

全国高等学校医学规划教材

(供临床·基础·预防·影像·特种医学·护理·生物医学工程·环境科学·核科学与技术等专业用)

医学辐射防护学

第2版

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·特种医学·护理·生物医学工程·环境科学·核科学与技术等专业用)

医学辐射防护学

Y i x u e F u s h e F a n g h u x u e

第2版

主 编 强永刚

 高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书将近年来国内外辐射防护的最新研究成果结合我国医药院校教学实际需要编写而成。全书共分20章,第1~5章为辐射防护基础部分,第6~7章属于放射损伤临床部分,第9~16章为医学应用防护部分,第8章和第17~19章为放射防护监督管理部分,第20章为医学非电离辐射的防护。全书在保留第1版精华基础上,增加了新进展、新知识,精选具有较强针对性和实用性的36个案例,对临床放射安全具有指导意义。同时配有与纸质教材配套的数字课程,有利于学生拓展知识、自主学习。

本书可作为医药院校各专业本科生和研究生教材,也可作为管理部门放射防护培训教材以及临床医务工作者和科研人员的参考用书,同时,也可供备考国家执业医师资格考试和研究生入学考试使用。

图书在版编目(CIP)数据

医学辐射防护学 / 强永刚主编. -- 2版. -- 北京 : 高等教育出版社, 2013.12

全国高等学校医学规划教材. 供临床、基础、预防、影像、特种医学、护理、生物医学工程、环境科学、核科学与技术等专业用

ISBN 978-7-04-038853-4

I. ①医… II. ①强… III. ①放射医学-辐射防护-医学院校-教材 IV. ①R14

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第303386号

策划编辑 席雁 孙葵葵 责任编辑 孙葵葵 封面设计 张楠 责任印制 田甜

| | | | |
|------|-------------------|------|---|
| 出版发行 | 高等教育出版社 | 网 址 | http://www.hep.edu.cn |
| 社 址 | 北京市西城区德外大街4号 | | http://www.hep.com.cn |
| 邮政编码 | 100120 | 网上订购 | http://www.landaco.com |
| 印 刷 | 北京市联华印刷厂 | | http://www.landaco.com.cn |
| 开 本 | 787mm×1092mm 1/16 | 版 次 | 2008年12月第1版 |
| 印 张 | 22.75 | | 2013年12月第2版 |
| 字 数 | 580千字 | 印 次 | 2013年12月第1次印刷 |
| 购书热线 | 010-58581118 | 定 价 | 43.50元 |
| 咨询电话 | 400-810-0598 | | |

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 38853-00

编写委员会

主 编 强永刚

副主编 刘长安 常学奇 王明明 曹建平 丁振华 陈大伟 郭国祯

编委(以姓氏笔画为序)

丁振华(南方医科大学)

牛延涛(首都医科大学)

卢汉平(中山大学)

孙俊杰(蚌埠医学院)

李宝欣(北京市卫生监督所)

余宁乐(江苏省疾病预防控制中心)

陈大伟(吉林大学)

范 春(厦门大学)

周桂风(湖南师范大学)

侯桂华(山东大学)

耿建华(中国医学科学院)

徐 晓(天津医科大学)

郭国祯(第四军医大学)

常学奇(中国辐射防护研究院)

王明明(安徽医科大学)

邓大平(山东省医学科学院)

刘长安(中国疾病预防控制中心)

李 蓉(第三军医大学)

何 玲(四川省疾病预防控制中心)

张秀萍(广州医科大学)

陈冠英(北京大学)

卓维海(复旦大学)

胡雅儿(上海交通大学)

姚元虎(徐州医学院)

耿继武(广东省职业病防治院)

高林峰(上海市疾病预防控制中心)

曹建平(苏州大学)

强永刚(广州医科大学)

数字课程

医学辐射防护学

第2版

登录以获取更多学习资源!

