

的诊断亦有一定的价值。由于急性心肌梗死后血清中肌红蛋白出现较早、消失较快而且往往呈间断出现,因此尽早采取样品、进行多次测定,将有助于提高诊断的正确性。肌红蛋白含量正常不能排除急性心肌梗死的存在,肌红蛋白的升高亦要注意排除非心脏疾病的致病原因。

### 参 考 文 献

1. Prinzmetal M, et al: Jap Heart J 7:512, 1970.
2. Kagen LJ, et al: Myoglobin, Biochemical, Physiological and Clinical Aspects, Columbia University Press, New York, 1973.
3. Kagen LJ, et al: Am J Physiol 211:636, 1966.
4. Kagen LJ, et al: Immunology 12:667, 1967.
5. Kagen LJ, et al: Clin Chem 23:1813, 1977.
6. Yuile CL, et al: J Exp Med 4:187, 1974.
7. Rosano TG, et al: Clin Chem 23:69, 1977.
8. Reichlm M, et al: Clin Res 24:421, 1976.
9. Stone MJ, et al: J Clin Invest 56:1334, 1975.
10. Bolton AE, et al: Biochem J 133:529,

- 1973.
11. Stone MJ, et al: Brit Heart J 39:375, 1977.
12. Demos MA, et al: Arch Int Med 134:669, 1974.
13. Olerud JE, et al: Clin Chem 21:1654, 1975.
14. Kagen LJ, et al: Am J Med 58:177, 1975.
15. Donald TG, et al: Brit Heart J 39:29, 1977.
16. Kagen LJ, et al: Am J Med 62:86, 1977.
17. Lwebuga-Mnkasa JS, et al: Circulation 48 (Suppl Iv) 129, 1973.
18. Willerson JT, et al: Clin Res 24:422A, 1976.
19. Kessler HA, et al: Arch Intern Med 135:1181, 1975.
20. Gilkeson G, et al: Am Heart J 95:70, 1978.
21. Stone MJ, et al: Brit Heart J 39:375, 1977.
22. Kagen LJ, et al: Ann Intern Med 67:1183, 1967.
23. Hibrawi H, et al: Clin Chem 21:765, 1975.
24. Levine RS, et al: Am J Med Sci 262:179, 1971.

## 环境样品中镭同位素分析测定方法

放射医学研究所  
吉林医大工卫系

诸洪达综述  
王孟才审校

环境中镭主要来自地壳岩石中铀、钍衰变产物及原子能企业排放的放射性废物,可随食品、饮水及大气进入人体。自 1898 年 Marie Curie 等发现 $^{226}\text{Ra}$ 以来,已知有 13 种镭同位素。其中天然存在于自然界的只有 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{224}\text{Ra}$ 及 $^{228}\text{Ra}$ 四种,其余均为人工获得。尚未发现稳定同位素。

镭同位素测定方法目前国内较成熟的是 $^{226}\text{Ra}$ ,现已应用于环境及食品监测<sup>[1]</sup>。 $^{228}\text{Ra}$ 测定方法报导较少,见于工厂流出液或高本底调查<sup>[2]</sup>。 $^{224}\text{Ra}$ 国内仅见工业废水监测方法<sup>[3]</sup>,但需时36天,尚待改进。 $^{228}\text{Ra}$

国外虽有方法报导,国内还未建立。本文综述当前镭同位素测定方法,并概要介绍主要污染源及卫生学意义。

### 一、主要污染源及卫生学意义

天然镭同位素中, $^{226}\text{Ra}$ 存在量最多,它早被视为亲骨核素相对毒理学基准,将 0.1 微克 $^{226}\text{Ra}$ 作为最大容许体负荷量(MPBB)。对此已报导较充分的人的剂量效应依据<sup>[4]</sup>。铀工业直接排放废水(目前通常未回收镭)、尾矿堆浸渍水以及部分仍使用镭的夜光涂料工业,常成为当前环境

$^{226}\text{Ra}$ 污染来源。

$^{224}\text{Ra}$ 和 $^{228}\text{Ra}$ 都是钍系衰变产物。由于铀、钍在地壳中总量约略相等,故也相当大量地存在。在印度独居石区、巴西冲积砂区、锡兰锆石砂区、我国部份地区等富钍高本底地区及操作含钍原料工业的监测中,由于对内照射贡献而引起重视和调查<sup>[6~9]</sup>。

