

在医学和牙科中工作人员的放射防护

国际放射防护委员会第 57 号出版物

原子能出版社

内 容 简 介

本书是国际放射防护委员会(ICRP)第3专门委员会发表的一份技术报告。在放射诊断和放射治疗中患者和医务人员所接受的照射是人群人工照射的重要组成部分。为了避免患者接受不必要的照射,ICRP第3专门委员会曾于1982,1985和1987年先后发表了三个技术报告,而本报告则是讨论在放射诊断和放射治疗中如何对医务人员进行防护,减少医务人员的职业照射的。本书前三节叙述了放射防护的一般原理,后六节分专题叙述了医务人员放射防护的实施问题。它是国际权威机构对这一专题的最新论述。

本书最后附有“国际放射防护委员会关于现行放射诊断中患者防护原则的概述”。

本书可供医院和医学研究单位的医务人员和管理人员,各级卫生行政管理人员以及大专院校有关专业的师生参考。

前 言

国际放射防护委员会第3专门委员会是从事医学和牙科中有关患者、工作人员和自愿研究人员的防护工作的。ICRP最近有三个出版物讨论过患者的防护问题,它们是:

ICRP 第34号出版物(1982) 放射诊断中患者的防护

ICRP 第44号出版物(1985) 放射治疗中患者的防护

ICRP 第52号出版物(1987) 核医学中患者的防护

本出版物是有关工作人员的防护的,它是由工作组编写的,这个工作组建立于1986年,它的任务是:

这个文件应当主要是为那些接受职业性照射的工作人员编写的丛书之一。这个文件应当解决如何把委员会的剂量限制体系应用到X线诊断应用、射束治疗、未准直线治疗、放射性药剂在诊断和治疗中的应用、医用放射性核素在实验室的应用等特殊情况下工作人员的防护以及在治疗中受到氡照射的工作人员的辐射防护。

委员会正在起草修改基本建议,预计在1990年末或1991年初出版。随着新建议书的出版,这个报告可能要作某些修改。在那个时候之前,这个报告符合委员会现行的一切建议。

为委员会第3专门委员起草这个文件的工作组成员有:

JHE Carmichael(主席)	J Jankowski
R J Berry(自1987年9月开始)	P Pellerin
W F Bland(自1986年7月开始)	G E Sheline
J J Conway	D Sowby(自1987年9月开始)

E T Henshaw

特别感谢J E Shaw 和 H R Stockdale的帮助。起草此文

件时第 3 专门委员会的成员有：

J Liniecki(主席)	P Pellerin
C F Arias	M Rosenstein
J H E Carmichael	J G B Russell
J J Conway	G E Sheline
J E Gray	S Somasundaram
M Iio	D Sowby
J Jankowski	L B Sztanyik
S Mattsson	

目 录

前言

1. 引言	(1)
1.1 ICRP 的任务	(1)
1.2 可能受照的医务工作人员	(2)
1.3 本报告的对象	(3)
1.4 如何阅读此报告	(3)
2. 基本概念	(4)
2.1 引言	(4)
2.2 放射生物效应	(5)
2.3 剂量学的量	(6)
2.3.1 吸收剂量	(6)
2.3.2 剂量当量	(6)
2.3.3 有效剂量当量	(8)
2.3.4 待积剂量当量	(11)
2.4 危害和危险度	(11)
2.5 辐射防护的目的	(15)
2.6 工作人员的剂量限值	(16)
2.7 育龄妇女和孕妇的受照	(17)
2.7.1 育龄妇女的职业性照射	(17)
2.7.2 孕妇的职业性照射	(17)
3. 辐射防护方案的实施问题	(18)
3.1 辐射危害的控制	(18)
3.1.1 外辐射的控制	(18)
3.1.2 污染的控制	(19)
3.2 总体组织	(19)
3.3 专家建议和技术援助	(20)
3.4 教育和培训	(22)
3.5 规划和设计	(24)