登录方法:

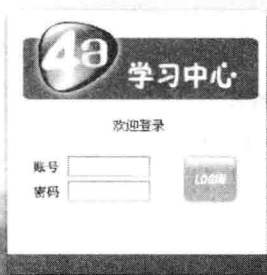
1. 访问 <http://res.hep.com.cn/38853>
2. 输入数字课程账号(见封底明码)、密码
3. 点击“LOGIN”
4. 进入学习中心, 选择课程

账号自登录之日起一年内有效, 过期作废。
使用本账号如有任何问题,
请发邮件至: medicine@pub.hep.cn

医学辐射防护学 (第2版)

张永刚 主编

内容介绍 | 纸质教材 | 相关资源 | 版权信息 | 联系方式



内容介绍

本数字课程是《医学辐射防护学》第2版纸质教材的配套资源, 是利用数字化技术整合优质教学资源的出版形式, 可扩展纸质教材的内容。为读者提供作者风采、教学大纲、拓展知识、PPT 课件、习题与答案等, 供读者完善学习内容。

高等教育出版社版权所有 2013

<http://res.hep.com.cn/38853>

读者可凭纸质版教材封底所附明码和密码登录, 访问本书的数字课程网站 <http://res.hep.com.cn/38798>, 获取相应数字资源。

请在具有 IE 内核的浏览器下访问数字课程。其他浏览器访问, 可能造成课程资源无法正常显示。

序

人类接受的照射包括天然辐射和人工辐射,而医学照射是人类接受人工照射的最大贡献者。在一些发达国家,医学照射已经超过了天然辐射产生的剂量,在国民所受剂量中所占的比例最大。

我国医学照射已成为人工照射的最大来源,而且增长很快。加强医学照射的防护已成为当前急需解决的问题。

《医学辐射防护学》教材已出版5年,对推动我国医学辐射防护的普及起到了良好的作用,现在又在总结多年教学经验的基础上,并吸取国内外辐射防护的最新发展理念,完成了第2版。本书的作者来自国内27家单位,主要是各大高校具有丰富教学经验的教师,但也包括了科研院所的研究人员以及从事实际辐射防护监管的人员,这就保证了教材的科学性、实用性和先进性。

近年来,我国放射诊断和放射治疗发展迅速,CT、ECT、PET和治疗用加速器应用增加很快,介入放射学等方法的应用也逐渐增加,医学辐射防护已成为广大公众十分关心的一个问题,在医学院校中开设辐射防护、辐射物理等课程是极为迫切的。

深信《医学辐射防护学》教材的再版将对推动医学照射的防护起到重要作用。



中国工程院院士
2013年7月1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交叉学科,是预防医学的一个分支。它的内容涉及物理学、核电子学、生物医学、临床医学、管理学等多个学科。特别是近年来,CT、ECT、PET、数字减影、磁共振成像、超声影像、加速器应用、放射治疗、粒子植入、微创外伤科等诊疗技术深入到医学的各个领域,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。

《医学辐射防护学》第2版在第1版的基础上修订而成,教材全面贯彻《国家中长期教育改革和发展规划纲要》(2010—2020年)的精神,突出本学科的特点,围绕寓教于学的理念,以易学可用、培养学生分析和解决问题的能力为出发点,基础与实际应用相结合,突出教材的学科最新进展,精选的36个案例均强调针对性和实用性,具有临床放射安全指导意义。

第2版教材以纸质教材为主线,在数字课程网站上提供拓展学习的空间,为学生提供了主动学习,研究性学习,分析问题、思考问题和解决问题的平台,有利于学生自主学习和掌握本学科的知识重点。与第1版教材比较,第2版教材特色体现在以下几个方面:

1. 读者定位 适用于本科和研究生的院校教育,内容取舍与社会需求结合,反映本学科发展和教学规律,适度扩展至毕业后放射防护培训教育。

2. 编者团队 教材编写人员从原来单一的高校教师扩大到我国辐射防护领域的部分专家,他们中的许多人都是国家有关“放射防护标准”的起草人或参与者,实现教学与管理相结合,保证了教材处于本学科的学术前沿,具有先进性和实用性。

3. 内容更新 增加了ICRP、UNSCEAR、IAEA等近年来的新进展和新知识,内容从原来的16章增加到20章,强调“宜精勿多,重点分明”,部分内容放在数字课程网站上作为拓展知识,在

目录中用“”标识。

4. 教材要求 基础与临床人文关怀、循证医学、相关法规有机融合,内容深浅得当,既强调照射安全又不造成对放射医疗的恐惧,并注重对学生创新能力和思维的培养。章节之间穿插“Key Points”(重点和难点提示),章后配有“Summary”(摘要)和“本章复习思考题”;数字课程设置了作者风采、教学大纲、拓展知识、PPT 课件和习题与答案等,以利于学生拓展学习、自主学习。

5. 教学目标 教材一些章节里包含了核突发事件救治的内容,培养既能应对核突发事件,又能满足和平时医院辐射防护要求的复合型人才,一旦发生核战争,这些学生稍加培训即可将所学知识用于核弹袭击后的应急处理,体现同一教学平台,双重战略含义。

