

911-928

21 Ling CC et al. Radiat Res. 1989;120:267-279

19 Mckenna WG et al. Radiat Res. 1991;125:283-287

22 Chang EH et al. Science, 1987;237:1036-1039

20 Iliakis G et al. Cancer Res. 1990;50:6575-6579

消费品中放射性所致公众剂量

卫生部工业卫生实验所 刘英综述 朱昌寿审校

摘要:估算了公众来自消费品的辐射剂量当量,其中公众剂量当量贡献较大的是烟草制品,而电视机、光学玻璃、假牙、辐射发光钟表等的剂量当量贡献较小。

随着核技术的发展,以及人民生活水平的不断提高,在日常生活中接触带有电离辐射的用品越来越多。根据接触消费品人数和所受剂量当量的不同,可把消费品分为三类:

第一类:接触人数多且个人剂量当量大,如烟草制品、玻璃和陶瓷制品。

第二类:接触人数多但剂量当量相对小,如电视机、辐射发光钟表、飞机行李检查系统。

第三类:接触人数少且集体剂量当量小,如钨焊棒、校正源。

本文仅就放射性水平较高、与人们生活密切相关的几种消费品进行讨论。

1 烟草制品

烟草及烟草制品中的放射性主要来自 ^{210}Po 和 ^{210}Pb 。 ^{210}Pb 辐射的 β 射线能量很弱, ^{210}Po 能放射出高强度的 α 粒子,且其挥发温度是 500°C ,故在香烟燃烧温度达 $600\sim 800^\circ\text{C}$ 时, ^{210}Po 几乎完全挥发,并随烟雾一起进入呼吸系统^[7]。纤维过滤嘴对香烟烟雾中 ^{210}Po 可能有滤过作用^[2],Radford等在研究中发现,带过滤嘴香烟中吸入烟雾的 ^{210}Po 含量占总量的 $18\%\sim 22\%$,而未带过滤嘴香烟占 $23\%\sim 25\%$,过滤嘴滞留了大约 5% 的 ^{210}Po 。Black等则发现过滤嘴对吸入烟雾的滤过作用达 $33\%\sim 58\%$ 。我国北京市卫生防疫站模拟标准吸烟条件,测出香烟中放

射性物质转移到吸入烟雾部分、烟灰+过滤嘴+烟蒂部分、以及空气中烟雾部分的转移系数分别为 7.4% 、 48% 和 44.6% 。如果取每支香烟中 ^{210}Pb 含量为 46mBq , ^{210}Po 含量为 47mBq ,吸入烟雾占 7.4% ,每天吸烟11支,则吸烟者每天由吸烟摄入的 ^{210}Pb 为 37mBq , ^{210}Po 为 38mBq 。

^{210}Po 在部分支气管内有浓集的“热核”,即使吸入的 ^{210}Po 挥发物已广泛扩散并迅速从肺部清除,浓聚的 ^{210}Po 不溶性化合物可引起较高的局部剂量^[3,4]。Radford等估算了烟雾中 ^{210}Po 对上皮组织的剂量当量,每天吸2包烟的人,在25年中所受累积剂量当量至少是 360mSv ,个别部位可达 1650mSv 。Little等测定支气管分支处 ^{210}Po 浓度最高,累积剂量达 $2000\text{mSv}\cdot(25\text{a})^{-1}$ 。NCRP(美国国家辐射防护与测量委员会)估算年剂量当量为 $160\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。不考虑“热核”,一般实验室结果都趋向于仅使机体内 ^{210}Po 水平或肺部 Pb 水平增加数倍^[5]。

美国1985年约有 33% 的男性和 28% 的女性吸烟,平均每天吸烟量约为30支^[6]。假设局部沉积,则成年吸烟者局部支气管区域的最大剂量当量率为 $8\sim 10\text{mGy}\cdot\text{a}^{-1}$,年剂量当量约为 $160\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$,年有效剂量当量约为 $13\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[5]。我国十五岁及十五岁以上人口吸烟率男性为 61% ,女性为 7.0% 。除了学生吸烟量较小外,其它职业以中等量(8

