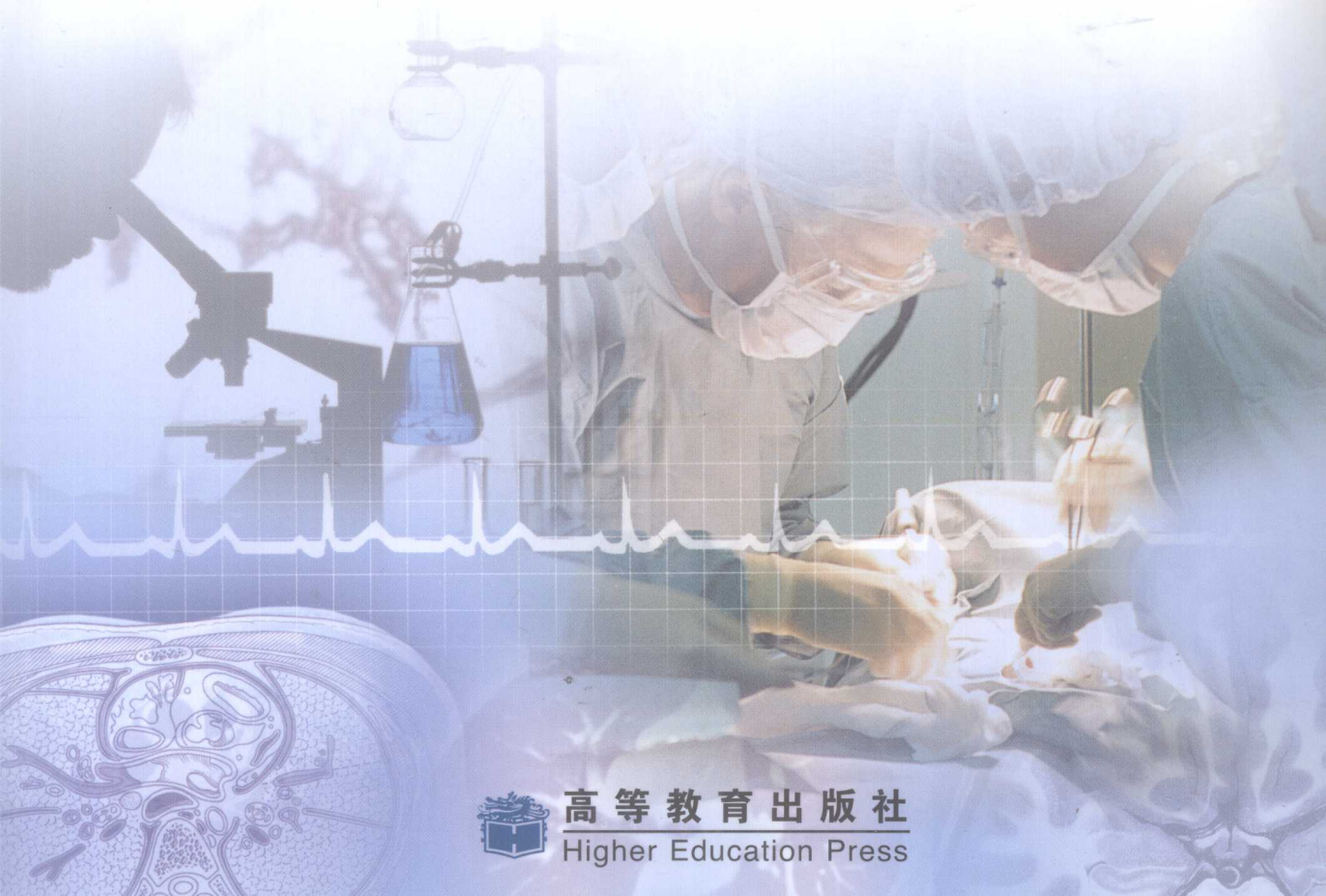


全国高等学校医学规划教材

(供临床·基础·预防·影像·护理·放射医学·生物医学工程等专业用)

医学辐射防护学

主编 强永刚



高等教育出版社
Higher Education Press

全国高等学校医学规划教材

(供临床·基础·预防·影像·护理·放射医学·生物医学工程等专业用)

医学辐射防护学

主 编 强永刚

副主编 卓维海 曹建平 徐晓 陈大伟 郭国祯 王明明

编 委 (按姓氏笔画为序)

丁振华 (南方医科大学)

王明明 (安徽医科大学)

卢汉平 (中山医科大学)

孙俊杰 (蚌埠医学院)

李 蓉 (第三军医大学)

何 玲 (四川省疾病预防控制中心)

陈大伟 (吉林大学)

陈冠英 (北京大学)

张秀萍 (广州医学院)

卓维海 (复旦大学)

周桂风 (湖南师范大学)

范 春 (厦门大学)

侯桂华 (山东大学)

姚元虎 (徐州医学院)

徐 晓 (天津医科大学)

郭国祯 (第四军医大学)

