

山东省主要温泉水镭浓度测定及放射卫生评价

张连平 李福生 程 杰 陈英民 陈 跃 赵兰才 孙立亭

(山东省医科院放射医学研究所, 济南)

提要: 本文报道了山东省12处主要温泉水 ^{226}Ra 浓度测定结果。结果表明, 温泉水中 ^{226}Ra 浓度呈对数正态分布。其波动范围为 $6.62\sim 1956\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$ 。它们比一般饮用水、地表水的 ^{226}Ra 浓度要高得多。按我国有关医疗矿泉的分类规定, 有5处达到“镭泉”标准。按照国家标准, 有9处 ^{226}Ra 含量超过饮用水总 α 放射性限值标准, 有两处超过饮用矿泉水限值标准。 ^{226}Ra 是极毒的亲骨性 α 放射性核素。我们对患者在“饮疗”过程中可能摄入的 ^{226}Ra 及所致剂量进行了估算。我们认为, 对含 ^{226}Ra 高的温泉水, 特别是超过国家限值标准的, 使用饮疗方法要十分慎重, 最好只使用浴疗法, 不使用饮疗法。

温泉的医疗价值在很早以前就被人们所认识。随着人类生活的进步和科学发展, 温泉的开发利用日益受到更大的重视。但是温泉水通常溶有相当数量的 ^{226}Ra 。 ^{226}Ra 是一种极毒的亲骨性 α 放射性核素, 它在体内的大量沉积会诱发骨癌或白血病。在温泉疗法中, 使用“饮疗”法有可能使患者食入大量 ^{226}Ra , 从而危害这部分人群的健康。所以近年来不少学者对温泉水的 ^{226}Ra 含量进行了调查^[1-4]。山东省特别是山东半岛地区是温泉资源十分丰富的地区, 近年来越来越多的温泉得到开发利用。但不少人对温泉水中 ^{226}Ra 含量及可能造成的辐射危害缺乏了解。因此对山东省重要的温泉水进行 ^{226}Ra 含量调查并做出相应的放射卫生评价, 对促进温泉的合理开发利用, 保障公众的健康十分有意义和必要的。

一、材料和方法

山东省有天然温泉近20处, 我们选择了较为主要的12处温泉进行采样, 用共沉淀射气法进行 ^{226}Ra 分析测定^[5]。方法探测限为 $3.4\times 10^{-4}\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

射气法为 ^{226}Ra 经典特异的测定方法。本实验室曾多次参加全国性分析比对, 其结果在合理误差范围内, 满足质量控制要求, 保证了本次调查数据的准确性和可比性。

二、结果与讨论

1. 山东主要温泉水的 ^{226}Ra 含量及水温列于表1。经W检验^[6]温泉水中 ^{226}Ra 含量呈对数正态分布。 ^{226}Ra 含量变化范围很

大, 最大值为孤岛温泉为 $1956\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$, 最小值是肥城温凉泉为 $6.62\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$, 两者相差近300倍。据报道^[1,2], 其他地区也有类似情况。贵州省18处温泉水的 ^{226}Ra 含量波动范围是 $7.03\sim 836.2\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$; 北京地区19处地热水波动范围是 $74\sim 2072\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$ 。最大值与最小值相差分别为119倍和28倍。按照我国有关医疗矿泉的分类规定^[7], 有5处可命名为“镭泉”。它们是孤岛、威海、鸭旺口、聊城、招远等处的温泉。