本教材可作为医药院校各专业本科生和研究生教材,各单位可根据实际教学需要确定教材的内容取舍;也可作为管理部门放射防护培训教材以及临床医务工作者和科研人员的参考用书;同时,可供备考国家执业医师资格考试和研究生入学考试使用。

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,广州医科大学廖永华和唐大川老师为本书的图片制作、习题编写等做了大量的工作,在此一并表示感谢。

编者的水平和阅历有限,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

2013年9月10日

目 录

| | | | |
|----|---------------------------------------|----|-----------------------|
| 1 | 第一章 概论 | 33 | 六、涉及群体的剂量 |
| 2 | 第一节 人类环境中的辐射 | 34 | 第二节 辐射监测实用量 |
| 2 | 一、辐射的特点与组成 | 34 | 一、个人剂量 |
| 3 | 二、天然辐射、人工辐射与非电离辐射 | 35 | 二、辐射场实用量 |
| 5 | 第二节 医用辐射的发展与回顾 | 35 | 三、CT 剂量指数 |
| 5 | 一、辐射的医学应用概述 | 36 | 四、器官剂量(D_r) |
| 7 | 二、医学辐射防护学的发展 | 38 | 第三节 非电离辐射计量学 |
| | | 38 | 一、电磁辐射计量 |
| 14 | 第二章 核辐射的物理学基础 | 40 | 二、核磁共振计量 |
| 14 | 第一节 原子结构、X 射线与核素 | 41 | 三、超声辐射计量 |
| 14 | 一、原子结构 | 42 | 四、激光辐射计量 |
| 15 | 二、X 射线 | | |
| 17 | 三、核素、同位素和同质异能素 | 44 | 第四章 电离辐射生物学作用原理 |
| 17 | 四、稳定性核素和放射性核素 | 44 | 第一节 电离辐射与物质的作用 |
| 18 | 第二节 原子核的衰变、裂变与聚变 | 44 | 一、辐射的种类与物质作用的特点 |
| 18 | 一、原子核的质量亏损与结合能 | 47 | 二、辐射与物质作用的物理机制 |
| 19 | 二、核衰变类型与规律 | 48 | 第二节 电离辐射对生物体作用的生物化学基础 |
| 22 | 三、核裂变与核聚变反应 | 48 | 一、辐射与自由基等活性基团 |
| 24 | 第三节 电离辐射与物质作用的物理基础 | 52 | 二、自由基等活性基团对生物分子的损伤作用 |
| 24 | 一、电离与激发作用 | 53 | 三、电离辐射的原发效应与继发效应 |
| 24 | 二、散射与吸收 | 55 | 四、辐射对信号转导的作用 |
| 24 | 三、韧致辐射与湮没辐射 | 56 | 五、电离辐射对细胞周期的影响 |
| 25 | 四、切连科夫辐射 | 57 | 第三节 电离辐射生物学作用常用指标 |
| | | 57 | 一、传能线密度 |
| 27 | 第三章 辐射计量学基础 | 58 | 二、相对生物效能 |
| 28 | 第一节 电离辐射剂量学 | 61 | 三、相对生物效能权重吸收剂量 |
| 28 | 一、吸收剂量(D) | 61 | 四、辐射敏感性 |
| 29 | 二、比释动能(K) | 63 | 第四节 电离辐射生物学作用的影响因素 |
| 29 | 三、当量剂量($H_{T,R}$)与剂量当量($H_{r,R}$) | 63 | 一、辐射源相关的因素 |
| 31 | 四、有效剂量(E) | 66 | 二、受照机体的相关因素 |
| 33 | 五、待积剂量 | 67 | 三、环境相关因素 |

