

国际放射防护委员会第30号出版物

(第三部分)

原子能出版社

工作人员的放射性核素摄入量限值

国际放射防护委员会第30号出版物

(第三部分)

工作人员的放射性核素 摄入量限值

国际放射防护委员会第2专门委员会报告

(委员会1978年7月通过)

本报告取代 ICRP 第2号出版物

董 柳 灿 译
陈丽珠 张永兴 校

原子能出版社

ICRP Publication 30

Part 3

Limits for Intakes of Radionuclides by Workers

ICRP, Pergamon Press, 1981

国际放射防护委员会第30号出版物

(第三部分)

工作人员的放射性核素摄入量限值

Gongzuò Rényuán De Fāngshèxíng Héshù

Shèriliàng Xiànzhi

董柳灿 译

陈丽姝 张永兴 校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

八九九二〇部队印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $6 \frac{1}{4}$ · 字数 135千字

1985年2月第一版·1985年2月第一次印刷

印数 1—3615 · 统一书号: 15175.540

定价: 0.95元

内 容 简 介

本书是国际放射防护委员会第30号出版物最后一部分。书中介绍了43种元素的代谢模型和年摄入量限值，给出的数据应该与ICRP第30号出版物第一部分的正文及其所叙述的剂量学模型一起使用。

书末附有ICRP第30号出版物第一部分和第二部分的附录。

本书可供辐射防护、放射生物学和放射医学等方面的科研人员、现场辐射防护人员以及大专院校有关专业师生参考。

目 录

绪言.....	1
铍.....	3
碳.....	7
镁.....	17
铝.....	20
硅.....	23
钪.....	28
钛.....	32
钒.....	35
镍.....	39
镓.....	45
锗.....	50
砷.....	54
硒.....	60
钇.....	66
锡.....	69
铈.....	75
镧.....	82
铈.....	86
钕.....	91

钜	93
钐	98
铈	102
钇	107
铽	111
镨	116
钬	119
铪	122
铥	125
镱	130
镱	134
铈	139
铈	143
铈	148
铂	154
铑	159
铑	163
钐	165
铈	167
铈	171
铈	175
铈	178
铈	181
铈	184
补遗	187

绪 言

本报告中给出的数据要与 ICRP 第 30 号出版物^[1] 第一部分的正文和剂量学模型一起使用。本绪言中引证的就是 ICRP 第 30 号出版物第一部分的有关章节。

为了推导钐的放射性同位素的年摄入量限值 (ALI), 作了如下的一些假设。在钐的代谢数据中, 该元素在转移隔室中的 0.4 份额向骨髓易位。假设骨髓中的这种钐在皮质骨、小梁骨和红骨髓之间按各自的质量成比例地分布。第 7 章中没有把红骨髓作为源器官, 为了计算钐的放射性同位素在红骨髓中的剂量, 和第二部分中处理钐的放射性同位素时一样, 作了如下假设。对于红骨髓中产生的光子, 吸收份额引自 Snyder 等的报告^[2]。对于红骨髓中产生的 β 粒子, 假设红骨髓中吸收份额 $AF(RM \leftarrow RM)$ 等于 1, 整个骨表面的剂量当量取为红骨髓剂量当量的 1/2。

下面谈到的有关每种元素的代谢数据, 放在该元素的放射性半衰期大于 10min 的放射性同位素的 ALI 和导出空气浓度 (DAC) 数值表之前。所介绍的代谢模型是该元素的稳定同位素化合物的代谢模型。

文献中给出的滞留数据, 其中必要的, 已经有关放射性核素的衰变参数修正。因为个人与个人之间胃肠道吸收的变化相当大, 所以稳定元素进入胃肠道之后到达体液的份额 f_1 值只给出了一位有效数字 (第 6 章第 6.2 节)。对于吸入的情况, 按该元素的各种化合物相应的吸入类别 (D、W 和 Y)

