

医用外部源电离辐射的防护

国际放射防护委员会第33号出版物

北京市口腔医院
图书室

原子能出版社



国际放射防护委员会第33号出版物

医用外部源电离辐射的防护

国际放射防护委员会第3

专门委员会报告

(委员会1981年3月通过)

本报告取代ICRP第15、21号

出版物的医学部分

ICRP Publication 33
Protection Against Ionizing Radiation
from External Sources
Used in Medicine

ICRP, Pergamon Press, 1982
国际放射防护委员会第33号出版物

医用外部源电离辐射的防护

董柳灿 译
陈 霓

陈丽姝 校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能印刷厂印刷



开本787×1092 $1/32$ ·印张3 $1/4$ ·字数 78 千字

1984年8月第一版·1984年8月第一次印刷

印数1—2000·统一书号: 15175·591

定价: 0.60元

前 言

1978年，国际放射防护委员会（ICRP）在斯德哥尔摩会议上建立了一个工作小组，旨在依照1977年委员会的建议书来修订 ICRP 第15 号和第21号出版物，并就使用医用外部电离辐射源的所有领域提出建议。

该工作小组由下列成员组成（略）。

委员会和第3专门委员会特别对 L. E. Larsson 和 J. H. E. Carmichael 为承担本报告草本的编写和修改工作表示感谢。

1977—1981年第3专门委员会成员名单（略）。

目 录

前言	
引言	1
一、辐射量和单位	2
二、剂量限制的制度	11
引言	11
正当化	11
辐射防护的最优化	13
剂量限值	16
三、关于设计和操作方面的建议	17
四、X射线诊断	23
一般建议	23
带有荧光屏或影像增强器的荧光检查	26
射线照相	29
荧光照相	30
牙科射线照相	31
五、放射治疗	33
射束治疗	33
一般建议	33
管工作电压低于150kV的X射线治疗设备	34
管工作电压在150—500kV的X射线治疗设备	35
兆伏X射线和电子束治疗	36
电子加速器产生的非所需中子所致的危险	38
密封源射束治疗	39
非准直密封源治疗	40
六、中子发生器和中子源	43
七、对患者的防护	45
临床处置	45

X射线诊断	47
医学研究	49
八、监测	51
引言	51
个人监测	52
工作场所监测	53
监测结果的评价	53
参考文献	53
附录：外部源电离辐射防护用的数据	55
引言	55
X射线发生器的输出额	55
γ 射线源的输出额	59
初级X射线和 γ 射线穿过屏蔽的透射	59
斜射束的透射	74
半值厚度和1/10值厚度	75
对低能X射线选定的几种材料的屏蔽效能值	76
X射线和 γ 射线的散射	77
散射辐射穿过屏蔽的透射	80
泄漏辐射穿过屏蔽的透射	84
对散射辐射和泄漏辐射的综合屏蔽	84
设计X射线和 γ 射线屏蔽的计算公式	85
适用于防护屏蔽的最优化	86
屏蔽400kV以下X射线的边界条件	88
电子的射程-能量曲线	90
半值层	91
参考文献	95

引 言

(1) 1977年,委员会颁发了有关辐射防护的一些新建议 (ICRP Publication 26)。第3专门委员会根据这些建议编写了现在将要采用的本报告,用以取代 ICRP第15号和第21号出版物。

(2) 为了在医学放射学方面对工作人员、患者和公众的防护履行委员会的职责,本出版物为主管当局提供了关于安全使用医用外部电离辐射源的指导和指示。对于个体开业者的指导将在以后出版的 ICRP 出版物 (《X射线诊断中患者的防护》^①) 中提供。非密封放射性核素的使用可参阅 ICRP 第25号出版物。

(3) ICRP 第26号出版物为辐射防护领域引进的一些新的辐射量和单位,以及本出版物用到的那些辐射防护基本原理将在单独章节中予以讨论。

(4) 本报告的一些建议是根据委员会规定的剂量限制制度提出的,因此国际组织和国家管理机构的责任应当是为促进贯彻这些建议而制定一些标准和规范。特别是应当用最优化的原则来指导设备的设计。

