

· 动 态 ·

国内外超铀核素作业人员职业健康管理现状

古晓娜^{1,2}, 苏丽霞², 杨雪², 刘占旗², 王仲文¹

(1. 中国原子能科学研究院, 北京 102413; 2. 中国辐射防护研究院)

关键词: 超铀核素; 作业人员; 健康监护

中图分类号: R146 **文献标识码:** C

文章编号: 1002-221X(2020)01-0092-03

DOI:10. 13631/j. cnki. zggyyx. 2020. 01. 032

近年来,我国乏燃料后处理、铀-钚混合燃料生产、快堆发电等建设项目正在快速推进,以钚为代表的超铀核素逐渐成为核工业辐射防护关注的主要核素之一。超铀核素的辐射危害以内照射危害为主,且存在辐射致癌的远后效应。因此,超铀核素作业人员将成为我国核工业发展中辐射防护的重点关注人群,如何规范开展超铀核素作业人员职业健康监护是放射医学面临的重要课题。

本文通过调研国内外超铀核素作业人员的职业健康管理现状,为研究、制订、实施我国超铀核素作业人员职业健康监护和长期医学随访办法,开展超铀核素摄入的远后健康效应研究提供参考。

1 美国超铀核素作业人员的职业健康管理现状

1.1 管理机构 美国超铀核素登记处 (USTUR) 主

要负责超铀核素作业人员健康信息的登记和研究。USTUR 由华盛顿州立大学药学院管理,运行资金由美国能源部 (DOE) 卫生、安全和安保办公室提供。

USTUR 的管理和研究对象主要是美国核武器研制期间在汉福德 (Hanford)、洛基弗拉茨工厂 (Rocky Flats)、洛斯阿拉莫斯 (Los-Aloms) 等核设施工作的有超铀核素接触史的人员。他们志愿参与并与 USTUR 签订授权书。

1.2 管理内容 USTUR 主要对超铀核素志愿者开展活体生物检测、医学观察,尸检和病理组织分析,研究钚、镅等超铀核素的毒理学、生物代谢动力学特点,并保存志愿者的医学和辐射防护资料。

多年来,USTUR 收集了大量超铀核素接触人员的信息,形成了独特的数据库,其内容主要包括个人基本信息表、保健物理数据表、医疗信息表、死因表和放射化学分析数据表等。

USTUR 每年向 DOE 提交工作报告。报告的主要内容见表 1^[1,2]。

表 1 USTUR 年度报告主要内容

主要内容	事例
财务报告	2018 年 USTUR 裁定金额 110~120 万美元, 另外还有其他机构由于一些特殊的项目或活动所给予的赠款
注册数据统计	截至 2018 年 3 月, 登记册共有各类登记人员 879 人。其中 40 人健在、361 人死亡、另有 478 名登记人员处于不活动类别 (主要为失去后续行动的人)
保健物理信息系统	对捐赠者的保健物理数据进行规范化登记。截至 2018 年 3 月, 共有 115 876 份保健物理记录数据输入数据库
放射化学分析	放射化学组的具体活动与成就, 包括尸体捐赠样本的分析
国家人体放射生物学组织库 ^[3]	主要对尸检、捐献组织解剖和组织放射化学分析活动中特定样品进行管理
人体生物动力学	人体生物动力学和剂量学的最新研究进展, 例如模型的可视化研究进展
咨询委员会相关报告和会议内容及协作项目的成果	年度会议报告、最新研究成果论文、协作项目等

USTUR 利用这种独特资源主要研究关于超铀核素的生物动力学、剂量学对人体的健康影响, 并且与其他国家研究机构进行合作, 如与 Mayak 工业协会

合作研究剂量重建相关内容^[4]。

1.3 医学随访及流行病学研究 医学随访的目的主要是为早期受照人员提供剂量信息和早期的医学诊断^[5,6], 为后续的医学监测和剂量学项目建立基础, 为 USTUR 提供超铀核素生物动力学信息。

