

公众成员摄入放射性核素的年龄依赖剂量

(第一分册)

国际放射防护委员会第56号出版物

原子能出版社



1
R144.1

677

9810/18

国际放射防护委员会第56号出版物

公众成员摄入放射性核素的 年 龄 依 赖 剂 量

第一分册

国际放射防护委员会第2专门
委员会工作组报告

(委员会1989年4月通过)

王作元 陈兴安 任天山 译



A0047193

原子能出版社



京新登字077号

内 容 简 介

本报告是国际放射防护委员会第2专门委员会一个工作组编写的关于公众成员摄入放射性核素的年龄依赖剂量的第一份报告。本报告分两部分，第一部分阐述了ICRP采用的剂量学模式和生物动力学模式，包括胃肠道模式、呼吸道模式、转移隔室模式、铜系元素骨模式以及生物动力学数据的年龄依赖内插。第二部分介绍了碳、镭、铀、钍、钍、钍、钙、钍、钍、钍、钍和钍12种元素的19种核素已发表的生物动力学数据，以及根据这些数据计算的公众成员食入和吸入这些核素的年龄依赖剂量系数，即食入和吸入单位活度所致不同年龄公众成员的有效剂量当量，并以表格形式列出。

本报告可供辐射防护、放射医学、放射生物学等有关专业的现场工作人员、科研人员、管理人员及大专院校有关专业的师生参考。

国际放射防护委员会第56号出版物
公众成员摄入放射性核素的年龄依赖剂量

(第一分册)

王作元 陈兴安 任天山 译

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京昌平兴华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32 ·印张5.375 ·字数120千字

1992年12月北京第一版·1992年12月北京第一次印刷

印数1—700

ISBN 7-5022-0706-6

TL·435定价：2.70元

前 言

1987年3月,应第2专门委员会的要求,国际放射防护委员会建立了一个工作组,要求它完成“估算公众成员单位摄入量所产生的剂量。这就需把年龄依赖的身体模式和合适的生物动力学资料结合在一起。该工作组的第一份报告集中于下列各元素的同位素:氢、碳、铍、铅、铌、钽、碘、铯、钷、钷、镱和镱。工作组将选择第2类放射性核素在稍后一些时间内评价。”

工作组包括下列成员:

成员

A. Kaul (主席)	J. Inaba
J. C. Barton	H. Métivier
K. F. Eckerman	J. W. Stather

通讯成员

陈兴安	R. Leggett	Ch. R. Richmond
D. Crawford-Brown	D. Noßke	H. D. Roedler
M. Cristy		D. M. Taylor
L. Johansson		T. Watabe

在编写本报告期间的第2专门委员会成员是:

C. B. Meinhold (主席)

W. J. Bair	G. Drexler	J. P. Moroni
陈兴安	K. F. Eckerman	Y. I. Moskalev
	A. Kaul	N. Parmentier
R. H. Clarke	O. Matsuoka	C. R. Richmond
J. O. Snihs		
D. M. Taylor		
R. H. Thomas		

术 语 汇 集

吸收分数($AF_j(T \leftarrow S)$)

在某个特定的源组织S中的特定的辐射类型j所发射出的能量,被一个特定靶组织T所吸收的分数。

贝可 (Bq)

活度的国际单位制单位的名称, $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ 。

接近骨表面的细胞 (BS)

位于骨内膜表面和骨上皮表面 $10 \mu\text{m}$ 以内的组织。

待积剂量当量

某个人摄入放射性物质后,其体内某特定组织将接受的剂量当量率的时间积分。对于成人的积分时间为50年。对于儿童和年轻人,剂量计算到70岁。对这些年龄组,采用积分剂量当量这个概念。

皮质骨

相当于ICRP第20号出版物中的“致密骨”,也就是其表面/容积比小于 $60 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ 的任何骨;在参考人,其质量为4000g。

剂量系数

每单位摄入活度的待积或积分组织剂量当量和有效剂量当量 (Sv/Bq)。

肺类别 (D、W或Y)

根据所吸入物质从肺区的廓清率,对其进行的分类。

品质因数 (Q)

用于从吸收剂量导出剂量当量的主要修正因子（它取决于带电粒子的碰撞阻止本领）。

红骨髓（活性）

骨髓中含有大量造血干细胞的部分。

参考人

具有ICRP参考人工作组报告(ICRP 第23号出版物)所规定的解剖学和生理学特征的人。

希[沃特](Sv)

