

阳江天然放射性高本底地区放射流行病学调查概况

查永如¹ 陶祖范² 魏履新²

摘要 笔者综合报道了1972~1990年广东阳江天然放射性高本底地区(HBRA)放射流行病学调查主要结果。用多种测试仪器测定了环境 γ 辐射,说明HBRA居民所受外照射年平均照射量率为330mR,全身内外照射年有效剂量当量为6.4mSv,对照地区(CA)相应为114mR和2.4mSv。对本底辐射以外环境的和宿主的可能致癌与致突变因素的研究表明:两地区基本符合“齐同对比”原则,两人群是可比的。根据对HBRA17年累积1 008 769人年和CA 995 070人年的癌症死亡率调查,HBRA 13 425名和CA 13 087名儿童遗传性疾病和先天性畸形的检查,以及外周血淋巴细胞染色体分析和免疫功能测定结果,未观察到HBRA电离辐射对居民健康有不良影响。笔者对HBRA癌症死亡率低于CA,以及染色体畸变分析和免疫功能检测所发现的变化进行了讨论,对小剂量电离辐射致癌危险概率作了估计。

关键词 高本底辐射 恶性肿瘤 遗传性疾病与先天性畸形 染色体畸变 免疫功能

Epidemiological Survey in A High Background Radiation Area in Yangjiang, China Zha Yong-ru, Tao Zu-fan, Wei Lu-xin. Guangdong Institute of Prevention and Treatment of Occupational Diseases, Guangzhou 510260

Abstract The results of the health survey in a high background radiation area (HBRA) from 1972 to 1990, in Yangjiang, China, are presented in this paper. Radiological measurements of the environmental and human bodies with different methods revealed that 330 mR/a in HBRA and 114 mR/a in the control area (CA) were the doses that annually an individual exposure to the external environmental gamma radiation and effective doses to whole body are 6.4mSv in HBRA and 2.4 mSv in CA annually. The carcinogenic and mutagenic factors were surveyed. The Results showed that these factors in the two areas were similar. Up till now, no harmful impact induced by natural radiation, based on the data as: cancer mortality from 1008769 person-years in HBRA and 995070 person-years in CA; hereditary diseases and congenial malformations from 13425 subjects in HBRA and 13087 subjects in CA; human chromosome aberrations, and immune function of the inhabitants, was found.

In addition, in this paper the authors discussed the results of cancer mortality, of chromosome aberrations and of immune function, and analyzed the possible relationship among them. The carcinogenic risk induced by low dose radiation was also estimated and discussed.

Key words High background radiation Malignant carcinoma Chromosome aberration Immune function

1 广东省放射卫生防护所 广州 510260

2 卫生部工业卫生实验所

本研究工作得到卫生部、国家科委和国家核安全局资

核能与核技术的开发及广泛应用,提出了一个重要的研究课题,即大人群经常接触比一般天然放射性本底稍高的低水平辐射,会不会对健康产生有害影响。对于辐射致癌

与遗传效应尤被关注。目前,在缺乏对人类直接观察资料情况下,主要应用大、中剂量以及高剂量率受照人群所得的观察结果来推算小剂量低剂量率照射的健康危害概率^[1]。对此,颇有争论^[2],因而影响到能源政策的决定及公众的社会心理状态。

为探讨小剂量低剂量率电离辐射照射对一个大人可能造成的健康影响,从而为电离辐射危害概率估计和预测提供有用的对人类直接观察资料,我们从1972年开始在广东阳江市天然放射性高本底地区(简称HBRA)与邻近的台山县和恩平县正常本底辐射的对照地区(简称CA),进行了放射流行病学调查。研究工作按专题分阶段进行。1990年前完成了原计划四个阶段的研究工作,各阶段研究结果已陆续发表^[3~6],笔者根据各专题组总结综合报告主要研究结果。

对象和方法

一、调查对象:选自位于广东省西部沿海阳江市境内HBRA。该地区出露的岩石主要是侵入岩,岩性为花岗岩,加上附近山上的天然放射性核素U、Th、Ra等的沉积,由此造成本底辐射水平显著增高。这一地区总面积为500km²,共有463个自然村。选择世代居住40年以上汉族居民为调查对象,共有8万余人,其中世代居住6代以上者占93.7%。在选择对照人群时要求除所研究的暴露因素——天然本底辐射水平外,其他有关环境与宿主因素,特别是可能影响致癌和致突变因素与调查人群基本一致或类同。按此要求确定选择位于与HBRA邻近的台山县和恩平县境内的与HBRA数目相当的居民作为对照人群。CA总面积400km²,有466个自然村。

