

## 公众摄入放射性核素所受剂量的年龄 依赖关系——ICRP56号出版物第一部分综述

NRPB Radiological Protection Bulletin

切尔诺贝利事故使建立国际一致的方法以计算释入环境的放射性核素对公众成员所致剂量的问题显得更加必要。所以,国际放射防护委员会(ICRP)1987年5月在第二委员会中设立了一个工作组,以确定公众摄入重要放射性核素单位活度后受剂量的年龄依赖关系(即剂量换算系数)。最近发表的第一部分报告给出了氚水、有机结合氚(OBT)、 $^{14}\text{C}$ 、Sr、Zr、Nb、Ru、I、Cs、Ce、Pu、Am、Np等放射性核素摄入和吸入后的剂量换算系数。为了提供公众摄入后的代表值,给出了不同年龄(3个月、1、5、10、15岁儿童和20岁成年人)人员摄入后至70岁所受剂量。

### 摄 入

摄入放射性核素所致剂量的计算模型是用ICRP30号出版物发表的模型。各种年龄人员都用了成年人的参数,因为尚无不同年龄人员胃肠道(GI)四区段(胃、小肠、大肠上段、大肠下段)中食物停留时间的专门资料。人们认为,食物通过胃肠道的长短与年龄有关,儿童显著短于成年人。用成人参数计算儿童摄入长寿命放射性核素后GI各区段所受剂量,就会估计过高一些。ICRP30号出版物所列的各种元素从肠道的吸收率( $f_1$ )是专就放射性工作场所里可能遇到的元素化学形态而言的,未必符合公众食物和饮水中的放射性核素的情况,所以工作组考虑了对后者应采用的最适当的 $f_1$ 值。还有证据表明,放射性核素在新生儿肠道中的吸收率比成年人的大,而动物实验说明,吸收率的这种增高会随动物年龄的增长而逐

渐减少,到断奶时大都降至成年动物的水平。因此,成人的 $f_1$ 值只适用于1岁以上儿童。关于1岁以下婴儿的 $f_1$ 值的确定办法,在尚无人的或动物的数据之前,核能局专家组最近提出了下述建议:其 $f_1$ 值在成年人为0.01~0.5的元素,在1岁以下婴儿要提高1倍;但在成人 $f_1$ 值为0.001或更低的元素,在1岁以下婴儿要提高9倍。工作组采纳了上述建议;并且在计算3个月婴儿的剂量换算系数时用了较高的 $f_1$ 值。

### 吸 入

ICRP已设立一个呼吸道模型工作组,该组正在制定一个全面的年龄依赖的肺剂量模型。由于该模型尚未制定出来,本报告计算剂量换算系数时仍沿用了ICRP30号出版物的肺模型,未考虑吸入物质在呼吸道中沉积与廓清规律的年龄差别;仅考虑了不同年龄人员肺质量的差别,和放射性核素由呼吸道向肠道廓清或向体液转移的年龄依赖的生物动力学参数。当1990年底新肺模型发表之后,年龄依赖的剂量换算参数将重新计算。

### 放射性核素从人体各组织的廓清

放射性核素进入体液之后,在各组织中的沉积和滞留情况因元素而异,并可能与人员的年龄有关。因此,工作组查阅了本报告中各元素的现有生物代谢资料。就许多放射性核素(例如:氚、I、Sr、Cs、Pu)而言,已有足够的数据可供提出关于它们在各年龄人员体内生物动力学参数的建议;不过,资料数量的多少不等。而Zr和Ru的年龄相关代谢资料尚不足,本报告只能将它们

在成年人体内的生物动力学参数用于各年龄人员。

亲骨性放射性核素对红骨髓和骨表面细胞所致剂量的计算问题需要特别提及。ICRP30号出版物中的容积型和表面型亲骨性放射性核素的标准模型不适于计算不同年龄的剂量换算系数。认为Pu、Am、Np等锕系元素在成年人体内属亲骨表面型放射性核素并终生滞留于骨表面,是一种保守的看法。实际上,动物实验和人体资料均表明,Pu和其它锕系核素随着骨骼的生长和代谢,有一部分会被骨质包埋,而另一部分会被再吸收,其中有些会沉积到骨髓中。这些过程对婴幼儿更为重要,因为他们的骨质代谢比成年人快。鉴于锕系核素在骨中的代谢有这些特点,本报告采用了国立橡树林实验所Leggett提出的年龄依赖的骨模型。容积分布型亲骨元素Sr在骨中的沉积与滞留,也受骨质代谢影响,所以Leggett根据生理学数据和核武器落下灰 $^{90}\text{Sr}$ 在各种年龄人骨中的浓度测量资料提出的骨模型,被用来计算其年龄依赖的剂量换算系数。亲骨性放射性核素的剂量计算,还是一个尚待解决的复杂问