曹建平 (苏州大学)

强永刚 (广州医学院)



高等教育出版社

Higher Education Press

内容提要

本书以近年来国内外辐射防护的研究成果并结合我国医药院校教学实际需要编写而成。全书共分 16 章,分别介绍了核辐射的物理基础、人体辐射计量学、电离辐射生物学作用原理与生物学效应、电离辐射对造血和免疫系统的影响、放射损伤的临床疾病与放射性复合伤、中子的放射损伤,电离辐射防护与辐射源安全标准、临床实践中的放射防护与质量保证、核或放射突发事件应急与响应、营养保健与健康管理和含放射性物品和消费品的防护、医用非电离辐射的防护等。

本书作为医药院校选修课教材和预防医学、医学影像、放射治疗、放射医学和生物医学工程等专业专业课教材,也可作为管理部门放射防护培训教材以及临床医生和从事辐射工作人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

医学辐射防护学/强永刚主编. —北京:高等教育出版社, 2008. 12

供临床、基础、预防、影像、护理、放射医学、生物医学工程等专业用

ISBN 978 - 7 - 04 - 025056 - 5

I. 医… II. 强… III. 放射医学 - 辐射防护 - 医学院校 - 教材 IV. R14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 150638 号

策划编辑 陈天平 席 雁 责任编辑 丁燕娣 封面设计 张 楠 责任绘图 尹 莉
版式设计 马敬茹 责任校对 刘 莉 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京新华印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 18.75
字 数 450 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008 年 12 月第 1 版
印 次 2008 年 1 月第 1 次印刷
定 价 29.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25056 - 00

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010) 58581118

序 一

1960年，我从北京医学院毕业留校时，所从事的专业就是放射医学，那时候一起工作的同志现在也都成了该领域的专家和教授，包括这本教材的个别编委。自1972年参加临床工作以来，特别是在1979年我在英国从事呼吸疾病研究期间，都经常会用到同位素技术解决专业科研中的一些问题，对放射安全防护工作也有一些了解。

随着科学技术的发展，CT、ECT、PET、数字减影、磁共振、超声等技术已深入医学诊疗的各个领域，临床介入放射学和微创外科学也都离不开放射学技术手段，这些技术手段大大提高了人们对疾病的诊治水平，但若使用不当，也会对人体造成损害。

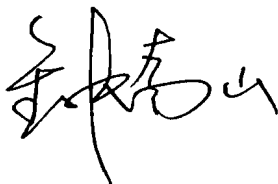
目前防护的范围已从单一的电离辐射防护扩展到整个辐射防护领域，就医疗照射而言，也已从过去单纯关注操作者过渡到了操作者和患者的共同防护。

辐射防护工作是保证医学影像、放射治疗和介入放射学科健康的发展的重要前提，但我国多数医学院校还没有开设“医学辐射防护学”课程，所以在医学院校中开设辐射防护学课程和普及防护知识极为重要。

为此，来自全国17所医学院校辐射防护学界的优秀专家，他们根据自己扎实的理论基础和丰富的教学经验编写了这本《医学辐射防护学》规划教材。

我祝愿并期盼着这本教材的出版能推动我国辐射防护工作的进步，并使辐射防护知识在临床医师中得到普及和应用。

中国工程院院士
中华医学会会长



2008年3月29日

序 二

社会的快速发展使得医学教育从原来的“生物-医学”模式转向了“生物-心理-社会”现代医学模式，这个模式要求高等医学教育培养出的医师不仅应当具备合理的知识结构、坚实的理论基础和熟练的实验技能，还要树立以人为本，以保障人体健康和生命安全为中心的新理念。医学模式的转变要求高等医学教育的课程设置也必须作出适当的调整，“医学辐射防护学”就是新形势下医学教育中涉及患者与医务人员健康和安全的不可缺少的重要课程之一。

X射线和放射性元素被发现后最早在医学领域得到应用，一百多年来，电离辐射的医学应用挽救了无数患者的生命。X射线摄影、肿瘤放疗、核医学检查等放射诊疗技术已成为当今临床疾病诊治重要手段，并发挥着其他技术难以替代的重要作用。但是放射线也是一面双刃剑，缺乏放射防护知识或忽视管理，使用不当就会影响人体健康，甚至威胁到人的生命安全。

为加强对放射诊疗工作的管理，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗工作人员、患者和公众的健康权益，规范医疗机构放射诊疗工作。中华人民共和国卫生部于2006年发布实施了《放射诊疗管理规定》（卫生部令，第46号），对开展放射诊疗工作的医疗机构的辐射防护设施防护效果、设备性能、人员条件以及医疗机构应履行的义务等都提出了具体要求。

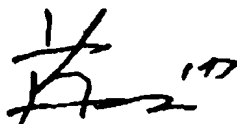
虽然国家有关部门相继出台了一系列的法规和标准，对医用辐射防护提出了具体要求，但是至今仍有不少临床医师不具备放射防护知识，辐射防护意识淡薄，一些医院缺乏健全的医疗照射质量控制措施，滥用放射诊疗技术的现象时有发生。其主要原因之一就是临床医生缺乏医用辐射防护知识以及相关法规和标准的教育培训。因此，在高等医学院校开设“医学辐射防护学”课程具有重要的现实意义。

