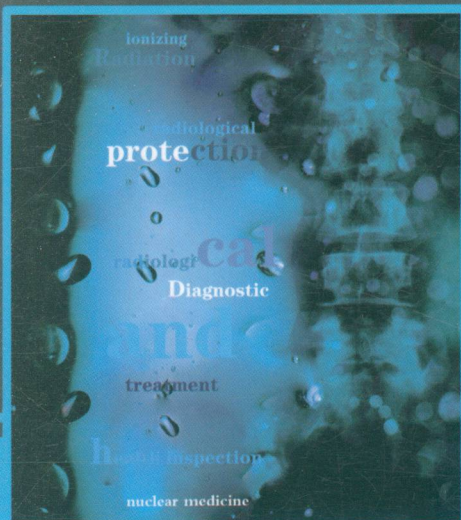


FANGSHEZHENLIAO WEISHENGFANGHU
JIQIJIANDUJIANCE



- ◆ 电离辐射基础知识
- ◆ 辐射防护基本原理
- ◆ 放射诊疗卫生防护
- ◆ 监督监测实用技术

主 编◎赵进沛 杨会锁

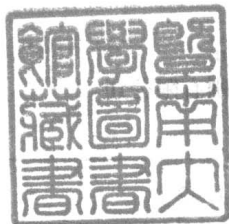
放射诊疗 卫生防护 及其监督监测

R14
2013/

阅 览

放射诊疗卫生防护 及其监督监测

主 编	赵进沛	杨会锁	
副主编	李秀芹	杨新芳	任东青
	张富利		
编 者	赵庆军	王雅棣	艾经纬
	朱焱华	李森林	石德光
	孟 园	任庆余	
主 审	杨国山	谢向东	



军事医学科学出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

放射诊疗卫生防护及其监督监测/赵进沛,杨会锁主编.

-北京:军事医学科学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5163-0004-6

I. ①放… II. ①赵… ②杨… III. ①放射医学-辐射防护
②放射医学-卫生管理 ③放射医学-卫生监测 IV. ①R14

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第188914号

策划编辑:李 玫 责任编辑:张 淙 责任印制:马 凌
出 版 人:孙 宇

出 版:军事医学科学出版社

地 址:北京市海淀区太平路27号

邮 编:100850

联系电话:发行部:(010)66931051,66931049,81858195

编辑部:(010)66931039,66931127,66931038

86702759,86703183

传 真:(010)63801284

网 址:<http://www.mmsp.cn>

印 装:三河市双峰装订印刷有限公司

发 行:新华书店

开 本:850mm×1168mm 1/32

印 张:10.5

字 数:268千字

版 次:2013年1月第1版

印 次:2013年1月第1次

定 价:25.00元

本社图书凡缺、损、倒、脱页者,本社发行部负责调换

内 容 提 要

本书对放射诊疗卫生防护及其监督监测两部分内容进行了介绍。第一部分包括电离辐射基本知识及其生物效应、放射防护基本原理、从业人员职业健康管理和受检者的防护。第二部分介绍了放射诊疗建设项目的设计与审查、放射诊疗项目卫生防护经常性监督监测的内容和程序,描述了各个项目中相关指标的定义、监督监测方法和评价。本书适用于放射防护监督监测人员以及放射诊疗从业人员,可以作为放射诊疗卫生防护与监督监测工作的学习参考资料和作业指导工具。

前言

Foreword

放射诊疗、放射诊疗卫生防护及放射诊疗卫生防护的监督监测是密切相关而又有所区别的三个概念。放射诊疗旨在利用射线实现诊断和治疗目的,放射诊疗卫生防护旨在通过采取措施降低射线危害,而放射诊疗卫生防护的监督监测则是卫生行政部门对相关单位卫生防护状况的一种监管行为。随着放射诊疗技术的发展和广泛应用,医学影像、放射肿瘤以及核医学已经成为很多医学院校的常设专业。同时,近年来陆续出版的一些有关放射防护学专著,也被很多医学院校列为本科生必修或选修课程的教材或参考书。因此,放射诊疗学和放射防护学,都已经成为发展和应用较为成熟的学科,而有关放射诊疗卫生防护监督监测的实践不少,理论成果不多,至今未见相关专著。