剂量当量的国际单位制单位的名称。

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}。$$

源组织 (S)

放射性核素摄入体内后含有大量此种放射性核素的组织（也可以是身体某个器官）。

比有效能量 (SEE(T←S)_i)

源组织(S)中发生的核转变所发射的特定辐射(i)适当修正品质因数授与每克靶组织(T)的能量(MeV)。经品质因数适当修正的能量(MeV)。

靶组织 (T)

吸收辐射的组织（也可以是身体某个器官）。

引 言

(1) 国际放射防护委员会 (ICRP) 在其第30号出版物 (ICRP, 1979) 中曾使用剂量模式和生物动力学数据以建立次级限值 (年摄入量限值, ALI), 用以控制工作人员摄入放射性核素的量。ICRP并没有建议用这些生物动力学数据来计算剂量当量和公众成员的放射性核素摄入量限值。在1983年美国华盛顿会议声明中, ICRP委员会从年龄依赖关系的角度, 评价了影响公众成员摄入量限值的那些因素, 以及由这些限值导出的器官剂量系数。

(2) 为了提供适于公众成员的剂量系数, 就必须了解年龄对放射性核素的生物动力学以及对解剖学和生理学数据的影响。母亲摄入放射性核素之后, 有关这些核素转移至胚胎和胎儿的资料也是需要的。切尔诺贝利反应堆事故之后, 国际上公认的公众成员的剂量系数的必要性变得尤为明显。

(3) 为继续ICRP多年来在内照射剂量学领域所做的工作, 以及由于其在辐射防护方面的指导作用, ICRP成立了一个工作组, 专为公众成员建立依赖于年龄的剂量系数。这个工作组的任务仅限于考虑那些最有放射学意义的核素, 这些核素由于各种人类活动可能被释放到环境中。这些活动包括铀的开采和水冶、转换、富集和加工; 电站的运行, 核燃料后处理和废物的贮存及处置。此外, 环境中存在着天然放射性核素, 由于人类活动其浓度可能发生改变。因而, 需要考虑的放射性核素的范围应包括天然的放射性核素, 裂变产

物，锕系元素，以及活化产物。有关服用放射药物时的剂量系数已在ICRP第53号出版物中给出（ICRP，1988）。

（4）本报告介绍的生物动力学数据和剂量学模式，可用于计算释放到环境中的放射性核素被食人和吸入后的依赖于年龄的剂量系数。对于通过吸入的摄入量，剂量系数是基于现行的ICRP肺模式，它不包括年龄依赖参数。在委员会公布了有年龄依赖参数的经修正的人呼吸道模式之后，上述剂量系数将重新计算。

（5）有关胚胎和胎儿的剂量学数据将在以后的一份报告中给出，也就是在估算相应剂量系数的剂量学和生物动力学模式建立之后。对于大多数放射性核素，初步估算表明，胚胎所受的剂量近似于子宫所受的剂量。胎儿所受的剂量取决于胎儿和母亲的组织中的活度。对于大多数放射性核素，胎儿组织所受的剂量等于或低于相应的母亲的组织中的剂量。

（6）本报告列出了下列元素的放射性同位素的数据：氢、碳、铍、铝、铋、钨、碘、铯、钚、镅和镎。

参 考 文 献

ICRP(1979). *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*, ICRP Publication 30, Pergamon Press, Oxford.

ICRP(1988). *Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals*, ICRP Publication 53, Pergamon Press, Oxford.

目 录

前言	(Ⅲ)
术语汇集	(Ⅳ)
引言	(1)