$^{224}\text{Ra}$ 因其子体短寿命而成为医学上适用的重要物质,1913年起用于关节强直性脊柱炎和骨结核治疗。1974年在Alta, Utah 举行 $^{224}\text{Ra}$ 和钍显影剂(Thorotrast,用于X线诊断)生物效应国际讨论会来收集 $^{224}\text{Ra}$ 引起骨癌及钍显影剂诱发肝癌的人体资料。国外虽已发现应用后产生程度不同的辐照损害, $^{224}\text{Ra}$ 医疗应用后大规模随访观察也发现了骨肉瘤的高发率,但医学应用仍未停止<sup>[10]</sup>。

$^{223}\text{Ra}$ 是锕系子体,由于天然铀中含0.71% $^{235}\text{U}$ 而共存于自然界。但因平衡时 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ (放射性强度)小于5%,所以 $^{223}\text{Ra}$ 比起 $^{226}\text{Ra}$ 来总少得多而较少重视,只在铀浓缩、冶炼排出废物中以较高浓度出现。

铀、钍系衰变链辐射常数早有详尽报

$^{228}\text{Ra}$ 、 $^{224}\text{Ra}$ 及 $^{226}\text{Ra}$ 衰变“有效MeV”

核素	辐射类型	平均能量(MeV)	品质因子	滞留分数	平均能量×品质因子×滞留分数(有效MeV)
$^{226}\text{Ra}$	$\alpha$	4.8	10	1	48.0
$^{222}\text{Rn}$	$\alpha$	5.5	10	0.3	16.5
$^{218}\text{Po}$	$\alpha$	6.0	10	0.3	18.0
$^{214}\text{Pb}$	$\beta$	0.2	1	0.3	0.1
$^{214}\text{Bi}$	$\beta$	0.56	1	0.3	0.2
$^{214}\text{Po}$	$\alpha$	7.7	10	0.3	23.0
$^{228}\text{Ra}$	$\beta$	0.02	1	1	~0
$^{228}\text{Ac}$	$\beta$	0.4	1	1	0.4
$^{228}\text{Th}$	$\alpha$	5.4	10	1	54.0
$^{224}\text{Ra}$	$\alpha$	5.7	10	1	57.0
$^{220}\text{Rn}$	$\alpha$	6.3	10	0.9	56.8
$^{216}\text{Po}$	$\alpha$	6.8	10	0.9	61.2
$^{212}\text{Pb}$	$\beta$	0.2	1	0.9	0.2
$^{212}\text{Bi}$	$\beta$ (66%)	0.7	1	0.6	0.4
$^{212}\text{Bi}$	$\alpha$ (34%)	6.1	10	0.3	18.3
$^{212}\text{Po}$	$\alpha$ (66%)	8.6	10	0.6	52.8
$^{212}\text{Tl}$	$\beta$ (34%)	0.6	1	0.3	0.2

导。考虑到核素性质、地质分布、化学及生物学行为,每系各分为若干亚系,为首核素很大程度上控制着本亚系成员。在钍系, $^{226}\text{Ra}$ 作为一个亚系起点是由于它在食物和人体内浓度与其长寿命母体浓度无明显相关,其惰性气体子体在环境中转移明显不同于固体核素。 $^{226}\text{Ra}$ 与子体平衡时(30天可达99%)总 $\alpha$ 放射性等于4倍镭本身放射性。在钍系, $^{228}\text{Ra}$ 至 $^{224}\text{Ra}$ 组成一个亚系。 $^{220}\text{Rn}$ 与 $^{222}\text{Rn}$ 不同,无任何长寿命子体。 $^{224}\text{Ra}$ 在制备纯化后很快与 $^{220}\text{Rn}$ 及 $^{216}\text{Po}$ 平衡而达到3倍于镭本身放射性<sup>[12]</sup>。由于这三种镭同位素都生成一系列子体,对人危害随之增大。据报导,考虑气体子体在活体中损失,每个 $^{228}\text{Ra}$ 原子及其子体的 $\alpha$ 能量传递为29.4MeV,而 $^{226}\text{Ra}$ 为10.6 MeV<sup>[13]</sup>,J.Rundo则补充,每个 $^{224}\text{Ra}$ 原子全部衰变时 $\alpha$ 粒子能量为26.54MeV,对于骨表面沉积,在约50微米内实际释出全部能量<sup>[12]</sup>。这三个镭同位素每个原子衰变的相对“有效MeV”如下表所示<sup>[14]</sup>,它反映了对人体危害的差别。

