

国家重点学科放射医学系列教材

全国高等院校教材,供特种医学、临床医学类专业用

江苏省优势学科(特种医学)经费资助

放射毒理学

(第四版)

主 编 杨占山

副主编 周新文 崔凤梅

审 校 周平坤

中国原子能出版社

国家重点学科放射医学系列教材

全国高等院校教材,供特种医学、临床医学类专业用

江苏省优势学科(特种医学)经费资助

放射毒理学

(第四版)

杨占山	主 编
周新文 崔凤梅	副主编
周平坤	审 校



中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

放射毒理学 / 杨占山主编. —4 版. —北京:中国原子能出版社,2016.10
ISBN 978-7-5022-7624-9

I. ①放… II. ①杨… III. ①放射毒理学
IV. ①R818.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 266838 号

内 容 简 介

本书在 2004 年苏州大学出版的《放射毒理学》第三版教材基础上,结合近十余年国内外放射医学和防护领域研究的最新进展,并根据本科生和研究生教学的实际需求,对教材结构和内容作了大幅度增补、修改和更新,全面系统地阐述了放射毒理学的基本概念、理论、技能以及最新研究成果。全书分为总论和各论两篇,共 15 章。总论内容包括概论,放射性核素生物动力学,放射性核素内照射作用的机制、特点及影响因素,放射性核素内照射确定性效应和随机性效应,放射性核素内污染的监测、诊断与危害评价,放射性核素内污染的医学处理,放射毒理学在制定辐射防护标准中的应用,放射毒理学的基本研究方法。各论中论述了与环境和人类密切相关的铀及铀系主要核素、钚及超钚核素、钍、裂变产物、氡,以及医用放射性核素的毒理学。

本书作为高等学校放射医学专业系列教材,可供放射生物学、放射医学、辐射防护、核医学、核影像、辐照生物物理以及肿瘤放射治疗学、生物技术等本科生和研究生及其他相关工作者学习、研究和参考。

放射毒理学(第四版)

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

责任编辑 肖 萍

装帧设计 马世玉

责任校对 冯莲凤

责任印制 潘玉玲

印 刷 北京厚诚则铭印刷科技有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 29

字 数 723 千字

版 次 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5022-7624-9 定 价 86.00 元

网址:<http://www.aep.com.cn>

发行电话:010-68452845

E-mail:atomep123@126.com

版权所有 侵权必究

放射医学专业系列教材出版序言

自 1895 年伦琴(W. C. Röntgen)发现 X 射线以来,人类对核能和核技术的研究和利用已经历了近 120 年的发展历程。诚如一切事物均具有两面性,核能和核技术也不例外,利用它们在为人类带来巨大裨益的同时,其产生的电离辐射也对人类生物机体产生不同程度的健康危害,同时也对人类的及其生存环境造成一定的负面影响。为了更好地利用核能和核技术为人类造福,又能保护辐射从业人员和公众免受或少受电离辐射照射的影响,放射医学与防护学科应运而生,并随着人类对电离辐射的认识和应用不断深入和扩展应用,放射医学和防护学科获得相应发展。经历一个多世纪后,放射医学和防护现已形成了系统的学科体系,其主要内涵是研究电离辐射对人体的作用、损伤、修复及其机制;发展放射损伤的诊断、治疗和预防技术;为放射性工作人员的卫生防护、医学监督和保健工作提供科学依据和措施;同时,肿瘤放射治疗和核医学诊疗的基础与应用研究也已构成放射医学的重要研究内容。

我国放射医学与防护学科发展和专业的建立与发展,是与我国核技术利用和核能事业的发展,尤其是 20 世纪中叶的核试验,息息相关。起步于 20 世纪 50 年代末,发展于 60 年代中期,因核试验要求,当时放射医学的主要目标是急性放射病诊断和实验治疗研究,到 80 年代,各地放射医学和防护机构和队伍都根据核电发展的需求作了相应调整,主要为临床放射治疗和诊断、放射卫生评价和放射防护监督等方向培养学生和开展相关研究。