| | |
|-----|----------------------|
| 70 | 第五章 电离辐射的生物学效应 |
| 70 | 第一节 电离辐射生物效应分类 |
| 70 | 一、按时间和躯体划分的效应 |
| 71 | 二、按效应发生规律性质划分的效应 |
| 71 | 第二节 随机性效应、确定性效应与组织反应 |
| 71 | 一、随机性效应 |
| 72 | 二、确定性效应与组织反应 |
| 74 | 第三节 电离辐射的细胞效应 |
| 74 | 一、电离辐射所致的细胞死亡与凋亡 |
| 75 | 二、细胞存活曲线及其参数 |
| 76 | 三、电离辐射诱发细胞染色体畸变 |
| 78 | 四、电离辐射诱发的旁效应 |
| 79 | 第四节 电离辐射致癌与遗传效应 |
| 79 | 一、电离辐射致癌效应 |
| 83 | 二、电离辐射遗传效应 |
| 84 | 第五节 电离辐射其他效应 |
| 84 | 一、宫内照射效应 |
| 86 | 二、儿童确定性效应 |
| 87 | 三、成年人确定性效应 |
| 93 | 第六节 小剂量/低剂量率照射生物效应 |
| 93 | 一、小剂量低剂量率照射的生物作用 |
| 95 | 二、小剂量低剂量率照射生物效应的几种观点 |
| 98 | 第六章 放射损伤的临床基础 |
| 98 | 第一节 电离辐射对造血系统的作用 |
| 98 | 一、造血系统的组成 |
| 99 | 二、血液系统的放射损伤特点 |
| 99 | 三、电离辐射致出血综合征 |
| 101 | 第二节 电离辐射对免疫系统的作用 |
| 101 | 一、免疫系统的放射敏感性 |
| 101 | 二、急性放射损伤并发感染及其特点 |
| 102 | 三、慢性照射的免疫效应 |
| 103 | 第三节 放射损伤的临床常见疾病 |
| 103 | 一、外照射急性放射病 |
| 107 | 二、外照射慢性放射病 |
| 108 | 第四节 局部放射损伤 |
| 108 | 一、放射性白内障 |
| 110 | 二、放射性皮肤疾病 |
| 112 | 三、甲状腺和性腺放射损伤 |
| 114 | 四、骨损伤、心血管系统放射损伤 |
| 115 | 五、其他放射治疗引起的损伤 |
| 117 | 第五节 放射性肿瘤病因判断 |
| 117 | 一、计算病因概率的几个概念 |
| 117 | 二、病因概率(PC)的计算 |
| 118 | 三、放射性肿瘤病因判断与依据 |
| 119 | 第六节 内照射放射病 |

| | |
|-----|-------------------------|
| 119 | 一、放射性核素体内摄入与代谢 |
| 121 | 二、内照射放射病的临床特点 |
| 122 | 三、内照射放射病的诊断 |
| 123 | 四、处理原则与救治措施 |
| 127 | 第七章 放射复合伤与中子损伤 |
| 128 | 第八章 电离辐射防护与辐射源安全标准 |
| 128 | 第一节 放射防护标准发展概述 |
| 129 | 一、国际放射防护标准的演进 |
| 131 | 二、我国放射防护标准的发展 |
| 132 | 第二节 电离辐射防护标准的主要内容 |
| 132 | 一、辐射防护的目的 |
| 132 | 二、辐射防护的基本原则 |
| 135 | 三、潜在照射与干预 |
| 137 | 第三节 我国电离辐射防护标准的具体要求 |
| 138 | 一、辐射工作场所及区域划分 |
| 138 | 二、非密封源工作场所分级和防护要求 |
| 139 | 三、剂量限值和豁免与解控 |
| 142 | 四、约束 |
| 143 | 五、安全文化素养 |
| 143 | 第四节 放射性废物的治理 |
| 143 | 一、放射性废物及其特点 |
| 144 | 二、放射性废物分类及管理原则 |
| 144 | 三、放射性废物处理的途径与方法 |
| 148 | 第五节 电离辐射标志与警告标志 |
| 152 | 第九章 医疗照射防护概论 |
| 153 | 第一节 辐射源与辐射量估算 |
| 153 | 一、点状源的概念及其计算 |
| 156 | 二、X射线机及辐射量的估算 |
| 157 | 第二节 医疗照射的防护 |
| 157 | 一、医疗照射防护发展与现状 |
| 161 | 二、医疗照射防护的责任与义务 |
| 161 | 三、医疗照射防护的基本原则 |
| 172 | 四、特殊人群防护的基本要求 |
| 175 | 五、事故性照射的预防与调查 |
| 175 | 第三节 外照射防护的基本方法 |
| 175 | 一、尽量减少源的强度和照射野面积 |
| 176 | 二、时间防护——缩短受照时间 |
| 176 | 三、空间防护——增大人体与放射源的距离 |
| 176 | 四、屏蔽防护——利用屏蔽物 |
| 176 | 第四节 屏蔽材料与厚度估算 |
| 177 | 一、X射线或 γ 射线的衰减规律 |
| 182 | 二、医疗照射屏蔽厚度的估算方法 |
| 191 | 三、屏蔽材料及个人防护用品的选择 |