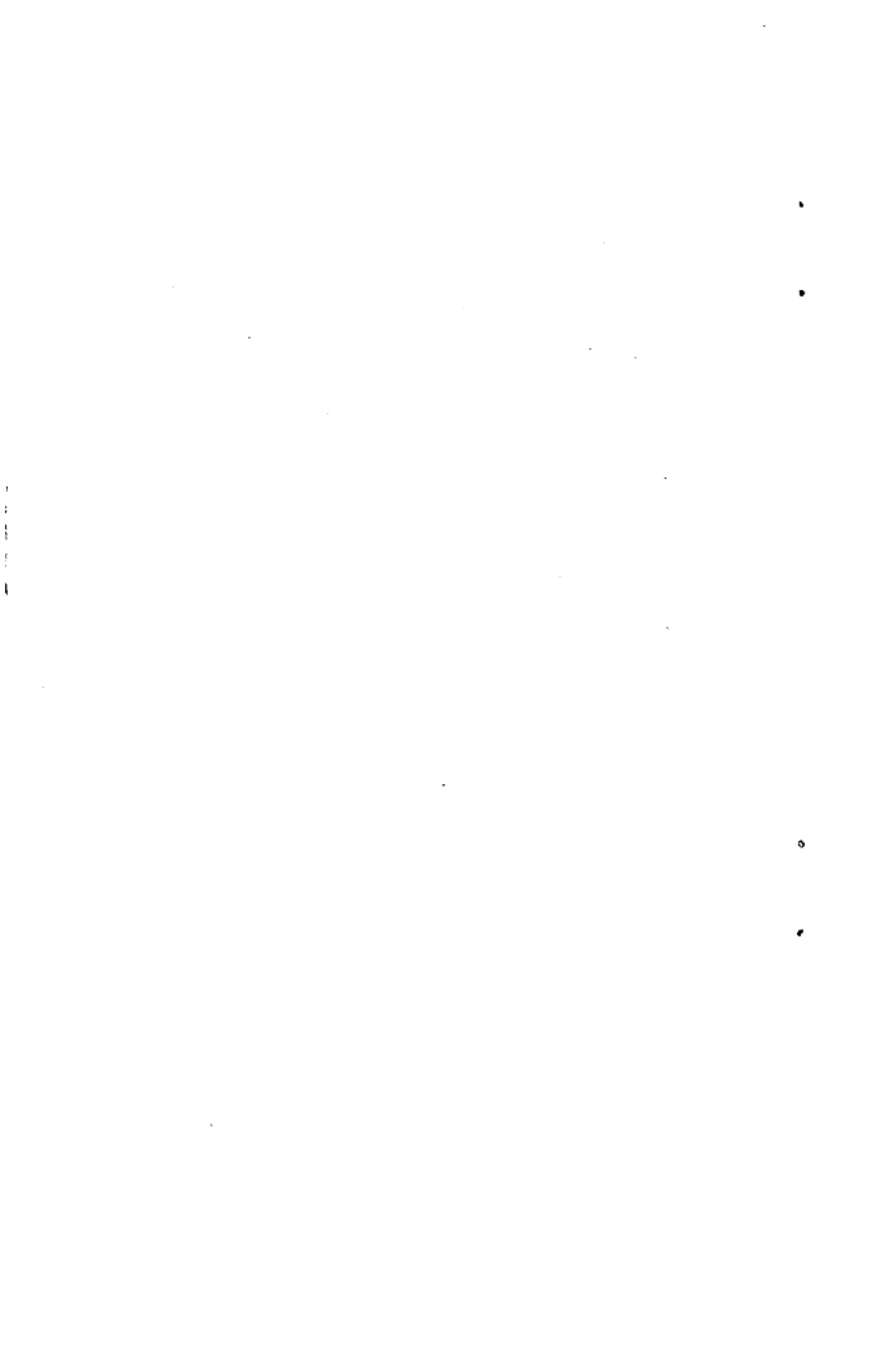
I. 剂量学和生物动力学模式

1. 剂量学模式	(3)
参考文献	(7)
2. 生物动力学模式	(8)
2.1 胃肠道吸收	(8)
2.1.1 胃肠道模式	(8)
2.1.2 成人的吸收	(8)
2.1.3 婴儿的吸收	(9)
2.2 呼吸道模式	(11)
2.2.1 现行ICRP肺模式	(12)
2.2.2 新的肺模式	(12)
2.3 转移隔室模式	(13)
2.4 铜系元素的骨模式	(13)
2.5 生物动力学数据的年龄依赖内插	(15)
2.6 子体产物的生物动力学	(15)
参考文献	(15)
3. 有效剂量当量	(18)
参考文献	(19)

I. 生物动力学数据和食入剂量系数

前言.....	(23)
1. 氢.....	(24)
1.1 氘水	(24)
1.2 有机结合氘	(26)
2. 碳.....	(31)
3. 铀.....	(36)
4. 铍.....	(42)
5. 铋.....	(47)
6. 钋.....	(53)
7. 碘.....	(60)
8. 铯.....	(71)
9. 铊.....	(79)
10. 钍.....	(83)
11. 镭.....	(90)
12. 镭.....	(93)
附录A: 锕系元素骨模式的详细描述	(101)
附录B: 吸入剂量系数	(129)