苏州大学医学部放射医学与防护学院前身是创建于 1964 年,隶属于原核工业部的苏州医学院放射医学系。虽然由于各种原因,20 世纪 80 至 90 年代我国放射医学和防护学科发展缓慢,但苏州大学仍然坚持进行放射医学和防护本科人才的培养,仍然坚持放射医学的学科建设,并取得了一定的发展,成为国家重点学科,学院已成为我国培养放射医学专业人才培养和开展放射医学科学研究的主要基地,放射医学专业也已成为国家特色专业建设点、江苏省特色专业和苏州大学品牌专业,为国防、核电、军队、医疗卫生等机构培养了一大批放射医学和防护专业人才。

在放射医学专业 50 年的漫长办学历程中,苏州大学相关教师主编了放射医学领域中大部分全国统编教材,如:《医用核物理》、《放射化学》、《电离辐射剂量学》、《放射卫生学》、《放射毒理学》、《放射医学教程》、《核环境学基础》、《实验核医学》、《核药学教程》、《放射治疗技术学》、《放射治疗物理学》等,多次获得国家 and 省部级优秀教材奖,相关课程被评为江苏省优秀课程群。但是,近年来,随着物理、化学、核技术、计算机科学、纳米技术、特别是分子生物学等交叉学科的发展,在急性放射病的预防、诊断、治疗,辐射损伤机制研究,辐射防护剂应用,辐射剂量学与生物计量学在医疗诊断上的应用,辐射危害流行病学调查与评价,核事故医学应急处理等方面都取得了迅猛进展。原有的放射医学系列教材已不能反映放射医学学科的最新进展和成果,影响了放射医学专业人才培养的质量。经过各方努力,在放射医学国家特色专业建设项目、江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD,特种医学)的支持下,

苏州大学组织国内高校和其他行业相关教师和专家,在原有教材的基础上,编写一套全新的放射医学专业系列教材,《放射毒理学》(第四版)是系列教材中的一本,其余教材将陆续出版,供国内放射医学及其相关专业本科学生使用。相信这一系列教材的出版,必将促进我国放射医学学科的发展,有利于放射医学专业人才的培养,也必将为我国国家安全、核能建设、人民健康和社会经济的进步发挥积极作用。

此为序。



2013.6.1

前 言

核能与核科学技术的迅猛发展和广泛应用,给人类和社会带来巨大的裨益,然而,核与辐射突发事件如核武器爆炸、核电站事故、核恐怖事件以及放射核素生产、运输和应用等过程中的意外事故,均可造成严重的环境放射性核素污染和人类健康的危害,备受人们的关注。为了培养我国放射医学与防护领域的专业人才,我们在朱寿彭和李章教授主编第三版《放射毒理学》教材(2004年苏州大学出版社)的基础上,吸取了近十余年国内外放射医学与防护领域的最新研究进展,大幅度进行了充实和修改,优化和丰富了放射毒理学的结构和内容,深入介绍了放射性核素确定性效应和随机性效应及其防治的基础理论和先进成果,以期提高学生运用基本概念、基本理论和基本技能处理实际问题的能力,促进我国和平利用原子能事业的发展。

本版《放射毒理学》教材分为总论和各论两篇,共15章。总论主要介绍了放射毒理学的发展史、放射性核素生物动力学、确定性和随机性效应及其机理和防治、内污染核素阻吸收和促排,以及放射毒理学研究方法。各论主要介绍了与环境和人体污染密切相关的铀系、钍系与超钍、钍、裂变产物、氡,以及医用放射性核素的理化和生物学性能、损伤及其防治。

本书由杨占山教授主编,周新文和崔凤梅副教授为副主编。参加编写的人员有杨占山(第一、二、三、四、五、六、九章);崔凤梅(第七、十、十一章);周新文(第十二、十三、十四、十五章);岳凌(第八章)。

军事医学科学院周平坤教授在百忙中认真负责地审阅了全部书稿,在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,编写和出版时间仓促,书中如有错误和不当之处,敬请读者不吝指正。

