

中国核工业的辐射流行病学研究

孙世荃¹ 李素云¹ 袁丽云¹ 王印章¹ 李伟林² 柏惠云² 吴企³ 陈绍嘉³

摘要 笔者对核工业总公司所属厂矿放射性工作人员进行回顾前瞻性辐射流行病学调查,共观察40 122人,575 411人年。结果看到,堆工后处理厂及核技术研究部门放射性作业人员的累积个人剂量为57mSv,与国外核工厂报道结果相似,元件扩散厂的个人剂量估计5mSv。核工厂放射性工作人员的癌症,特别是各种非癌症性疾病的死亡率并不高于,实际经常低于对照组和全国居民值,显示出健康人员效应。检查3.18万名核工厂工作人员的子女,放射组和对照组的遗传性和先天性疾病的发生率未见明显差别。这些结果为我国核工业的安全性提供直接的医学证据。早年核工业铀地质勘探和铀矿山井下氡子体浓度较高。地质队和铀矿山井下矿工氡子体累积照射量为80WLM,矿工肺癌为一般人群的大约2倍,单位WLM引起的肺癌相对危险增加值与国外报道结果相近似。

关键词 辐射流行病学 遗传性疾病 矿工肺癌

Radioepidemiological Studies in the Nuclear Industry of China Sun Shi-quan, Li Su-yun, Yuan Li-yun, et al. China Institute for Radiation Protection, Taiyuan 030006

Abstract The results of retrospective-cohort radioepidemiological studies on workers of mines and plants governed by China National Nuclear Corporation was reported. The total number was 40122 persons and 575411 person-years. The accumulated personal dose in workers of reactor, nuclear fuel reprocessing plants and research units was 57 mSv on the average. For fuel element fabrication and diffusion plants, it was about 5 mSv. Mortality of cancers, especially the non-cancerous diseases was not higher but lower than the controlled group and national values, showing the so-called health worker effect. 31786 off springs of workers in the nuclear plants were examined. There were no significant difference in the incidence of hereditary-congenital diseases among exposed and controlled groups. The results mentioned above provide the direct medical evidences of the safety of nuclear industry in China. Owing to the high concentration of radon in the uranium prospective and mining tunnels in early years, the average cumulative exposure to radon progeny was about 80 WLM for miners who had the history of working underground. The relative risk of lung cancer was about 2. The excess relative risk per WLM was similar to the value reported abroad.

Key words Radioepidemiology Hereditary disease Miner lung cancer

我国核工业是从50年代后期开始建立和发展起来的。一些从事放射作业的职工长期受到低剂量的职业性照射。低剂量照射的主要危险是其所可能引起的随机性效应,包括

辐射致癌效应和辐射遗传效应。在核工业总公司安全环保卫生局的统一组织下从1984~1986年开始在所属铀地质勘探队,铀矿山、铀元件扩散厂和反应堆—后处理与核技术研究共四个部门开展辐射流行病学研究,有中国辐射防护研究院、苏州医学院和基层厂矿有关人员参加。1971~1985年间合计观察40 122人,575 411人年。今将现阶段所得结

1 中国辐射防护研究院 太原 030006

2 苏州医学院

3 核工业总公司安全环保卫生局

果报告如下。

研究对象及方法

一、对铀矿地质勘探队井下作业人员的研究：与铀矿开采相比较，地质勘探队井下作业的特点是，地点偏远分散，接触围岩多而接触矿体少，井下作业以独头掘进为主，通风条件差，早年氡测量采用电离室法，70年代中期开始监测氡子体。按 $1 \text{ WLM} = 170 \text{ WL} \cdot \text{h}$ 计算 WLM。到1976年12月人均氡子体累积暴露量为86WLM，井下作业的另一个重要危害因素是粉尘。早年一度实行干式作业，造成矽肺发病率的增加。