放射诊疗卫生防护的监督监测是监督管理与监测技术相结合的一门学问,是综合性、交叉性和边缘性学科,不仅需要相关人员掌握放射物理、放射生物以及卫生防护的基本知识,还需要了解放射防护相关法规标准,了解放射诊疗项目、放射诊疗设备和所使用的放射防

护检测仪器,相关知识分布在放射物理、放射医学、放射防护学、医学影像学、放射治疗学、核医学等专著,还分布在国家和地方相关法规、国家标准、企业标准、设备使用说明书等零散资料。作为一个新兴的专业,目前还没有形成一套系统、完整和标志性的指导资料,相应的管理和技术人员在学习和工作过程中缺乏有效的辅助工具。

有鉴于此,我们撰写了这部有关放射诊疗卫生防护与监督监测的书,包括放射防护与监督监测两部分内容。本书首先介绍了电离辐射的基本知识及其生物效应、电离辐射防护的基本原理。然后,从职业照射和医疗照射的角度,阐述了从业人员职业健康管理和受检者的防护,这些都是放射诊疗卫生防护的基础知识。在这部书的后半部分,作者以放射诊疗卫生防护的监督监测角度为切入点,重点介绍了放射诊疗建设项目的设计与审查、放射诊疗项目卫生防护经常性监督监测的内容和程序,描述了每个项目在建设和运行中需要进行检查的关键指标。在编写的过程中,我们参照了 ICRP 第 103 号出版物,近年来国内出版的学术专著、论文,还参照了现行的国家相关法规、标准,标准中除了国家职业卫生标准,还包括相关的检定规程和设备质量保证检测规范等,力争达到每项要求都有依据,各个检查项目都可操作,需要检测的指标都能实现,使之真正起到放射诊疗卫生防护与监督监测工作的学习参考资料和作业指导工具的作用。

本书所提供的放射防护及其监督监测基本知识是共通的,卫生行政部门授权的监管人员可以参照本书,以完成放射防护监督监测任务;放射卫生单位和放射工作人员,可以从这部书中了解到开展放

射诊疗项目所需要的人员、设备、设施、操作和管理要求,从而搞好自身的卫生防护工作;临床医学物理人员,可以参照本书提供的一些设备指标检测方法,实施放射诊疗设备的质量控制。

本书作者包括长期从事放射防护监督监测工作的技术人员和管理人员、医学物理师、从事大型医疗设备检测工作的人员以及多年从事放射卫生学教学的教师,从各自的专业和特长出发,结合一线实践经验,进行了长达数年的资料收集、梳理分析和总结工作,希望能够为放射诊疗、卫生防护、监督监测相关从业人员提供一套系统完整和科学实用的指导资料。

在本书编写过程中,我们参照了很多国家法规、标准,还有相关的学术专著、论文、设备使用说明等,在此一并表示感谢!由于编者水平所限,错误和疏漏在所难免,敬请各位读者谅解和批评指正。

编者

2012年6月1日



目录 Contents

第一章 电离辐射的特点及其生物效应	(1)
第一节 电离辐射概念	(1)
第二节 放射生物学效应及其分类	(18)
第三节 影响放射生物效应的因素	(32)
第二章 辐射防护基本知识	(36)
第一节 电离辐射常用的辐射量及其单位	(36)
第二节 辐射源照射方式与类型	(45)
第三节 放射防护的目的、任务和基本原则	(47)
第四节 放射卫生防护	(59)
第五节 放射防护监测	(66)
第六节 放射事故及处理	(73)
第三章 放射工作人员的职业健康管理	(82)
第一节 放射工作人员放射防护培训	(82)
第二节 放射工作人员个人剂量监测管理	(87)