题。一旦有了更多资料,便应制定适用于各种放射性核素的骨模型。

### 剂量换算系数

下表列出了3个月的婴儿、1岁、10岁的儿童和成年人摄入氘水、有机结合氘、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$ 和 $^{239}\text{Pu}$ 后的剂量换算系数。总的说来,幼年组的剂量换算系数高于成年人的,因为前者的体重较小,尽管各年龄组之间的差异不一。例如,3个月婴儿 $^{239}\text{Pu}$ 的剂量换算系数与成年人的有14倍之差,这主要反映这两个年龄组 $f_1$ 值的差别(两者分别为 $10^{-2}$ 和 $10^{-3}$ )。 $^{137}\text{Cs}$ (其各年龄人员的 $f_1$ 均为1.0)从人体内排出的速率童年组较成年人快,因而它在不同年龄人员中的剂量换算系数差别不大。 $^{131}\text{I}$ ( $f_1=1.0$ )在儿童体内的半滞留期短于在成年人体内的,但是人体甲状腺对碘的摄取率(0.3)似与年龄无关。然而, $^{131}\text{I}$ 在甲状腺中的有效半减期主要取决于其物理半衰期(8天)。因此,不同年龄人员 $^{131}\text{I}$ 剂量换算系数的8倍之差,主要反映各年龄组甲状腺质量的差别。

表 摄入核素的剂量换算系数(至70岁的有效剂量当量, Sv·Bq $^{-1}$ )

	$f_1$	3个月	1岁	10岁	成年人 <sup>d</sup>	$\frac{3\text{个月}}{\text{成年人}}$
$^3\text{H}_2\text{O}$	1.0	$5.5 \times 10^{-11}$	$4.1 \times 10^{-11}$	$1.9 \times 10^{-11}$	$1.6 \times 10^{-11}$	3.4
OBT <sup>a</sup>	1.0	$1.0 \times 10^{-10}$	$1.1 \times 10^{-10}$	$5.4 \times 10^{-11}$	$4.0 \times 10^{-11}$	2.5
$^{90}\text{Sr}$	0.3 <sup>b</sup>	$1.3 \times 10^{-7}$	$9.1 \times 10^{-8}$	$4.3 \times 10^{-8}$	$3.5 \times 10^{-8}$	3.7
$^{131}\text{I}$	1.0	$1.1 \times 10^{-7}$	$1.1 \times 10^{-7}$	$3.2 \times 10^{-8}$	$1.3 \times 10^{-8}$	8.5
$^{137}\text{Cs}$	1.0	$2.0 \times 10^{-8}$	$1.1 \times 10^{-8}$	$9.8 \times 10^{-9}$	$1.3 \times 10^{-8}$	1.5
$^{239}\text{Pu}$	0.001 <sup>c</sup>	$1.4 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-6}$	$9.7 \times 10^{-7}$	14.4

a.有机结合氘; b.3个月婴儿为0.6; c.3个月婴儿为0.01; d.20岁

工作组所面临的一个特殊问题是如何提出人们摄入掺在食品中的氘后所受的剂量。这类OBT存在于许多不同的化合物中,包括蛋白质、碳水化合物、脂肪和核酸。在不同化合物和不同食品中OBT的掺入程度不

一,迄今未能提出一个人体内OBT的全面的模型。因此,本报告假定,组织内OBT总氘的50%是掺入碳氢键的,并按碳的代谢规律代谢;其余部分以氘水形式代谢。因

(下转第130页)

%, 对异位心室兴奋灶的定位诊断符合率为100%。

### 参 考 文 献

1. 王士雯、段文毅: 老年心脏病学 人民卫生出版社, 1987
2. Martin A, Camm AJ: Heart Disease in the Elderly, John Wiley & Sons, 1984 P.123
3. Zhang Z, et al: Nucl Med Commun 1990, 11:539
4. Freeman LM, Freeman and Johnson's Clinical Radionuclide Imaging, Grune & Stratton, 1984, P.363
5. Mekusick K, J Nucl Med 1986, 27:878
6. Johnson LL, et al: J Am Coll Cardiol 1989, 13:27
7. Iskandrian AS, Segal BI: Am J Cardiol 1981, 48:233
8. Iskandrian AS, et al: Am Heart J 1988, 115:432
9. Port S, et al: N Engl J Med 1980, 303: 1133
10. Detry JMR, et al: Eur Heart J 1984, 5 (Suppl E):75
11. Shah PK, et al: Am J Cardiol 1980, 45:542
12. Schulze RA Jr, et al: Am J Med 1977, 62:192

---

(上接第109页)

此, OBT所致剂量为氡水所致剂量的两倍以上。

### 今后的工作

工作组正在查阅其它元素(S、Co、Ni、Zn、Mo、Tc、Ag、Te、Pb、Po、Ra、Ba)的生物动力学资料, 以便在未来18个月内写出第二部分报告。所推荐的核素生物动力学模型和剂量计算模型要能代表公众中不同年龄组人员。人群观察和动物实验均表明, 核素的生物动力学数据在不同个体之间有很大差别。一些放射性核素( $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$ 和 $^{239}\text{Pu}$ )的生物动力学资料正在汇编, 以便提供有关公众中不同人员摄入单位活度核素后所受剂量的变化程度的资料。工作组

今后的工作还包括计算母亲摄入放射性核素后, 胚胎和胎儿所受剂量。ICRP尚未提出适用于计算母亲摄入放射性核素后胚胎和胎儿受照剂量的计算模型。因此, 工作组正在查阅放射性核素通过胎盘的转移率和在胚胎及胎儿体内的分布资料, 以便制定适当的剂量计算模型。

本报告提供了一份关于一系列重要放射性核素在不同年龄人员体内的生物动力学和剂量换算系数的全面资料。从这些资料可以明显地看出, 不同放射性核素的年龄依赖参数的差别程度是各种各样的。工作组希望这份报告对未来的工作能有所促进。

[1990, (114): 4~7 (英文) 阎效珊译  
姚家样校]