对地质队1970年在职男性职工的资料进行登记，有1年以上井下作业史者为井下组，共1 888人，相应工区无下井史者为对照组，合计1 607人。观察期间为1971年1月~1986年12月。井下和井上组实际观察人数分别为1 750和1 470人，失访率分别为7.3%和8.5%。由于受到资料限制，计算全因死亡SMR时用1987年全国中小城市率标化。1987年全国城市全因死亡率与1981年相差大约5%，故可考虑不必进行年代校正。恶性肿瘤则与此不同。近年死亡率明显上升，因此根据1973到1981年间死亡率的增长速度进行时间校正，以便把利用1973~1975年全国率得到的预期死亡值校正为1978年即观察期间中点时的值。计算结果是井下组全死因SMR低于井上组。井下组死亡114人中矽肺57人，假如去掉其中矽肺死亡，井下组SMR更低，只有0.61，是井上组的40%。这可能与矿工接受就业前健康筛选有关（健康工人效应）。肺癌则有所不同，井下组SMR 2.01 ($0.10 > P > 0.05$) 高于井上组。井下组和井上组吸烟人员分别占62%和60%，按吸烟程度分组时也比较相似，说明不能用吸烟解释井下组肺癌的增加。

二、对铀矿矿工的研究：铀矿井下坑道是在所接收的地质勘探坑道基础上扩建的。笔者对投产较早的湖南、贵州4个铀矿山的资

料进行收集整理，氡监测与WLM估算方法同上。到1985年止共登记氡和氡子体浓度监测值107643个。计算矿山1970年在职有1年以上井下作业史，职业史比较清楚的男性矿工合计7 378人，截至1975年底人均累积71.95WLM。

按上述方法计算SMR，结果看到，只有肺癌SMR增加，为1.82，95%置信区间1.10~2.85，有统计学显著性 ($P < 0.05$)。单位氡子体累积暴露量所产生的肺癌绝对危险(EAR) 低于西方国家值，为每 10^6 人年每WLM 1.94和1.04例，这是由于中国肺癌基线率较低。肺癌的相对危险增加值(ERR 1.19和1.09% WLM^{-1}) 与国外铀矿工报道值相近似，ICRP总结值为0.5%~1.5%^[1]，BEIP IV为1.34%^[2]。这说明ERR比EAR更适于在不同人群之间进行相互比较。

三、对铀工厂作业人员的研究：经过铀矿开采、水冶得到的铀精矿要在铀元件厂精制加工为核燃料元件，或在铀扩散厂制成浓缩铀。工作人员主要接触天然铀金属及其化合物，主要危害是吸入铀气溶胶所致肾脏化学性损害和肺部内照射。根据1963~1984年的空气浓度监测结果，截至1985年的人均累积有效剂量将低于10mSv。主要工作岗位 γ 射线外照射个人剂量为内照射的大约1/4。铀扩散厂作业也主要接触铀尘，人均待积有效剂量为元件厂的大约1/10。元件、扩散厂全部工人既往接受的累积剂量估计大约5mSv。

对2个元件厂和3个扩散厂1970年在职职工的资料进行登记，观察时间从1971年1月开始到1985年12月，实际观察人数共9 045人，放射组和对照组两组分别观察53 813和81 650人年。

为计算非癌症死亡SMR使用1987年全国中小城市死亡率进行标化。恶性肿瘤的死亡率用1973~1975年全国调查的小城市率进行标化，并利用计算矿工癌症SMR时使用的时间调整系数。结果看到，全部死因，特别是呼吸、循环、传染寄生虫病的SMR低于对

对照组,并低于1.0(健康人员效应)。铀暴露可以引起肾脏损害。铀作业工人泌尿系疾病的SMR高于对照组,但差别不显著,而且SMR < 1.0。全部恶性肿瘤SMR(男性)在照射组和对照组分别为0.93和0.91,差别无显著性。