表1 温泉水水温及 ^{226}Ra 含量

| 温泉名称 (地点) | 水温 (%) | ^{226}Ra 含量 ($\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$) |
|--------------|-----------|------------------------------------------------------------|
| 肥城温凉泉 | 31 | 6.62 ± 0.43 |
| 威海温泉疗养院 | 73 | 1200 ± 10 |
| 威海温泉镇温泉 | 43 | 172 ± 12 |
| 乳山小汤村温泉 | 60 | 107 ± 17 |
| 齐河温泉 | 37 | 28.1 ± 2.3 |
| 青岛工人温泉疗养院 | 93 | 264 ± 17 |
| 即墨县温泉疗养院 | 93 | 164 ± 20 |
| 招远温泉疗养院 | 98 | 630 ± 3 |
| 聊城温泉 | 51.6 | 677 ± 7 |
| 孤岛温泉疗养院 | 86 | 1956 ± 306 |
| 汤头煤建温泉疗养院 | 73 | 24.6 ± 0.5 |
| 济南鸭旺口温泉疗养院 | 42 | 933 ± 14 |
| 范 围 | 31~98 | 6.62~1956 |
| 几何均值 | | 196.6 |
| 几何标准差 | | 5.8 |
| 算术均值 | | 513.5 |
| 算术标准差 | | 600.5 |

^{226}Ra 浓度最低值出现在水温最低的肥

城温凉泉。其他温泉含镭较高的大部分水温也较高。在我们分析的许多冷泉和井水中， ^{226}Ra 含量普遍较低（表2），大多在毫克每升数量级，其平均值仅为调查温泉的1/150。分析其原因，这可能与镭在水中溶解度随着温度升高而增加的性质有关。地下水在岩层滞留过程中，岩层中的镭会有一部分溶于其中，其溶解能力除受岩层结构影响外，温度也是一个重要因素。温度越高，镭溶解度越大。

| 表2 某些冷泉与井水的 ^{226}Ra 含量 | | |
|----------------------------------|-------|-------------------------------------------|
| 泉（井）水名称 | 水温(℃) | ^{226}Ra 含量(mBqL ⁻¹) |
| 新泰旋窑矿泉水 | 14 | 3.45±0.15 |
| 新汶山角泉水 | 16 | 6.81±0.69 |
| 济南玉泉水 | 15 | 2.62±0.26 |
| 临沂元宝泉水 | 16 | 7.96±0.90 |
| 济南某井水 | 11.5 | 2.31±0.19 |
| 蒙阴某井水 | 11 | 1.40±0.19 |
| 黄县某井水 | 10 | 1.13±0.12 |
| 平原县某井水 | 13 | 0.98±0.11 |
| 范 围 | 10~16 | 0.98~7.96 |
| 平均值 | | 3.33±2.65 |

在调查中还发现温泉水中 ^{226}Ra 含量普遍比地表水的 ^{226}Ra 含量高得多。这可能与温泉水在岩层中滞留过程中，岩层中有不少镭溶于其中的结果。为便于比较，将一些地下水的结果列于表3。由表3可知，温泉水 ^{226}Ra 平均含量高出地表水近200倍，地表水与某些冷泉和井水的调查结果相接近。

| 表3 若干地表水 ^{226}Ra 含量 | |
|-------------------------------|-------------------------------------------|
| 水样名称 | ^{226}Ra 含量(mBqL ⁻¹) |
| 产芝水库水 | 6.36±0.22 |
| 崂山水库水 | 1.49±0.06 |
| 岸堤水库水 | 1.95±0.11 |
| 峡山水库水 | 2.09±0.24 |
| 东平湖水 | 1.18±0.14 |
| 小清河水 | 1.48±0.15 |
| 马夹河水 | 2.71±0.12 |
| 沂河水 | 1.74±0.06 |
| 黄河水 | 9.34±1.75 |
| 范 围 | 1.18~9.34 |
| 平均值 | 3.19±2.78 |

2.放射卫生评价及摄入量、剂量估算
按照我国饮用水标准^[8]，总 α 限值浓度为0.1Bq·L⁻¹。上述12处温泉中，有9处 ^{226}Ra

含量超过该限值。显然，将这些温泉水如常年用作饮水是不适宜的。按照我国饮用矿泉水标准^[9]，有两处温泉（孤岛、威海） ^{226}Ra 含量超过 ^{226}Ra 限值（1.1BqL⁻¹）。这样的温泉水用作饮用矿泉水也是不适当的。另外，鸭旺口温泉水的 ^{226}Ra 含量也接近饮用矿泉水的限值。