3.6 场所和工作条件的划分	(26)
3.7 辐射监测方案	(29)
3.7.1 一般建议	(29)
3.7.2 个人监测	(30)
3.7.3 工作场所的环境监测	(31)
3.8 医学监督	(32)
4. 放射诊断中工作人员防护的实施问题	(33)
4.1 引言	(33)
4.2 规划和设计	(34)
4.3 场所划分	(38)
4.4 操作程序	(39)
4.4.1 一般工作实践	(39)
4.4.2 在放射科外进行移动式放射摄影	(43)
4.4.3 移动式 X 线透视设备的使用	(43)
4.4.4 避免不必要的照射	(44)
4.5 质量保证	(45)
5. 牙科 X 线摄影中工作人员防护的实施问题	(46)
5.1 规划和设计	(46)
5.2 组织和职责	(47)
5.3 场所划分	(47)
5.4 操作程序	(48)
5.4.1 一般程序	(48)
5.4.2 避免不必要的照射	(50)
5.5 质量保证	(50)
6. 使用开放性放射性核素中工作人员防护的实施问题	(51)
6.1 适于所有使用开放性核素的一般建议	(51)
6.1.1 引言和危害分类	(51)
6.1.2 一般原则	(53)

6.1.3	专用场所的设计特点	(55)
6.1.4	场所划分和监测程序	(57)
6.1.5	放射性物质的贮存和转移	(59)
6.1.6	操作程序	(60)
6.1.7	工作人员的去污	(64)
6.1.8	放射性废物的操作	(65)
6.1.9	应急程序	(65)
6.1.10	包括辐射的火灾和爆炸	(67)
6.1.11	质量保证	(67)
6.2	用开放性放射性核素进行诊断的具体建议	(68)
6.2.1	专用场所的设计特点	(68)
6.2.2	监测程序	(68)
6.2.3	操作程序	(69)
6.3	用开放性放射性核素进行治疗的具体建议	(70)
6.3.1	引言	(70)
6.3.2	规划和设计	(70)
6.3.3	场所划分和监测程序	(72)
6.3.4	操作程序	(72)
6.3.5	外科	(74)
6.3.6	尸检、火化或防腐	(75)
6.3.7	应急安排	(76)
6.4	在医学实验室工作中使用放射性核素的具体建议	(77)
6.4.1	引言	(77)
6.4.2	场所划分和监测程序	(77)
7.	短距治疗中工作人员防护的实施问题	(78)
7.1	引言	(78)
7.2	规划和设计	(79)
7.2.1	放射源实验室	(80)
7.2.2	病房设计	(82)

7.2.3	手术室设计	(83)
7.2.4	诊断用 X 线检查	(84)
7.2.5	安全运输和转移放射源的规定	(84)
7.3	场所划分和监测程序	(84)
7.4	操作程序	(85)
7.4.1	概述	(85)
7.4.2	高活度放射源的诊断应用	(87)
7.4.3	场所监测	(88)
7.4.4	应急程序	(88)
7.5	质量保证	(90)
8.	外射束放射治疗中工作人员防护的实施问题	(91)
8.1	规划和设计	(91)
8.2	场所划分	(95)
8.3	操作程序	(96)
8.4	应急程序	(97)
8.5	中子治疗中工作人员的防护	(98)
8.6	质量保证	(101)
9.	放疗中工作人员的防护	(102)
	参考文献	(104)
	附录	(110)
A.	皮肤的去污程序	(110)
B.	治疗室和 X 线透视室中的剂量当量率	(112)
C.	X 射线和 γ 射线通过铅和混凝土的透射	(117)

1 引 言

1.1 ICRP 的任务

(1) 国际放射防护委员会从 1928 年就开始工作,当时它是由第二次国际放射学会议建立的,任务是对放射医学中安全使用辐射源进行指导。由于核能和天然辐射方面的飞速发展,委员会在继续加强它与医学领域的传统关系的同时,扩展了它的指导范围,以包括更为广泛的辐射源应用。

(2) 本报告通过对医学和牙科中工作人员的放射防护提出建议进一步体现了这一宗旨。它符合 ICRP 第 26 号出版物(ICRP,1977b)及其以后的声明(ICRP,1980,1984a,1985a,1987a)中所阐述的委员会的基本建议,也符合 ICRP 在一般领域和医学领域的其他出版物的要求。这些出版物主要有:

ICRP 第 33 号出版物——医用外部源电离辐射的防护(ICRP,1982a)

ICRP 第 34 号出版物——放射诊断中患者的防护(ICRP,1982b)