作者简介: 古晓娜 (1981—), 女, 博士研究生, 副研究员, 从事职业卫生与放射卫生研究。

1.3.1 DOE核设施既往职业照射人员 DOE对汉福德、内华达试验场等所属9个核设施的既往职业照射人员开展了医学随访^[7]。其中,以洛基弗拉茨工厂既往职业照射人员医学随访项目为代表。

1.3.1.1 医学随访对象 随访的对象主要针对有铀或钚的污染史人员。筛选依据:(1)肺部或旧伤口有可探测到的铀或钚。(2)计算其器官和最大允许体负荷量。其中²³⁹Pu/²⁴⁰Pu为1480 Bq(40 nCi);²⁴¹Am为1850 Bq(50 nCi)^[8]。(3)全身累积内照射剂量 ≥ 200 mSv。(4)全身总有效剂量 ≥ 200 mSv。

1.3.1.2 辐射剂量估算 对既往职业照射人员保健物理信息的调查,利用放射化学分析和 α 光谱法对尿液^{239/240}Pu进行分析,使用高纯锗探测器检测肺部²⁴¹Am。内照射剂量估算使用Cindy程序及国际放射防护委员会(ICRP)第30号出版物的生物动力学模型^[9-11]。

1.3.1.3 医疗监测内容 主要包括前列腺特异性抗原(PSA)检测,胸部X线检查,听力和视力测试,身高、体重、血压和脉搏的测量,肺功能测试,心电图(ECG)以及结肠癌筛查试验,粪便样本中的隐血检查。医疗随访周期为3年一次。

1.3.2 曼哈顿工人既往职业照射人员

1.3.2.1 医学随访对象 26名接触超剂量钚工人。根据1987年26名工人的接触钚剂量估算范围52~3180 Bq,该剂量范围为当时职业限值(1480 Bq)的0.05~2倍,全身有效剂量范围为0.1~7.2 Sv,平均值为1.25 Sv,远高于当时的职业接触限度^[12,13]。

1.3.2.2 医学随访检查 洛斯阿拉莫斯国家实验室每隔5年对接触钚的工人进行一次医学临床体检。检查内容包括病史、体格检查、视觉敏感度试验、听力测定、拍摄X线片、心电图、肺通气量测定、痰细胞学、全血计数、临床尿检和血液实验室检查、淋巴细胞亚群分析^[14]。

2 俄罗斯超铀核素作业人员的健康管理现状

2.1 管理机构 Mayak PA是俄罗斯最早的核企业,在其运行的早期,由于缺乏相应的防护措施,导致Mayak工人长期慢性暴露于较高的外照射和超铀核素的内照射中。乌拉尔南部生物物理学研究所(Southern Urals Biophysics Institute, SUBI)负责所有作业人员的强制性岗前和岗中医疗检查,并保存医疗检查结果。

2.2 管理内容 SUBI多年来对Mayak工人的健康状况进行了跟踪调查,形成了Mayak工人健康状况的原始医疗数据。在此基础上建立了“Clinic”医学数据库^[15]。数据库的主要内容包括职业史和暴露剂量、诊疗

史、生命状态、上岗前检查的原始健康数据、整个随访阶段的临床数据、生殖功能和家族史数据。目前已有12585名Mayak工人的医疗和其他资料被录入数据库。Mayak运营后考虑了外照射 γ 暴露的个人剂量,在20世纪60年代考虑了对²³⁹Pu的内照射暴露的监测^[16-18]。

SUBI还管理俄罗斯人体放射性生物组织库(RHTR),又称Mayak工人组织库,已有6986名工人和1041名对照人员提供了283790种生物样本。RHTR目前是世界上研究中、高剂量钚接触人员的珍贵资源。