~22支/日)占多数,每天吸烟量超过22支以上者仅占少数。若取每人每日吸烟11支,平均吸烟率34%,则烟草中 ^{210}Po 所致我国人均年有效剂量当量为 $31\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$,集体有效剂量当量为 $11\ 000\text{man}\cdot\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$; ^{210}Pb 所致人均有效剂量当量为 $27\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$,集体有效剂量当量为 $9\ 200\text{man}\cdot\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

2 电视机及视频显示终端

1955年,国际放射防护委员会(ICRP)建议在家用电视机的任何可接近表面上所发生的X射线不应超过 $5.16\times 10^{-7}\text{C}\cdot(\text{Kg}\cdot\text{h})^{-1}$ ($2\text{mR}\cdot\text{h}^{-1}$)。1960年,ICRP和NCRP都建议把上述标准降低,提出在正常使用条件下距离电视机表面5cm的任何易接近部位,每 10cm^2 上的平均X射线不得超过 $1.3\times 10^{-7}\text{C}(\text{kg}\cdot\text{h})^{-1}$ ($0.5\text{mR}\cdot\text{h}^{-1}$)⁽⁵⁾。这一标准限值的修改主要是根据Braestrup等的研究提出的。Braestrup等估计,按照在5cm处 $1.3\times 10^{-7}\text{C}(\text{kg}\cdot\text{h})^{-1}$ ($0.5\text{mR}\cdot\text{h}^{-1}$)的容许水平,在正常观看条件下,平均性腺吸收剂量率可达 $43\sim 172\mu\text{Gy}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

1967~1968年,在美国首都华盛顿对家庭使用的1 124台彩色电视机作了调查,发现76%的电视机测不出X射线,6%的电视机照射量率超过ICRP的推荐值⁽⁵⁾。以后,Becker在纽约, Das Gupta等在加拿大,以及波多黎各共和国卫生部(CPROH)所作的调查均得到类似结果。Neill等根据1967~1968年在华盛顿的调查资料估计,对于在5cm处照射量率为 $1.1\times 10^{-8}\text{C}(\text{kg}\cdot\text{h})^{-1}$ ($0.043\text{mR}\cdot\text{h}^{-1}$)的电视观众,男性平均性腺吸收剂量率为 $7\sim 15\mu\text{Gy}\cdot\text{a}^{-1}$,女性平均为 $2\sim 4\mu\text{Gy}\cdot\text{a}^{-1}$ 。美国电子工业协会(EIA)更详细地分析了该资料,得出使用电视机居民受到的有遗传学意义的平均年剂量当量为 $5\mu\text{Sv}$ 。

自1968年起,生产的电视机产生的X射线大大减少。美国放射卫生计划中心

(CDRH)连续实验表明,电视机产生的X射线照射量率低于标准仪器的最小探测限,估计美国居民平均年性腺剂量当量为 $5\mu\text{Sv}$ 。人群所受X射线照射主要来自1970年以前生产的电视机。即使全部美国居民都受到电视机产生的X射线照射,估计目前的平均剂量当量率远低于 $10\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$,年集体剂量当量远低于 $2\ 300\text{man}\cdot\text{Sv}$ ⁽⁵⁾。我国吴毅测量了几种国内外生产的彩色、黑白电视机表面的辐射水平,电视机荧光屏前的射线主要是 ^{40}K 及微量稀土元素产生的 β 射线, γ 和X射线远低于 $5.2\times 10^{-9}\text{C}(\text{kg}\cdot\text{h})^{-1}$ ($0.02\text{mR}\cdot\text{h}^{-1}$)⁽⁷⁾。Nambi等在印度调查了印度生产和从国外进口的彩色电视机产生的X射线照射量率,范围为 $2.1\times 10^{-9}\sim 7.0\times 10^{-9}\text{C}(\text{kg}\cdot\text{h})^{-1}$ ($0.008\sim 0.027\text{mR}\cdot\text{h}^{-1}$),均低于ICRP建议的标准限值⁽⁸⁾。