给出了 ALI 值和 DAC 值 (第 5 章)。

在代谢数据中,用符号 t 来表示时间时,除非另有说明,它的单位始终是以天来表示。

ALI 值(Bq)是按口入和吸入途径进入体内两种情况给出的。需要强调的是,吸入的限值是适宜的 ALI 值,只是为了方便,才给出了 40h 工作周的 DAC 值,使用此值时,应当注意其含义(第 3 章第 3.4 节)。吸入的 ALI 值和 DAC 值都是相对于活性中位空气动力学直径(AMAD)为 $1\mu\text{m}$ 的粒子的。至于对其他尺寸的粒子,这些数值的修正方法已在第 5 章第 5.5 节中介绍过,所需要的数据见本部分补篇。

如果 ALI 值是依据特定器官或组织的非随机性效应的剂量当量限值来确定的,则在该值下方的括号内给出了委员会为限制随机性效应所推荐的年摄入量最大值,并在这两种数值下面列出了适用于非随机性效应限值的器官或组织。当依据随机性效应的限值来确定 ALI 时,就只给出这个数值(第 4 章第 4.7 节)。

这里给出的所有 ALI 值和 DAC 值都是适用于职业性受照的成年人的,为任何其他目的使用这些值时必须慎重(第 9 章)。

参 考 文 献

- [1] ICRP Publication 30, Part 1, *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. Annals of the ICRP*, 2 (3/4), 1979.
- [2] Snyder, W. S. Ford, Mary R. and Warner, G. G. *Estimates of specific absorbed fractions for photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. MIRD Pamphlet No. 5 Revised, Society of Nuclear Medicine (1978).*

铍

1. 代 谢

参考人(ICRP, 1975)的数据,

人体的含铍量	36 μg
软组织的含铍量	27 μg
每天从食物和液体中的摄入量	12 μg

应该注意, 参考人组织的含铍量和每天从食物和液体中摄入该元素的量是根据极少量数据得到的, 故所给出的数值不可能是很可靠的。实际上, 下面评述的数据和有关较重的碱土元素的数值表明, 人体的铍可能大部分包含在骨骼中。

2. 代 谢 模 型

(a) 吸收入血

已从四种不同哺乳动物估算出了胃肠道对铍氯化物的平均吸收份额为 0.006(Furchner, Richmond 和 London, 1973)。在对大鼠的实验中, Bugryshev 等 (1974) 也估算出胃肠道对该元素氯化物的吸收份额在 0.0014—0.0021 之间在奶牛的实验中得出了类似的数值 (Mullen等, 1972)。大鼠胃肠道对硫酸铍的吸收份额一般也是 0.01, 或更小些 (Reeves, 1965)。本报告对该元素所有化合物的 f_1 值均取为 0.005。

(b) 吸入分类

ICRP 肺动力学专题小组 (1966) 把铍的氧化物、卤化物和硝酸盐指定为 W 类吸入, 把该元素所有其他一般化合物指定为 D 类吸入。但是, 各种不同实验研究结果 (Van Cleave 和 Kaylor, 1955; Reeves 和 Vorwald, 1967; Suzuki 等, 1972; Sanders, Cannon 和 Powers, 1978) 表明, 应该把铍的氧化物指定为 Y 类吸入, 把硫酸铍指定为 W 类吸入。Van Cleave 和 Kaylor (1955) 的早期研究也曾指出, 气管内滴注柠檬酸盐之后, 铍在肺中有一个长期滞留的成分。

本报告把铍的氧化物、卤化物和硝酸盐指定为 Y 类吸入, 把该元素所有其他一般化合物指定为 W 类吸入。

吸入分类	f_1
D	—
W	0.005
Y	0.005

(c) 分布及滞留

曾研究过静脉注射氯化铍之后, 在小鼠、大鼠、猴以及狗体内铍的分布和滞留 (Furchner, Richmond 和 London, 1973)。这些物种中的每一种动物, 全身滞留可用生物半排期在 0.2—1800d 之间的三个指数项来很好地描述。与较重的碱土元素的情况一样, 铍主要沉积和滞留在骨中 (Furchner, Richmond 和 London, 1973), 尽管静脉注射硫酸盐 (Van Cleave 和 Kaylor, 1953) 或氯化物 (Mullen 等, 1972) 之后的头几天里其他器官 (例如肝和脾) 中该元素的浓度很高。肝和脾中铍浓