第三节	职业健康监护	(107)
第四节	职业病的诊断与鉴定	(117)
第五节	保健与休假	(127)
第四章	受检者的放射防护	(128)
第一节	受检者防护的基本要求	(129)
第二节	放射卫生单位的责任	(131)
第三节	从业人员及其操作	(134)
第四节	设备和设施条件	(140)
第五章	现行放射诊疗卫生防护相关法规	(142)
第一节	与放射诊疗卫生防护相关的法规体系	(142)
第二节	《放射诊疗管理规定》及其基本内容	(144)
第六章	放射诊疗项目的设计、建设与放射防护评价	(151)
第一节	放射诊疗建设项目预防性审查程序与法律依据	(151)
第二节	放射诊疗建设项目的规划、设计及施工建设程序	(153)
第三节	放射诊疗建设项目设计中的基本原则、概念及常用屏蔽材料	(156)
第四节	各种放射诊疗项目的建设设计	(164)
第五节	放射诊疗建设项目的放射防护评价	(191)

第七章 放射诊疗卫生防护及监督监测	(196)
第一节 普通 X 射线影像诊断的卫生防护与监督监测	(198)
第二节 计算机断层摄影(CT)影像诊断的卫生防护及监督监测	(222)
第三节 介入放射学的卫生防护及其监督监测	(232)
第四节 核医学的卫生防护及监督监测	(238)
第五节 放射治疗的卫生防护及其监督监测	(250)
第六节 放射工作人员个人剂量监测	(310)
附录	(317)
附录 A 辐射质同校准深度和水对空气阻止本领比 $S_{w, air}$	(317)
附录 B 不同辐射质与电离室材料的扰动修正因子 ...	(318)
附录 C 电子束的水对空气阻止本领比($S_{w, air}$)和实际射程(R_p)	(319)
附录 D ^{60}Co γ 的衰变计算参考资料(半衰期 5.2610 年)	(320)
参考文献	(321)

第一章

电离辐射的特点及其生物效应

第一节 电离辐射概念

辐射(radiation)是广泛存在于宇宙和人类生存环境中的自然现象,也是物质传递能量的方式之一。辐射按其本质可分为电磁辐射和粒子辐射,按其作用原理又可分为电离辐射和非电离辐射。电离辐射和非电离辐射生物学效应的作用机制不同,其防护原理和技术方法也很不一样。

一、电离辐射基本概念

电磁辐射仅有能量而无静止质量,粒子辐射既有能量又有静止质量。电磁辐射依据频率和波长不同又可分为无线电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X射线、 γ 射线等,见图 1-1 电磁辐射谱;而粒子辐射包括电子、质子、负 π 介子、 α 粒子、 β 粒子和带电重离子等。电离辐射是辐射按与物质的作用时有电离过程而定义的,电离辐射与非电离辐射的能量分界不是绝对的,辐射在某一介质中是电离辐射,而在另一种介质中就可能不足以引起电离而不是电离辐射,通常以 12.4 eV(即光子波长为 100 nm)作为电离与非

电离辐射的界限。非电离辐射是不能与物质作用引起电离的辐射,主要是低能电磁辐射,包括无线电波、微波、红外线、可见光、长波紫外线等。电离辐射是指能与物质作用引起电离的辐射,主要包括粒子辐射和高能电磁辐射,放射医学和放射生物学涉及的电离辐射有 γ 射线、X 射线等。本书只涉及电离辐射的防护与监督监测。