ICRP 第 35 号出版物——工作人员辐射防护监测的一般原则(ICRP,1982c)

ICRP 第 37 号出版物——辐射防护最优化中的代价-利益分析(ICRP,1983)

ICRP 第 41 号出版物——电离辐射的非随机性效应(ICRP,1984b)

ICRP 第 44 号出版物——辐射治疗中患者的防护(ICRP,

P,1985b)

ICRP 第 49 号出版物——照射胚胎和胎儿的脑对发育的影响(ICRP,1986b)

ICRP 第 51 号出版物——用于外辐射防护的数据(ICRP,1987b)

ICRP 第 52 号出版物——核医学中患者的防护(ICRP,1987c)

ICRP 第 55 号出版物——辐射防护中的最优化与决策(ICRP,1988a)

本报告补充完善了正在修订的 ICRP 第 25 号出版物(ICRP,1977a)——在医院和医学研究设施中操作、贮存、使用和处置开放性放射性核素——这个修订本目前已经完成了循环(征求意见)。

按照以前报告中所采取的做法,“必须”表示委员会要求这样做,“应该”表示委员会希望这样做。

1.2 可能受照的医务工作人员

(3) 在医学诊断、治疗和研究的设施中,来自 X 线机和其他机器与来自放射性核素的电离辐射得到广泛的应用。本报告讨论直接或间接从事这些应用工作的医务人员所需的防护措施,特别是论及其工作带有辐射照射的放射学家、辐射肿瘤学家、核医学医生、医学物理学家、X 线摄影师、科学家、技师、放射性药剂师、工程师、护士及其他有关人员(如心脏病学家和矫形外科医师)的防护措施。

(4) 在整个文件中,根据情况,“专业人员”这一词包括放射学家、辐射治疗师、辐射肿瘤学家、核医学医师、其他内科和外科医师、牙科医师、正骨医师、按摩医师以及其他经过有

关主管部门批准的从事特定专业工作的医务人员。

(5) 在此文件中,“X 线摄影师”一词包括放射工艺师,医疗技术助理和医疗放射技师。

(6) 在此文件中,“技师”一词包括核医学技师和工艺师、牙科技师和放射治疗技师。

(7) 本文件也适用于从事治疗的医务和非医务人员,他们也许由于职业而暴露于氡。

1.3 本报告的对象

(8) 本报告特别适用于各个医院或医疗单位的管理部门和在这些单位工作的涉及辐射的工作人员。但是,此报告也应引起有关立法部门的注意,不管它是国家的、地区的还是地方的,只要它们是负责实施安全标准和为工作人员制定培训标准的,都应注意此报告。

(9) 本报告也想提供给那些负责筹划和供应医疗设备和配套技术设备的人们。因为只有在规划和设计阶段引入适当的标准与有良好的设备保证和经过很好培训的工作人员才能确保安全。

1.4 如何阅读此报告

(10) 本报告的前三节是共同性的,所有工作人员都应阅读,以便对辐射防护有个基本的认识。

(11) 第 1 节为引言;第二节概括了辐射的基本概念;第 3 节探讨了医学和牙科中所有使用辐射的人都会碰到的实施问题。

(12) 第 4 到第 8 节为专题章节,分别包括在放射诊断、牙科 X 线摄影,使用开放性放射性核素,短程治疗和外射束

放射治疗中工作人员防护的实施问题。使用开放性放射性核素的工作人员将看到,第6专题节又分为一般建议(6.1)、诊断应用(6.2)、治疗应用(6.3)和医学实验室应用(6.4)等四个专题小节。

(13) 第9节为治疗中工作人员的防护。尽管这有些偏离医用辐射这一主题,但治疗会对有关工作人员带来严重的辐射安全问题。

2 基本概念

2.1 引言

(14) 辐射这个词是用来描述以电磁场或亚原子粒子形式穿越空间或物质的能量传输的。电离是原子失去(有时是得到)电子,变成带电从而被称为离子的过程。这种能量传输是一个随机过程,而能量的空间分布又影响辐射的效应。涉及医学和牙科的电离辐射有X射线, γ 射线,电子和亚原子粒子。

