

测量呼出氡估算铀矿工的 ^{226}Ra 体负荷

Srivastava GK等; Health Phys 50(2):217~221, 1986(英文)

对于铀矿工, 长时间吸入是 ^{226}Ra 进入体内的主要途径。沉积在体内的 ^{226}Ra 衰变生成的 ^{222}Rn 一部分在尚未衰变前即逸出体外。 ^{222}Rn 的逸出量是反映体内 ^{226}Ra 存在的一项很好的指标。假定 ^{226}Ra 的每一次衰变都产生一个 ^{222}Rn 原子, 并且所释放的部分全部经由呼气排出, 则可由公式(1)求得体内 ^{226}Ra 的含量:

$$Q = (C_{\text{Rn}} \cdot I) / (\lambda_{\text{Rn}} \cdot f) \quad (1)$$

式中:

Q ——体内 ^{226}Ra 含量(Bq);

I ——矿工的呼吸率($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

λ_{Rn} —— ^{222}Rn 的衰变常数(s^{-1});

C_{Rn} —— ^{222}Rn 浓度($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$);

f —— ^{222}Rn 的全身有效释放分数, 国际放射防护委员会(ICRP)第30号出版物提供的代谢模式对于慢性吸入采用的是0.84, 可以认为对于在铀矿工作多年的铀矿工 f 值取0.84是恰当的。

本文目的是介绍一种应用新改进的低水平氡测量装置作为常规测量呼出氡的标准化程序, 并对铀矿工的测量结果进行分析讨论。

一、测量技术

呼出气样品收集程序为: 医用氧气经流量计流入一只可折迭的容量为2升的塑料袋, 袋子的出口与呼吸面罩护鼻的吸入端相连, 面罩的呼出端通入去湿器, 去湿器为一只置于冰盒里的500mL收集水分的玻璃杯, 去湿器的出口与低水平氡测量装置的一只5.24升铝制氡收集器相连, 氡收集器的中央出口处上方安放一只毛发湿度计, 呼出气由氡收集器出口排入大气。操作时, 打开 O_2 通路, 受检者吸入 O_2 , 呼出气则流经去湿器

进入氡收集器, 调节流量计使塑料袋的外形基本维持恒定, 流量计指示的是受检者的平均呼吸率。受检者呼吸10分钟, 这段时间的呼气足以排除肺内和氡收集器内的原有空气, 而且可以使肺内的 Rn 和 O_2 达成平衡。于呼吸的第10分钟末注意观察测氡容器内的相对湿度。在终止向装置呼气之前将电极板插入氡收集器内, 之后关闭瓣膜使装置封闭, 在电极板上加上-800伏高压持续90分钟, 在断开高压后的1~75分钟时间间隔内进行电极板的 α 计数。将测量结果代入公式(2), 即可计算出氡收集器内的氡浓度 C_{Rn} :

$$C_{\text{Rn}} = \frac{D}{0.9[1 - \exp(0.039H - 4.118)] \cdot E \cdot Z \cdot V} \quad (2)$$

式中:

C_{Rn} ——氡浓度($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$);

D ——计数期间的总 α 净计数;

E —— α 计数器的计数效率;

Z ——能从理论上求得的用于特定取样时间和计数程序的系数;

V ——低水平氡测量装置氡收集容器的体积(m^3);

H ——样品的相对湿度(%);

$0.9[1 - \exp(0.039H - 4.118)]$ ——为低水平氡测量装置收集效率的表达式, 并已计及了相对湿度的影响。 H 值通常在50%~60%之间。

鉴于Rundo J等曾观察到在饭后头2小时氡的释放率会出现涨落, 为此要求受检者在早餐2小时后接受测量。

二、最小可探测活度(MDA)

美国国家辐射防护委员会(NCRP)第58号报告描述了估算MDA的方法程序, 并将

MDA定义为伴有5%错误的未检出概率(也称之为Ⅱ型错误)的限值。可用公式(3)表示:

$$L_D = 2.71 + 4.65/\sqrt{B} \quad (3)$$

式中 L_D 为MDA; B 为测量期间真实的本底计数。

氡的最低可探测浓度可由公式(4)给出:

$$MDC = L_D/K \quad (4)$$

式中 K 代表公式(2)右边的分母。

用适当的数据($B = 8$ 计数; $H = 60\%$; $E = 0.37$; $V = 0.00524\text{m}^3$; $Z = 60 \times 47.16\text{s}$)代入公式, 可以推算出氡的MDC值为 $3.87\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, 这相当于呼吸率为 $7\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 、释放分数为0.84时 ^{226}Ra 的MDA值为 0.26kBq 。

相对湿度的极限值为0%和97%时, 算得的MDA值分别为 0.22kBq 和 0.75kBq 。

三、测量结果

作者应用这一装置对310名铀矿工人和10名居住在矿区的非矿工作了常规监测。他们的 ^{226}Ra 体负荷从低于可探测下限到 2.10kBq , 大部分铀矿工和全部非矿工呼气中的氡浓度都低于可探测下限。表1列出310名铀矿工按工龄分组的体内镭含量资料。