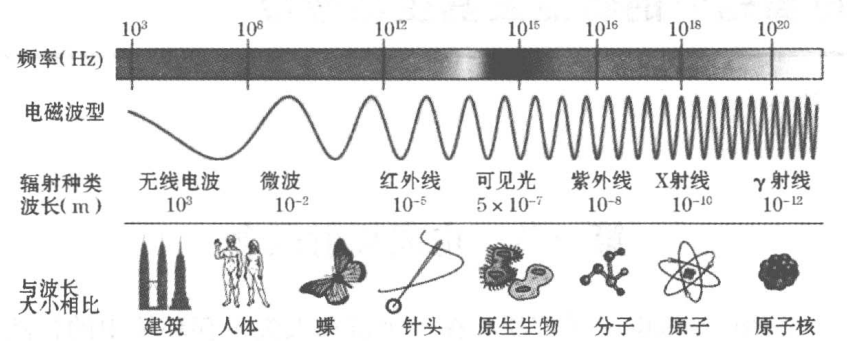


图 1-1 电磁辐射谱

电离辐射的来源可分为天然辐射源和人工辐射源。

1. 天然辐射源 存在于自然环境中的放射性称为天然辐射源,主要来源有宇宙射线、天然的放射性核素。

(1) 宇宙射线:宇宙射线是存在于宇宙间的高能射线,是属于地外辐射,也称为空间辐射。主要来自于太阳系和太阳系外的银河系。宇宙射线的特点是内含射线种类多,能量范围宽,其强度随海拔高度与地球纬度不同而异,但宇宙射线可被大气层强烈地吸收,对地面人类的外照射剂量贡献不大。

(2) 天然放射性核素:地球上存在的三个放射系,即铀系、钍系和锕系,是天然放射性核素的主要来源。其特点是核素种类多,分布范围广,无论是岩石、土壤,还是天然水源、大气,乃至动植物均含有天然放射性。天然放射性核素中,氡对人类的危害

较大。

2. 人工辐射源 由人类的军事、科学研究、生产、生活以及医疗等社会活动产生的辐射是人工辐射源。来源于以下几方面:

(1)核武器试验与使用:核武器爆炸形成的放射性烟云中含有 200 多种核素,会造成爆炸地区及其下风向的广大地区的放射性污染,并因地球的自转和烟云扩散导致全球性的放射性污染,且能维持相当长的时期。

(2)核能生产:核矿物开采与冶炼,核元件的运输,以及各部门对放射性物质的使用等生产活动中产生的放射性废气、废水、废物(称放射性“三废”)排放而进入人类生存环境。

(3)辐照加工:利用核设施产生的高能射线和粒子对材料进行改性加工,对食品进行保鲜、灭菌、防霉,对种子进行改良等辐照加工工艺,常使用核反应堆,钴-60 和铯-137 辐照场,工业用电子加速器等放射性设施和装置。

(4)放射性核素生产与使用:人们利用反应堆和加速器生产放射性核素,以供工业、农业、医学和生物学应用。生产和应用本身会存在各种程度不同的核辐射,使用中发生的“三废”对人类环境也造成不同程度的放射性污染。

(5)工业探伤与地质探矿中的核设备:工业探伤多用 γ 探伤机;地质探矿多用中子发生器和同位素中子源。这些设备都是人工辐射源。

(6)医用射线装置和含放射源装置:对人类疾病进行诊断和治疗而使用的各种 X 线诊断、治疗机,含放射源治疗装置(如:钴-60 治疗机、中子刀和 γ 刀等),医用加速器以及放射性核素诊断与治疗药物(试剂)等都是人工辐射源。

二、射线的种类及性质

射线包括 X 射线、 γ 射线、 α 射线、 β 射线(正电子流、负电子流)、中子等,其中 X 射线、 γ 射线都是高能电磁辐射,X 射线、 γ 射线及中子本身不带电,它们与介质中原子作用,产生带电的反冲核和次级电子,使介质发生电离作用,称为间接电离辐射。 α 射线、 β 射线能在介质中直接发生电离作用称为直接电离辐射。X 射线、 γ 射线、 α 射线、 β 射线均属于微观粒子,具有波粒二象性,与物质相互作用时呈粒子性,传播过程中具有波动性。

1. X 射线 X 射线本质是高能光子,是产生于原子核外的物理过程,是在原子能级转变过程中,从原子壳层中发射出的高能电磁辐射,波长很短(为 $10^{-10} \sim 10^{-5} \text{ cm}$),介于 γ 射线和紫外线之间。它是高能电子在被作用物质的核电场中减速,动能转化为辐射能时产生的。也就是说 X 射线是由电子相互作用的两种物理过程产生:一种叫韧致辐射,即高速电子在物质中受阻而减速,其能量以电磁辐射的形式放出;此种 X 射线的能量是连续的能谱,最大能量等于轰击靶的电子的动能。另一种是高速电子与靶原子核外电子碰撞,把内壳层某一能级上的电子击出原子,然后外壳层某一能级的电子去填补内壳层留下的空位,放出能量等于两个能级之差的光量子,产生特征 X 射线;特征 X 射线为几种单能的光子,能量取决于靶原子的电子壳层结构,轰击电子的能量越高,特征 X 射线所占的比例越小。