电子计算机、游戏机和学习机视频显示终端(VDT)的技术性能与电视机相同。美国放射保健局(BRH)1981年分析测定了VDT射线发射性能,结果表明,VDT释放的X射线发射性能与电视机一样,用标准监测仪器对正常和不良运行模式条件下的VDT表面5cm处进行测量,其剂量率绝大多数低于仪器探测限⁽⁹⁾。美国国立职业安全卫生研究所(NIOSH)1981年对美国、加拿大和西欧分组作了VDT操作人员健康危险性调查与评价,发现VDT释放的射线与健康危害无任何联系⁽¹⁰⁾。1983年美国国家研究委员会(NRC)作出结论,由VDT产生的射线水平不可能引起健康危害⁽¹¹⁾。在美国约有5 000万VDT操作人员,估计其平均年剂量当量远低于 $10\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$,年集体剂量当量远低于 $500\text{man}\cdot\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$ ⁽⁵⁾。

3 眼镜

由于玻璃制造工艺的需要,有时在眼镜玻璃里加入铀、钍及其化合物着色。钍作为一种杂质,有时也存在于一些用于生产眼镜玻

璃的稀土氧化物中。这些加钍盐着色的眼镜镜片因而成为辐射源。一些眼镜镜片中钍浓度达到 0.14% (按重量计算), 不同批眼镜中天然钍和铀含量差异很大。1975 年, 美国眼镜制造商协会 (OMA) 制定了一个非官方的放射标准, 对眼镜的放射性建立了一个统一的最高限值。该标准规定在制造的眼镜中, ^{228}Ac , ^{212}Pb , ^{214}Pb 的浓度不应超过 $0.5\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ 。这一限值将对角膜层产生约 5mSv 的最高年剂量当量。对眼镜玻璃, 规定了稀土元素及其氧化物的最大容许限值为 0.25% (按重量计算)^[5]。

关于眼镜玻璃中的放射性物质对人体的影响, Pecora 等测试了几家工厂生产的粉红色镜片, 估算角膜上皮接受的 α 辐射剂量当量率为 $0.1 \sim 0.3\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}$, 在 0.2cm 深度 β 剂量当量率为 $0.7 \sim 2\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$, 对整个眼镜的 γ 剂量当量率为 $0.06 \sim 0.3\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 。Tobias 等的剂量估算表明, 含 0.05% (按重量计算) 与其子体平衡的 ^{232}Th 眼镜, 每天戴 16 小时, 对角膜胚细胞层 ($50\mu\text{m}$ 厚) 关键组织产生的 α 粒子剂量为 $2\text{mGy} \cdot \text{a}^{-1}$, α 剂量当量率为 $40\text{mSv} \cdot \text{a}^{-1}$, $60\mu\text{m}$ 深处组织接受的剂量当量率为 $10\text{mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ 。若取 $50\mu\text{m}$ 处角膜剂量当量 $40\text{mSv} \cdot \text{a}^{-1}$, 组织权重因子 $\leq 10^{-4}$, 则戴眼镜人的有效剂量当量为 $\leq 4\mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[5]。

