

## 关于钍膳食摄入的评述

Johnson JR and Lamothe ES

环境评价等研究都需应用剂量换算因子将放射性物质的摄入量换算为剂量率或待积剂量。ICRP30号出版物推荐了职业性照射的有关资料,这些资料被评述并推广到包括非职业性照射以求得环境评价用的剂量换算因子。

将ICRP30号出版物与23号出版物的资料进行比较发现,前者从消化道的吸收分数( $f_1$ )比由后者给出的摄入量和尿排出资料估算出的 $f_1$ 小。Johnson等曾推导出另一个较大的 $f_1$ 因子,本文对于膳食摄入计算推荐用后一个 $f_1$ 因子。

ICRP30号出版物对钍的 $f_1$ 因子定为0.0002。若假设所有天然钍都来自食入,则通常尿钍排出会比粪便排出小5 000倍。但23号出版物认为,每日膳食摄入量 $3.0\mu\text{g}$ ,每日粪便排出量 $2.9\mu\text{g}$ ,每日尿排出量 $0.1\mu\text{g}$ 。尽管这些数值在测量中存在相当大的变动范围,如测出的尿排出速率为 $0.1\sim 2\mu\text{gd}^{-1}$ ,如引用的数值正确,则 $f_1$ 应为约0.03而不是0.0002。由于食入钍的剂量换算因子正比于 $f_1$ 因子,按30号出版物的钍剂量换算因子比按23号出版物的小150倍。如果在环境评价中采用较大的剂量换算因子,则铀和钍系长寿命钍同位素( $^{230}\text{Th}$ 和 $^{232}\text{Th}$ )会成为辐射剂量的

主要贡献者。这些新的剂量换算因子也许偏高,用0.03这样高的 $f_1$ 因子来预估正常本底辐照下人的Th体负荷值将会高于尸检组织分析实际测得的水平。因此,本文旨在评估有关膳食中钍的吸收、滞留和排泄的现有资料,以求对 $f_1$ 因子及食入的剂量换算因子更佳估算值。因为在正常本底辐照时吸入可能会成为钍的主要摄入途径,故本文也包括吸入钍的滞留及其对所测得的滞留和粪便排出的贡献。

### 一、现有资料评述和分析

尽管钍在环境中广泛分布,但关于膳食或组织中钍含量报道甚少。用于计算 $f_1$ 因子的资料应保持一致,即所用器官负荷量应实际来自用于计算的摄入量,而不应摄入量基于某人群,器官负荷又基于Th摄入量不同的另一人群的测出值。因此,只有来自UNSC-ECAR1977、1982年报告书和美国纽约-华盛顿地区的资料是适用的,见表1。

只要有估算吸入钍滞留和廓清入血、进入血的钍被骨吸收和滞留的适用模式,就可利用表1资料估算 $f_1$ 因子。30号出版物采用了ICRP模式,其主要内容如下。

1. 肺滞留:ICRP认为钍的氧化物为Y类化合物(滞留于肺多年)。土壤再悬浮

表1 用于计算钍 $f_1$ 因子的资料

	UNSCEAR1977		UNSCEAR1982		纽约-华盛顿特区
	$^{230}\text{Th}$	$^{232}\text{Th}$	$^{230}\text{Th}$	$^{232}\text{Th}$	$^{232}\text{Th}$
摄入量( $\text{mBqd}^{-1}$ ): 吸入	0.03	0.03	0.03	0.03	—
食入	4	4	—	—	2.5
器官负荷( $\text{mBq}$ ): 肺	20	20	20	20	13
骨	140	140	170	54	78

的钍应是氧化物形式并从肺缓慢地廓清入消化道,这与表1综述的资料一致。摄入速率 $0.03\text{mBq d}^{-1}$ , 20~40年会导致约6~10 mBq的肺负荷。因此, UNSCEAR公布的20 mBq和华盛顿特区居民测得的13 mBq的肺负荷表明了吸入钍在肺内很难溶。在与肺有关的淋巴结中,钍浓度高也表明其中钍是难溶化合物。