I. 剂量学和生物 动力学模式



1. 剂量学模式

(7)对于职业性照射,委员会建议以工作寿命50年作为剂量当量积分的合适期限。组织T在摄入一种放射性核素后的50年内所平均得到的总的剂量当量称之为待积剂量当量,用 $H_{50,T}$ 表示。在摄入一种放射性核素之后,各组织在年龄为70岁时所累积的总的剂量当量在此以积分剂量当量(integrated dose equivalent)列于表中。

(8)在本报告中,对摄入时不同年龄的个人所给出的系数,是代表由于吸入和食入所造成的单位摄入量所致的剂量当量。生长及其有关的变化将不仅仅影响体内放射性核素的行为和组织剂量,而且还影响生物效应的危险度。

(9)在靶器官或组织T中的剂量当量率包括了来自体内每一种放射性核素的贡献,以及来自有放射性核素存在的每一个器官的贡献。摄入时的年龄为 t_0 的个人,器官T在年龄为 t 时的剂量当量率 $\dot{H}_T(t, t_0)$ 可以下式表示:

$$\dot{H}_T(t, t_0) = c \sum_S \sum_j q_{S,j}(t) \text{SEE}(T \leftarrow S; t)_j \quad (1)$$

式中 $q_{S,j}(t)$ 是在年龄为 t 时,存在于源器官S中的放射性核素j的活度,而 $\text{SEE}(T \leftarrow S; t)_j$ 则为年龄 t 时,在源器官S中的放射性核素j每次核转变沉积在靶组织T中的比有效能, c 是 q 和 SEE 的单位所需的任一数字常数。

(10)在年龄 t_0 时,由于单次摄入一种放射性核素,当年龄为70岁时在靶器官或组织T中累积的总的剂量当量 $H_T(t_0)$

定义为:

$$H_T(t_0) = \int_{t_0}^{70} \dot{H}_T(t, t_0) dt \quad (2a)$$

即:

$$H_T(t_0) = c \int_{t_0}^{70} \sum_i \sum_j q_{s,j}(t) \text{SEE}(T \leftarrow S; t)_j dt \quad (2b)$$

对于20岁的成人, 单位摄入量的积分剂量当量 $H_{T,20}$, 在数学上相当于ICRP第30号出版物 (ICRP, 1979) 所定义的单位摄入量的待积剂量当量。

(11) 对于任何放射性核素, 在年龄 t 时的比有效能量定义为:

$$\text{SEE}(T \leftarrow S; t) = \sum_i \frac{Q_i Y_i \cdot E_i A F_i(T \leftarrow S; t)}{M_T(t)} \quad (3)$$

式中 Q_i 是 i 种类型辐射的品质因数, Y_i 是 i 种类型辐射每次核转变的辐射产额, E_i 是 i 种类型辐射的平均能量或单一能量, $A F_i(T \leftarrow S; t)$ 是在年龄 t 时, 靶器官 T 所吸收的由源区 S 发射出的能量的分数, $M_T(t)$ 则是年龄 t 时的靶器官的质量。在ICRP第38号出版物 (ICRP, 1983) 中给出了各种放射性核素发射的各种辐射的能量和强度。SEE的年龄依赖来自靶器官或组织的质量和吸收分数的年龄依赖。

(12) 对Cristy和Eckerman (1987) 的人形体模系列中考虑的不同年龄的个人, 计算了SEE值 (见表1.1)。至于公式(2b)所需的其它年龄的值, 是根据身体总质量的倒数进行线性内插得到的。ICRP第23号出版物 (ICRP, 1975) 图5给出了身体总质量与年龄的关系。年龄为20岁时的SEE值可终生通用。