四、对核反应堆、后处理厂和核技术研究部门的研究:在核反应堆、后处理、核武器研制和核技术研究部门工作的人员是核工业长期接受全身低剂量低LET职业性照射的最重要的人群。上述单位都有比较完善的主要针对外照射的个人剂量监测制度。反应堆后处理厂等单位在工作中还会受到氡、钚和碘的内照射,但是其所产生的内照射剂量合计只有外照射剂量的大约2%。

对前述合计6个单位70年代在职职工进行登记,观察时间从登记年的年初开始到1985年末。实际调查人数6单位合计放射组8412,对照组12067,共20479人。失访率分别为7.61%和8.05%。粗死亡率统计结果,放射组不论男女均低于对照组。标化率也是如此,差别显著($P < 0.01$),表明有明显的健康人员效应。利用前述方法计算SMR,结果放射组全部死因和几类主要疾病SMR低于对照组,放射组男性全部癌症SMR为0.82,与对照组的0.81几乎相同。

分析几种与放射有较大关系的癌症,结果放射组肺癌、白血病SMR高于对照组,但差别不显著。合计20名死于肺癌、白血病、恶性淋巴瘤者的平均累积剂量为13.7mSv,低于全体放射组人员合计平均值64.4mSv(男性)。美英核工厂受照剂量和死亡率调查结果及其失访率与此相似,全部死亡和癌症死亡的SMR都低于1.0^[3~6]。

五、核工厂职业照射人员子代遗传学效应和先天畸形的流行病学调查研究:辐射遗传效应已有大量动物实验证据,但是目前还没有肯定的人类报道。为了考察核工业职业照射的遗传效应,于1985~1987年对核工业元件—扩散,堆工后处理厂的职工子女进行遗传性疾病和先天畸形的调查。这两类疾病

不易鉴别所以合在一起进行登记。

调查采取横断面方法,以调查当时厂区在册户口为依据。长期在厂区生活的职工子女,18周岁以内,其父母一方或双方在受孕前从事放射性工作者为放射组。同时选择经济条件和生活环境相似,受孕前无电离辐射或化学致畸一致突物质职业接触史者的子女为对照组。检查人数分别为11238和20548人,占应检人数的91.7%和91.2%。先天畸形发生率以厂职工医院妇产科出生记录为依据。参照我国高本底地区的类似调查^[7],事先确定临床易于检出,发生率较高,并有一定健康与社会影响的31种遗传病和先天畸形为检查指标,检查结果共发现26种。

统计结果说明,前六种疾病的检出率在两组间没有显著的差别,其顺位也几乎一致。全部疾病的检出率对照组11.05‰稍高于放射组9.88‰,但差别不显著($P > 0.05$)。

讨 论

笔者关于低水平职业性照射健康效应的辐射流行病学研究结果表明,中国核工业建立与发展经过30年之后没有查到癌症及其它与辐射有关疾病的增加。新的ICRP—60号出版物(1991)^[8]根据原爆幸存者的最近研究提出辐射致癌的新的危险系数。当剂量—剂量率效率因子(DDREF)取2.0,辐射诱发职业人群致死性癌症的概率系数为4% Sv^{-1} 。ICRP附件B给出将原爆资料向中国人群转移的结果;急性照射为6% Sv^{-1} ,用DDREF=2校正后为3% Sv^{-1} 。假如该值可供向我国核工业人群转移,按无阈假说进行危险预测,则堆工后处理系统8412人(两性),接受累积剂量平均40mSv后的终生癌症增加值将为10例。假定癌症表达时间40年,每年只有0.25例,是中国癌症死亡基线值的0.5%,不可能被现有调查所检出。铀元件扩散厂照射剂量更低,与中国广东阳江高本底地区相似,所以更不可能查到癌症增加的危险。