这本《医学辐射防护学》教材除了对涉及电离辐射的核物理基础、辐射剂量学、生物效应、放射损伤临床、放射卫生防护管理、核或放射事件应急与响应进行了较详尽的阐述外，还对磁共振成像、激光、电磁辐射和超声等非电离辐射诊疗技术的相关知识与辐射防护进行了介绍。

参与编写这本全国高等学校医学规划教材的人员，既有放射医学、放射防护领域的老专家，也有大量的中青年学者和教授，他们具有丰富的专业知识和实践经验。该教材内容全面，文字易懂，采用案例式教学设计，深度与广度把握较好，辐射防护理论与临床实践结合，具有鲜明的编写特色。

相信该教材的出版将对我国辐射防护教学和辐射防护知识在高等医学院校的普及起到积极的推动作用。

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所所长



2008年4月29日

前言

《医学辐射防护学》是研究各种辐射对人体健康的影响，并研究拟定卫生防护措施的一门边缘学科，是预防医学的一个分支。其内容涉及物理学、核电子学、生物医学、临床医学、管理学等多门学科。特别是近 10 年来，CT、ECT、PET、数字减影、核磁共振、超声、加速器应用、放射治疗、粒子植入、微创外科等诊疗技术深入医学的各个领域，使放射防护的范围从单一的电离辐射防护扩展到整个辐射防护领域。

我国核辐射技术的医学应用发展很快，一些院校相继成立了医学影像、放射治疗等专业，介入医学与微创外科已成为医学治疗的新兴学科之一，医务人员中涉及接触放射线的人员越来越多。我国规定从事放射性工作的人员要进行放射防护培训，考核合格并取得《放射工作人员证》方可从事放射性工作。因此，专业医师不仅要懂得自身的安全防护，而且还要懂得对患者的保护知识，患者是否需要接受放射学检查完全取决于医生的职业判断，而患者接受剂量的大小则取决于操作人员的技术水平和防护条件。

然而长期以来，我国医学院校却普遍没有开设辐射防护相关课程，由于缺乏安全防护知识，造成了医师对放射学检查的片面理解，滥用放射学检查的现象仍普遍存在，医患冲突和放射损害事件在一些医院屡有发生，甚至有的医院给放射科下达了经济指标等，这些现象与我国正在构建的和谐社会相违背。

2005 年国务院颁布 449 号文——《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，要求“医疗机构对患者进行放射诊疗前，必须告知患者放射线对其健康的潜在影响”。2006 年卫生部第 46 号令——《放射诊疗管理规定》对医疗照射防护的管理又提出了具体的要求。有鉴于此，为医学各专业学生开设放射防护课程已是当务之急。由于非电离辐射在医学影像专业的使用越来越多，鉴于目前尚缺少一个较好的“术语”来统一电离辐射与非电离辐射的概念，遂用“医学辐射防护学”这一术语来概括医学上的电离辐射与非电离辐射的防护。

本书以 ICRP、ICNIRP、IBSS 和我国颁布的国家标准作为理论依据，内容反映学科的新进展，全书共分为 16 章，基础与临床实践相结合，每章设有典型案例，要求学生通过每章节的学习后能正确地分析和解析案例，既强调医疗照射的安全又不造成辐射恐惧。章节之间还安排了复习思考题、进一步阅读的文选、重点和难点提示（key point）等，以利于学习和课后复习。

本书编写中将“核事件救治”包含在辐射防护教学内容之中，培养既适用核突发事件、又能满足和平时期医院防护要求的“复合型”人才，一旦发生核战争，这些学生所学知识稍作培训即可用于核弹袭击后的应急处理。实现同一教学平台、双重战略含义。