二、测量与调查方法:用FD-71型NaI(Tl)闪烁辐射仪,RSS-111高压电离室,野外 γ 谱仪,热释光剂量计(TLD)和荧光玻璃剂量计(RPL)测量室内外地表辐射水平及人体外照射累积照射量。用放化分析和 γ 谱分析测量人体脏器(肺、骨、牙齿、肾、头

发、胎盘等)、食物、饮水及土壤中U-238、Th-232、Th-230、Th-228、Ra-228、Ra-226、Po-210、Pb-210、K-40等含量。用双滤膜法测量室内外空气中Rn-222和Rn-220及其子体浓度。

用群体抽样调查和个例-对照研究两种方法进行潜在混杂因素及对照人群可比性研究。

癌症死亡率研究采用回顾性调查(1970~1978)和前瞻性调查(1979~1986)两种方法,遗传性疾病与先天性畸形患病率与外周血淋巴细胞染色体畸变分析及免疫功能检测采用现况调查方法。

结 果

一、辐射水平与剂量:

1. 土壤中天然放射性核素含量:HBRA土壤中天然放射性核素U-238、Th-232、Ra-226的含量(Bqkg⁻¹)平均分别为100.4 $\pm$ 28.3、207.6 $\pm$ 87.5、118.4 $\pm$ 41.9,CA相应为26.3 $\pm$ 9.1、33.5 $\pm$ 13.5、27.8 $\pm$ 13.8,HBRA与CA的比值分别为3.8、6.2、4.3。

2. 环境辐射水平:使用多种测试仪器对HBRA和CA环境 γ 辐射的测量表明,各种测量仪器的几批测量结果与高压电离室的测量结果均在 $\pm 10\%$ 内符合。HBRA居民外照射的年平均照射量率为330mR,约为CA114mR的三倍。

3. 人体内外照射有效剂量当量:HBRA居民因吸入较多的Rn(主要是Rn-220)及子体和食入较多的天然放射性核素(主要是Ra-226和Ra-228)而使肺组织、骨表面和红骨髓的剂量增加(为CA的3~4倍)^[6]。内外照射剂量合计,HBRA居民每年平均接受6.4mSv,对照为2.4mSv(表1)。

二、潜在混杂因素和对照人群可比性研究:对HBRA与CA环境的和宿主的可能致癌与致突变因素进行多方面比较研究的结果表明,在自然地理条件、人口结构、种族、婚育史、食物构成和饮食习惯,吸烟和饮酒及

表1 天然辐射源致 HBRA 居民的年有效剂量当量 (mSv)

辐射源	HBRA	CA
外照射		
地表 γ 辐射	1.85	0.52
宇宙射线		
电离成份	0.23	0.23
中子成份	0.02	0.02
小计	2.10	0.77
内照射		
K-40	0.18	0.18
Rb-87	0.006	0.006
Ra-226	0.087	0.027
Ra-228	0.195	0.058
Rn-222	0.030	0.009
Rn-220+Po-216	0.095	0.011
Rn-222的子体	2.320	0.960
Pb-212+Bi-212	1.360	0.400
小计	4.273	1.651
合计	6.4	2.4

其他可能影响癌发生率的因素（如血清中维生素 A、E、C 的含量和乙型肝炎表面抗原阳性率）等方面，两地区基本符合“齐同对比”原则，两人群是可比的。此外，根据1979～1986年人口资料，对可能影响恶性肿瘤死亡率的人群特征，如出生率、死亡率、迁出率、迁入率、人口类型等的分析结果，也表明两人群是可比的。从两地区癌症死亡率的顺位和频率看，也说明两地区环境和宿主的诱变因素总的来看是接近的。其顺位，对男性 HBRA 和 CA 完全一样，对女性两地区前三位相同，男女合并时前7位相同。但是，在计划生育、教育和文化水平、经济收入方面 HBRA 比 CA 稍差。在分析调查资料时对有差异的因素作了具体考虑。

三、癌症死亡率：在 HBRA 累积调查 1 008 769（男530 952，女477 817）人年，癌症死亡467（男299，女168）例，CA 累积调查995 070（男504 458，女490 612）人年，癌症死亡533（男330，女203）例，其年龄调整死亡率（例/10万人年），就全癌来说，不管