2. 从肺廓清入血: 不溶化合物主要从肺廓清入消化道, 仅小部分入血。按现行ICRP肺模型估计, 吸入的不溶物质约有5%会转移入血, 转移分数实际取决于粒子大小。天然存在的钍气溶胶的实际溶解度不清楚, 按Y类滞留廓清入血分数选用5%。

3. 骨吸收和滞留: 来自吸入钍的溶解或食入钍的入血部分主要被骨吸收。ICRP认为入血钍的0.7在骨中半滞留期为8000天, 这与正常人群中骨钍浓度随年龄而增大是一致的。可用ICRP对肺滞留和廓清的Y类模型以及上述骨滞留来估算吸入钍所致骨负荷的分数。骨负荷的其余部分只能来自食入钍, 所以只要已知食入速率, 就可用这其余部分骨负荷来估算 $f_1$ 因子。用GENMOD的计算可预估在长期辐照后吸入钍所致骨负荷会近似等于肺负荷。因此, 表1给出的钍骨负荷大部分是来自食入而不是吸入。钍食入速率和食入所致骨负荷的关系直接与 $f_1$ 因子有关, 即25年辐照后, 骨负荷 $\cong 4000f_1 \times I(\text{mBq})$ 。式中,  $I$ 是食入速率( $\text{mBq d}^{-1}$ )。若已知食入所致骨负荷, 即可用上式估算 $f_1$ 。由于认为吸入所致骨负荷等于肺负荷, 则食入骨负荷可通过总骨负荷减去肺负荷来估算。所得 $f_1$ 值见表2。表2中 $f_1$ 的平均值近似于Wrenn对“可溶”钍所给出的值。

## 二、讨论和结论

以上计算出的 $f_1$ 值有相当大的不确定性, 它有三个主要来源。

1. 吸入钍所致肺负荷与骨负荷之比  
若前述肺负荷近似等于骨负荷, 则其比

表2 对钍 $f_1$ 因子的计算结果

	食入所致 骨负荷 (mBq)	食入速率 (mBq d <sup>-1</sup> )	$f_1$ 因子
UNSCEAR1977, $^{230}\text{Th}$	120	4	0.0075
$^{232}\text{Th}$	120	4	0.0075
UNSCEAR1982, $^{230}\text{Th}$	150	4	0.0094
$^{232}\text{Th}$	34	4	0.0021
纽约/华盛顿特区, $^{232}\text{Th}$	65	2.5	0.0063

值(1)太大, 会导致 $f_1$ 的低估。在这种情况下, 当吸入Th估算的骨负荷小于总骨负荷的20%时,  $f_1$ 的低估并不大。若该比值太小, 则可能高估 $f_1$ , 但只有当该比值低估3倍以上时才会导致 $f_1$ 高估2倍。根据动物实验, 这比值高估3倍是可能的, 更大就值得怀疑了。人的资料表明该比值一般不会低估, Singh等的观察表明, 在科罗拉多(认为当地气溶胶Th水平比别处高)人群肺与骨中钍浓度之比高于华盛顿特区。

## 2. 骨从血液中吸收钍的分数及其滞留

正如食入速率和骨负荷的关系式所明确表示的那样, 骨的吸收和滞留对 $f_1$ 因子有直接影响。计算 $f_1$ 的吸收分数偏高会导致 $f_1$ 因子的低估, 反之亦然。在GENMOD计算中所用的吸收分数为0.7。因骨吸收分数不可能超过1, 对 $f_1$ 的高估至多为0.3/0.7倍。该吸收分数可能高估, 但按动物实验资料看不至于大到两倍。骨中半滞留期的高估也会导致 $f_1$ 因子高估, 反之亦然。Lucas等对各年龄组测出的骨负荷随年龄的增大而增高的事实表明, 半滞留期8000天是合理的, 只可能低估。然而, 任何低估也不至于对 $f_1$ 因子有重大影响。