(5) 关于委员会提出的剂量限制制度的详细情况,读者可以参考 ICRP 第26号出版物,以及委员会后来发表的两份声明。

(6) 本报告的重点是与医用外部辐射源本身的技术问题

① 本出版物 (ICRP第34号出版物) 已于1982年出版,其名为《诊断放射学中患者的防护》。——译者注

题有关的防护。此外，适当地也把工作人员的训练、工作实践的最优化以及管理上的要求当作辐射防护的重要因素予以讨论。

(7) 本报告提出的建议中“必须”(Shall)和“应该”(Should)两个词具有如下含义：

“必须”(Shall)系指从辐射防护角度来说是非做不可的或者是必不可少的；

“应该”(Should)系指只要是合理的，为改进辐射防护而采取的措施。

(8) 委员会意识到，依照某些新的建议，可能需要对现有装置的结构和(或)操作程序进行改革。希望这种改革尽可能快的完成，但是不能因此而使患者失去了必要的医学护理。

一、辐射量和单位

(9) 这一节概述了辐射防护中使用的一些基本辐射量和表示这些辐射量的单位。其目的在于不去查阅其他材料的情况下也能为适当了解本报告而提供足够的资料。应当强调指出，这些辐射量在辐射防护中都是非常重要的。想要更深入研究这个问题的读者可参考ICRP和ICRU的一些更详细的报告。

(10) 在辐射防护中首要关心的辐射量和概念是吸收剂量 D 以及与剂量当量 H 的各种不同表达式有关的那些辐射量和概念。由吸收剂量可以推导出实用剂量学中很重要的几个量，其次序表示如下：

吸收剂量 (D)

组织中某一点处的剂量当量 (H)

器官平均剂量当量 (H_T)

有效剂量当量 (H_E)

在 ICRP 的剂量限制制度中要评价和限制的量是身体不同器官和组织中的平均剂量当量以及有效剂量当量。因此本部分主要引用的是有关这两个辐射量的资料。

(11) 吸收剂量 D 是电离辐射授予单位质量受辐照物质的能量。吸收剂量的 SI 单位是焦耳每千克 (Jkg^{-1})，其专名是戈瑞 (Gy)。以前吸收剂量采用的专用单位是拉德 (rad)， $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Jkg}^{-1}$ 。假如在一小块质量中确定授予能，则能量沉积的随机涨落可能起一定的作用。因此，吸收剂量的严格定义 (ICRU Report 33) 是根据统计期望值给出的。在细胞或亚细胞结构中，能量沉积的统计涨落起重要作用因而引入了微剂量学用的一些量，在本报告中不考虑这些问题。

(12) 不同品质辐射的相同吸收剂量，可能产生严重程度不同或发生几率不同的效应。委员会试图通过引入剂量当量 H 计及这种不等性，剂量当量就是经过一些权重因子修正之后的吸收剂量。组织中某一点的剂量当量由下列方程给出：

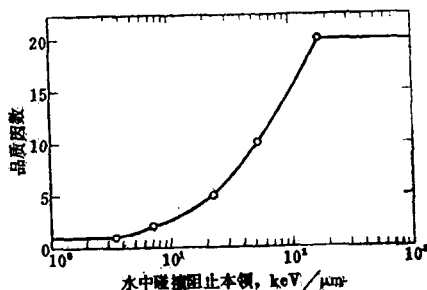
$$H = DQN$$

式中， D 是在该点的吸收剂量， Q 是品质因数 (参阅第 13 段)， N 是一个修正因子，目前委员会把这个值指定为 1，但是为了将来有可能引入其他一些需要考虑的修正因子，以计入诸如吸收剂量率或剂量分次给予等的影响，所以还是把它写在式中。因为权重因子 Q 和 N 都是无量纲量，所以剂量当量的 SI 单位与吸收剂量的单位相同，即焦耳每千克，但是为了避免与吸收剂量混淆，给予它一个专名希沃特 (Sv)。以前采用的专用单位是雷姆 (rem)， $1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Jkg}^{-1}$ 。