美国目前约有 9 600 万人佩戴眼镜, 其中约有半数人佩戴的眼镜玻璃里含有放射性物质^[12], 估计其集体有效剂量当量约为 $\leq 200\text{man} \cdot \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ 。我国北京市卫生防疫站分析测定了 3 000 片各种眼镜毛坯片中的放射性核素, 除极个别六十年代的老式镜片外, 未发现可探测的铀、钍成分, 每片普通的眼镜片仅含 $25 \sim 40\text{Bq}^{40}\text{K}$ 。用热释光剂量计 LiF ($\text{Mg}, \text{Cu}, \text{P}$) 模拟实验, 给出眼晶体的 β 吸收剂量为 $12\mu\text{Gy} \cdot \text{a}^{-1}$ 。取眼晶体的 W_T 为 0.025, 则眼镜致戴镜人员的有效剂量当量为 $0.6\mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ 。按居民中平均戴镜率 10% 估

算, 眼镜致公众集体有效剂量当量为 $60\text{man} \cdot \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

4 假 牙

早期在制作假牙和镶补牙齿用的瓷料中添加铀盐, 以使假牙具有天然的颜色和荧光。制作假牙所需的铀浓度很低, 美国核管理委员会规定, 无论是国产的还是进口的, 假牙和制作假牙的粉料中含有的铀不得超过 0.05% (按重量计算)^[5]。假牙制品也含有天然放射性钾, 但对这些制品中的钾含量没有实行控制。

O' Riordan 等在英国分析测定了 20 个瓷牙粉料样品, 其中 17 个平均含铀 0.041%, 2 个含铀约为 0.1%, 估计含铀 0.1% 的假牙中, α 粒子可对口腔粘膜产生年剂量当量约为 6Sv , β 粒子产生剂量为 0.028Sv 。该结果与希腊 Papastefanow 等报告的结果相一致, 含铀 500ppm 的假牙产生表面剂量当量约为 $4\mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[13]。估计美国假牙制品平均含铀 0.02%, 观察到铀的最高浓度为 0.044%, 铀 α 射线对口腔粘膜所致年剂量当量为 $1.3\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$, 但由于 α 粒子在组织内的最大射程为 $30\mu\text{m}$, 多数能量在细胞层表面损失, 口腔唾液、牙膜、牙垢、食物等进一步减弱 α 粒子的射程, 使其不产生明显危害。

β 粒子在组织内可穿透组织 $200\mu\text{m}$, 假牙制品中的铀和 ^{40}K 产生的 β 射线最高可对基底粘膜造成的年剂量当量为 $9\text{mSv} \cdot \text{a}^{-1}$, 铀 β 辐射产生的年平均剂量当量为 $5\text{mSv} \cdot \text{a}^{-1}$, 而 ^{40}K 的 β 辐射年剂量一般为 $1.4 \sim 1.9\text{mSv} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[5]。

美国 1971 年有 1 900 万人带全口假牙, 6 000 万人镶牙, 约有 9 000 万人缺牙一颗以上, 目前尚无最新估算。但制牙业已宣布不再生产含铀假牙制品, 新假牙中 40% 为瓷牙。假设有 4 500 万人带含铀 0.02% 的假牙, 只考虑 β 剂量, 基底粘膜接受的剂量当量为 7mSv , 所致平均年剂量当量为 1.3mSv

⁻¹. 假设牙齿基底粘膜受照剂量因子为皮肤的1%, 人体皮肤权重因子为0.01, 基底粘膜受照权重因为 10^{-4} , 则年集体有效剂量当量为 $31.5 \text{ man} \cdot \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$.

5 放射性发光钟表

早期用²²⁶Ra生产发光钟表, 由于其对戴表者产生全身照射, 后来用³H和¹⁴⁷Pm代替²²⁶Ra, 他们发出软β射线, 对戴表人的照射剂量要小得多。美国核管理委员会对钟表中的¹⁴⁷Pm和³H的限量作出规定, 对于¹⁴⁷Pm, 每只表的限量为3.7MBq, 其它计时器为7.4MBq; 对于³H, 每只表的限量为925MBq。另外还规定了¹⁴⁷Pm的容许剂量率限值。特别规定了¹⁴⁷Pm放射性指针和表面在空气中产生的吸收剂量率(经 $50 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的吸收体以后)不得超过下列数值: (1)手表: 在10cm处 $1 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$; (2)怀表: 在1cm处 $1 \mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ^[6]。表壳的最小厚度通常是 $50 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 因此能保证³H和¹⁴⁷Pm释放的低能β粒子被阻留在吸收体内。对于氡来说, 是由吸入或通过皮肤吸收含氡气体引起照射的, 而¹⁴⁷Pm的照射是由韧致辐射和发射γ射线的同位素杂质引起的。