在美国正常辐射本底地区,  $^{226}\text{Ra}$  平均日摄入量  $0.7\sim 1.8$  微微居里, 而  $^{228}\text{Ra}$  为  $1.0\sim 1.2$  微微居里。在印度喀拉拉邦高本底地区,  $^{226}\text{Ra}$  和  $^{228}\text{Ra}$  日摄入量分别为  $3.3$  和  $160$  微微居里/天<sup>[11,14]</sup>。从国内进行的测定来看, 三种镭同位素在各类主要食品中含量一般在  $10^{-13}\sim 10^{-11}$  居里(克)镭/公斤范围。我国现行“放射防护规定”中  $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{224}\text{Ra}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  及  $^{228}\text{Ra}$  在露天水源中限制浓度分别为  $1\times 10^{-10}$ 、 $3\times 10^{-10}$ 、 $3\times 10^{-11}$  及  $3\times 10^{-12}$  居里/升。按照不同目的, 就应建立满足这样低含量测定的方法。

## 二、目前镭同位素测定方法概况

环境样品低含量的特点对分析提出了严格的要求, 使重量法和光谱法都因灵敏度差及不能区分同位素种类而难以应用。因此, 注意力自然地集中于不断改进放射性测量法上。

放射性测量法就是基于测量镭同位素本身或与其达一定平衡度的子体放射性而计算样品本身镭同位素含量。可以大致分为  $\alpha$  放射性测量法及  $\gamma$  放射性测量两类, 又各可细分为若干种类型。

第一、 $\alpha$ 放射性测量法: 可用于测定  $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{224}\text{Ra}$  及  $^{223}\text{Ra}$ 。

1. 基于半衰期差别的方法。通过不同时间对同一镭样品  $\alpha$  放射性测量而鉴定。A.F.Stehney 报导过对纯化后镭样品通过在沉淀后的第一次测量及在一周或更长时间后的第二次测量来计算饮水中  $^{226}\text{Ra}$  和  $^{224}\text{Ra}$  的公式<sup>[15]</sup>。Andreev 等报告了以硫酸盐形式测定  $^{226}\text{Ra}$  和  $^{224}\text{Ra}$  方法: 第一次测量是在制样后  $18\sim 19$  小时, 此时  $^{224}\text{Ra}$  及其子体放射性几乎达最大值, 而  $^{226}\text{Ra}$  及其子体放射性仅达最大值的  $30\%$ ; 第二次测量时间是在沉淀后  $10\sim 12$  天后, 这时  $^{224}\text{Ra}$  接近最小值, 而  $^{226}\text{Ra}$  接近于第一次测量值的  $2.5$  倍<sup>[16]</sup>。国内类似方法是在沉淀后及  $20\sim 30$  天后分别进行测量并进行相应校正计

算<sup>[3]</sup>。

一般说来, 分离后  $\text{Ra}$  的  $\alpha$  同位素放射性相对变化可用公式(1)~(4)来描述<sup>[17]</sup>:

$$\begin{aligned} A/A_0 = & 5.0141e^{-\lambda_1 t} - 3.0096e^{-\lambda_2 t} \\ & + 0.0006e^{-\lambda_3 t} + 0.0208e^{-\lambda_4 t} - 0.0118e^{-\lambda_5 t} \\ & - 1.0327e^{-\lambda_6 t} - 0.0001e^{-\lambda_7 t} + 0.0187e^{-\lambda_8 t} \\ & \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

其中,  $A_0$  和  $A$  分别为分离时  $^{226}\text{Ra}$  及分离后经  $t$  时间的总放射性;  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_8$  分别为  $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{222}\text{Rn}$ 、 $^{218}\text{Po}$ 、 $^{214}\text{Pb}$ 、 $^{214}\text{Bi}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{210}\text{Bi}$  和  $^{210}\text{Po}$  的衰变常数。在分离后第一个月公式(1)可简化为:

$$A/A_0 = 1 + 3(1 - e^{-\lambda_2 t}) \dots\dots\dots (2)$$

纯化  $^{224}\text{Ra}$ 、 $^{223}\text{Ra}$  后样品  $\alpha$  放射性随时间变化则为:

$$\begin{aligned} A/A_0 = & 4.1519e^{-\lambda_1 t} - 2.0033e^{-\lambda_2 t} + \\ & 0.0029e^{-\lambda_3 t} - 1.2595e^{-\lambda_4 t} + \\ & 0.1080e^{-\lambda_5 t} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A/A_0 = & 4.0021e^{-\lambda_1 t} - 2.0001e^{-\lambda_2 t} + \\ & 0.0004e^{-\lambda_3 t} + 1.0679e^{-\lambda_4 t} + \\ & 0.0655e^{-\lambda_5 t} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