编者

2016年6月12日于苏州

目 录

上篇 放射毒理学总论

第一章 概论	3
第一节 放射毒理学的概念和简史	3
一、毒理学的范畴	3
二、放射毒理学概念	6
三、放射毒理学简史	6
第二节 放射毒理学研究内容和意义	9
一、研究对象和内容	9
二、研究的意义	10
第二章 放射性核素的生物动力学	12
第一节 跨膜转运和摄入模式	12
一、生物膜特点和跨膜转运方式	12
二、摄入模式	14
第二节 生物动力学模型	16
一、隔室模型的概念	16
二、生物动力学模型	18
第三节 放射性核素的吸收	19
一、呼吸道吸收	19
二、胃肠道吸收	26
三、皮肤和伤口吸收	29
四、注入	30
第四节 放射性核素的分布与滞留	31
一、放射性核素在血液中的存在形态	31
二、放射性核素的体内分布规律	32
三、滞留模型	35
第五节 体内放射性核素的排除	37
一、排除途径	37
二、排除速率	39
三、排除规律	40
第三章 放射性核素内照射作用机理、特点及影响因素	42
第一节 放射性核素内照射作用的机理及特点	42
一、放射性核素的作用机理	42

二、放射性核素的作用特点	46
第二节 影响放射性核素作用的因素	49
一、放射性核素的理化因素	49
二、机体因素	53
三、接触放射性核素的方式与复合因素	58
第四章 放射性核素内照射确定性效应	62
第一节 放射性核素的毒性与损伤特点	62
一、一般概念	62
二、放射性核素的毒性	62
三、放射性核素毒性分组	64
四、内照射损伤的特点	66
五、内照射损伤的分类	67
第二节 内照射确定性效应	68
一、组织器官反应	68
二、照射死亡	70
三、急性内照射放射病	71
四、放射性复合伤	73
五、组织器官放射病理学	73
六、物质代谢异常	75
七、免疫功能障碍	76
八、体细胞染色体畸变	77
九、致畸效应	78
第三节 内照射损伤的诊断依据	78
一、人体内污染的判断依据	78
二、内照射放射病的诊断标准	80
三、放射性复合伤的临床诊断	81
第四节 内照射损伤的医学处理原则与随访	82
一、放射性核素受照人员的医学处理原则	82
二、放射性复合伤的医学处理原则	82
三、随访观察	84
第五章 放射性核素内照射随机性效应	90
第一节 辐射致癌效应	90
一、放射性核素诱发癌症的特点	90
二、影响放射性核素致癌效应的因素	93
第二节 辐射危害评价	96
一、评价意义	96
二、评估指标	97
三、评估内容	97
第三节 辐射致癌效应的模型	99

一、剂量效应模型(dose-effect model)	99
二、时间响应模型	101
第四节 辐射致癌的危险系数	103
一、危险系数的估计	103
二、年龄和性别对辐射致癌危险系数的影响	104
三、辐射致癌的病因概率	105
第五节 人类辐射致癌的流行病学研究	107
一、镭受照人群的研究	107
二、原爆幸存者的研究	109
三、头癣放疗引起的危害	110
四、 ¹³¹ I 诱发的甲状腺癌	112
五、强直性脊椎炎	113
六、氡致肺癌的流行病学研究	114
七、辐射致癌的流行病学数据总结	120
第六节 辐射遗传效应	121
一、基因突变	121
二、生殖细胞染色体畸变	121
三、辐射遗传危险系数	123
第六章 放射性核素内污染的监测、干预与危害评价	126
第一节 放射性核素内污染的监测	126
一、放射性核素内污染的监测目的和计划	126
二、体内放射性核素的测量方法	128
三、对个人测量结果的评价	132
第二节 放射性核素内照射剂量估算	137
一、人体待积器官剂量和待积有效剂量的估算	137
二、摄入量和内照射剂量估算示例	138
第三节 核与辐射事故干预及医学处理原则	140
一、核与辐射事故工作人员与公众的干预水平	140
二、核与辐射事故受照人员的医学处理原则	142
第四节 放射性核素内污染的危害评价	145
一、群体危害评价	145
二、个体危害评价	147
三、ICRP 2007 年建议书简介	148
第七章 放射性核素内污染的医学处理	176
第一节 内污染的医学处理原则和医学干预水平	176
一、内污染的医学处理原则	176
二、医学干预水平	177
第二节 减少吸收	178
一、阻止胃肠道内吸收	178