(13) 品质因数 Q 用以衡量不同类型的电离辐射在产生有害效应的效果方面的差异。这种效果与被吸收的能量在微观分布或亚微观分布上的差异有联系, 因此把 Q 规定为在所关心的一点处水的碰撞阻止本领 (L_c) 的函数。表 A 列出了委员会对不同的 L_c 值所指定的 Q 值。由图 A 可以获得作为 L_c ① 函数的 Q 的内插值。

表A L_c 与 Q 的关系

水中的 L_c , $\text{keV } \mu\text{m}^{-1}$	Q
3.5及以下	1
7	2
23	5
53	10
175及以上	20



图A 品质因数与水中碰撞阻止本领的关系

(14) 在一般情况下, 如果要研究的某点处的吸收剂量 D 是由具有一定范围 L_c 值的粒子产生的, 那么就可以计算出这一点处 Q 的有效值 $\bar{Q}$ (参阅 ICRU 第 33 号报告)。当不知

① 原文中将 L_c 写为 L 。——译者注

道在所关心的这一点处 L_0 的分布时, 就可以使用与 辐射类型有关的 $\bar{Q}$ 近似值。委员会为此目的建议的对外照射和内照射都可以使用的 $\bar{Q}$ 近似值列于表 B 中。

表B 对各种辐射类型建议可以采用的 $\bar{Q}$ 近似值

辐 射 类 型	$\bar{Q}$ 的近似值
X射线、γ射线和电子	1
热 中 子	2.3
能量未知的中子、质子和静止质量大于 1 原子质量单位的单电荷粒子	10
能量未知的α粒子和多电荷粒子 (以及电荷数未知的粒子)	20

(15) 品质因数的选定是为了表示在低剂量下不同类型的电离辐射产生有害效应的后果。因此重要的是, 剂量当量不应当用来评价人体受严重事故性照射的可能后果。为了这种目的, 对于衡量高剂量时的效应来说, 吸收剂量对每一种辐射类型的相对生物效应 (RBE) (假若这种资料可以得到) 加权之后, 才是合适的量。

(16) 在辐射防护中所关心的另一个量是每个器官或组织 (T) 中的平均剂量当量 $\bar{H}_T$ 。这就是基本上适用于委员会为防止非随机性效应而制定的剂量限值用的那个量。对于工作人员来说, 除了眼晶体以外的所有器官, 这些限值都是每年 500mSv, 而对于眼晶体这个限值为每年 150mSv。对于公众中的个人来说, 所有器官的这个限值都是每年 50mSv (参阅ICRP第26号出版物)。

(17) 委员会除了为防止非随机性效应而建议的剂量限值以外, 还根据照射所有器官和组织所产生的随机性效应的总危险度建议了一个剂量限值。这就是对全身均匀照射规

定的基本的剂量当量限值。对于工作人员，这个限值为每年50mSv，对于公众中的个人，这个限值为每年5mSv。对于公众中的个人还有附加的建议，这就是如果这种剂量是根据实际估算的而不是采用可能受到的最大值，则一生的平均值不应当超过每年1mSv（参阅ICRP第26号出版物）。

(18) 在非均匀照射情况下，对随机性效应的剂量限制是基于这样的原则，在剂量限值下的危险度不管全身是均匀照射还是非均匀照射都应当相等。如果

$$\sum_T W_T H_T \leq H_{\text{全限}}$$

则上述条件将得到满足。式中 $H_{\text{全限}}$ 是所建议的全身均匀照射的年剂量当量限值， W_T 是权重因子，表示受照射组织(T)产生的随机性危险度与全身受到均匀照射时的总随机性危险度之比值。

(19) 当权重因子 W_T 是委员会所建议的那些值(表C)时，加权的器官平均剂量当量之总和称为有效剂量当量 H_E 。因此，委员会对随机性效应的剂量限值 $H_{\text{全限}}$ 也适用于有效剂