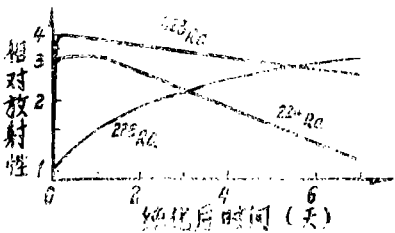


图: 纯化镭后,  $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{224}\text{Ra}$  和  $^{223}\text{Ra}$  随时间的变化

同样,  $A$  和  $A_0$  分别为分离后经  $t$  时间和分离时的该同位素的总放射性;  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5$  分别为该同位素及其四个子体的衰变常数。

三种镭  $\alpha$  放射性同位素从纯化后的衰变增长如图所示<sup>[17]</sup>。这样, 在不同时间测量就可按上述公式计算镭的各组成成分含量。这类方法灵敏、易与镭总  $\alpha$  放射性测定法结合, 但由于测量前必需将样品完全溶解并放化分离纯化, 故甚费时间。文献中大多笼统

提到可用于鉴定镭 $\alpha$ 放射性同位素<sup>(18~20)</sup>。当样品含有二个以上同位素或虽只有二种成分,但其中一种比起总量来只占小份额时,都是难以实际应用的<sup>(21)</sup>。Radford认为,仅当<sup>224</sup>Ra放射性比本底足够大,且<sup>228</sup>Ra/<sup>224</sup>Ra比值不大于10时,该法才可行,但仍受非氡 $\alpha$ 核素量影响<sup>(18)</sup>,并且<sup>228</sup>Ra存在也能引起正误差。在具体应用中,标准源及仪器效率校正问题尚需更好解决。总之,本法只能粗略鉴定。近年来,为了提高测量效率,有用液体闪烁计数器以混悬液闪烁体系来测定,效率可达90~100%<sup>(22)</sup>,也有用内闪烁法来测量 $\alpha$ 放射性<sup>(23)</sup>。

2. 对Rn及其子体的射气测定法。基于镭的 $\alpha$ 放射性同位素均有短寿命惰性气体Rn子体易于达到平衡,在水中氡因溶解度低而易于收集,所以是一种选择性高的准确、快速测定法,特别适用于低含量的环境和食品样品测定。射气法测<sup>226</sup>Ra早已成熟,被公认为经典方法,但对<sup>224</sup>Ra和<sup>228</sup>Ra测定因<sup>220</sup>Rn和<sup>216</sup>Rn半衰期很短而较复杂。由于本法是将特有的氡气体分离出液相,所以杂质不必分离,只需将熔融物水溶后即可直接测量。

<sup>226</sup>Ra射气法测定灵敏度主要取决于:

(1) 氡及其子体 $\alpha$ 辐射的探测效率。早期用电离电流计测量时<sup>226</sup>Ra的最低可检出量为 $10^{-11}$ 克;脉冲电离室可达 $10^{-12}$ 克; $\alpha$ 闪烁室的使用使灵敏度大大提高,可达 $3 \times 10^{-13}$ 居里氡/脉冲/分,其主要影响因素又涉及闪室大小、形状、 $\alpha$ 放射性在其内的分布及 $\alpha$ 辐射利用系数<sup>(24)</sup>。

(2) 积累<sup>222</sup>Rn时间。一般需2周或更长。将氡气转入闪烁室后,一般认为4小时后<sup>222</sup>Rn与<sup>218</sup>Po、<sup>214</sup>Po即可平衡,放射性达“最大值”以适于测量。

(3) 氡气提取完全程度。一般认为气体载体量要12倍于溶液体积,抽气5分钟,以保证提取完全,从40毫升扩散器转入350毫升闪烁室时,氡损失不大于2%<sup>(24)</sup>。大