男、女或两性合并都是 HBRA 低于 CA，分别为 58.56VS63.26，37.34VS39.00，48.81VS51.09，但这些差异均无显著性（表2）。就部位别恶性肿瘤而言，除子宫颈癌外，也均为 HBRA 低于 CA，但差异无显著性。女性子宫颈癌死亡率在 HBRA 显著高于 CA，为2.94VS0.94， $P<0.05$ 。已知子宫不是辐射致癌的敏感器官，宫颈癌主要病因是病毒感染。HBRA 子宫颈癌的增高，难以用高本底辐射来解释。骨髓是辐射致癌敏感器官，而对白血病死亡率的分析表明，不管男、女都是 HBRA 低于 CA，分别为3.20VS3.57和2.93VS3.06，但差别无显著性，且都在全国和亚洲各国基线范围内。

虽然就全癌按所有年龄作为一组进行分析，两地区差异无显著性，但仅就40～70岁年龄组的除白血病外所有癌用 AMFIT 软件进行分析，其差异有显著性，HBRA 相对 CA 的超额率（ β ）为-14.6%（95% CI：-24.8%，-3.0%），即 HBRA 与 CA 的比值为0.85（95% CI：0.75，0.97）。

表2 HBRA 和 CA 男女合计不同部位癌症死亡专率 (1970~1986, /10万人年)

癌症部位	例数	HBRA 粗率	调整率*	例数	CA 粗率	调整率*
鼻咽	94	9.32	9.81	109	10.95	10.45
食管	13	1.29	1.40	16	1.61	1.49
胃	53	5.25	5.60	47	4.72	4.45
肝	115	11.40	12.50	145	14.57	13.92
肠	16	1.59	1.70	25	2.51	2.38
肺	25	2.48	2.65	35	3.53	3.29
乳腺	7	0.69	0.75	13	1.31	1.25
子宫颈	13	1.29	1.37**	5	0.50	0.45
白血病	31	3.07	3.02	33	3.32	3.39
骨肉瘤	5	0.50	0.52	6	0.60	0.59
其他	95	9.42	9.91	99	9.95	9.44
总计	467	46.29	48.81	533	53.56	51.09

注：在 HBRA 观察了1 008 769人年，CA 观察了995 070人年；

* 用 HBRA 和 CA 合并的人口资料调整；

** HBRA 和 CA 相比差异有显著性 ($P<0.05$)。

四、甲状腺结节患病率：甲状腺是放射敏感器官，同时也被认为是甲状腺癌的可能先兆之一，妇女为易发者。甲状腺结节病检查是一项与美国癌症研究所 (NCI-NIH) 的合作研究。对 HBRA 1 001名和 CA 1 005名50~65岁妇女（甲状腺平均累积剂量估算分别为14cGy 和5cGy）检查结果：甲状腺结节患病率在 HBRA 为9.5%，CA 为9.3%，差别无显著性。

五、遗传性疾病与先天性畸形患病率：曾先后三次（1975、1979、1985）对12岁及以下儿童31种先天性畸形和遗传性疾病进行检查。根据前两次对 HBRA 13 425名和 CA 13 087名儿童的检查，两地区发现患儿分别为304例和295例，总患病率十分接近，分别为22.64%和22.54%，而 HBRA 先天愚患病率却显著高于 CA。因此，第三次专门对先天愚进行扩大调查。三次总共在 HBRA 检查了25 258人，确诊先天愚型病（染色体检查为21三体综合征）22例，患病率为0.087%，CA 共检查21 837人，确诊4例，患病率为0.018%。两地区差异有非常显著性，但 HBRA 的患病率仍属一般患病率范围。造成两地区差别的原因，除受母亲生育年龄影响外，主要是 CA 的患病率特别低。

六、染色体畸变率：先后对青年学生（15~16岁，HBRA122人，CA99人）和老年妇女（50~65岁，HBRA85人，CA76人）外周血淋巴细胞染色体畸变分析的结果表明，不管稳定性畸变率（易位+倒位数/1 000细胞）还是非稳定性畸变率（双着丝点十环数/1000细胞）都是 HBRA 高于 CA。但在青年学生组只是稳定性畸变有显著性，而在老年妇女组不管是稳定性畸变还是非稳定性畸变都有显著性。从年龄上看，不管是稳定性畸变还是非稳定性畸变都是老年组高于青年组（表3）。