2.3 Mayak工人的流行病学研究 SUBI利用其数据库主要进行的研究有Mayak工人辐射致癌的流行病学研究,钚在人体内的分布、代谢,钚的剂量重建、剂量-时间-反应关系、剂量阈值及其不确定性,慢性辐射病和钚导致动脉硬化,癌症和非癌症疾病的辐射风险及其对预期寿命的影响,放射性肺癌分子标志物的检测,Mayak工人的生殖健康,通过暴露亲本生殖细胞传递后代体细胞的基因组不稳定性等^[19]。

3 我国超铀核素作业人员的职业健康监护现状

我国核工业也曾对部分早年超铀核素内污染人员进行过医学随访,但由于多种原因,这些人员的长期医学随访未能系统、持续、规范开展。20世纪80年代,某核工业企业对16例早年钚污染人员随访至1988年(受照后约20年),未发现与钚有关的身体异常^[20]。我国曾分析200名接触钚气溶胶水平较高作业人员1971—1984年的尿钚数据,计算钚体内蓄积量,由于人数较少,未对钚人群进行单独的流行病学分析^[21]。“十一五”期间对106例超剂量人员开展了健康体检,发现恶性肿瘤4例,限于缺少剂量学资料,未开展剂量-效应评价。

从国家法律法规标准层面分析,我国尚未规定过量受照人员的医学检查和随访的责任主体。核工业离退休放射作业人员的健康检查目前由各用人单位负责,每两年一次,但持续性差异较大。我国目前尚未设立专门机构对离退休人员的健康检查结果进行集中登记,尤其是过量受照人员,未对其进行系统、规范的健康检查和医学随访,导致我国以往超铀核素人员的健康现状不明,剂量学资料缺乏,不利于开展超铀核素的辐射生物效应研究。

4 结论

与美国、俄罗斯等核大国对于超铀核素作业人员的健康监护、医学随访相比,我国存在一定差距,特别是事故或应急照射的放射作业人员的健康检查和医学随访工作。为适应我国乏燃料后处理快速发展的需

要,建议从机构、制度、机制等方面入手,进一步研究超铀核素作业人员职业健康监护和效应评价技术,为改善超铀核素作业人员辐射防护提供生物学依据,为保护超铀核素作业人员职业健康提供技术支持。

参考文献

- [1] Stacey L. McComish, Sergei Y. Tolmachev. United States Transuranium and Uranium Registries: Annual Report for 2017. 4.1—2018. 3.31 [R/OL]. <http://www.researchgate.net/publication/329786933>.
- [2] Pham MV, Brumbaugh T. Information systems. In: The United States Transuranium and Uranium Registries Annual Report for 2004. 2.1—2005. 6.30 [R/OL]. <http://ustur.wsu.edu>.
- [3] United States Transuranium and Uranium Registries. USTUR Policies and Procedures Manual [EB/OL]. <https://ustur.wsu.edu>.
- [4] Filipy RE, Russell JJ. The United States transuranium and uranium registries as sources for actinide dosimetry and bioeffects [J]. Radiation Protection Dosimetry, 2003, 105 (1-4): 185-187.
- [5] Daugherty NM, Falk RB, Furman FJ. Former radiation worker medical surveillance program at Rocky Flats [J]. Health Phys, 2001, 80 (6): 544-551.
- [6] Timothy Takaro, Jordan Firestone. Medical Surveillance for Former Workers Final Technical Report for the period 1996. 10.1—2006. 9.30 [R]. 2006. DOE/SF21258-1.
- [7] United States Congress. Program to monitor Department of Energy workers exposed to hazardous and radioactive substances [R]. Washington DC: U. S. Government Printing Office, Public Law 102-484, National defense authorization act for fiscal year 1993, Sec. 3162, 1992.
- [8] International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation [R]. Oxford: Pergamon Press, ICRP Publication 2; Ann. ICRP, 1959.
- [9] International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection [R]. Oxford: Pergamon Press, ICRP Publication 26; Ann. ICRP1 (3), 1977.
- [10] International Commission on Radiological Protection. Limits for intakes of radionuclides by workers [R]. Oxford: Pergamon Press, ICRP Publi-

cation 30; Part1, Ann. ICRP 2 (3/4), 1979.