体积水溶液体系样品可采用大体积气体载体提取并先浓集于活性炭(冷冻时更好),加热到350~500℃从活性炭上解吸氡入闪烁室可测到 $10^{-14}$ 居里<sup>222</sup>Rn<sup>(25)</sup>。

(4) 样品分析灰量。增大分析灰量可提高方法灵敏度,但其量增大又受到熔融体积及扩散器体积限制。

(5) 仪器及试剂本底。应选用本底低的仪器和化学试剂,尽量简化分析程序减少试剂用量。对低含量样品可利用老化空气、氮气或用活性炭过滤净化的空气,尽量使用原子序数小的气体以提高探测效率。有人认为,在闪烁室建立电场可使灵敏度稍有增高<sup>(26)</sup>。

<sup>224</sup>Ra射气法测定需连续不断地通气入 $\alpha$ 测量装置来探测该平衡条件下<sup>220</sup>Rn及其子体(主要是<sup>216</sup>Po)的 $\alpha$ 放射性。将通过的气体循环使用可提高灵敏度。这类方法以前常用于矿石或地质样品中钍测定,以及呼出气中<sup>220</sup>Rn测量,从而估算人体钍系核素负荷量<sup>(38)</sup>。虽在氡气浓集与否、气体循环与否及探测装置类型等方面有所差别,但基本原理是相同的。<sup>224</sup>Ra探测灵敏度取决于溶液中<sup>220</sup>Rn提取系数、气流速度及<sup>220</sup>Rn和<sup>216</sup>Po $\alpha$ 辐射利用系数。

由于An半衰期比Tn更短,An应在更快流速下测定,扩散器和 $\alpha$ 测量装置间联管道体积应尽可能短以减少测量装置外An衰变。有人报导,最大灵敏度时的流速应比测定<sup>224</sup>Ra时大10倍<sup>(17)</sup>。

3. 通过其他子体测定镭同位素。一种类型是在游离出的氡气中积累一定时间衰变产物,然后将其收集于荷负电的电极上进行 $\alpha$ 计数而计算<sup>(17,27)</sup>;另一种类型是分离纯化镭后放置使与特定铅、铋同位素子体达放射平衡后,分离出该子体进行放射性测量来计算。注意样品密封以防氡逸失,并需校正积累期间衰变而外推到该子体分离时的浓度<sup>(28)</sup>。

<sup>224</sup>Ra测定常通过测量子体<sup>212</sup>Pb来计

算, 可用TTA-苯或双硫脲萃取镭纯化后放置16~24小时生长出的 $^{212}\text{Pb}$ , 再放置3.5小时让 $^{211}\text{Pb}$ 、 $^{214}\text{Pb}$ 衰变后测量<sup>[21]</sup>。也有将分离出铅组分放置10小时使与 $^{212}\text{Bi}$ 和 $^{212}\text{Po}$ 平衡, 然后测量 $\alpha$ 放射性而计算尿样中 $^{224}\text{Ra}$  ( $^{228}\sim^{230}$ )。还可在萃取铅组分放置21小时, 测量生长出的 $^{212}\text{Bi}$ 而计算<sup>[21, 30]</sup>。

$^{228}\text{Ra}$ 测定则通过测量子体 $^{214}\text{Pb}$ 来计算, 可在镭纯化后3小时以TTA-苯或双硫脲-氯仿萃取铅, 为防止铀系 $^{214}\text{Pb}$ 污染, 溶液要煮沸或鼓气除 $^{222}\text{Rn}$ , 对 $^{212}\text{Pb}$ 干扰需予以校正。文献<sup>[17]</sup>引用了计算公式, 注意进行测量时间内 $^{214}\text{Pb}$ 衰变的校正<sup>[21, 31]</sup>。

$^{228}\text{Ra}$ 测定用此类方法一般不如射气法, 但在系统分析镭同位素时也有采用减差法或通过子体 $^{214}\text{Bi}$ 来测定。所谓减差法是在镭纯化后2~3小时内测量的 $\alpha$ 放射性主要来自 $^{228}\text{Ra}$ 、 $^{223}\text{Ra}$  (带有3个平衡 $\alpha$ 子体)、 $^{224}\text{Ra}$  (带有2个平衡 $\alpha$ 子体), 通过镭总 $\alpha$ 放射性减去4倍 $^{223}\text{Ra}$ 、3倍 $^{224}\text{Ra}$ 即可求得 $^{228}\text{Ra}$ 放射性<sup>[31]</sup>, 此法比射气法快速。 $^{228}\text{Ra}$ 也可通过8-羟基喹啉萃取 $^{214}\text{Bi}$ 来测定<sup>[21]</sup>, 这时测定准确度取决于 $^{228}\text{Ra}/^{224}\text{Ra}$ 比值及积累 $^{214}\text{Bi}$ 天数, 故只在 $^{212}\text{Bi}$ 量已知后才这样测定。应指出,  $^{227}\text{Ac}$ 会进入铋组分, 所以应在分离镭前加入 $\text{Ac}$ 滞留载体。此外, 也有通过分离 $^{214}\text{Bi}$ 来测定 $^{228}\text{Ra}$  <sup>[31]</sup>。