| | | | |
|-----|-----------------------|-----|------------------------------|
| 195 | 第十章 医用X线诊断的防护 | 236 | 一、近距离放射治疗工作条件 |
| 195 | 第一节 X线诊断工作人员和受检者的防护要求 | 236 | 二、近距离治疗的防护 |
| 196 | 一、X线诊断工作人员操作要求 | | |
| 196 | 二、X线诊断中受检者的防护要求 | | |
| 198 | 第二节 对牙科和乳腺摄影的防护要求 | 240 | 第十三章 介入放射学与整骨复位的放射防护 |
| 198 | 一、牙科X线摄影的防护要求 | 240 | 第一节 介入放射学的防护 |
| 199 | 二、乳腺摄影的防护要求 | 240 | 一、介入放射学概述 |
| 200 | 第三节 数字X线摄影的防护要求 | 241 | 二、操作人员和患者的剂量 |
| 201 | 第四节 X线计算机断层摄影的防护要求 | 243 | 三、介入放射学的人体生物效应 |
| 201 | 一、剂量因素方面的要求 | 245 | 四、介入放射学的剂量估算方法 |
| 202 | 二、对操作者的行为要求 | 246 | 五、介入放射学的放射防护 |
| 202 | 第五节 儿科放射学的防护要求 | 250 | 第二节 整骨复位中的放射防护 |
| 203 | 一、儿童低剂量照射的健康危险 | 251 | 一、X射线引导下整骨复位的特点 |
| 203 | 二、常用X线检查所致的儿童典型剂量 | 251 | 二、受照剂量与影响因素 |
| 206 | 三、正当性判断 | 253 | 三、对操作人员的健康影响 |
| 206 | 四、防护最优化 | 253 | 四、整骨复位的防护原则 |
| 208 | 第六节 孕妇接受X线检查的辐射防护问题 | 256 | 第十四章 医疗照射实践的质量保证 |
| 209 | 一、X线检查所致胎儿典型剂量 | 256 | 第一节 质量保证与许可证制度 |
| 210 | 二、关于育龄妇女的X线检查 | 256 | 一、医疗照射质量保证 |
| 210 | 三、孕妇X线检查的辐射防护 | 258 | 二、放射诊疗的行政许可制度 |
| 211 | 四、对胎儿宫内照射后是否终止妊娠的考虑 | 260 | 第二节 诊断放射学和介入放射学的质量控制 |
| | | 260 | 一、诊断X射线机防护性能的通用要求 |
| 214 | 第十一章 核医学诊疗中的防护 | 260 | 二、普通摄影、乳腺和牙科X射线机的专用要求 |
| 214 | 第一节 核医学的概念及其危害因素 | 261 | 三、介入放射学和近台同室操作设备的专用要求 |
| 215 | 一、核医学设备概述 | 261 | 四、诊断X射线机机房设施的技术要求 |
| 216 | 二、核医学显像、功能测定与核医学治疗 | 262 | 第三节 临床核医学的质量控制 |
| 216 | 三、核素进入人体途径与主要危害因素 | 262 | 一、核医学工作场所要求 |
| 217 | 第二节 核医学诊疗防护的基本原则 | 263 | 二、核医学设备质量控制 |
| 218 | 一、核医学诊疗防护的基本原则 | 264 | 第四节 肿瘤放射治疗的质量控制 |
| 218 | 二、核医学诊疗正当化与最优化 | 264 | 一、放疗设备或装置的质量控制要求 |
| 222 | 第三节 核医学诊疗患者的防护要求 | 265 | 二、放疗环境设施的质量控制要求 |
| 223 | 第四节 临床核医学工作场所的放射防护要求 | 266 | 第五节 医疗照射质量控制检测 |
| 225 | 第五节 核医学操作的防护要求与剂量估算 | 266 | 一、X射线诊断设备影像质量控制检测 |
| 225 | 一、放射性药物操作的防护要求 | 271 | 二、放射治疗设备质量控制检测 |
| 226 | 二、临床核医学诊断中的防护要求 | 275 | 三、临床核医学设备质量控制检测 |
| 226 | 三、临床核医学治疗中的防护要求 | | |
| 227 | 四、核医学内照射剂量估算方法 | 279 | 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 |
| 231 | 第十二章 肿瘤放射治疗中的放射防护 | 280 | 第一节 含放射性物质制品、消费品的基本特征 |
| 232 | 第一节 肿瘤放射治疗防护的特殊性 | 281 | 第二节 建筑材料和室内氡气的防护 |
| 232 | 一、远距离和近距离治疗的特点 | 281 | 一、建筑的分类与照射指数 |
| 233 | 二、人员组成和设备条件要求 | 282 | 二、对建筑材料防护和销售的要求 |
| 234 | 第二节 实施放射治疗的防护一般要求 | 283 | 三、室内氡及其防护 |
| 234 | 一、放射治疗应遵循的原则 | 284 | 第三节 其他含放射性物品、应用品的防护 |
| 235 | 二、远距离放射治疗安全操作要求 | 284 | 一、发光涂料 |
| 235 | 三、近距离放射治疗安全操作要求 | 285 | 二、仪器与仪表 |
| 236 | 第三节 近距离放射治疗的防护 | 287 | 三、地热水 |