二、阻止呼吸道内吸收	180
三、阻止皮肤和伤口吸收	181
第三节 加速排除	182
一、络合剂促排	182
二、影响代谢疗法	191
第八章 放射毒理学在制定辐射防护标准中的应用	194
第一节 现行内照射防护标准及其制定的依据	194
一、国际标准的历史和现状	194
二、我国现行的内照射防护标准及其依据	196
第二节 放射毒理学在制定内照射防护标准中的应用	198
一、放射性核素生物动力学参数值是计算内照射剂量限值的依据	198
二、放射性核素内照射损伤效应是导出内照射剂量限值的生物学依据	200
三、辐射防护体系的研究展望	200
第九章 放射毒理学研究的基本方法	202
第一节 研究方法的选择	202
一、实验动物的选择	202
二、染毒方式的选择	203
三、观察指标的选择	205
第二节 整体测量方法	206
一、整体测量装置	206
二、 γ 能谱分析	206
第三节 液体闪烁测量方法	207
一、基本原理和特点	207
二、液闪测量注意事项	208
第四节 放射自显影方法	208
一、基本原理及特点	209
二、放射自显影的种类	209
三、特殊观察方法	211
第五节 致突、致畸和致癌的试验方法	213
一、致突变试验(mutagenic test)	213
二、致畸试验(teratogenicity test)	215
三、致癌试验(carcinogenicity test)	216
第六节 人体观察方法	216
一、个体临床观察	216
二、群体辐射流行病学调查	217
第七节 比较放射毒理学方法	218
一、生理解剖学比较	218
二、代谢率比较	219
三、生物效应比较	219