本书作为医药院校选修课教材和医学影像、放射治疗、预防医学等专业课教材，并可供“辐射防护培训班”使用，各单位可根据实际教学需要确定教材的内容取舍。

本书的编写和出版工作得到了全体编者所在单位和高等教育出版社的大力支持，广州医学院廖永华老师为本书的图片制作、文字编辑、排版等做了大量的工作，在此一并表示感谢。

由于编者的水平和阅历所限，谬误疏漏之处在所难免，恳请各位同行和读者给予指正。

编者

2008年5月8日

目 录

第一章 概论	1	四、当量剂量	27
第一节 辐射的基本概念	2	案例 (3-1)	27
一、辐射的特点和组成	2	五、有效剂量	28
二、天然辐射和人工辐射	3	案例 (3-2)	28
第二节 医用辐射的发展和回顾	4	六、待积剂量	29
一、辐射的医学应用概述	4	七、涉及群体的剂量	30
二、医学辐射防护学的发展	7	八、常用电离辐射剂量之间的相互 关系	30
案例 (1-1)	7	第二节 非电离辐射计量学	31
第二章 核辐射的物理基础	12	一、电磁辐射计量	31
第一节 原子结构、X 射线与 核素	12	二、核磁共振计量	34
一、原子结构	12	三、超声辐射计量	34
二、X 射线	13	四、激光辐射计量	35
三、核素、同位素和同质异能素	15	第四章 电离辐射生物学作用原理	38
四、稳定性核素和放射性核素	15	第一节 电离辐射与生物靶学说	38
第二节 原子核的衰变、裂变与 聚变	15	案例 (4-1)	38
一、原子核的质量亏损和结合能	15	一、靶学说和靶数学模型	39
案例 (2-1)	16	二、辐射的种类及其与物质作用的 特点	41
二、核衰变类型和规律	17	第二节 传能线密度、相对生物效能 与辐射敏感性	45
三、核裂变和核聚变反应	20	一、传能线密度	45
第三节 放射线与物质作用的物理 基础	22	二、相对生物效能	45
一、电离和激发作用	22	案例 (4-2)	46
二、散射和吸收	22	三、辐射敏感性	47
三、韧致辐射和湮没辐射	22	第三节 电离辐射对生物体作用的化 学基础	49
四、切连科夫辐射	22	一、辐射与自由基等活性基团	49
第三章 人体辐射计量学	24	二、自由基等活性基团对生物大分子的 作用	52
第一节 电离辐射计量学	24	三、电离辐射的原发作用和继发作用	53
一、照射量	24	四、辐射对信号转导的作用	55
二、吸收剂量	26		
三、比释动能	26		

五、电离辐射对细胞周期的作用	56	第一节 电离辐射对造血系统的 影响	83
第四节 电离辐射生物学作用的影响 因素	57	一、造血系统的组成及功能特点	83
一、辐射源相关的因素	57	二、造血系统的辐射损伤特点	84
二、受照机体的相关因素	59	三、电离辐射出血综合征	84
三、环境相关因素	60	四、造血系统辐射损伤的近期和远期 效应	86
第五章 电离辐射的生物学效应	63	五、骨髓造血损伤的靶分子基础	86
第一节 电离辐射生物效应分类	63	第二节 电离辐射对免疫系统的 影响	87
一、早期效应和迟发效应	64	一、免疫系统的组成及功能特点	87
二、躯体效应和遗传效应	64	二、免疫系统的放射敏感性	87
三、确定性效应和随机性效应	64	三、急性全身照射的免疫效应	89
四、电离辐射的旁效应	64	四、慢性照射的免疫效应	91
第二节 电离辐射的细胞生物学 效应	64	第七章 放射损伤的临床疾病	95
一、电离辐射所致的细胞死亡和凋亡	64	案例 (7-1)	95
二、细胞存活曲线及其参数	66	第一节 外照射急性放射病	96
三、电离辐射诱发细胞染色体畸变	66	一、外照射急性放射病的病因	96
案例 (5-1)	69	二、外照射急性放射病的临床表现	96
四、电离辐射诱发的旁效应	69	三、外照射急性放射病分型	98
第三节 电离辐射的随机性效应	69	四、外照射急性放射病的诊断	101
一、随机性效应特征	69	五、外照射急性放射病的治疗	101
二、电离辐射致癌效应	70	第二节 外照射慢性放射性损伤	102
三、电离辐射遗传效应	72	一、外照射慢性放射病	102
案例 (5-2)	73	二、慢性放射性皮肤疾病	104
第四节 电离辐射的确定性效应	74	案例 (7-2)	104
一、确定性效应特征	74	三、放射性白内障	106
二、出生前确定性效应	74	第三节 内照射放射病	108
三、出生后确定性效应	75	案例 (7-3)	108
四、儿童确定性效应	77	一、放射性核素体内摄入与代谢	108
第五节 小剂量低剂量率照射的几种 观点	79	二、内照射放射病的临床特点	111
一、小剂量低剂量率照射的生物作用	79	三、内照射放射病的诊断	112
二、低剂量有益	80	四、内照射放射病的处理原则和救治 措施	113
三、超过阈值有害	80	第八章 放射性复合伤与中子损伤	117
四、线性无阈有害	80	案例 (8-1)	117
第六章 电离辐射对造血和免疫系统的 影响	82	第一节 放射性复合伤	118
案例 (6-1)	82	一、放射性复合伤的分类和分度	118