| | | | |
|-----|----------------------|-----|----------------------|
| 287 | 四、饮用水 | 312 | 三、放射工作人员职业禁忌证 |
| 288 | 五、食品 | 313 | 四、职业健康监护管理要求 |
| 289 | 六、日用陶瓷、牙瓷 | 314 | 五、职业健康检查 |
| 290 | 第四节 含放射性物品的其他防护要求 | 316 | 第五节 职业性放射性疾病诊断与鉴定 |
| 290 | 一、含放射性物质消费品其他要求 | 316 | 一、放射性疾病诊断的基本要求 |
| 290 | 二、含密封放射源的消费品其他要求 | 317 | 二、职业性放射性疾病诊断程序 |
| 290 | 三、个人受照剂量的要求 | 318 | 三、职业性放射性疾病鉴定 |
| 291 | 四、包装和说明书的要求 | 318 | 第六节 放射工作人员职业健康权益 |
| 291 | 第五节 视屏装置的安全与防护 | 319 | 一、职业健康权益的法律依据 |
| 291 | 一、视屏装置对人体的不良作用 | 319 | 二、放射工作人员职业健康权益 |
| 292 | 二、视屏操作者的防护措施 | | |
| 294 | 第十六章 非人类物种辐射防护 | 321 | 第十九章 医用辐射的卫生监督管理 |
| 295 | 第十七章 医用辐射事故的预防与处理 | 322 | 第二十章 医用非电离辐射的防护 |
| 295 | 第一节 辐射事故的概念与分级 | 322 | 第一节 电磁辐射对机体作用及防护 |
| 295 | 一、辐射事故的概念 | 323 | 一、电磁辐射的分类 |
| 295 | 二、辐射事故的分级与管理 | 323 | 二、电磁辐射的来源与传播途径 |
| 296 | 三、放射诊疗中的放射事件和事故性医疗照射 | 325 | 三、电磁辐射的医学应用 |
| 297 | 第二节 医用辐射事故及其预防 | 325 | 四、电磁辐射的生物学作用机制 |
| 297 | 一、医用辐射事故概况 | 326 | 五、电磁辐射对机体的损伤 |
| 299 | 二、辐射事故原因分析 | 329 | 六、电磁辐射生物效应的综合评价 |
| 300 | 三、医用辐射事故的预防 | 329 | 七、电磁辐射危害的防护 |
| 302 | 第三节 事故的调查与处理 | 330 | 八、电磁辐射职业卫生标准 |
| 302 | 一、医用辐射事故的调查 | 331 | 第二节 磁共振对机体的作用及可能危害 |
| 303 | 二、事故的处理原则 | 332 | 一、磁共振技术及医学应用 |
| 305 | 三、事故的经验教训 | 332 | 二、MRI 对机体的作用及可能存在的危害 |
| 307 | 第十八章 放射工作人员的职业健康管理 | 334 | 三、磁共振成像检查的要求 |
| 308 | 第一节 放射工作人员的从业条件 | 335 | 第三节 激光对机体的作用和防护 |
| 308 | 一、放射工作人员的从业条件 | 335 | 一、激光对机体的作用 |
| 308 | 二、放射工作人员证的办理 | 336 | 二、激光对机体的危害及影响因素 |
| 309 | 第二节 放射工作人员的知识培训 | 339 | 三、激光的防护措施 |
| 309 | 一、培训的目的与要求 | 340 | 四、激光安全标志 |
| 310 | 二、培训的知识与内容 | 340 | 五、激光职业卫生标准 |
| 310 | 第三节 个人剂量监督管理 | 342 | 第四节 超声波对机体作用和防护措施 |
| 310 | 一、个人监测的定义与目的 | 342 | 一、超声波对机体的作用 |
| 311 | 二、个人剂量监测管理要求 | 343 | 二、超声波对机体的健康效应 |
| 311 | 第四节 职业健康监护管理 | 344 | 三、超声波的安全与防护 |
| 311 | 一、职业健康监护定义和目的 | 345 | 四、医用超声相关标准 |
| 312 | 二、放射工作人员健康要求 | 346 | 第五节 非电离辐射的安全策略 |
| | | 349 | 主要参考文献 |