根据ICRP新出版物,受照者第1、2代后

裔严重遗传性疾病的危险对可生育人群为 $0.53\%Sv^{-1}$ 。计入职业人群年龄校正因子 (0.25), 校正值为 $0.13\%Sv^{-1}$ 。假如第一代的危险取 $0.08\%Sv^{-1}$, 调查人群双亲照射剂量取 $50mSv$ (铀厂和核工厂平均值), 有遗传意义的剂量为其大约 $1/3$, 则按无阈假说在合计 11 238 儿童中将有 0.15 例严重遗传性疾病, 是不可能被检出的。在该计算中倍加剂量取 $1Sv$, 这是小鼠的实验结果。根据最近研究^[9], 人类辐射遗传倍加剂量低于小鼠实验值, 按 $DDREF=2$, 可能为 $4Sv$ 。假如是这样, 则预期发生例数只有 0.04, 因此职业性照射人群的遗传效应可以忽略。

唯一例外是铀矿工, 由于60年代之前某些坑道氡浓度较高, 氡子体个人照射量平均大约 $80WLM$ 。矿工肺癌的相对危险(用 SMR 表示)为大约 2.0, 其今后发展值得密切重视。

(本文的详细总结请参看“中国核工业辐射流行病学研究”, 孙世荃主编, 原子能出版社, 1994)

参 考 文 献

1 ICRP. Lung cancer risk from indoor exposures to radon

daughters. Oxford: Pergamon Press. 1987.

2 BEIR IV. Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters. BEIR IV Report. Washington, D C: Nat Acad Press, 1988.

3 Gilbert ES, Omohundro E, Buchanan A, et al. Mortality of workers at the Hanford site, 1945-1986. Health Physics, 1993, 64:577.

4 Wilkinson GS, Tietjen GL, Wiggs LD, et al. Mortality among plutonium and other radiation workers at a plutonium weapons facility. Am J Epid, 1987, 125:231.

5 Hadjimihael OC, Oftfeld AM, D, Atri DA, et al. Mortality and cancer incidence experience of employees in a nuclear fuel fabrication plant. J Occup Med, 1983, 25:48.

6 Beral V, Inskip H, Fraser P, et al. Mortality of employees of the United Kingdom Atomic Energy Authority, 1946-1979. Brit Med J, 1985, 291:440.

7 崔燕薇, 查永如, 陆炳新, 等. 高本底地区遗传性疾病及先天性畸形调查. 中华放射医学与防护杂志, 1982, 2:55.

8 ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press 1991.

9 Neel JV, Lewis SE. The comparative radiation genetics of human and mice. Annu Rev Genet, 1990, 24:327.

(收稿: 1996-08-22 修回: 1996-09-09)

泰安市某中学一起肺结核暴发流行

杨德利 陈嘉保 张玉琦 张群 张斌

1995年4~5月在泰安市某中学肺结核暴发流行。22人发病, 占在校生1.08%, 主要集中在3个班。男女比1:1.4。城乡比1:2.1。回顾性调查发现, 1993年底至1994年初, 该校曾发生3例Ⅲ型结核病人, 其中1例痰结核菌阳性, 未采取有效防疫措施, 为此次暴发留下隐患。暴发中最先就诊的2例学生痰结核菌阳性, 可能是该次暴发的直接传染源。

一、临床特点: 22例中, 12例不同程度的午后低热、乏力、盗汗、咳嗽、咳痰、胸痛、胸闷等, 10例无明显症状。X线胸片均符合肺结核出现, 4例有空

洞形成, 2例有胸膜粘连、增厚、胸廓塌陷等改变。病变类型: I型5例, V型11例, Ⅲ型6例。

二、防治措施: 病人一律住院隔离治疗, 其所在教室、宿舍进行空气及地面消毒, 传授结核病防病知识, PPD试验强阳性者进行异烟肼预防性治疗, 阴性者接种卡介苗。

三、讨论: 近年世界范围内结核病发病率有上升趋势。1993年泰安市已发生过本病暴发流行。本次暴发的主要原因是: ①泰安市肺结核发病率上升; ②农村学生生活条件差, 精神压力大, 过度疲劳, 抵抗力下降; ③学校对结核病重视不够。这次暴发应引起有关部门的高度重视。

(收稿: 1996-07-14 修回: 1996-08-05)

作者单位: 山东省泰安市88医院传染、结核科