二、放射性复合伤的特点及病理生理学基础	119	方法	143
三、放射烧伤复合伤的临床表现	121	四、放射性废物管理体制与政策	145
四、放射性复合伤的诊断	123	第五节 电离辐射标志与警告标志	146
五、放射性复合伤的急救和治疗原则	124	第十章 临床诊断中的放射防护	150
第二节 中子的放射损伤	125	第一节 辐射源与辐射场	151
案例 (8-2)	125	一、辐射源与辐射场的概念	151
一、中子损伤的生物学基础	126	二、X 射线及辐射量的估算	151
二、中子对主要组织的损伤	126	第二节 医疗照射的防护	152
三、中子急性放射病的特点	127	一、医疗照射的基本概念	152
四、中子急性放射病的诊断	128	二、医疗照射防护的发展和现状	153
五、中子急性放射病的治疗原则	128	三、医疗照射防护的基本原则	157
第九章 电离辐射防护与辐射源安全		案例 (10-1)	161
标准	131	第三节 外照射防护的基本方法	162
第一节 放射防护标准发展概述	131	一、尽量减少源的强度	162
一、国际放射防护标准的演进	132	二、时间防护——缩短受照时间	162
二、我国放射防护标准的发展	134	三、空间防护——增大人与放射源间的距离	163
第二节 电离辐射防护标准的主要		四、屏蔽防护——利用屏蔽物	163
内容	135	第四节 医疗照射屏蔽材料与厚度	
一、辐射防护的目的	135	估算	163
二、辐射防护的基本原则	135	一、X 射线或 γ 射线的衰减规律	163
案例 (9-1)	135	二、医疗照射屏蔽厚度的估算方法	166
三、剂量约束	137	案例 (10-2)	171
四、潜在照射与干预	138	案例 (10-3)	171
案例 (9-2)	138	三、屏蔽材料及个人防护用品的选择	176
第三节 我国电离辐射防护标准的		第五节 核医学诊疗的防护	178
具体要求	139	一、放射性物质的进入和转移途径	178
一、放射性工作场所及工作条件	139	二、内照射剂量的估算方法	179
二、辐射场所的分级和防护要求	140	三、核医学诊疗的正当化与最优化	179
三、基本标准的剂量限值与豁免	140	四、核医学安全操作规程	180
四、医疗照射的剂量约束	141	第十一章 临床治疗中的放射防护	183
五、国民的安全文化素养	141	第一节 介入放射学的防护	183
六、干预	142	一、介入放射学概述	183
第四节 放射性废物的治理	142	案例 (11-1)	184
一、放射性废物的概念、来源及其特点	142	二、操作人员和患者受照剂量	184
二、放射性废物分类及管理原则	143	三、介入放射学的人体生物效应	186
三、放射性废物处理的基本途径和		四、介入放射学的剂量估算方法	187
		五、介入放射学的防护	188

第二节 骨科复位中的放射防护	190	二、医疗照射设备质量控制检测	210
一、X 射线下骨科复位的特点	190	第十三章 核或放射突发事件应急与 响应	217
二、受照剂量与影响因素	192	第一节 核或放射突发事件简介	218
三、对操作人员健康的影响	193	案例 (13-1)	218
四、骨科复位的防护原则	193	案例 (13-2)	219
第三节 放射治疗与粒子植入的 防护	194	案例 (13-3)	219
案例 (11-2)	194	第二节 突发事件的类型、分级和 特点	221
一、放射治疗防护的特殊性	194	一、核或放射突发事件的类型	221
二、实施放射治疗的防护要求	195	二、核或放射突发事件的分级	223
三、治疗室的防护要求	197	三、核或放射突发事件的基本特点	225
案例 (11-3)	197	第三节 应急组织体系、对策与 措施	227
四、粒子植入治疗的放射防护	197	一、应急组织体系	227
第十二章 医疗照射实践的质量保证	201	二、核或放射突发事件的对策	228
第一节 质量保证与许可证制度	202	三、应对核或放射突发事件的措施	228
一、医疗照射质量保证的含义	202	第四节 核或放射突发事件医学应急 响应	229
二、医疗照射的许可证制度	202	一、现场救援	229
案例 (12-1)	203	二、医学处理	230
第二节 医疗照射对受检者和患者的 防护要求	203	第十四章 营养、保健与健康管理	232
一、X 射线诊断中受检者的防护要求	204	第一节 电离辐射对机体营养素的 破坏作用	232
二、核医学诊疗患者的防护基本要求	204	第二节 放射工作人员营养需求量及 特殊要求	234
三、放射治疗患者的防护要求	205	一、放射工作人员营养的特殊要求	234
第三节 放射诊疗工作人员操作的 质量要求	205	二、放射工作人员的营养需要量	234
一、X 射线诊断工作人员操作的要求	205	第三节 辐射损伤防治药品与保 健品	237
二、放射治疗工作人员操作的要求	205	一、放射损伤的防治药物	237
三、核医学诊治操作人员的要求	206	二、放射损伤的防治保健药物	238
第四节 放射诊疗设施和环境防护的 要求	206	第四节 放射工作人员的健康管理	239
一、诊断 X 线机设施和环境防护的 要求	206	案例 (14-1)	239
二、X 射线计算机断层摄影装置的防护 要求	207	一、放射工作人员从业条件与培训	240
三、放射治疗设施和环境的要求	208	二、个人剂量监测管理	240
四、核医学工作场所和防护的要求	208	三、职业健康监护管理	240
第五节 医疗照射质量控制检测	209	四、放射工作人员的保健措施	242
一、医疗照射质量保证的主要内容	209		