表C 导出有效剂量当量用的权重因子建议值

器官或组织 (T)	W_T
性腺	0.25
乳腺	0.15
红骨髓	0.12
肺	0.12
甲状腺	0.03
骨表面	0.03
其余组织①	0.30

① 选取其余组织的接受最大剂量当量的5个器官或组织，其中每一

个的 $W_T=0.06$ 。

量当量,不考虑是均匀照射还是非均匀照射。有效剂量当量可用与剂量当量的相同单位即用希沃特来量度。

(20) 实际上,在所有情况下都允许用一些次级标准来代替实际估算的有效剂量当量。对于内照射(本文不论述),次级标准是年摄入量限值ALI(参阅ICRP第30号出版物)。对于外照射,次级标准是剂量当量指数 $H_{1, d}$ (参阅第21段)。在内、外照射同时存在的情况下,如果下面两个条件都能得到满足:

$$\frac{H_{1, d}}{H_{E, L}} + \sum_j \frac{I_j}{ALI_j} \leq 1$$

和

$$\frac{H_{1, s}}{H_{s, k, L}} \leq 1$$

则委员会对随机性效应所建议的剂量限制不会被超过。式中, $H_{1, d}$ 是年深部剂量当量指数, $H_{1, s}$ 是年浅表剂量当量指数, $H_{E, L} = H_{\text{全限}}$ 是年有效剂量当量限值(参阅第17段), $H_{s, k, L}$ 是皮肤的年剂量当量限值(对于工作人员为500mSv,对于公众中的成员为50mSv), ALI_j 是放射性核素j的年摄入量限值, I_j 是放射性核素j的年摄入量^①(参阅ICRP第30号出版物)。

(21) 在某一点处的剂量当量指数 H_1 是以此点为中心、由密度为1000kgm⁻³的软组织等效材料所组成、直径为30cm球体中的最大剂量当量。这个量称为“广义”剂量当量指数。这个定义的一个重要的必然结果是,离某一表面或源的距离小于15cm时 H_1 就没有定义。球心所在的点几乎总是与

① 原文误为 I_j 。——译者注

② 原文遗漏。——译者注

出现最大剂量当量的点不相同。

(22) 剂量当量指数的上述定义要加以修改, 以考虑到贯穿本领小的辐射。于是, 分别地考虑半径为 14cm 内核中的最大剂量当量和 1 cm 厚的周围壳层中的最大剂量当量是方便的。这两个最大值分别称为深部剂量当量指数和浅表剂量当量指数, 浅表剂量当量指数的符号是 $H_{T, s}$, 深部剂量当量指数的符号是 $H_{T, d}$ ^①, 它们称为“狭义剂量当量指数”。这两个指数中较大的一个指数与广义剂量当量指数相同。有人建议浅表剂量当量指数不得包括 1cm 壳层中的 0.07mm 外壳层处的剂量当量, 因为这个厚度代表了薄的皮肤区域中表皮基底层的厚度, 在 0.07mm 外壳层的任何辐射效应都可以假定是无关重要的。

(23) 为若干目的, 例如在评价辐射防护措施最优化时, 可以使用集体有效剂量当量 S_E 。这个量等于受照射个人的数目与其平均有效剂量当量之乘积 (参阅 ICRP 第 26 号出版物第 22—24 段)。集体剂量当量的单位是 人·希沃特 (man·Sv) [或用以往的剂量当量的专用单位表示为人·雷姆 (man·rem)]。

(24) 比释动能 K (每单位质量物质所释放的动能) 是不带电电离粒子在特定物质的单位质量中产生的带电电离粒子的动能。度量比释动能的单位与吸收剂量相同。比释动能的 SI 单位为焦耳每千克 (Jkg^{-1}), 其专名为戈瑞 (Gy)。比释动能是针对在自由空间或吸收介质内部某一点处的任何特定物质而言的。例如可以采用“空气中的组织比释动能”和“骨中的组织比释动能”之类的词句。在很宽的光子能量

① 原文遗漏。——译者注

范围内，空气比释动能和组织比释动能相差不到10%，为辐射防护目的可以认为它们的大小相等。在这方面，空气比释动能表示在空气中的空气比释动能的意思。比释动能是与被照射质量元的几何条件复杂性无关的，并且比释动能可以用来描述在自由空间或吸收介质中的光子或中子。由于这些原因，比释动能比照射量（参阅第26段）具有更广泛的适用性。