Buckley等调查了1974~1978年在美国销售的钟表中³H和¹⁴⁷Pm的放射性活度。³H激活手表的平均放射性活度为68.5MBq, ³H激活钟为18.5MBq, ¹⁴⁷Pm激活的手表和钟的平均放射性活度均为 1.7 MBq ^[12]。在瑞士, 手表中³H放射性活度平均为37MBq, 钟为60MBq, 其放射性活度都低于规定的容许限值。

氡激活手表对戴表者造成的全身剂量, Fitzsimmons等估计平均全身剂量当量率为 $6 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$, 范围为 $2 \sim 18 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ 。Moghissi等根据戴表者尿中³H浓度, 估计单位氡涂料放射性一年中对戴表者造成的平均剂量为 $0.08 \mu\text{Sv} \cdot (\text{MBq})^{-1}$, 范围为 $0.003 \sim 0.12 \mu\text{Sv} \cdot (\text{MBq})^{-1}$ 。Buckel等假设每只手表

中含氡74MBq, 估计戴表者接受的年剂量为 $0.6 \mu\text{Sv}$ 。联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)取值40MBq, 估计氡激活手表对戴表者造成的全身剂量为 $0.3 \mu\text{Gy}$, 使用氡激活钟者接受的全身剂量为 $0.1 \mu\text{Gy}$, 相应的年有效剂量当量分别为 $0.3 \mu\text{Sv}$ 和 $0.1 \mu\text{Sv}$ ^[14]。

¹⁴⁷Pm激活发光手表对戴表人产生的照射剂量, Moghissi等保守地估算单位放射性活度造成的年性腺剂量为 $14 \mu\text{Sv} \cdot (\text{MBq})^{-1}$, 戴含 1.8 MBq ¹⁴⁷Pm手表的人, 外照射年性腺剂量当量估计约为 $2.5 \mu\text{Sv}$ 。UNSCEAR假设钟表中的¹⁴⁷Pm平均含量为 1.5 MBq , 涂¹⁴⁷Pm手表对戴表人造成的性腺年剂量约为 $2 \mu\text{Gy}$, 年有效剂量当量约为 $2 \mu\text{Sv}$ ^[14]。

根据使用发光钟表的人数和辐照发光钟表的产品数及放射性活度, Buckel等估计美国使用氡激活手表人的集体剂量为 $58.5 \text{ man} \cdot \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ 。美国剑桥国家实验室工作组用CONDOS计算机程序估算运输、贮存、装配、使用和处理各类消费品人员的集体剂量当量为 $24 \text{ man} \cdot \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[5]。UNSCEAR估算瑞士、英国和美国居民使用辐射发光钟表所致的集体有效剂量当量分别为 $5, 33$ 和 $17 \text{ man} \cdot \text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$, 个人年有效剂量当量为 $0.8, 0.6, 0.08 \mu\text{Sv} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

综上所述, 消费品中放射性对公众所致剂量主要来自烟草制品, 其它消费品所致剂量较小。由于吸烟对肺癌危险性很高, 且香烟中放射性对人体引起的剂量远高于其它消费品, 故应加强对吸烟所致剂量的监测和剂量评价。

参 考 文 献

- 1 Cohen BS et al. Radiat Res, 1980;83(1):190-196
- 2 Carpentier L et al. J Radiat Prot, 1989;9(4):286-287