(15) 工作人员的外照射是来自体外辐射源的照射。它可能来自X线机或其他机器产生的辐射,来自放射性核素放出的 β , γ 或特征X射线。

(16) 当由于食入、吸入,通过伤口或通过完整皮肤的直接吸收使放射性核素进入体内时可能对工作人员产生内照射。

2.2 放射生物效应

(17) 被活组织吸收的辐射能量会引起物理化学反应,从而产生生物学的变化,这种变化可能引起的决定性效应或是躯体的(即发生在受照者的组织内)或是遗传的(即发生在受照者的后代)。

(18) 人体的大部分器官或组织不会因失去一些细胞或是失去很多细胞而受到什么影响。但是,如果失去的数量很大,就会出现可以观察到的损伤或组织功能的丧失。当剂量小于几百毫希(或更多一点)时,发生上述损伤的概率几乎为零,但是高于某些剂量水平(阈),这种损伤就会很快增加。损伤的严重性随剂量的增加而加重。这种类型的效应被称为“非随机性的”。

(19) 在一些特定的组织中可能产生的非随机性效应有眼睛体的白内障;皮肤的良性损伤;性细胞的损伤(造成生育能力受损);骨髓内细胞减少(造成血液不足)和其他器官内细胞减少,严重时损伤器官功能。那些普遍性的非随机性效应可能发生于血管或结缔组织中,它们是身体内大多数器官所共有的。在ICRP第41号出版物(ICRP,1984b)中详细论述了电离辐射的非随机性效应。

(20) 如果受照细胞不是被杀死而是被改变,其后果完全不同。一个被改变而保持活力的躯体细胞,其繁殖所产生的细胞克隆几乎总是被身体的自卫能力而消除或封闭。如果不是这样,则在一种有害条件的孕育下,经过一段被称为“潜伏期”的时间延时,很可能形成癌。形成癌的概率,通常随剂量增大而增大,在一定程度上,近似正比于剂量,而且很可能没有阈值。有害情况的严重程度不受触发剂量的影响。这种类型

的损害称之为“随机性的”，意思是说“它具有偶然的或统计的性质”。如果初始损伤作用在睾丸或卵巢的干细胞中，其作用是把遗传信息传到后代。这种效应可能有几种不同类型；也许在后代表现出来。

2.3 剂量学的量

2.3.1 吸收剂量

(21) 在以定量的方式描述辐射与物质作用时的基本假定是，这种作用的适当的量度是单位质量中所沉积的能量。这种能量沉积，即吸收剂量可来自各种类型的辐射，它由下式定义：

$$D = d\bar{\epsilon} / dm \cdot$$

式中， $d\bar{\epsilon}$ 是在一个体积元里电离辐射授与物质的平均能量， dm 是该体积元内物质的质量。吸收剂量的 SI 单位为焦耳每千克 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)，其专名为戈瑞 (Gray)，在此之前吸收剂量的单位为拉德 (rad) ($1 \text{ rad} = 0.01 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

2.3.2 剂量当量

(22) 在辐射防护中，需要有一个明确规定的数值来描述辐射照射及其生物效应估计量之间的关系。因此委员会使用了剂量当量 H 这个量，希望它在常规辐射防护所涉及的吸收剂量范围内能很好地表示出辐射照射的生物内涵。 H 的定义为：

$$H = DQN$$

式中， Q 是品质因数， N 是由委员会规定的其他各个修正因数的乘积。在目前，委员会规定 N 的值为 1。由于 Q 和 N

• 原文为 dM ，与下文不一致。——译者注

都没有量纲,剂量当量的 SI 单位和吸收剂量的相同,即焦耳每千克。但是为了避免误解,给它定了一个专名,希沃特(Sv)。在此之前剂量当量的单位为雷姆(rem)(1 rem=0.01 Sv)。

(23) 品质因数适用于不同辐射类型的不同效能。它代表着某一种辐射对一系列生物终点的不同相对生物效能[见第(28)段]值的判断结果。假设它与被研究组织中单位径迹长度上所接受的平均能量有关而与效应或终点的类型无关。所以委员会需精确地定义 Q 值为所关心的点上水中碰撞阻止本领 L_{∞} 的函数。委员会曾对一些 L_{∞} 值规定了它们之间的关系,如表1所示。其他值可由线性内插法求得。