据了解在温泉疗法中，除“浴疗”外还采用“饮疗法”，即直接饮用温泉水。这对一般的矿泉可能是适用的，但对含 ^{226}Ra 较高的温泉应十分慎重。因为还可能导致 ^{226}Ra 的大量食入并在体内骨骼中的大量沉积，使人体受到较大剂量的照射。如果一定要“饮疗”方法，建议事先进行认真的代价—利益分析。

利用温泉治疗某些疾病大约需3~6个月，甚至需更长时间的疗养。如患者采用“饮疗”法治疗半年，按每天饮用2.2升计，以孤岛温泉为例（ ^{226}Ra 为1956mB·q·L⁻¹），半年将摄入 ^{226}Ra 775Bq。这比山东正常居民半年从饮水摄入的 ^{226}Ra 平均值（0.67Bq）高出1000多倍^[10]。如全年饮用此水， ^{226}Ra 年食入量将超过国家规定的年食入量限值（ $1.5\times10^3\text{Bq}$ ）^[11]。某些饮用此水的长期疗养病号或工作人员可能出现这种情况。

根据文献^[11·12]的建议推荐值，我们对使用上述温泉“饮疗”半年的患者所致性腺、红骨髓、骨表面和全身体积有效剂量当量进行了估算，结果依次是 1.8×10^{-5} ， 5.6×10^{-5} ， 1.6×10^{-4} ， $2.4\times10^{-4}\text{Sv}$ 。

三、小结

1.山东省温泉水中 ^{226}Ra 含量变化范围较大，最大值与最小值相差近300倍。但普遍比一般地下水或地表水 ^{226}Ra 含量高得多。温泉水 ^{226}Ra 含量与水温有一定关系，即温度高的大致 ^{226}Ra 含量也偏高。

2.按有关医疗矿泉的分类规定，有5处达到“镭泉”标准，它们是孤岛、威海、鸭旺口、聊城、招远等处温泉。

3.在12处温泉中，有9处 ^{226}Ra 含量超过了饮用水总 α 国家限值，有两处超过了饮用矿泉水 ^{226}Ra 国家限值。对这些温泉水，用来饮用要十分慎重。在用于温泉疗法时，最好只使用“浴疗”，不使用“饮疗”。

（下转第117页）

附表 浙江省部分自来水厂水样总 α 、总 β 放射性水平($\text{mBq}\cdot\text{L}^{-1}$)

| 水厂名称 | 样品数 n | 总 α 均值 \pm 标准差 | 总 β 均值 \pm 标准差 |
|-----------|----------|----------------------------|---------------------------|
| 杭州 | | | |
| 清泰 | 5 | 18 \pm 12 | 15 \pm 4 |
| 赤山埠 | 5 | 10 \pm 8 | 20 \pm 8 |
| 祥符桥 | 5 | 15 \pm 12 | 8 \pm 2 |
| 南星桥 | 5 | 15 \pm 9 | 15 \pm 2 |
| 富阳 | 3 | 13 \pm 3 | 12 \pm 5 |
| 肖山 | 3 | 18 \pm 10 | 20 \pm 5 |
| 宁波 | | | |
| 江东 | 6 | 26 \pm 9 | 23 \pm 9 |
| 南郊 | 6 | 22 \pm 10 | 31 \pm 7 |
| 镇海 | 6 | 30 \pm 8 | 31 \pm 12 |
| 梅林 | 3 | 25 \pm 15 | 28 \pm 8 |
| 大矸 | 3 | 28 \pm 20 | 24 \pm 8 |
| 慈溪 | 3 | 22 \pm 18 | 22 \pm 7 |
| 金华 | | | |
| 东市 | 4 | 20 \pm 8 | 20 \pm 4 |
| 河盘桥 | 4 | 18 \pm 10 | 21 \pm 4 |
| 兰溪 | 8 | 22 \pm 6 | 21 \pm 4 |
| 湖州 | | | |
| 城西 | 8 | 10 \pm 3 | 6 \pm 2 |
| 城北 | 8 | 12 \pm 4 | 8 \pm 2 |
| 其它 | | | |
| 丽水 | 4 | 22 \pm 12 | 30 \pm 7 |
| 衢州 | 3 | 38 \pm 16 | 35 \pm 13 |
| 临海 | 5 | 25 \pm 8 | 24 \pm 9 |
| Σ | 97 | 20 \pm 7 | 21 \pm 8 |