学 习 目 标

1. 掌握 ① 辐射的广义概念和辐射的分类。② 天然电离辐射、人工电离辐射和非电离辐射。③ UNSCEAR、IAEA、ICRP、ICNIRP、CT、DR、CR、DSA、DSI、ECT、PET、SPECT 的中文含义。④ 辐射防护的目的。
2. 熟悉 ① 放射防护简史。② 电离与激发的概念。③ 辐射防护的任务。
3. 了解 ① 人工电离辐射应用。② 放射防护法规与标准体系。③ 医学非电离辐射的安全。

在人类生存的环境中,广泛存在着声、光、电波、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,核辐射技术在能源、工业、农业、科学研究、医学诊断与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,也可能引发辐射的伤害,由于辐射性损害隐匿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。

目前,计算机断层摄影(computed tomography, CT)、发射计算机断层成像(emission computed tomography, ECT)、正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)、数字减影、磁共振成像、超声、激光等诊疗技术已深入到临床医学的各个领域,以及我们生活中的含电磁辐射用品(包括移动通信、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了整个辐射防护领域。因此,在医学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(medical radiation protection)是研究辐射对人体的健康效应及其损伤机制,为辐射的医学应用提供防护手段与安全措施的一门边缘交叉学科。

第一节 人类环境中的辐射

一、辐射的特点与组成

辐射是以波动形式或运动粒子形式向周围介质传播能量的一种方式,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。

电离辐射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。它们的特点是:① 具有一定穿透力。② 视觉不能感知(仪器可探测)。③ 遇到某些物质可能发出荧光。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,此种现象叫作原子或分子的激发;如果射线有足够的能量,使1个或多个轨道电子脱离原子或分子,此种现象叫作原子或分子的电离,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,叫直接电离辐射,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,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,其生物作用取决于辐射的量子能量水平(表1-1,图3-1),量子能量越大,生物学作用越强,通常将量子能量水平大于100 eV的电磁辐射归类于电离辐射范畴,比如X射线和 γ 射线;

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 | $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ | $3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5$ | $1.24 \times 10^{-10} \sim 1.24 \times 10^{-9}$ |
| 中频 | 1 000 ~ 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 | $1 \times 10^{-3} \sim 1$ | $3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^{11}$ | $1.24 \times 10^{-6} \sim 1.24 \times 10^{-3}$ |
| 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 ~ 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 ~ 1.24×10^2 |
| 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。

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。

二、天然辐射、人工辐射与非电离辐射

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与人工电离辐射。

(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伴随着我们生存环境的电离辐射,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,形成的次级宇宙射线,大气层为我们阻挡了许多高能的宇宙射线。

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,如宇生放射性核素 ^3H 、 ^7Be 、 ^{14}C 、 ^{22}Na 等。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、镭系核素及 ^{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,越来越多的人乘坐飞机,增加了受宇宙射线的照射机会;地下空间的开发利用增加了地壳 γ 辐射和氡的照射;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)指随着科学技术发展,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、工业、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与治疗、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)、核与辐射事故意外照射、国民经济中民用产品(显像管电视机、烟雾探测器)、装饰性建筑材料等。

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。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与患者的医疗照射防护越来越引起全社会的关注。

据 UNSCEAR 2008 年估算,环境中各种辐射来源所致的全球人均年有效剂量约为 3.0 mSv,其中 80% (2.4 mSv) 来自天然辐射,19.6% (约 0.6 mSv) 来自诊断性医疗照射,其余的 0.4% (约 0.01 mSv) 来自其他人工辐射源(图 1-1)。每个人所受剂量的大小可能差别很大,这主要因其居住地、日常饮食偏好以及其他生活方式而定。个人辐射剂量也可因所受医疗照射和职业照射而不同。表 1-2 给出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及其典型范围。医疗照射来源中,每年约有 31 亿人次接受放射诊断(人均年有效剂量 0.62 mSv),4.8 亿人次接受牙科放射学检查(人均年有效剂量 0.0018 mSv),3 270 万人次接受核医学检查(人均年有效剂量 0.031 mSv),510 万人次接受治疗性照射。