作者对少数呼气中含有可探测到氡浓度的铀矿工作了重复测量, 结果见表2。

Lucas HF和Stehney AF曾观察到, 在取样前暴露于高浓度氡的受检者会引起呼

表1 铀矿工 ^{226}Ra 体负荷在不同工龄组别中的频数分布

工龄组别 (年)	<0.26* kBq	0.26~ 0.60kBq	0.61~ 0.90kBq	0.91~ 1.20kBq	1.21~ 1.50kBq	1.51~ 2.10kBq	总 数	低于0.26kBq铀 矿工百分数 (%)
0~5	19	16	2	—	—	—	37	51.4
5~10	26	12	1	—	—	—	39	66.7
10~15	70	35	7	6	2	—	120	58.3
15~20	39	19	3	1	—	—	62	62.9
20~25	29	20	2	—	—	1	52	55.8
总 数	183	102	15	7	2	1	310	59.0

*0.26kBq为最小可探测活度值。

表2 铀矿工呼气氡重复测量结果

受 检 者	呼 吸 率 $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$	第一次测量		第三次测量	
		日 期	氡 浓 度	日 期	氡 浓 度
		年 月 日	$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$	年 月 日	$\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$
TM	6.0	1981.8.10	6.1 ± 4.2	1982.9.29.	7.2 ± 2.0
DM	9.0	1982.2.9	15.5 ± 2.6	1982.10.5	22.8 ± 4.0
NBM	6.0	1982.2.23	9.6 ± 2.3	1982.10.7	12.8 ± 3.3
NCG	9.0	1982.7.7	25.5 ± 3.6	1982.10.5	24.1 ± 5.4
PP	10.0	1982.8.10	低于探测下限	1982.9.21	低于探测下限
MP	6.0	1982.8.10	6.2 ± 1.8	1983.1.27	8.6 ± 1.8
AG	6.5	1983.1.27	低于探测下限	1983.3.6	低于探测下限

注: 表中列出的错差为计数的统计误差。

气中氡浓度的升高。为了查明暴露于铀矿内高浓度氡的铀矿工是否也存在这一效应, 对一名受检者在其工作前后进行了反复测量

(暴露后测量在离开矿井后30分钟内进行), 结果表明暴露前的呼气中氡浓度相当稳定, 而暴露后的呼气中氡浓度高而且不稳

定。

四、讨 论

从表1可以看出,各工龄组都有大约60%的受检者 ^{226}Ra 体负荷低于 0.26kBq (MDA)。矿山工龄较长的受检者 ^{226}Ra 体负荷比工龄较短者有增高的趋势,然而这些数据并无统计上的相关性。

将安置在Jaduguda铀矿附近的阴影屏蔽全身放射性测量装置的MDA与本文方法的MDA相比较,结果令人注目。用阴影屏蔽全身放射性测量装置测量时,根据NCRP第58号报告提供的资料算得的 ^{226}Ra 的最低可探测体负荷为 1.17kBq ,而呼出氡测量装置的最小可探测活度为 0.26kBq 。后者的灵敏度高出前者约3.5倍。

本文提供的装置简单、实用。取样时间仅为10分钟,因取样与测量彼此独立,所以可以按照时间和仪器的有效利用来调节工作次序,可在一天内采集完受检者的样品,然

后再对这些样品作依次测量。而且这种带有 α 计数器和负压电源的全套装置搬动很方便,可在野外任何场所安置使用。采样时所需的医用氧气和冰一般也均易获得。

应注意的是:实验结果表明,骨、肺和软组织氡的逸出分数分别为0.7、1.0和1.0,通过测量呼气中氡浓度推算镭体负荷的公式(1)中的 f 值可以有0.7~1.0的变化范围,其具体值的确定取决于 ^{226}Ra 是绝大多数沉积在全身骨骼还是在肺或其它组织。 f 取0.84这个值对于退休工人可能是偏低的,而对于新工人则可能是偏高的。因此,在实际应用时限定的 f 值可能会引入一定的不确定度。

这套测量装置不仅可以作为铀矿工和镭治疗单位人员的常规监测,也可用于对怀疑有镭内污染的非铀矿工和其它人群的调查测量。并且在紧急情况下,可将这套测量装置迅速投入现场测量,并对事故造成内污染的程度作出评估。

〔陆汉魁节译 章仲侯 赵兴成审校〕

浅表低贯穿性辐照时辐射防护标准的生物学依据

Charles MW: Radiat Protect Dosimetry 14(2): 79~90, 1986(英文)

使剂量测量复杂化的 β 射线和低能X射线的一个主要特点是当它们在各种介质中被吸收时,其剂量率随进入物质的深度变化太快,从而使探测器的响应与组织剂量之间的关系复杂化。组织剂量通常是通过确定与体表下敏感组织的有效深度相当的探测元件至探测器外表面的距离而测得的。 β 射线和低能X射线对皮肤、眼睛和睾丸这三种器官具有潜在危险性。目前ICRP对眼睛和皮肤的剂量限制是 0.15Sv 和 0.5Sv ,这些值是为避免皮肤的美容影响和眼睛的白内障等有害的非随机性效应而制定的。对性腺剂量限制是根据精细胞受照后对后代产生遗传学损害这一随机性效应而制定的。ICRP对性腺给出

了0.25的权重因子,据此,单个器官受照时可接受的剂量是 0.2Sv 。鉴于诱发皮肤癌这一事实,是否将导致皮肤剂量限值的降低尚有争议。与浅表辐射照射有关的器官正是那些剂量限值仅为其提供最小安全范围的器官,人们对它们尚缺乏放射生物学的了解,因此有必要对这些器官作深入细致的研讨。

睾 丸

ICRP26号出版物认为遗传效应比躯体癌症效应危险性更大,这意味着精原干细胞或睾丸的平均剂量是剂量评价的相关参数。 190kVp 贯穿性X射线 0.15Gy 单次剂量能产生显著的非随机性效应,使精子数目降低达