- [11] DOE Order 5480.11. Radiation protection for occupational workers [S]. Washington, DC: U. S. Government Printing Office: United States Department of Energy, 1988.
- [12] Voelz GL, Grier RS, Hempelmann LH. A 37-year medical follow-up of Manhattan Project Pu workers [J]. Health Phys, 1985 (48): 249-259.
- [13] Voelz GL, Lawrence JNP. A 42-year medical follow-up of Manhattan project plutonium workers [J]. Health Phys, 1991 (61): 181-190.
- [14] Voelz GL, Lawrence JNP, Johnson ER. A 50-year medical follow-up of Manhattan project plutonium workers [J]. Health Phys, 1997 (73): 611-619.
- [15] Tamara V. Azizova, Richard D, Niel W, *et al.* The "CLINIC" medical-dosimetric database of Mayak Production Association workers: Structure, characteristics and prospects of utilization [J]. Health Phys, 2008, 94 (5): 449-458.
- [16] Khokhryakov VF, Suslova KG, Filipy RE, *et al.* Metabolism and dosimetry of actinide elements in occupationally exposed personnel of Russia and the United States: A summary progress report [J]. Health Phys, 2000, 79 (1): 63-71.
- [17] Khokhryakov V, Suslova K, Aladova E, *et al.* Development of an improved dosimetry system for the workers at the Mayak Production Association [J]. Health Phys, 2000, 79 (1): 72-76.
- [18] Khokhryakov VF, Suslova KG, Vostrotnin VV, *et al.* Adaptation of the ICRP-66 Pulmonary clearance model to data on plutonium exchange kinetics in Mayak personnel [J]. Med Radiol Radiat Safety, 2001 (46): 76-83.
- [19] Christopher L, David G, Svetlana, *et al.* The Russian human radiobiological tissue repository: A unique resource for studies of plutonium-exposed workers [J]. Radiation Protection Dosimetry, 2017, 173 (4): 10-15.
- [20] 问清华, 张仲仁, 高鑫岑, 等. 职业性钚吸入者的二十年医学观察及评价 [J]. 中华放射医学与防护, 1991, 11 (2): 125-129; 67-68.
- [21] 李伟林. 辐射流行病学 [M]. 北京: 原子能出版社, 1996.

(收稿日期: 2019-03-12; 修回日期: 2019-04-28)

(上接第 85 页)

2.2.3 光照的影响 透明瓶和棕色瓶中样品的吸光度总体均成下降趋势,透明瓶中样品的吸光度 6 d 时 *RSD* 值分别为 9.654%、8.945% 和 8.781%, 7 d 时 *RSD* 值为 10.142%、10.042% 和 10.012%;棕色瓶中样品的吸光度 7 d 时 *RSD* 值分别为 9.182%、9.457% 和 9.245%, 8 d 时 *RSD* 值分别为 10.131%、10.024% 和 10.016%。由此可见,光照是影响样品吸光度的重要因素,避光保存的样品吸光度变化小于不避光保存的样品吸光度,因此在采样及样品的运输保存时要注意避光。

3 结论

本文选取了时间、温度和光照三个因素对二氧化硫吸收液采样前后的吸光度影响进行研究。结果表明:(1)采样前吸收液在 6℃ 保存时间较长,且随着温度的升高,吸收液的稳定性逐渐下降,6℃ 条件下吸收液在 30 d 内稳定性较好;(2)采样前吸收液随着光照时间的延长吸光度有明显的上升趋势,二氧化硫吸收液不宜在有光照的地方保存;(3)采样后吸收液在 20℃ 下可以稳定保存 15 d;(4)光照是影响样品吸光度的重要因素,因此应注意避光采样和保存。

(收稿日期: 2019-06-21; 修回日期: 2019-09-20)