(24) 如果此吸收剂量是由具有一系列 L_{∞} 值的一些粒子产生的,则可以算出该有关点的有效值 $\bar{Q}$ 。当不知道 L_{∞} 的分布时,允许使用 $\bar{Q}$ 的近似值。委员会已经推荐了所有常见的电离辐射的 $\bar{Q}$ 的近似值,如表2所示:

表1 规定的 Q 与 L_{∞} 的关系

水中的 L_{∞} (keV m ⁻¹)	Q
<3.5	1
7	2
23	5
53	10
>175	20

表2 对各种类型辐射建议
应用的 $\bar{Q}$ 的近似值

辐射类型	$\bar{Q}$ 的近似值
X 射线、γ 射线和电子	1
能量未知的 α 粒子和多电荷 粒子(及未知电荷数的粒子)	20

(25) 选用品质因数是为了表示不同类型电离辐射在小剂量下产生有害的随机性效应的效能。因此要注意,不能把剂量当量用来估计可能涉及严重非随机性效应的人的事故照射的所有可能后果。为了评价事故照射,用各种辐射在高剂量下有关效应的相对生物效能(RBE)进行权重的吸收剂量是比较合适的量。

(26) 在1985年3月巴黎会议上,委员会发表了有关中子品质因数值的下述声明(ICRP,1985a):“委员会审查了现有的中子对试管中的细胞和中子对小鼠寿命缩短的相对生物效能(RBE)的资料。这些资料的内容将作为委员会在今后4年左右时间内对建议进行一种更大范围审查的一部分予以考虑。同时,对于中子,委员会建议 $\bar{Q}$ 值增加1倍。这样,对快中子, $\bar{Q}$ 的认可的近似值从10增到20。这种改变仅限于中子,暂不建议其他 Q 值的改变。

(27) 作为更大范围审查的一部分,最近委员会考虑了一份有关辐射防护领域中品质因数的报告(ICRP,1986)。因为委员会1985年声明中建议的中子 Q 值的改变也许在此时还没有引入到一切国家的规程中去,在中子剂量当量的说明中,应当说明是否采用了这种变更。

(28) Q 和RBE之间的关系常常被混淆。RBE定义为,在其他各种条件都相同的条件下,参考辐射的吸收剂量与产生同样大小和(或)同样性质的同等程度生物效应的受检查辐射的吸收剂量之比。由于定义 Q 值时未以任何生物学终点作参考,所以它不相应于任何具体的RBE值。

2.3.3 有效剂量当量

(29) 为了辐射防护目的,在某一器官或组织中产生随机性效应的概率假定与此器官或组织中的剂量当量成正比。

对身体的各个组织,此比例常数可能不同,但是为了估算健康危害,常常需要一个总的危险度。如果全身各个组织是均匀地照射,则可以使用一个单一的总的危险系数,而评价和比较只能依据全身的剂量当量来进行。但是如果不同组织的照射不是均匀的——特别是对大多数体内沉积的放射性核素来说——需要用另外的量来表示总的危险度。

(30) 委员会曾建议了既适用于不同器官受照所引起的各种致死性危险也适用于部分遗传效应的量。这个量定义为下述公式之和:

$$\sum_T W_T H_T$$

式中 W_T 是委员会规定的权重因子,它表示组织 T 受照产生的随机性危险度与全身均匀受照时总危险度之比。 H_T 为组织 T 中平均剂量当量。目前称它们的和为有效剂量当量 H_E 。

(31) 在估算有效剂量当量时,不管某一特定组织中的剂量当量是由内照射还是由外照射产生的,从原则上讲都没有什么区别。所需要的只是估算一切放射源在各个组织中的剂量当量,乘以相应的权重因子再将其乘积加起来。如果体内所有组织均匀地接受照射,那么其结果在数值上就等于全身剂量当量。不过,在很多实际情况下,分别估算内外辐射的贡献是比较方便的。

(32) 委员会建议的 W_T 值如表3所示。委员会认为这些值适于各种年龄和两种性别的个人的防护,即适于工作人员和公众成员的防护。性腺的值包括了发生在头两代(即受照个人的儿女和孙子(女)们)的严重遗传效应的贡献。在实践中,“其余”器官或组织是指表3中没有具体列出的接受最高剂量