第十五章 含放射性物质制品、消费品及伴生 X 射线产品的防护 .. 244	第十六章 医用非电离辐射的防护 256
第一节 含放射性物质制品、消费品和伴生 X 射线产品及其防护概述 244	第一节 电磁辐射对机体的作用与防护 256
一、含放射性物质制品、消费品和伴生 X 射线产品及其防护的含义 244	案例 (16-1) 256
案例 (15-1) 245	一、电磁辐射的分类 257
二、含放射性物质制品、消费品的基本特征 245	二、电磁辐射的来源与传播途径 257
第二节 建筑材料和室内氡的防护 245	三、电磁辐射的医学应用 259
一、建筑的分类与照射指数 246	四、电磁辐射的生物学作用机制 260
二、对建筑材料防护和销售的要求 247	五、电磁辐射对机体的损伤 261
三、室内氡及其防护 247	六、电磁辐射危害的防护 266
第三节 其他含放射性物品、应用品的防护 249	七、电磁辐射职业卫生标准 267
一、发光涂料 249	第二节 核磁共振对机体的作用 268
二、仪器与仪表 249	一、核磁共振技术及医学应用 268
三、地热水 251	二、核磁共振对机体的作用及可能存在的危害 269
四、日用陶瓷、牙瓷 251	三、磁共振成像检查的要求 270
第四节 含放射性物品的其他防护要求 252	第三节 激光对机体的作用和防护 271
一、含放射性物质消费品其他要求 252	一、激光对机体的作用 272
二、含密封放射源的消费品其他要求 252	二、激光对机体的危害及影响因素 272
三、个人受照剂量的要求 252	三、激光的防护措施 276
四、包装和说明书的要求 253	四、激光安全标志 277
第五节 视屏装置的安全与防护 253	五、激光职业卫生标准 277
一、视屏装置对人体的不良作用 253	第四节 超声波对机体作用和防护措施 278
二、视屏操作者的防护措施 254	一、超声波对机体的作用 279
	二、超声波对机体的健康效应 280
	三、超声波的安全与防护 281
	四、医用超声相关标准 282
	第五节 非电离辐射的安全策略 283

第一章 概 论

本章要点

天然电离辐射	自地球存在以来就伴随着电离辐射，主要包括宇宙射线和地壳陆地辐射以及室内外环境中的氡等。
人工电离辐射	人为原因增加的电离辐射，包括医疗照射、核技术应用和设施、民用产品、装饰性建筑材料等。
辐射防护相关组织	ICRP、ICRU、UNSCEAR、IAEA、ICNIRP。
法规与标准	五个层次，包括宪法和相关法律、行政法规、部门规章、技术标准、技术报告和导则指南。
放射防护简史	从早期出现放射损伤、红斑剂量、耐受剂量、容许剂量到国家放射防护标准建立，经历 100 多年的发展历程，付出了很大的代价。
放射防护宗旨	趋利避害，以尽可能低的照射剂量获取最大的效益。

自然界中广泛存在着声波、光波、电磁波，X 射线、 γ 射线， α 粒子、 β 粒子、中子等，这些微观粒子都具有一定的能量，它们在自然界中具有的一定的贯穿本领称为辐射 (radiation)。辐射按照来源的不同可分为天然辐射和人工辐射，按照损伤机制的不同又可分为电离辐射 (ionizing radiation) 和非电离辐射 (non-ionizing radiation)。近一个多世纪以来，辐射技术在科学研究、医学诊断和治疗上发挥了独特的作用，核科学技术已经成为现代医学不可缺少的重要组成部分。然而，辐射是一把“双刃剑”，它既可以用来造福人类，同时也可能引发辐射的伤害，由于辐射性损害隐置于医疗照射的受益之中，往往不容易被察觉，若防范不当则会酿成事故，危害人类健康，或污染环境给人类后代的生存造成严重的后果。

近 20 年来，计算机断层成像 (computerized tomography, CT)、发射型计算机断层成像 (emission computerized tomography, ECT)、正电子发射断层扫描 (positron emission computerized tomography, PET)、数字减影、核磁共振、超声、激光等诊疗技术已深入到临床医学的各个领域，而日常生活中的电磁辐射包括移动通讯、家用电器等的使用，使医学防护的范围从单一的电离辐射防护扩展到整个辐射防护领域。因此，在预防医学领域中出现了综合电离与非电离辐射的医学辐射防护学分支学科。

医学辐射防护学是研究辐射对人体的健康效应及其损伤机制，为辐射的使用提供防护手段和安全措施的一门边缘学科。

第一节 辐射的基本概念

辐射是能量传递的一种方式，广义的辐射是指一束束微观粒子的发射（释放）过程，这些微观粒子包括电子、质子、中子、光子、介子及某些原子核或某些原子等；狭义的辐射仅指电离辐射。