## 3. 每日膳食摄入量

如果高估了膳食摄入量, 就会低估 $f_1$ 因子, 反之亦然。新近Linsalata等的资料验证了原先对膳食摄入量的估算值, 当应用于具有尸体检验资料的华盛顿特区人群组时,

(下转第179页)

10. Kirk GA, et al, Clin Nucl Med 1984, 9 : 409
11. Ganatra RD, et al, J Nucl Med 1972, 13 : 777
12. Maslack MM, J Nucl Med 1987, 28 : 133
13. Nodine JH, et al, Obstet Gynecol 1961, 17 : 460
14. Brachman MB, et al, Clin Nucl Med 1988, 13 : 416
15. Fchenique R, et al, J Nucl Med 1982, 23 : 235
16. Hoschl R, et al, J Nucl Med 1988, 29 : 701
17. Ramannal, et al, Cancer 1985, 55 : 1525
18. Angelita Ramos-Gabatin, et al, J Nucl Med 1985, 26 : 258
19. Sloan LW, et al, in Werner SC, Ingbar SH (eds), The Thyroid New York, Harper & Row 1971, p317.
20. Salvatore M, et al, J Nucl Med 1975, 16, 1135
21. Wu SY, et al, J Nucl Med 1984, 25 : 1204
22. Burt RW, et al, Clin Nucl Med 1978, 3 : 155
23. Fernandez-Ulloa M, et al, JAMA 1976, 236 : 857
24. Acosta J, et al, Clin Nucl Med 1982, 7 : 368
25. Preisman RA, et al, Am J Roentgenol 1977, 129 : 349
26. Yeh EL, et al, J Nucl Med 1973, 14 : 118
27. March DE, et al, J Nucl Med 1988, 29 : 263
28. Lakshman M, et al, Endocrinology 1987, 120 : T-89
29. Muherji S, et al, Clin Nucl Med 1988, 13 : 207
30. Ziessman HA, et al, J Nucl Med 1987, 28 : 1408
31. Jackson GL, et al, Pennsylvania Med 1979, 11 : 37
32. Wu SY, et al, Semin Nucl Med 1986, 16 : 82.

(上接第167页)

相信 $f_1$ 相差不到两倍,即食入速率为 $2.5\text{mBq}\cdot\text{d}^{-1}$ 的纽约膳食不应与华盛顿特区人群膳食有很大差异。

表2中 $f_1$ 值的总不确定性不会大于6〔即肺与骨负荷之比(2)、骨吸收因子(1.5)和食入速率(2)三者之积〕。看来这三个不确定因素实际上不至于象最大误差那样的相乘。这样导出的结论是:膳食中钍的 $f_1$ 因子范围为 $0.001\sim 0.01$ 。在Chalk River核实验室的环境评估中选用了0.005来计算剂量换算因子。这个 $f_1$ 值与Fisenne等新近对纽约市大气、水和食品中 $^{232}\text{Th}$ 浓度的报道也是一致的。他们所报道的吸入和食

入的平均日摄入量分别为 $8\mu\text{Bq}$ 和 $4\text{mBq}$ 。 $8\mu\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ 的吸入会造成骨吸收 $0.28\mu\text{Bq}\cdot\text{d}^{-1}$ 或40年内骨总吸收量小于 $4\text{mBq}$ 。与纽约和华盛顿特区居民 $^{232}\text{Th}$ 骨骼负荷量相类似(见表1),膳食对 $^{232}\text{Th}$ 骨骼负荷的贡献约为 $70\text{mBq}$ 。考虑到膳食摄入量为 $4\text{mBq}\cdot\text{d}^{-1}$ ,就可得 $f_1$ 因子为0.0044。所用的0.005也是在Wrenn等对膳食铀资料支持的0.01和ICRP对铀食物链的人群辐照所推荐的0.001的范围以内。

[Health Phys 1989, 56(2):165~168(英文)  
 潘洪达节译 石玉成校]