这类通过子体测定镭同位素方法最常用于 $^{228}\text{Ra}$ 。由于 $^{228}\text{Ra}$ 的 $\beta$ 放射性能量低, 必须通过其子体 $^{228}\text{Ac}$ 才易于测量。镭先以硫酸盐形式沉淀初步纯化, 可用TTA-苯、TBF-氯仿或2-乙基己基磷酸-庚烷萃取法<sup>[31~33]</sup>或萃取色层法分离铀, 然后以 $\text{HBr}$ 或稀 $\text{HNO}_3$ 反萃取<sup>[31~32]</sup>, 这样生成的铅、铋的溴化物要用季胺Aliquat-336再萃取。镭-铀分离也可用离子交换法完成<sup>[21]</sup>。 $^{227}\text{Ac}$ 干扰可用合适的铝片排除, 当存在量较大时, 可在沉淀镭前加入 $\text{La}$ 滞留载体来克服。铀一般用 $\text{La}$ 或 $\text{Ce}$ 载体, 也有

用氢氧化铁来分离。在硫酸盐中直接测量的方法是用锌粒(粉)在弱酸性解质中除去镭 $\beta$ -子体, 除去锌后24小时进行硫酸盐沉淀、测量并校正 $^{226}\text{Ra}$ 衰变产物也可计算 $^{228}\text{Ra}$  <sup>[34]</sup>。

这类方法都需冗长的化学分离、纯化及放置, 并要作出相应校正。除常用于 $^{228}\text{Ra}$ 测定外, 对其它同位素多用于多同位素同时测定的场合。

第二、 $\gamma$ 放射性测量法: 可测定样品中 $^{228}\text{Ra}$ 。其优点是样品不需预处理, 但因选择性差及灵敏度低难以用于环境样品。样品应密封以防氡逸失, 放置一月使镭与 $\gamma$ 放射性子体平衡。为减少误差, 样品与标准样品应在同样条件下测量<sup>[17]</sup>。

### 第三、谱仪测定法:

$\alpha$ 谱仪。谱仪早已用于食品 $\alpha$ 放射性鉴定<sup>[17]</sup>, Hill曾作过综述<sup>[35]</sup>。 $\alpha$ -谱仪仪器研制一般比较容易。但制样比 $\gamma$ 谱仪复杂得多。制源问题如能解决, 可能成为同时测定多种 $\alpha$ -放射性核素的有前途的方法。方法本身不需样品分解, 但为了制成薄层(数十毫克/厘米<sup>2</sup>)和提高灵敏度, 对无载体或少载体的镭样品的分离、纯化及制样均有很大困难。Keisch等提出了制备0.1~0.2毫克钋薄层样的方法<sup>[36]</sup>。 $^{228}\text{Ra}$ 测量是按子体 $^{218}\text{Po}$ 和 $^{214}\text{Po}$ 的 $\alpha$ 能峰, 故应防止 $^{222}\text{Rn}$ 损失;  $^{224}\text{Ra}$ 是按本身 $\alpha$ 粒子;  $^{228}\text{Ra}$ 是放置数月后测量 $^{218}\text{Po}$ 的6.80MeV  $\alpha$ 能峰。 $\alpha$ 谱仪可使用高能量响应的半导体探测器<sup>[37~38]</sup>、脉冲电离室<sup>[35, 39, 40]</sup>或屏栅电离室<sup>[17]</sup>。

Smith等报导过以 $^{225}\text{Ra}$ 作化学产额指示剂的方法<sup>[41]</sup>, 是在制样后7天测量子体 $^{217}\text{At}$  7.06MeV能峰以推算镭产额。