与1985—1988年浙江省食品和饮用水中天然放射性含量调查^[3]结果相比,处于相同量级。

参考文献

1. 中华人民共和国国家标准GB5749-85《生活饮用

(上接第115页)

参考文献

1. 姚素华,等.贵州省主要温泉水中天然放射性水平.中华放射医学与防护杂志 1982, 2(5): 44
2. 陈爱民,等.北京地热水中放射性核素初步调查.辐射防护, 1984, 4(2): 133
3. 陈志盛,赖苏克.福州地区水体中 ^{222}Rn 和 ^{226}Ra 比活度的初步评价.中华放射医学与防护杂志 1988, 8(4): 268
4. UNSCEAR report 1982 Ionizing radiation sources and biological effects. 91
5. 山东省医科院放射医学研究所编.放射医学检验监测手册.青岛出版社, 1987: 276-280
6. 高玉堂主编.环境监测常用统计方法.北京:原子能出版社, 1980: 57

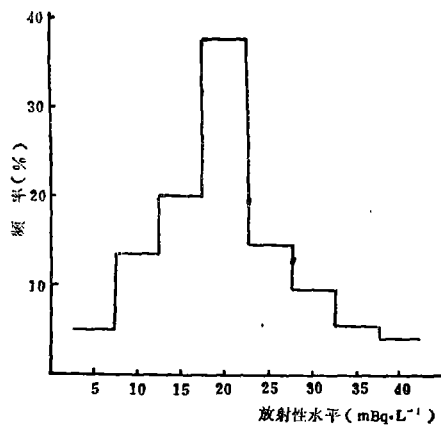


图1 自来水总 α 放射性水平频率分布

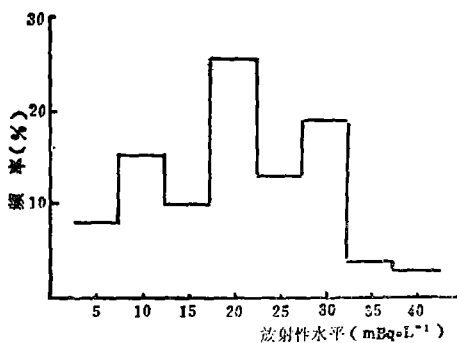


图2 自来水总 β 放射性水平频率分布

水卫生标准》第一版.北京:中国标准出版社. 1987; 10.

2. 中华人民共和国卫生部.中国环境电离辐射水平及居民受照剂量(外照射部分) 1986.北京
3. 浙江省卫生防疫站.浙江省食品和饮用水中 U 、 Th 、 ^{226}Ra 和 ^{40}K 的水平及对居民所致内照射剂量评价.中华放射医学与防护杂志 1988. (增刊): 73. (1992年8月18日收稿)

7. 杨子彬编.谈谈矿泉疗法.北京:人民卫生出版社, 1973: 8
8. 中华人民共和国国家标准.生活饮用水卫生标准(GB5749-85)
9. 中华人民共和国国家标准.饮用矿泉水(GB 8537-87)
10. 张连平,等.山东省食品和水中 ^{227}Ra 含量测定及居民年摄入量估算.放射卫生 1989, 2(2): 76
11. 中华人民共和国国家标准.放射卫生防护基本标准(GB4792-84)
12. 李士俊编.电离辐射剂量学(第二版)原子能出版社, 1986: 131, 503. (1992年8月3日收稿)