- 3 Cross FT. Health Phys, 1984; 46(1): 205-208
- 4 Cohen BS et al. Health Phys, 1980; 39(4): 619-632
- 5 NCRP. Radiation exposure of the U.S population from consumer products and miscellaneous sources, NCRP report No. 95, Bethesda, Maryland; NCRP, 1987
- 6 HHS. Smoking and health—A national status report, DHHS publication NO. (CDC) 87-8396, Atlanta, Georgia; CDC, 1986
- 7 吴毅. 中华放射医学与防护杂志, 1982; 2(5): 52-54
- 8 Nambi KS et al. Bull Radiat Port, 1988; 11(1/2): 21-24
- 9 BRH. An evaluation of radiation emission from video display terminals, BRH Report FDA 81-8153, Rockville, Maryland; CDRH, 1981
- 10 NIOSH. Potential health hazards of video display terminals. Cincinnati, Ohio; NIOSH, 1981.
- 11 NRC. Video displays, works, and vision. Washington, DC; NAP, 1983
- 12 Buckley DW et al. Environmental assessment of consumer products containing radioactive material, NRC Report NUREG/CR-1775, Washington, DC; NRC, 1980
- 13 Papastefanow C et al. Radiat Prot Dosim, 1987; 19(1): 49-53
- 14 Carpentel L et al. J Radiat Prot, 1989; 9(4): 286-287



001 皮肤受金属表面氚或泵油氚沾污后体内氚的可估计性[英]/Trivedi A // Health Phys. -1993, 64(6)(Suppl). -S54

一些形式的氚可通过完整皮肤扩散的性能引起辐射危害。早先的研究表明,由皮肤接触金属表面或氚化物和皮肤接触氚化泵油而使体内进入的氚量,与由皮肤吸收氚水(HTO)而进入的量不同。由于对体内氚量计算值的不确定性很大,故难以精确推导皮肤和全身剂量。因此,用无毛大鼠做实验,使它们的背部皮肤受到氚化金属表面氚化泵油的污染,研究污染后30天内动物尿和粪中的氚排泄量与皮肤沾污的氚活度之间的关系。结果表明,尿中氚的排泄量为皮肤沾污量的5%以下,所用氚的大部分(70%)随粪排出。皮肤接触性沾污后即刻测量表明,绝大部分氚(所用活度的90%)见于皮肤的接触沾污点。体内氚的总残留量为所用活度的5%,在沾污后的所有测量均表明体内滞留量也都如此。因此,皮肤上沾污的氚的20%可能并未进入体内。该报告对上述污染方式入体的氚的放射学评价有特别重要的意义。

(阎效珊摘)

002 急性摄入氚水后氚的排泄动力学[英]/Trivedi F... // Health Phys. -64(6)(suppl). -S77

对八人摄入氚水(HTO)后的调查表明,氚尿的排泄率可用三项指数函数描述。观察体内氧化氚的生物半排期分别平均为 5.2 ± 1.1 天、 11.9 ± 5.3 天和 75.9 ± 27.0 天(摄入氚水后30天内,体内循环水的更新被人为地故意加快)。在摄入后整个测量期间(300天)均有有机结合氚(OBT)的排出。OBT随尿初始排出的生物半排期为5天。第二个廓清速率相当于66天的生物半排期。人们认为早期尿中出现的OBT来自体内氚标记的体内生物活性大分子。晚期由尿中排泄的OBT也表明,代谢中固着的氚并未全被分解成HTO。血、尿中OBT与HTO的氚比例,在各摄入HTO者之间的差异是很显著的。根据氚排泄动力学数据估算了活体内标记的OBT在体内形成的剂量。

(阎效珊摘)

003 胎儿辐照效应的概述[英]/Hoffman DA... // Health Phys. -1993, 64(6)(suppl). -S3

胎儿对小剂量电离辐射照射的致癌效应是否特别敏感,三十年来一直有争议。1956年,Stewart及