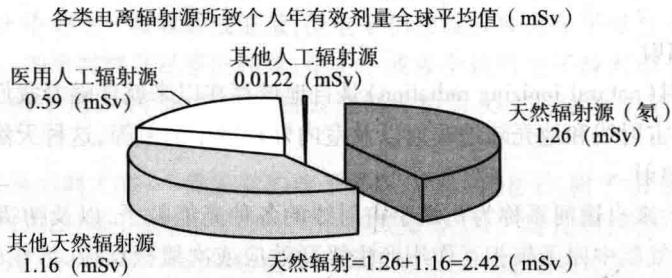


图 1-1 世界人口平均电离辐射的有效剂量分布

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 |
|--------------|--------------|--|
| 天然本底辐射 | 2.4 | 典型范围 1~13 mSv,高本底地区可达 10~20 mSv,天然本底辐射占全球公众平均年剂量:79% |
| 诊断性医疗照射 | 0.62 | 不同保健水平国家与地区:0.03~2.0 mSv,不包括治疗 |
| 牙科 | 0.0018 | 放射诊断,占全球公众平均年剂量:<0.1% |
| 核医学 | 0.031 | 占全球公众平均年剂量:1.1% |
| 诊断性医疗照射(∑总计) | 0.66 | 占全球公众平均年剂量:20% |
| 大气层核试验沉降物 | 0.005 | 1963年高达0.11 mSv,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 mSv逐渐下降,事故现场附近较高 |
| 核燃料循环 | 0.0002 | 随核电站的增加而升高,又随技术的改进而降低 |

引自 2008 年 UNSCEAR 报告(general assembly and annex A)。

Key Points

来自宇宙空间和地球辐射源的辐射称为天然辐射或天然本底辐射,人类在这种环境中世代生存,已经适应而无法改变。随着科学技术发展,人类又创造出了一些原来没有的辐射,被称为人工辐射。在人工电离辐射中,医疗照射所占份额最大,而天然辐射中氡的吸入所占份额最大。

(三) 非电离辐射

非电离辐射同样也分为天然与人工辐射两大来源。地球和大气层电磁场、太阳系与星际电磁辐射源等就是天然非电离辐射。随科学技术进步和社会发展,人工非电离辐射在工业、通信、医疗、军事等领域的应用越来越广泛,随着广播、电视、电子计算机、移动通信、家用电器的普及,医学诊疗中的超声波成像、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二十章中论述。

第二节 医用辐射的发展与回顾

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,在过去的一百多年里,电离辐射技术以其独特的作用在生命科学研究、医学诊断与治疗上做出了重要贡献。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与主要内涵。

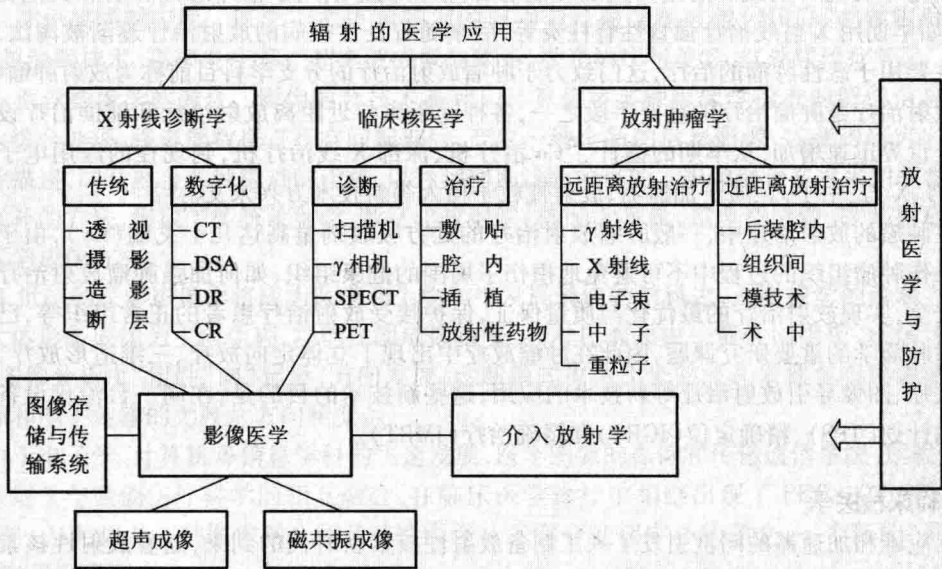


图1-2 辐射在医学应用中的相互关系

(一) X射线诊断学(放射诊断学)

人体医学X射线检查包括普通X线检查(X线摄影和X线透视)、X线造影和X线特殊检查(乳腺软X线摄影、体层摄影)等。