	25
(四)DNA 链断裂 .....	25
(五)DNA 交联 .....	25
(六)染色质损伤 .....	26
(七)DNA 损伤的非随机性 .....	26
(八)DNA 损伤的复杂性 .....	27
二、辐射对 DNA 复制过程的影响 .....	27
(一)DNA 生物合成的抑制 .....	27
(二)DNA 模板损伤的影响 .....	27
(三)辐射对 DNA 复制过程的影响 .....	27
三、辐射对转录过程的影响 .....	28
(一)对体外转录过程的影响 .....	28
(二)细胞受照射后的 RNA 合成 .....	28
四、辐射对翻译过程的影响 .....	28
第三节 膜辐射损伤及其对功能的影响 .....	28
一、辐射对膜组分的损伤 .....	29
(一)对脂质的作用 .....	29
(二)对膜蛋白的作用 .....	29
(三)对糖链的作用 .....	29
二、辐射对膜的物理化学性质的影响 .....	29
(一)膜流动性 .....	29
(二)膜表面电荷 .....	29
(三)膜导电性 .....	29
三、辐射对膜生物功能的影响 .....	30
(一)膜转运功能的变化 .....	30
(二)膜结合酶活性的变化 .....	30
(三)膜受体功能的变化 .....	31
(四)膜能量转换功能的变化 .....	31
(五)DNA 膜复合物的辐射效应 .....	31
第四节 辐射的信号转导和基因诱导 .....	31
一、信号转导的基本概念 .....	31
二、信号和转导的受体 .....	32
(一)与 G 蛋白偶联的受体 .....	32
(二)酪氨酸蛋白激酶受体 .....	32
(三)酪氨酸蛋白磷酸酯酶受体 .....	32
(四)丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶受体 .....	32
(五)鸟苷酸环化酶受体 .....	32
(六)离子通道 .....	32

三、辐射信号转导的信使分子·····	32
四、辐射信号转导的主要途径·····	33
(一)Ras/Raf 途径 ·····	33
(二)JNK/SAPK 途径 ·····	34
(三)JAK/STAT 途径 ·····	34
(四)PKC 途径 ·····	34
(五)鞘磷脂途径 ·····	35
(六)信号转导途径网络 ·····	35
五、辐射反应的基因调控·····	35
第五节 DNA 损伤的修复·····	36
一、DNA 修复在生命中的意义 ·····	36
二、DNA 各类损伤的修复特点 ·····	37
(一)DNA 单链断裂的修复·····	37
(二)DNA 双链断裂的修复·····	37
(三)碱基损伤的修复 ·····	37
(四)DNA 修复合成·····	37
三、DNA 修复的主要途径 ·····	37
(一)回复修复 ·····	38
(二)切除修复 ·····	38
(三)错配修复 ·····	40
(四)重组修复 ·····	40
四、DNA 修复与细胞其他重要功能的关联 ·····	42
(一)修复与转录的偶联 ·····	42
(二)修复与免疫功能的关系 ·····	42
(三)修复与细胞周期调控 ·····	42
五、DNA 修复基因 ·····	43
(一)XRCC 基因 ·····	43
(二)XP 及 ERCC 基因 ·····	43
(三)rad 系列基因 ·····	44
(四)错配修复基因 ·····	44
第六节 细胞辐射敏感性的分子基础 ·····	44
一、细胞辐射敏感性的差异及特点·····	45
(一)不同类型细胞的辐射敏感性 ·····	45
(二)肿瘤细胞的辐射敏感性 ·····	45
(三)人工培育的突变敏感细胞株 ·····	45
(四)辐射敏感的遗传疾患及 AT 细胞 ·····	45
二、DNA 损伤修复与敏感性的关系 ·····	46
(一)初始 DNA 双链断裂 ·····	46
(二)DNA 双链断裂的修复·····	46