$\gamma$ 谱仪。基于测量特定的不与其它 $\gamma$ 放射性核素重叠的特征 $\gamma$ 能峰,  $^{226}\text{Ra}$ 用1.76和0.609MeV,  $^{224}\text{Ra}$ 用2.62MeV,  $^{228}\text{Ra}$ 用0.404、0.425或0.829MeV。样品需密封或校正氡逸出损失。优点是样品不需分解, 但不够灵敏, 用最灵敏的 $\text{NaI(Tl)}$ , 可测到

$2 \times 10^{-8}$ 克镭。4种镭同位素及其衰变产物的 $\gamma$ 能谱可参阅文献<sup>[17]</sup>。

$\gamma$ 谱仪法应用目前仍受仪器本底高所限制。

### 三、小 结:

1. 镭是一种较早发现的放射性元素。自然界中存在 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{224}\text{Ra}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 和 $^{228}\text{Ra}$ 四种天然同位素。测定 $10^{-10}$ 居里 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{224}\text{Ra}$ 、 $10^{-11}$ 居里 $^{226}\text{Ra}$ 以及 $10^{-12}$ 居里 $^{228}\text{Ra}$ 是从事环境监测的放射卫生化学工作者首先应解决的课题。国内除 $^{226}\text{Ra}$ 测定方法较成熟外,其余尚待建立或完善。

2. 本文综述镭同位素测定方法。基于核素本身或子体的 $\alpha$ 或 $\gamma$ 放射性测量法较为灵敏,尤以射气法较为快速、简便、选择性高而值得重视。通过铅、铋同位素子体来推算镭同位素含量的方法一般需放置及进行大量化学操作和校正,常在系统分析中使用。 $^{228}\text{Ra}$ 则通常都通过子体 $^{228}\text{Ac}$ 来测量计算。

3. 谱仪技术发展大大促进了镭同位素测定而成为有前途的新方法。但当前 $\alpha$ 谱仪法困难主要在于薄层源制备,而 $\gamma$ 谱仪法主要受仪器本底限制。

4. 为建立适于低含量的环境样品的监测方法,除尽力加强先进的能谱快速测量研究外,还应比较现有资料,建立灵敏、快速、准确的镭同位素系统分析方法。可从加大分析用灰量、简化不必要的化学操作程序、提高去污因素、提高化学回收率、提高探测效率、降低仪器及试剂本底以及合理安排和改进分析测量程序来建立最佳测定方法。

值得提出的是,分析人员注意力往往集中于分析方法改进,而常忽视预处理和测量方法的改进。实际上,这三者都是影响分析方法的准确度、精确度及可测限量的重要因素。

### 参 考 文 献

1. 中华人民共和国卫生部,食品卫生检验方法(放射性物质部分)1978.
2. Kamath V A, et al: Talanta 16:345, 1969.
3. 广州珠江冶炼厂、广东省测试分析研究所镭分析小组:测试与分析2:46, 1976.
4. 联合国原子辐射影响问题科学委员会报告书, 1964.
5. Mistry K B: Health Phys 19:535, 1970.
6. Penna E, et al: Health Phys 11:699, 1965.
7. Penna E, et al: Health Phys 11:1471, 1965.
8. Penna E, et al: Health Phys 19:657, 1970.
9. Penna E, et al: AEC-NYO-3273-11 Part 1.
10. Mays C W: Health Phys 35:7, 1978.
11. A Report of UNSCEAR 1, Levels 1972.
12. Rundo J: Health Phys 35:13, 1978.
13. Rowland R E, et al: "Radionuclide Carcinogenesis" (C. L. Sanders et al.) 406, 1973.
14. NCRP, Rep. No. 45. "Natural Background Radiation in the United States." 1975.
15. Stehney A F: Acta Radiol 43:43, 1955.
16. Andreev A G, et al: Radiokhimiya 11: 80, 1969.
17. Vdovenko V M, et al: Analytical Chemistry of Radium 61, 1975.
18. Radford E P: Radiation Research 19:298, 1963.
19. Goldin A S: Anal Chem 33:406, 1961.
20. Sill C: U.S. AEC Report No. TID-7616, 1961.
21. Baratta E, et al: WIN-118, 1960.
22. Merkulova M S, et al: DAN SSSR 103:643, 1955.
23. Stahlhofen W: "Assessment of Radioactivity in Man" 2:505, 1964.
24. Lenin S S: Atomnaya Energiya 12:429, 1962.
25. Lucas H F: In: "The Natural Radiation Environment" ed. by Adams J A S, et al: 315, 1964.
26. Gorbushina L V, et al: Atomnaya Energiya 19:84, 1965.
27. ANL-7960(pt. 2) 115.
28. Hosholt J N: Anal Chem 26:1307, 1954.
29. U.S. AEC. NYO-4700, (3rd. Ed) 1970.