(13) α 和 β 粒子的动能, 以及能量小于10keV的光子的能量可被源器官完全吸收。因此, 当源器官和靶器官为同一器

表1.1 用于计算SEE的参考器官质量

器	官	器 官 质 量 (g)						ICRP参考人*
		新生儿 3.4kg	1岁 9.8kg	5岁 19kg	10岁 32kg	15岁 55kg	70kg	
肾上腺		5.83	3.52	5.27	7.22	10.5	14.0	
脑		325	884	1260	1360	1410	1400	
乳腺		0.107	0.732	1.51	2.60	360	360	
胆囊壁		0.408	0.910	3.73	7.28	9.27	10.0	
胃肠道								
—下结肠壁		7.96	20.6	41.4	70.0	127	160	
—小肠壁		32.6	84.9	169	286	516	640	
—胃壁		6.41	21.8	49.1	85.1	118	150	
—上结肠壁		10.5	27.8	55.2	93.4	168	210	
心脏壁		25.4	50.6	92.8	151	241	330	
肾脏		22.9	62.9	116	173	248	310	
肝		121	292	584	887	1400	1800	
肺		50.6	143	290	453	651	1000	
卵巢		0.328	0.714	1.73	3.13	11.0	11.0	
胰腺		2.80	10.3	23.6	30.0	64.9	100	
骨								
—活性骨髓		47	150	320	610	1050	1500	
—内皮组织		15.0	26.0	37.0	68.0	120	120	
皮肤		118	271	538	888	2150	2600	
脾		9.11	25.5	48.3	77.4	123	180	
睾丸		0.843	1.21	1.63	1.89	15.5	35.0	
卵巢		11.3	22.9	29.6	31.4	28.4	20.0	
甲状腺		1.29	1.78	3.45	7.93	12.4	20.0	
膀胱壁		2.88	7.70	14.5	23.2	35.9	45.0	
子宫		3.85	1.45	2.70	4.16	80.0	80.0	

* ICRP第23号出版物的附录。

官时，吸收分数可假定为1；当源器官和靶器官为不同器官时则为零。例外的情况是：胃肠道（胃肠道中的内容物是源区，壁则为靶）；膀胱（源在内容物中，壁是靶），以及骨骼的内膜和活性骨髓。认为骨骼内的放射性核素分布在表面或整个矿质骨容积中。认为处于危险的两个组织是小梁骨的红骨髓和在皮质骨以及小梁骨表面上的细胞。

(14)对于胃肠道和膀胱，按ICRP第30号出版物(ICRP, 1979)所建议的方法，采用表1.1提供的质量计算了吸收分数。对于骨骼中的 β 粒子、单能电子及 α 粒子，ICRP第30号出版物(ICRP, 1979)给出的吸收分数的数据适用于所有年龄。 β 粒子的能量在源器官中全部被吸收的假设，可能导致高估婴儿某些小器官的吸收剂量。

(15)对于X和 γ 辐射，靶器官内的能量沉积取决于源器官和靶器官的成分和二者的空间关系以及任何介入组织(intervening tissue)的性质。年龄别的比吸收分数(比吸收分数 AF_i 除以靶器官质量 M_T)已由Cristy和Eckerman(1987)根据不同年龄个体的一系列人形体模辐射输运计算得到的，并已列表给出。在红骨髓内和骨表面细胞内的能量沉积是以Beddoe等(1976)编制的径迹长度分布为代表的骨的显微几何学为基础的。

(16)本报告提供的剂量系数是以6个不同年龄组的放射性核素单位摄入量为基础的。在生命的第一年，胃肠道的吸收以及身体的大小都会发生相当大的变化。为了提供合理代表这一阶段摄入量的单一值，选择3个月龄的婴儿，此时其身体质量为6kg。在表1.1中列出的摄入时的其它年龄组，与人形体模系列中所考虑的年龄组相一致(Cristy and Eckerman, 1987)。

表1.1所列的器官质量都是参考值,适用于两性。对年龄为1岁、5岁、10岁、15岁以及成年(20岁)的个体都列出了剂量系数。选取这些年龄组是为了提供估计群体摄入放射性核素后的剂量用的代表值。对其他年龄组应用时,工作组认为,可以采用下列年龄范围内的年龄别剂量系数,来估算组织剂量:

3个月:从0至12个月的婴儿。

1岁:从1岁至2岁

5岁:2岁以上至7岁

10岁:7岁以上至12岁

15岁:12岁以上至17岁

成年:17岁以上。

参 考 文 献

Beddoe, A. H., Darley, P. J. and Spiers, F. W. (1976) Measurement of trabecular bone structure in man. *Phys. Med. Biol.* 21, 589—607.

Cristy, M. and Eckerman, K. F. (1987) Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources. ORNL/TM-8381/V1-7. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge.

ICRP(1975) Report of the Task Group on Reference Man, ICRP Publication 23. Pergamon Press, Oxford.

ICRP(1979) Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30. Pergamon Press, Oxford.

ICRP(1983) Radionuclide Transformations, Energy and Intensity of Emissions, ICRP Publication 38. Pergamon Press, Oxford.