(三)染色质结构的影响 .....	46
三、细胞周期及调控与辐射敏感性的关系 .....	47
(一)细胞周期不同时相下的辐射敏感性 .....	47
(二)周期调控与辐射敏感性 .....	47
(三)p53 的作用 .....	47
四、决定辐射敏感性的基因 .....	48
(一)XRCC 基因 .....	48
(二)ATM 基因 .....	48
(三)NBS 基因 .....	49
(四)ATR 基因 .....	49
(五)DNA 连接酶基因 .....	49
(六)BLM 基因 .....	49
(七)FANC 基因 .....	49
(八)BRCA 基因 .....	49
<b>第四章 辐射的细胞生物学效应 .....</b>	<b>51</b>
<b>第一节 细胞存活曲线 .....</b>	<b>51</b>
一、细胞的完整增殖能力与集落形成 .....	51
二、细胞存活曲线及参数 .....	51
三、细胞亚致死性损伤和潜在致死性损伤的修复 .....	52
四、细胞存活曲线的数学模型 .....	52
(一)单靶单击模型 .....	53
(二)多靶单击模型 .....	53
(三)线性-平方模型(linear-quadratic model, 简称 LQ 模型) .....	54
五、不同 LET 辐射的细胞存活曲线 .....	54
六、分次照射的细胞存活曲线 .....	55
<b>第二节 辐射对细胞周期的影响 .....</b>	<b>56</b>
一、辐射引起的细胞周期紊乱 .....	56
(一)细胞周期的运转 .....	56
(二)辐射对细胞周期进程的影响 .....	56
二、辐射诱发细胞周期紊乱的分子机理 .....	57
(一)细胞周期的分子调控 .....	57
(二)辐射诱发细胞周期进程改变 .....	60
<b>第三节 辐射所致的细胞死亡 .....</b>	<b>61</b>
一、细胞间期死亡、增殖死亡、凋亡、坏死的区别和联系 .....	61
二、细胞受照射后的几种死亡方式 .....	63
三、细胞凋亡的分子机理 .....	64
(一)细胞凋亡的基因调控 .....	64
(二)细胞凋亡中的蛋白酶降解 .....	66
(三)细胞凋亡中的核酸内切酶和 DNA 片段化 .....	66

(四)细胞凋亡中的信号转导 .....	67
四、细胞凋亡与放射生物学中的几个问题 .....	68
(一)细胞存活曲线 .....	68
(二)分次照射 .....	68
(三)剂量率 .....	68
(四)LET 和 RBE .....	69
(五)氧效应 .....	69
(六)在放射治疗中的意义 .....	69
<b>第五章 辐射对机体主要系统作用的病理生理过程 .....</b>	<b>70</b>
<b>第一节 辐射对血液系统作用的病理生理过程 .....</b>	<b>70</b>
一、引言 .....	70
二、血液系统的辐射损伤 .....	70
(一)辐照后外周血像的变化 .....	70
(二)辐照后骨髓像的变化 .....	71
(三)辐照后造血干、祖细胞的变化 .....	72
(四)辐照后造血微环境的变化 .....	73
(五)辐照后细胞因子及受体的变化 .....	73
(六)造血系统辐射损伤的近期和远期效应 .....	73
三、辐照后的造血重建 .....	74
(一)细胞因子和辐照后造血重建 .....	74
(二)造血干细胞移植和辐照后造血重建 .....	74
(三)基因治疗和辐照后造血重建 .....	74
四、血液系统辐射损伤的特点和意义 .....	75
五、造血系统辐射损伤与临床防治 .....	75
<b>第二节 辐射对消化系统作用的病理生理过程 .....</b>	<b>76</b>
一、肠上皮辐射损伤与修复 .....	76
(一)肠上皮的结构与功能 .....	76
(二)隐窝干细胞的辐射敏感性 .....	77
(三)辐射诱发隐窝细胞凋亡及细胞周期的改变 .....	77
(四)照射后肠上皮细胞动力学的改变 .....	77
二、照后肠壁微循环障碍和恢复 .....	78
(一)血流量的改变 .....	78
(二)小肠壁通透性的改变 .....	78
三、辐射所致消化功能紊乱和恢复 .....	79
(一)射线对胃排空的影响 .....	79
(二)射线对胃分泌功能的影响 .....	79
(三)射线对肠运动的影响 .....	80
(四)射线对小肠吸收的影响 .....	80
(五)射线对胰腺分泌功能的影响 .....	80