(25) 如果比释动能是用设计成接近带电粒子平衡条件的辐射测量仪器测定的，并且比释动能和吸收剂量都采用相同的单位，则比释动能的数值与吸收剂量的数值相等。然而，在两种介质的分界面附近（例如在皮肤中或处于接近骨表面的这些细胞中），比释动能与吸收剂量之间就会出现显著的差异。对于很高能量的辐射，由于带电粒子能量的输运，剂量的积累可能是很大的，于是，在某一点处的比释动能可能超过或小于在该点处某一小质量元的吸收剂量。在这种条件下，组织比释动能或空气比释动能乘以相应的品质因数适合于近似表示剂量当量指数的值；而用某一小组织元中的吸收剂量乘以相应的品质因数来估计在人体中产生的最大剂量当量，则有可能偏低。

(26) 照射量 X 是一个基于辐射在空气中产生电离能力的电离电磁辐射的剂量学的量。照射量是当光子在单位质量空气中释放出来的全部电子完全被空气阻止时，在空气中产生同一种符号离子的总电荷的绝对值。照射量的SI单位是库仑每千克 (Ckg^{-1})。以前采用的照射量专用单位是伦琴 (R)， $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ Ckg}^{-1}$ （精确值）。

(27) 可以详细说明是在自由空间中的照射量还是在吸收介质中的照射量。通过适当的换算因子，可以把照射量与

空气比释动能和剂量当量指数联系起来。例如,在某一点处产生1伦琴照射量的100kV X射线在那一点处产生的空气比释动能约为8.7mGy (0.87rad),产生的组织比释动能约为9.5mGy (0.95rad)。除空气外的任何介质中的比释动能大小取决于X射线的能量和这种介质的原子组成。

(28) 注量 Φ 是用以描述辐射场的一种特性,而不涉及辐射与受照物质的相互作用。利用合适的相互作用系数,对任何要研究的物质都可以导出各种各样的剂量学量,例如剂量当量等等。粒子的注量 Φ 是进入单位截面球体内的粒子数。注量的SI单位是 m^{-2} 。对于一个单向性辐射场,注量就等于入射到垂直场的单位表面积上的粒子数。辐射的能量注量 Ψ 是进入单位截面球体内的电离粒子动能,能量注量的SI单位是 Jm^{-2} 。

(29) 在ICRU第33号报告(《辐射量和单位》)中可得到更精确的资料和更确切的定义。在ICRU第25号报告(《剂量当量测定中的基本概念》)中讨论了剂量当量的概念。在ICRP第26号出版物的第三节(基本概念)中,在1979年ICRP的斯德哥尔摩会议的声明中[Annals of the ICRP, 2,3 (1), 1978]以及在1980年ICRP的布赖顿会议的声明和建议中[Annals of the ICRP, 4 (3/4), 1980]也都讨论了辐射量和单位。

二、剂量限制的制度

引 言

(30) ICRP建议的一套剂量限制的制度，其主要宗旨在于确保：电离辐射的每一种照射，从其本身的利益或者任何能得到的可供选择的利益来衡量都具有正当的理由；任何必要的照射均保持在可以合理达到的尽可能低的水平；所受的剂量当量不超过某些规定的限值。该剂量限制的制度有以下几个主要特点：

(1) 若引进的某种实践不能肯定产生纯利益则不得采取此种实践——正当化。

(2) 在考虑到经济和社会因素之后，一切照射必须保持在可以合理达到的尽可能低的水平——防护的最优化。

(3) 个人所受的剂量当量不得超过委员会对相应情况所建议的限值——剂量限值。

正当化和最优化的这些原则主要与辐射源有关，即它们涉及的是对每个辐射源所采用的防护是否适宜。剂量限值涉及的是工作人员个人、公众成员以及参与调查研究的患者。

正 当 化

(31) 理想的说，某项拟议中的涉及辐射照射的作业或实践是否能被采纳，应当经过代价-利益分析之后才能决定，