一、辐射的特点和组成

电离辐射是指由带电粒子或某些不带电粒子或两者混合组成的任何辐射，这种辐射能引起物质电离或者激发。其特点是：①具有一定穿透力；②视觉不能感知（仪器可探测）；③遇到某些物质能发出荧光；④能使被照射物质电离或激发。电离辐射作用于靶物质时，若靶原子或分子中的电子吸收射线能量，但电子仍然没有脱离原子或分子，此种现象称为原子或分子的激发；如果射线有足够的能量，而使1个或多个轨道电子脱离原子或分子，此种现象称为原子或分子的电离，每个电离过程的能量损失约为33 eV，该能量足以破坏很强的化学键。

电离辐射一般分为两大类：一类发射的粒子是带电的，如电子、质子、α粒子等，称为直接电离辐射，这些粒子与物质作用时能直接使物质电离或激发；另一类发射的粒子是不带电的，如光子（X射线、γ射线）、中子等，它们与物质作用时不能直接引起物质电离，而是使靶物质释放直接电离粒子或引起核反应，如光子与物质作用产生次级电子，中子与物质作用产生次级带电粒子或发生核反应，而这些次级带电粒子能再度使物质发生电离，因此称为间接电离辐射。

与电离辐射相反，自然界中还广泛存在着各种波长不同的其他辐射，如电磁波、声波等，它们作用于靶物质不能引起分子或原子电离，称为非电离辐射。非电离辐射的波长较长，其辐射的内在能量较低，通常主要通过产热等与人体组织发生相互作用，而不是引起电离或激发。大量实验指出，非电离辐射的生物学作用，只是引起机体的原子、分子旋转或颤动，并以光、热等形式消耗其能量。它们穿透人体的能力取决于波长的大小，一般波长短者穿透力强。值得注意的是，电磁波的波谱很宽，它的生物作用取决于辐射的量子能量水平（表1-1），量子能

表 1-1 电磁辐射的频谱分布

名 称	真空中波长/m	频率/Hz	能量/eV
无线电波	$10^4 \sim 1$	$3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^8$	$1.24 \times 10^{-10} \sim 1.24 \times 10^{-6}$
低频	$1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^3$	$3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5$	$1.24 \times 10^{-10} \sim 1.24 \times 10^{-9}$
中频	1000 ~ 100	$3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6$	$1.24 \times 10^{-9} \sim 1.24 \times 10^{-8}$
高频	100 ~ 10	$3 \times 10^6 \sim 3 \times 10^7$	$1.24 \times 10^{-8} \sim 1.24 \times 10^{-7}$
甚高频	10 ~ 1	$3 \times 10^7 \sim 3 \times 10^8$	$1.24 \times 10^{-7} \sim 1.24 \times 10^{-6}$
微波	$1 \sim 1 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^{11}$	$1.24 \times 10^{-6} \sim 1.24 \times 10^{-3}$
红外线	$1 \times 10^{-3} \sim 0.8 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{11} \sim 3.7 \times 10^{14}$	$1.24 \times 10^{-3} \sim 1.55$
可见光	$0.8 \times 10^{-6} \sim 0.38 \times 10^{-6}$	$3.7 \times 10^{14} \sim 7.9 \times 10^{14}$	$1.55 \sim 3.26$
紫外线	$0.38 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-8}$	$7.9 \times 10^{14} \sim 3 \times 10^{16}$	$3.26 \sim 1.24 \times 10^2$
X射线	$1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-12}$	$3 \times 10^{16} \sim 3 \times 10^{20}$	$1.24 \times 10^2 \sim 1.24 \times 10^6$
γ射线	$1 \times 10^{-12} \sim 1 \times 10^{-13}$	$3 \times 10^{20} \sim 3 \times 10^{21}$	$1.24 \times 10^6 \sim 1.24 \times 10^7$

量越大，生物学作用越强。通常将量子能量水平高于 100 eV 的电磁辐射归类于电离辐射范畴，量子能量水平低于 100 eV 的电磁辐射归类为非电离辐射。无线电波、微波、激光、红外线、可见光和紫外线均属于非电离辐射。

二、天然辐射和人工辐射

由于 X 射线和 γ 射线对人体损伤的研究开展得较早，目前医学上研究电离辐射的危害多于非电离辐射。电离辐射按其来源又可分为天然电离辐射和人工电离辐射。

（一）天然电离辐射

天然电离辐射（natural ionizing radiation）是自地球存在以来就有的电离辐射，主要包括宇宙射线和地壳陆地辐射以及室内外环境中的氡等，这种天然存在的电离辐射也称为天然本底辐射。

宇宙射线包含来自银河系称之为初级宇宙射线的各种高能粒子，以及初级宇宙射线进入地球大气层后，与大气层中原子核相互作用产生级联效应或次级核反应所形成的次级宇宙射线，如宇生放射性核素 ^3H 、 ^7Be 、 ^{14}C 、 ^{22}Na 等。