四、肝脏的辐射损伤	81
五、消化系统辐射损伤的意义	81
第三节 辐射对免疫系统作用的病理生理过程	82
一、引言	82
二、辐射对淋巴系统的影响	82
(一)淋巴细胞的辐射效应	83
(二)淋巴造血组织的辐射损伤	85
三、辐射对单核-巨噬细胞系统的影响	85
(一)单核-巨噬细胞的辐射效应	86
(二)单核-巨噬细胞参与辐射诱导的器官炎症和纤维化	86
四、辐射诱发炎性细胞激活及细胞网络调节	87
(一)参与免疫活动的细胞因子多功能作用	87
(二)辐射诱发炎性细胞激活	87
(三)辐射对 IL-2 表达的影响	87
(四)辐射诱导神经内分泌参与免疫网络调节	87
(五)辐射诱导核蛋白酶和转导调节基因激活	88
五、结束语	88
第四节 辐射对出凝血系统作用的病理生理过程	89
一、引言	89
二、辐射对血小板巨核细胞系统的影响	89
(一)辐射对巨核细胞和血小板数量的损伤作用	89
(二)辐射对 MK 和血小板形态、结构、功能和代谢的损伤	90
三、辐射对血管壁的影响	91
(一)辐射对血管壁形态和功能的损伤作用	91
(二)辐射对微血管代谢的损伤作用	92
四、辐射对凝血和纤溶系统的影响	92
五、急性放射病的两期出血及其加重因素	93
(一)急性放射病的两期出血	93
(二)急性放射病出血的加重因素	94
第六章 放射损伤病理形态学	95
第一节 放射损伤的基本病理变化	95
一、组织细胞的辐射敏感性	95
二、放射损伤的基本病理变化	96
(一)组织细胞的广泛变性坏死和凋亡	96
(二)严重的血管反应和出血	96
(三)致死性继发性感染	97
(四)多种远期损伤病变	97
第二节 造血组织的病理变化	97
第三节 淋巴组织的病理变化	99



一、淋巴组织的基本病变·····	99
二、胸腺·····	99
三、脾脏·····	100
四、淋巴结·····	100
五、粘膜淋巴组织·····	100
六、扁桃体·····	101
第四节 消化系统的病理变化·····	101
一、小肠·····	101
(一)小肠粘膜病变·····	101
(二)小肠肌层病变·····	102
(三)小肠壁血液循环障碍病变·····	102
(四)小肠感染病变·····	102
(五)肠套叠·····	103
二、大肠·····	103
三、食管·····	103
四、胃·····	103
五、肝脏·····	103
(一)肝脏的辐射敏感性·····	103
(二)病理形态改变·····	103
六、其他·····	105
(一)胰腺·····	105
(二)唾液腺·····	105
第五节 中枢神经系统的病理变化·····	105
一、神经细胞变化·····	105
二、传导束变化·····	106
三、神经胶质细胞变化·····	106
四、脑脊髓血液循环障碍病变·····	106
五、程度划分·····	106
第六节 其他器官的病理变化·····	107
一、肺·····	107
二、心脏·····	108
第七章 急性放射病分型、临床表现和临床诊断·····	109
第一节 急性放射病的发病学特点·····	109
一、急性放射病的病情主要取决于照射剂量·····	109
二、急性放射病的类型取决于主要受损器官的病变·····	109
三、急性放射病的病程有明显的阶段性·····	109
四、在一定照射剂量范围内,机体的损害有自行恢复的可能性·····	109
第二节 急性放射病的分型·····	110
一、急性放射病分型的必要性·····	110