度高的原因可以认为是铍与血红蛋白迅速形成胶质的缘故(Van Cleave 和 Kaylor, 1953)。对于经由肺或胃肠道进入全身循环的铍, 可以不把肝和脾作为沉积器官 (Van Cleave 和 Kaylor, 1955; Reeves, 1965; Mullen 等, 1972)。

本报告中, 假设离开转移隔室的铍中有 0.4 份额向无机骨易位, 有 0.2 份额均匀分布在人体所有其他器官和组织中。假设离开转移隔室的其余部分铍直接排泄掉了。假设向骨易位的铍以 1500d 的生物半排期滞留在那里。假设向其他任一器官或组织中易位的铍中有 0.8 和 0.2 份额分别以 15d 和 1500d 的生物半排期滞留在那里。

3. 估算骨剂量时对同位素的分类

本报告所考虑的铍放射性同位素只是 ^7Be 和 ^{10}Be 。这两种同位素的放射性半衰期均大于 15d。因此, 由其他碱土元素类推, 假设铍的这些同位素沉积在骨组织之后总是均匀地分布在整个无机骨体中。

参 考 文 献

- [1] Bugryshev, P. F., Moskalev, Yu I. and Nozarova, V. A. (1974). Effect of an isotope carrier (^9Be) on the distortion of the ^7Be in the organs and tissues of rats. *Gig. Sanit.* 6, 43-47.
- [2] Furchner, J. E., Richmond, C. R. and London, J. E. (1973). Comparative metabolism of radionuclides in mammals. VIII Retention of beryllium in the mouse, rat, monkey and dog. *Health Phys.* 24, 293-300.
- [3] ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966) Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.* 12, 173-207.

- [4] ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- [5] Mullen, A. L., Stanley, R. E., Lloyd, S. R. and Moghissi, A. A. (1972). Radioberyllium metabolism by the dairy cow. *Health Phys.* 22, 17-22.
- [6] Reeves, A. L. (1965). The absorption of beryllium from the gastrointestinal tract, *Arch. Environ. Health* 11, 209-214.
- [7] Reeves, A. L., and Vorwald, A. J. (1967). Beryllium carcinogenesis II. Pulmonary deposition and clearance of inhaled beryllium sulfate in the rat. *Cancer Res.* 27, 446-451.
- [8] Sanders, C. L., Cannon, W. C. and Powers, G. J. (1978). Lung carcinogenesis induced by inhaled high-fired oxides of beryllium and plutonium. *Health Phys.* 35, 193-199.
- [9] Suzuki, M., Watanabe, S., Ohno, S., Hongo, S. and Ohata, T. (1972). Characteristics of body retention and excretion of some radioactive materials following the inhalation of their submicron aerosols, NIRS-Pu-7, pp. 14-24.
- [10] Van Cleave, C. D. and Kaylor, C. T. (1953). Distribution and retention of carrier-free radioberyllium in the rat. *AMA Arch. Ind. Hyg. Occup. Med.* 7, 367-375.
- [11] Van Cleave, C. D. and Kaylor, C. T. (1955) Distribution, retention and elimination of ^7Be in the rat after intratracheal injection. *AMA Arch. Ind. Health* 11, 375-392.

铍同位素的年摄入量限值ALI(Bq)和导出空气浓度DAC(Bqm⁻³)
(40h wk)

放射性核素		口入	吸入	
			W类	Y类
			$f_1=5 \times 10^{-3}$	$f_1=5 \times 10^{-3}$
^7Be	ALI	2×10^9	8×10^8	7×10^8
	DAC	—	3×10^5	3×10^5
^{10}Be	ALI	4×10^7 (4×10^7) 下段大肠壁	6×10^6	5×10^5
	DAC	—	2×10^3	2×10^2

碳

1. 代 谢

参考人(ICRP, 1975)的数据:

人体的含碳量	16kg
脂肪组织的含碳量	9.6kg
骨骼肌的含碳量	3.0kg
骨的含碳量	0.7kg
每天从食物和液体中的摄入量	0.3kg

在包括黄骨髓在内的脂肪组织中的碳的浓度约为全身平均浓度的 3 倍, 人体的其他器官和组织都不会显著地浓集稳定碳。

2. 代 谢 模 型

本报告只给出了 ^{11}C 和 ^{14}C 标记的有机化合物的以及 ^{11}C 和 ^{14}C 标记的气体(如一氧化碳和二氧化碳)的年摄入量限值(ALI)。需要强调的是, 这些 ALI 值并不适合于碳的许多其他化合物, 所以使用这些 ALI 值时应当慎重, 作为对本报告使用者的一个指南, 本报告讨论了几种其他碳化合物的代谢。但是, 并不试图对繁多的文献作详尽的评论。

(a) 吸收收入血

对食物中碳的吸收份额通常超过 0.9。但是食物中某些含碳化合物，例如胆甾醇、脂溶性维生素、纤维素和多糖等不能完全被吸收(Beli, Davidson 和 Emslie-Smith, 1972; ICRP, 1975; Clark 和 Harries, 1975; Ho 等, 1979)。

对以非食物形式给予的碳的吸收份额可有很大的变化。当给予氰化钾 (Crawley 和 Goddard, 1977) 或异丁烯酸甲酯 (Bratt 和 Hathway, 1977) 时，几乎完全被吸收，而聚二乙基己烯雌酚、辛酸和水解了的聚丙烯腈接枝纤维素几乎完全不吸收(ICRP, 1975; Lai 等, 1978)。

本报告对碳放射性同位素标记的有机化合物的 f_1 值取为 1。

(b) 吸入分类

可能被吸入的碳化合物主要有三类，即有机化合物、气体（例如一氧化碳和二氧化碳）以及含有碳化合物（例如碳酸盐和碳化物）的气溶胶。

(i) 有机化合物

大多数有机化合物在正常情况下不是很容易挥发的，因此，以蒸气形式被吸入的可能性是很小的。在吸入了这种物质的情况下，应该慎重对待，就象吸入含氟有机化合物的情况一样，假设这种有机碳化合物一旦进入呼吸系统，在没有改变其化学状态的情况下就立即全部向全身循环系统易位。

(ii) 气体

对一氧化碳的吸入及其在人体组织中的滞留已作了广泛的研究。当个体暴露于含一氧化碳的环境中时，少量气体就会溶解在人体组织中。因为气体在组织水中的溶解度相对地比较低，所以，由于组织吸收气体产生的剂量，与由于一氧化碳

同血红蛋白结合或者与次要一些的其他含铁血红素化合物（例如细胞色素氧化酶）结合而滞留所产生的剂量相比较，都是很小的（Göthert 和 Malorny, 1969, Luomanmäki 和 Coburn, 1969）。

对羧基血红蛋白的形成和分解的研究结果（Peterson 和 Stewart, 1970）表明，血液中一氧化碳的生物半排期为150—200min。相反，使用 ^{11}CO 的脉动研究结果（Weinreich 等, 1975）表明，一氧化碳在血液中的滞留，其生物半排期从210 min 变化到 1000min 以上，平均值约为 600min。此外，Peterson 和 Stewart (1970)的数据可以与参考人(ICRP, 1975) 血液中血红蛋白含量的数据一起使用，估算出吸入的一氧化碳中约有 0.4 份额与血红蛋白结合。此份额与由气体脉动吸收研究所估算的份额符合得很好(Menkes 等, 1970)。

本报告中，假设当吸入放射性一氧化碳时，其中 0.4 份额立即与血红蛋白相结合，其余的 0.6 份额被呼出。假设与血红蛋白结合的一氧化碳均匀地分布在人体所有的器官和组织中，以 200min 的生物半排期滞留在那里。此生物半排期是根据 Peterson 和 Stewart (1970) 的测量结果得到的，因为在这些研究中各个人做着轻微的运动，而 Weinreich 等(1975) 所研究的那些人在整个研究过程中是静止不动的。值得注意的是，运动的程度可能会使一氧化碳在血液中的滞留有重大的改变。