地球上的天然放射性核素分为宇生放射性核素和原生放射性核素。宇生放射性核素主要是由于宇宙射线与大气层和地球表层原子核相互作用而产生。原生放射性核素是自地球存在以来就存在于地壳里的放射性核素。地壳陆地表面的土壤、岩石、水、大气乃至包括人体在内的生物组织和植物组织中，都存在着天然的原生放射性核素。对人体照射影响较大的主要原生放射性核素有铀系、钍系、锕系核素及 ^{40}K 、 ^{87}Ru 等。

自古以来人类就生活在充满天然电离辐射照射的环境中，而且随着社会的进步，人们接受天然电离辐射照射的平均量还会因人为活动的时空变化而增加。例如，越来越多的人因乘坐飞机而增加了宇宙射线的照射，地下空间的开发利用则增加了地壳 γ 辐射甚至氡的照射，建筑材料、室内装修材料（天然石材）以及室内滞留时间的增加也加大了人类接受氡和其他原生放射性核素照射的份额。

（二）人工电离辐射

人工电离辐射（artificial ionizing radiation）是指随着科学技术的发展，由人为原因增加的电离辐射照射。近一个多世纪以来，人类陆续在医疗、能源、工农业、地质、考古、军事等行业乃至日常生活中不断开发利用电离辐射技术，人类接受的人工电离辐射照射大幅度增加。

人工电离辐射包括医疗诊断及治疗、核技术研究及教学、核反应堆及其辅助设施、核试验沉降物污染、核工业职业照射、一般工业应用（工业探伤、料位计等）、核与放射事故意外照射、国民经济中民用产品（电视机、烟雾探测器）、装饰性建筑材料等。

据联合国原子辐射效应科学委员会（United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR）统计，人工电离辐射中医疗照射是全球公众接受各种电离辐射照射的最大来源，并且还在不断增加中。因此，医疗放射学、介入放射学、核医学、放射肿瘤学等医用辐射所致受检者和患者的医疗照射防护越来越引起全社会的关注。

表 1-2 汇总了全球天然和人工电离辐射源所致公众的人均年有效剂量，在公众所受各种天然和人工电离辐射照射中，天然本底照射份额最大（2.4 mSv）；其他各种人工电离辐射照射来源中，放射诊断所占份额最大（0.4 mSv）。图 1-1 显示了人类接受各种电离辐射的剂量分布。

表 1-2 全球天然和人工电离辐射源所致公众的人均年有效剂量

照射来源	人均年有效 剂量/mSv	范围/mSv
天然本底辐射	2.4	典型范围 1~10，高本底地区可达均值数倍
放射诊断医疗照射	0.4	不同保健水平国家和地区 0.04~1.0
大气层核试验沉降物	0.005	1963 年高达 0.15，北半球高于南半球
切尔诺贝利核事故	0.002	已从最大的 1986 年北半球平均值 0.04 逐渐下降，事故现场附近较高
核动力生产	0.0002	随核电站的增加而升高，又随技术的改进而降低

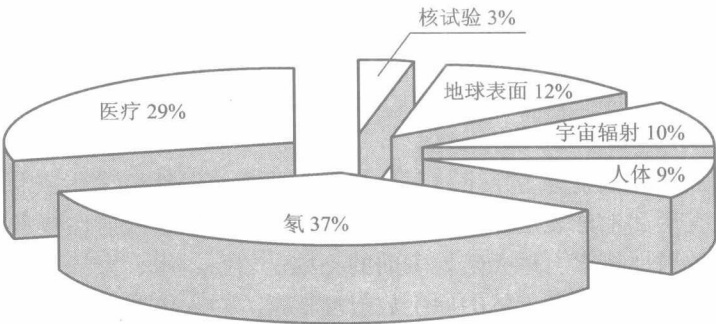


图 1-1 人类接受的各种电离辐射份额

（三）非电离辐射

非电离辐射同样也包括天然和人工辐射两大来源。地球和大气层电磁场、太阳系和星际电磁辐射源等就是天然非电离辐射。随着科学技术进步和社会发展，人工非电离辐射在工业、通讯、医疗、军事等领域的应用越来越广泛，如广播电视、电子计算机、移动通讯、家用电器以及医学超声诊疗、磁共振成像、医用激光刀、微波治疗、电磁辐射治疗等，它们均属于非电离辐射。非电离辐射内容将在第十五章中论述。

Key point:

Radiation enters our lives in a variety of ways. Sources of radiation include natural and artificial radiation. What are natural and artificial ionizing radiation, and non-ionizing radiation? Please illustrate them.

第二节 医用辐射的发展和回顾

一、辐射的医学应用概述

X 射线的发现标志着现代物理学时代的到来，而 X 射线的应用使医学发生了巨大变革，在过去的 100 多年里，电离辐射技术以其独特的作用在生命科学研究、医学诊断和治疗上作出了重要贡献。图 1-2 简要概括了各种辐射在医学中应用及各分支学科的内在联系和主要内涵。