第八节 核酸分子示踪方法..... 219

一、核酸探针 220

二、核酸探针的制备 221

三、核酸分子杂交 224

下篇 放射毒理学各论

第十章 铀及铀系主要核素的放射毒理学..... 229

第一节 铀的放射毒理学..... 229

一、辐射和化学特性 229

二、体内代谢 230

三、损伤效应 236

四、尿铀值在卫生学评价中的应用 242

五、职业性工作者天然铀的摄入量限值 245

六、加速排除 246

第二节 钍的放射毒理学..... 248

一、辐射和化学特性 248

二、体内代谢 249

三、损伤效应 252

四、减少吸收和加速排除 256

第三节 氡及其短寿命子体的放射毒理学..... 256

一、辐射和化学特性 256

二、在空气中的物理特征 257

三、在呼吸道内的转运及衰变 260

四、氡子体致肺剂量的估算 263

五、损伤效应 269

第四节 钋的放射毒理学..... 275

一、辐射和化学特性 275

二、体内代谢 275

三、损伤效应 278

四、加速排除 278

第十一章 钷及超钷核素的放射毒理学..... 280

第一节 钷的放射毒理学..... 281

一、辐射和化学特性 281

二、体内代谢 283

三、体内钷含量及照射剂量的估算 291

四、损伤效应 293

五、加速促排 299

六、人体内污染钷的案例 301

第二节 镉的放射毒理学	303
一、体内代谢	304
二、损伤效应	309
三、加速排除	311
四、人体内污染镉的案例	311
第三节 铜的放射毒理学	313
一、辐射和化学特性	313
二、体内代谢	314
三、损伤效应	317
四、加速排除	317
第四节 钴的放射毒理学	318
一、辐射和化学特性	318
二、体内代谢	319
三、损伤效应	322
四、加速排除	323
第十二章 钍的放射毒理学	324
第一节 辐射、化学和物理特性	325
一、辐射特性	325
二、化学特性	325
三、物理特性	326
第二节 钍的体内代谢	326
一、吸收	326
二、分布	327
三、排除	329
第三节 钍的损伤效应	330
一、确定性效应	330
二、随机性效应	332
第四节 钍内污染的医学监督和加速排除	339
一、医学监督	339
二、加速排除	340
第十三章 裂变产物的放射毒理学	344
第一节 混合裂变产物的毒理学	344
一、形成和组分	344
二、辐射特性	345
三、作用方式	346
四、体内代谢	354
五、损伤效应	356
六、减少吸收和加速排除	358
第二节 放射性碘的毒理学	358

一、辐射和化学特性	358
二、体内代谢	359
三、损伤效应	362
四、减少吸收	366
第三节 放射性铯的毒理学	368
一、辐射和化学特性	368
二、体内代谢	369
三、损伤效应	373
四、减少吸收和加速排除	375
第四节 放射性铊的毒理学	378
一、辐射和化学特征	378
二、体内代谢	379
三、损伤效应	382
四、减少吸收和加速排除	383
第五节 放射性钷的毒理学	384
一、辐射和化学特性	384
二、体内代谢	384
三、损伤效应	387
四、加速排除	387
第六节 放射性铈的毒理学	388
一、辐射和化学特性	388
二、体内代谢	388
三、损伤效应	390
四、减少吸收和加速排除	392
第七节 放射性钐的毒理学	392
一、辐射和化学特性	393
二、体内代谢	393
三、损伤效应	396
四、加速排除	396
第十四章 氙的放射毒理学	398
第一节 氙的辐射和化学特征	398
第二节 环境中氙的来源和循环	399
一、环境中氙的来源	399
二、氙在环境中的循环	399
三、氙在环境中的发生与人类的暴露	400
第三节 氙的体内代谢	402
一、吸收	402
二、分布和滞留	403
三、排除	406

第四节 氡内照射剂量的估算	407
一、氡 β 粒子的品质因数(Q)和相对生物效能(RBE)	407
二、氡水和氡气在人体内的运转速率常数	408
三、摄入氡水内照射剂量的估算	409
四、氡气的内照射剂量的估算	410
第五节 氡的损伤效应	411
一、确定性效应	411
二、随机性效应	415
第六节 氡的加速排出	418
第十五章 医用放射性核素毒理学	420
第一节 医用放射性核素的来源	420
第二节 放射性核素的临床应用	421
一、诊断放射性药物	421
二、治疗放射性药物	421
第三节 放射性氟的毒理学	422
一、辐射和物理化学特性	422
二、 ^{18}F 的医学应用	424
三、 ^{18}F 的防护	425
四、 ^{18}F -FDG的毒性	425
第四节 放射性钨的毒理学	425
一、辐射和化学特性	425
二、体内代谢	426
三、损伤效应	428
四、减少吸收和加速排除	430
第五节 放射性钍的毒理学	430
一、辐射和化学特性	430
二、体内代谢	430
三、损伤效应	432
第六节 放射性碳的毒理学	433
一、辐射和化学特性	433
二、环境中 ^{14}C 的来源及在人体内的转移	433
三、体内代谢	434
四、损伤效应	435
第七节 放射性磷的毒理学	436
一、辐射和化学性特性	436
二、体内代谢	436
三、损伤效应	438
四、减少吸收和加速排除	438
第八节 放射性铁的毒理学	439

一、辐射和化学特性	439
二、体内代谢	439
三、损伤效应	441
四、减少吸收和加速排除	442
第九节 放射性钴的毒理学	442
一、辐射和化学性质	442
二、体内代谢	443
三、损伤效应	443
四、加速排除	444
第十节 放射性钐的毒理学	444
一、辐射和化学性质	444
二、体内代谢	445
三、损伤效应	445
四、加速排除	446

上篇 放射毒理学总论