30. Duquesne H, et al:Health Phys 9:927, 1963.
31. Petrow H, et al:Anal Chem 33:1303, 1961.
32. Allisin MR, et, al:Nucleonics 5:32, 1954.
33. Sekine T, et al:J Nucl Sci Technol 4:308, 1967.
34. Chaikin PI, et al:Radiokhimiya 5:56, 1963.
35. Hill C:Health Phys 8:17, 1962.
36. Keisch B, et al:Anal Chem 38:1969.
37. Keischanda JI, et al:Nucl Sci Abstr 20:230(43442)1966.
38. Yavin AJ, et al:Nature 205:899, 1965.
39. Hill CR:Nucl Instrum Meth 12:299, 1961.
40. Hill CR:Health Phys 8:91, 1962.
41. Smith KA, et al J Radioanalyt Chem 5:303, 1970.

## 放 射 药 物 进 展

——美国核医学代表团来华学术报告之一——

报告人 L.Roa Chervu

美国核医学代表团于1979年11月上旬来我国进行友好访问，在此期间与我国核医学界进行了多次技术交流，该团成员L. Rao Chervu博士介绍了美国放射药物使用近况和发展方向，现将内容介绍如下：

### 一、心血管疾病方面的放射药物

核心脏学方面常用的放射药物就其用途分为两

部分：一是用于心脏血液动力学，其中包括动态心脏功能测定、心脏血池显像及血流量测定的放射药物；另一部分是用于心脏灌注和功能试验的放射药物。

有关这方面的常用放射药物如表1所示。

表1中， $^{81}\text{m}\text{Kr}$ ， $^{127}\text{I}$ 作为心脏功能测定的放射药物尚未普遍使用； $^{11}\text{C}$ ， $^{13}\text{N}$ ， $^{15}\text{O}$ 标记的放射药物虽无损伤性，但因其半衰期太短且需加速器

表 1 核 心 脏 学 用 放 射 药 物

心脏血液动力学		心脏灌注和功能试验		
心脏功能	血池显像	损伤性	非损伤性	
	血流量	冠状动脉血流	冷区显像	亲梗塞显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -高锝酸盐	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -人血清白蛋白	$^{85}\text{Kr}$ $^{133}\text{Xe}$	$^{43}\text{K}$ $^{201}\text{Tl}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -焦磷酸盐
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -人血清白蛋白	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -红细胞	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -大颗粒白蛋白	$^{13}\text{N}$ - $\text{NH}_3$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -葡庚糖酸盐
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -红细胞	$^{131}\text{I}$ -人血清白蛋白		$^{13}\text{N}$ -氨基酸	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -四环素
$^{133}\text{Xe}$ ， $^{127}\text{I}$			$^{11}\text{C}$ -软脂肪	$^{203}\text{Pb}$ -汞盐
$^{81}\text{m}\text{Kr}$ ， $^{85}\text{Kr}$			$^{11}\text{C}$ -脂肪酸	碘化抗体
$^{11}\text{C}$ ， $^{15}\text{O}$ $\begin{smallmatrix} \text{CO}_2 \\ \text{CO} \end{smallmatrix}$			$^{123}\text{I}$ -脂肪酸	$^{67}\text{Ga}$ -枸橼酸盐
$^{113\text{m}}\text{In}$ -氯化物				$^{111}\text{In}$ -白细胞
$^{113\text{m}}\text{In}$ -二乙三胺 五醋酸				

生产而使用受到限制。 $^{128}\text{I}$ 因其半衰期合适 ( $T_{1/2}=12$ 小时)，标记脂肪酸后即可用，因此它在研究心肌梗塞疾病方面有一定前途。在亲梗塞的放射药物中，碘化抗体、 $^{111}\text{In}$ -白细胞等均为正

在研究中的放射药物。 $^{111}\text{In}$ -白细胞由于标记方法麻烦，美国尚未开展临床应用，目前处于动物模型实验阶段。几种核心脏学用放射药物使用情况如表2。