波长较短的 X 射线称为硬 X 射线,能量愈高,穿透力愈强;波长较长的 X 射线称为软 X 射线,能量愈低,穿透力愈弱。X 射线的电离作用主要由其所形成的光电子和反冲电子的二次作用。X 射线防护主要是外照射防护。X 射线由于其波长短,有许多与可见光不同的独特性质,其主要性质为:①不可见,直线传播;②不带电荷,不受电场和磁场影响;③能透过可见光不能透过的物质,

其中包括肌肉、骨骼、金属;④与可见光一样有反射、干涉、折射等现象,但这些现象与可见光有区别,如X射线只有漫散射,不能产生像可见光那样的镜面反射,X射线的折射系数非常接近1,其折射现象不像可见光一样能很清楚地观察到;⑤能使物质产生光电子及反冲电子,以及引起散射现象;⑥能被物质吸收产生热量;⑦能使气体电离;⑧能使某些物质起光化学作用,使照相胶片感光,又能使某些物质发生荧光作用;⑨能引起生物效应,造成DNA破坏和细胞损伤及机体致病等;⑩利用X射线能使气体电离进行射线剂量的测量。临床医学应用了X射线特有的穿透作用、荧光作用、感光效应和生物效应来进行放射诊断和放射治疗,各种类型的X射线机、CT、加速器都属于产生X射线的射线装置。

2. γ 射线 γ 射线本质也是高能光子,是在核转变过程中原子核从高激发态跃迁回到低激发态或基态时放出的光子,波长极短(通常指 10^{-8}cm 以下),它是原子核衰变时或正负粒子湮没时发生的,它是单能的,能量一般在 $0.01 \sim 10\text{ MeV}$,特点是静止质量为0,穿透能力很强。因而 γ 射线被广泛应用于厚工件的探伤。 γ 射线性质与X射线大体相同,所以把它们统称为光子。两者区别在于 γ 射线是从某些放射性物质(例如钴、钍、铀、镭、铀、铯等)原子核里放射出来,原子核从能量较高的状态跃迁到能量较低的状态时常放出 γ 射线,而X射线是由原子核外电子壳层中发射出来的。此外,X射线和 γ 射线都不带电,不能直接引起电离,但可引起间接电离;如它们穿透物质时,可以使核外电子成为高速飞行的自由电子,这些电子则可以发生电离作用。临床常用的 γ 放射性核素源有钴-60源(γ 刀)、铯-137源(后装机)、氟-18(PET-CT)、镓-67(ECT)、铯-137、铯-90、碘-131、碘-125等。核医学显像和治疗常用放射性核素主要参数见表1-1。

表 1-1 核医学显像和治疗常用放射性核素主要参数表

核素名称	核素符号	半衰期	衰变方式	主要射线及能量(MeV)
钴-60	⁶⁰ Co	5.27 a	β ⁻	γ 1.173(100%) γ 1.332(100%)
氟-18	¹⁸ F	109.8 min	EC and β ⁺	β ⁺ 0.635(97%) γ 0.511(200%)
磷-32	³² P	14.3 d	β ⁻	β ⁻ 1.71(100%)
碘-131	¹³¹ I	8.02 d	β ⁻	β ⁻ 0.606(89.7%) β ⁻ 0.334(7.2%) γ 0.364(81.8%) γ 0.637(7.2%)
碘-125	¹²⁵ I	60.2 d	EC	γ 0.027 - 0.036(138%) β ⁻ 0.004(79%) β ⁻ 0.031(11%) β ⁻ 0.023(20%)
铯-137	¹³⁷ Cs	30.2 a	β ⁻	β ⁻ 0.512(94.7%) γ 0.66(85.1%)
铱-192	¹⁹² Ir	73.8 d	β ⁻ EC and β ⁺	β ⁻ 0.670(47.2%) β ⁻ 0.530(42.6%) γ 0.316(82.7%) γ 0.468(47.0%)
锶-90	⁹⁰ Sr	28.8 a	β ⁻	β ⁻ 0.546(100%)