虽然二氧化碳在水中的自由扩散系数比氧的自由扩散系数小得多，但是二氧化碳在水中的溶解系数是氧的溶解系数的 24 倍。因此，二氧化碳穿过气泡膜的转移比氧约快 30 倍（Bell, Davidson 和 Emslie-Smith, 1972）。据此，假设进入呼

吸系统的所有二氧化碳都向血液易位是恰当的。

血液中的二氧化碳主要以碳酸氢盐的形式存在。此外，因为总的负离子数不足以与存在于血浆中的钠离子结合，所以结合的 CO_2 必须以碳酸氢钠的形式存在(Bell, Davidson 和 Emslie-Smith, 1972)。因此，吸入的 CO_2 在体内的滞留可以根据静脉注射碳酸氢钠的滞留情况来确定。

对用 ^{14}C 标记的碳酸氢盐静脉注射的 13 名正常人的研究发现 (Winchell 等, 1970)，注射之后头 120 分碳酸氢盐的全身滞留可用下述关系式表达：

$$R(t) = 0.175e^{-0.693t/5} + 0.825e^{-0.693t/60}$$

式中 t 的单位是分钟。

但是，对动物的研究结果 (Buchanan 和 Nakao, 1955, Joftes, 1967) 表明，呼吸 CO_2 之后，在组织中可能存在生物半排期为 10d 或更长的少量长期滞留成分（碳）。这是预料到的，因为以 CO_2 形式吸入的小部分碳将参与生物合成，或者将与骨中碳酸盐进行交换。根据上述讨论过的研究结果 (Winchell 等, 1970)，可以估算出吸入的 CO_2 当中参与这种反应的仅仅约 0.01。

本报告中，假设以二氧化碳形式吸入的碳均匀地分布在人体所有的器官和组织中，其滞留由下述滞留函数决定。

$$R(t) = 0.18e^{-0.693t/5} + 0.81e^{-0.693t/60} + 0.01e^{-0.693t/60000}$$

式中 t 的单位是分钟。由参考人(ICRP, 1975) 来估算的食物中碳的生物半排期是 60000min, 该值是根据下述假设得到的，即吸入 CO_2 之后掺入组织中的这一小部分碳的特性与食入食物中碳之后进入全身循环的碳的特性相类似。

本报告不考虑除了一氧化碳和二氧化碳以外的其他含碳

气体吸入后的吸收及滞留。

(iii) 碳酸盐和碳化物

本报告不考虑与特殊元素结合成碳酸盐或碳化物形式的含碳气溶胶。但是，可以从相应元素的代谢数据或从肺动力学专题小组的报告(1966)中得到关于它们在肺中滞留的某些知识。

(c) 分布及滞留

本报告只考虑碳的两种同位素，即 ^{11}C 和 ^{14}C 。它们的放射性半衰期极不相同，所以方便的做法是对这两种同位素分别加以考虑。

^{11}C 的放射性半衰期为 20.38min。因此，该同位素从体内排泄掉的就很少。对静脉注射 ^{11}C 标记的碳酸氢钠后所作的滞留研究说明了这种情况。即使在此情况下，Winchell 等 (1970) 给出的滞留函数表明， ^{11}C 在衰变之前从体内排除的份额不超过 0.35。由于其放射性半衰期短，因此，可以合理地假设 ^{11}C 在其进入全身循环之后总是均匀地分布在体内所有的器官和组织中。但是，应该注意，对于某些 ^{11}C 标记的物质，例如蛋氨酸和某些对神经起显著作用的药剂，这种假设是不成立的 (Comar 等, 1976; Mestelan, Crouzel 和 Comar, 1977; Berger 等, 1978)。

本报告中，假设吸入的或食入的 ^{11}C 标记化合物立刻就均匀地分布在体内所有器官和组织中，并长期地滞留在那里。

^{14}C 的放射性半衰期为 5730y，因此从本报告所涉及的问题来看，可以不考虑它的放射性衰变。

从参考人(ICRP, 1975)的数据得出体内食物中碳的生物