七、免疫功能：观察到 HBRA 青年组（16~25岁）外周血 T 淋巴细胞反应性增高，淋巴细胞程序外 DNA 合成 (UDS) 也增高。对 HBRA82人和 CA48人的外周血淋巴细胞形态转化率(%)的分析结果表明，HBRA 显著高于 CA，分别为 77.2 ± 1.12 和 71.3 ± 1.28 , $P<0.01$ 。B 淋巴细胞计数(%)也是 HBRA (39人) 大于 CA (41人)，分别为 11.7 ± 0.85 和 9.7 ± 0.44 , $P<0.05$ 。

表3 HBRA 与 CA 淋巴细胞染色体畸变率 (10^{-3})

畸变类型	15~16岁			50~65岁		
	HBRA n=122	CA n=99	P 值	HBRA n=85	CA n=76	P 值
稳定性	0.45±0.14	0.05±0.05	<0.01	2.35±0.53	0.92±0.35	<0.05
非稳定性	0.21±0.09	0.20±0.10	>0.9	1.76±0.46	0.66±0.29	<0.05

讨 论

一、关于电离辐射致癌危险概率：本研究结果表明，未发现长期高本底辐射作用引起居民癌症死亡率的增加，相反呈降低的趋势。用本调查1970~1986年癌症死亡资料进行危险概率估算的结果，每10mSv引起的除白血病外所有癌的超额相对危险估算值，年龄20~69岁为-0.75% (90% CI: <0, <0.30%), 40~70岁为-1.90% (90% CI: <0, -0.40%), 而20岁以上的为-0.52% (90% CI: <0, 0.44%)^[7]。此一结果与ES Gilbert 根据对美国核工业工人调查资料的估算值(-1.0%, 90% CI: <0, 0.4%)相近似^[8]，但比Y Shimizu 等根据由一次大剂量照射的日本原爆幸存者资料外推所得值(0.41%, 90% CI: 0.32%, 0.51%)低^[9]。我们的实际观察资料说明，目前国际通用的由大剂量高剂量率观察资料外推所得的估计值不会低估小剂量低剂量率致癌危险，相反，有存在高估的可能性。这为评价小剂量电离辐射致癌效应提供了人类直接观察的依据。

二、有关机理探讨：为了验证HBRA居民免疫增强的测定结果，探索其机理，曾用C57BL/6小鼠开展了相应的实验研究^[10]。结果表明，低剂量辐射在一定剂量范围内(50~130mGy)可以刺激实验动物的某些重要防御适应机制，这与人群调查结果相一致。HBRA居民外周血淋巴细胞染色体畸变率增高和免疫反应能力增强是同时存在于体内的两种性质相反的生物反应，如果说前者是不利的，那么后者则是有益的。这两种生物反

应可能存在着竞争。目前未发现HBRA癌症死亡率增加，也未发现遗传性疾病与先天性畸形总患病率增加，作者认为这可能就是在这竞争竞争中后者胜于前者的结果。

参 考 文 献

- 1 ICRP Publication 60, 1990. Recommendations of the International Commission on Radiation Protection. Annals of ICRP. 1991.
- 2 Luckey TD. Physiological benefits from low dose of ionizing radiation. Health Physics, 1982, 43:771.
- 3 广东高本底地区调查协作组. 高本底地区居民健康状况的调查. 放射医学与防护, 1978:1.
- 4 魏履新, 陶祖范, 查永如. 天然放射性高本底地区的研究. 中华放射医学与防护杂志, 1982, 2:9.
- 5 魏履新, 陶祖范, 查永如, 等. 阳江天然性高本底地区第三阶段研究概况(1982~1984). 中华放射医学与防护杂志, 1985, 5:82.
- 6 魏履新, 陶祖范, 查永如, 等. 阳江高辐射本底地区居民健康调查的新进展. 中华放射医学与防护杂志, 1987, 7:145.
- 7 陶祖范, 魏履新. 小剂量电离辐射流行病学研究概况与展望. 中华放射医学与防护杂志, 1995, 15:162.
- 8 Gilbert ES. Analysis of combined mortality data on workers at the Hanford Site, Oak Ridge National laboratory, and Rocky Flats nuclear Weapons. Radiat Res, 1993, 120:19.
- 9 Shimizu Y, Kato H and Schull WJ. Life Span Study Report 11 Part 2 Cancer mortality in the years 1950-85, based on the recently revised dose (DS86). RERF-TR 5-88. Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, 1988.
- 10 刘树铮. 低剂量电离辐射对某些免疫功能的影响. 中华放射医学与防护杂志, 1987, 7:241.

(收稿: 1996-08-22 修回: 1996-09-13)