半衰期单位:a(年)、d(天)、min(分钟)。衰变方式:β⁻为负β衰变,β⁺为正β衰变。EC是指轨道电子俘获,对治疗来说一般以β射线为主的核素时,γ射线没有价值;而以弱γ为主的核素如¹²⁵I,γ射线则是主要的治疗因素。主要射线及能量:射线能量单位为MeV,β射线后括号内的百分比为分支比;γ射线后括号内的百分比为能量绝对强度

3. α射线 α射线又称α粒子,是带两个单位正电荷的高速粒子流,实质是氦的原子核,由两个质子和两个中子组成,质量为4u,写作⁴₂He。α射线的穿透能力很弱,如能量在5 MeV的α粒子,能被2 mm厚的铝箔全部吸收;能量低于10 MeV的α射线,在空气中的平均射程小于10 cm,一张纸就可屏蔽,因而不适合作核医学显像,在肌肉组织中仅为30~40 μm。天然放射性核素放出的能量最高的α射线,最多只能穿过人体皮肤的角质层。因此,可以不考虑α射线的外照射危害,但由于α射线射程短,带电荷多,电离能力强,对局部的电离作用强,具有很强的电离作用和光

化学作用,因而引入体内,可以对核素附近的生物组织产生损伤,所以要特别注意防止 α 射线可能造成的体内照射。同时,也可以看出利用 α 射线开展体内恶性组织的放射性核素治疗具有潜在的优势。

放射性同位素 $^{226}_{88}\text{Ra}$ (镭) $\rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + ^4_2\text{He} + Q$; 放射性同位素 $^{222}_{86}\text{Rn}$ (氡), 释放 2 个 α 粒子形成 $^{218}_{84}\text{Po}$, 会继续蜕变。 $^{218}_{84}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} ^{214}_{82}\text{Pb} \xrightarrow{\beta^-} ^{214}_{83}\text{Bi}$; 所得到的是 $^{214}_{83}\text{Bi}$ 原子, 也是不稳定的, 进而发生 α 衰变和 β 衰变, 直到产生稳定原子为止。 α 照射中最重要的住宅和工作场所内的氡-222 (及其衰变子体)。我国标准规定每年氡-222 所致有效剂量水平 3 ~ 10 mSv, 采用剂量转换约定把有效剂量换算成氡-222 浓度值。由于人在室内和工作场所停留的时间是不同的, 因此规定的氡-222 在室内和工作场所的浓度具有较大的差别, 对于住宅范围是 200 ~ 400 Bq · m⁻³ 氡浓度, 对于工作场所, 相应范围是 500 ~ 1500 Bq · m⁻³。

4. β 射线 β 射线又称 β 粒子, 是带一个单位电荷的电子流, 分为 β^+ 和 β^- 两种, 即为正电子和负电子。静止质量约为 $9.109\,389\,7 \times 10^{-31}$ kg, 质量仅为质子质量的 1/1836。正电子带正电, 质量和负电子相同。

β 射线的穿透力比 α 射线强, 如能量为 1 MeV 的 β 射线在空气中的射程约为 30.5 cm, 铝中为 1.5 mm, 铅中仅为 0.4 mm; 能量在 70 keV 以上的 β 射线才能穿过人体皮肤的角质层。

临床常用 β 射线治疗的医用加速器电子辐射源, 发射 β 射线的放射性核素有 ^{32}P 、 ^{131}I 、 ^{89}Sr 。 β 射线在组织中的射程是毫米水平, α 射线是微米、俄歇电子是纳米水平。在能量方面, α 射线和俄歇电子是单能, 具有优越性, 而 β 射线是连续能谱, 即同一放射性核素发射的 β 射线可以具有从零到最大能量范围内的任一能量。高能 β 射线与高原子序数的物质作用时, 发生韧致辐射而产生