

涉氚事故的医学应急与管理

Medical emergency and management of tritium-related accidents

Ma Nan, Feng Junchao, Liu Yulong

引用本文:

马楠, 冯骏超, 刘玉龙. 涉氚事故的医学应急与管理[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2023, 47(10): 1-6. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202308004-00353

Ma Nan, Feng Junchao, Liu Yulong. Medical emergency and management of tritium-related accidents[J]. *International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine*, 2023, 47(10): 1-6. DOI: 10.3760/cma.j.cn121381-202308004-00353

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202308004-00353>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

天津市35家非医疗机构放射卫生管理的现状分析

Radiation hygiene management status of 35 non-medical institutions in Tianjin

国际放射医学核医学杂志. 2021, 45(5): 300-306 <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202104003-00062>

核与辐射事故公众心理效应及应对策略

Enviro-psychological effects and countermeasures of nuclear and radiation accidents

国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(2): 110-112 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.003>

一起辐射探伤事故中6名疑似受照人员的医学观察

Medical observation of six suspected irradiated staff members in a radiological accident

国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(2): 119-124 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.005>

浅谈放射性核素治疗病房的建设与管理

Building and management of the radionuclide treatment ward

国际放射医学核医学杂志. 2019, 43(5): 411-415 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.05.005>

医学影像与人工智能

Artificial intelligence in medical imaging

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(1): 2-4 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2020.01.002>

医学影像人工智能新进展

New progress in medical imaging artificial intelligence

国际放射医学核医学杂志. 2020, 44(1): 27-31 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2020.01.007>

· 氚的辐射危害与防护管理 ·

涉氚事故的医学应急与管理

马楠 冯骏超 刘玉龙

苏州大学附属第二医院核应急中心, 苏州 215004

通信作者: 刘玉龙, Email: yulongliu2002@126.com

【摘要】 近年来, 氚的辐射效应受到广泛关注。涉氚事故的医学应急是一项对专业技术要求较高、涉及面广、社会影响范围大的工作。我国核与辐射相关法律法规对于突发事件应急有完善的应急制度与救援管理方案。笔者结合氚放射事故发生的特点和法律法规相关规定, 对涉氚事故的医学应急三级救援体系、涉氚事故受照人员的医学管理及心理援助等方面进行分析, 以期对涉氚事故的医学应急与管理提供建设性意见。

【关键词】 氚; 医学应急; 医疗管理; 心理援助

基金项目: 国家自然科学基金联合基金(核技术创新联合基金)(U2267220); 放射医学与辐射防护国家重点实验室内部协作课题(GZN1202201); 苏州市临床重点病种诊疗技术专项(LCZX202105); 苏州大学附属第二医院学科建设托举工程(核技术医学应用创新团队)(XKTJ-HTD2021001); 中核医疗“核医科技创新”重点项目(ZHYLZD2021001); 中国宝原科研基金支持项目(270001)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202308004-00353](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202308004-00353)

Medical emergency and management of tritium-related accidents

Ma Nan, Feng Junchao, Liu Yulong

Centre of Nuclear Medical Emergency, the Second Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215004, China

Corresponding author: Liu Yulong, Email: yulongliu2002@126.com

【Abstract】 In recent years, the radiation effects of tritium have received widespread attention. Medical emergency to tritium-related accidents is a task with high requirements for specialized technology, wide coverage and wide impact. China's nuclear and radiation-related laws and regulations for emergency have a perfect emergency system and rescue management program. The author combines the characteristics of tritium radiation accidents and the relevant provisions of laws and regulations to analyze the three-level rescue system for medical emergency to tritium accidents, the medical management of tritium accidents and the psychological assistance of the illuminated personnel, etc., in order to put forward constructive opinions for the medical emergency and management of tritium-related accidents.

【Key words】 Tritium; Medical emergency; Medical management; Psychological assistance

Fund programs: Joint Fund of National Natural Science Foundation of China (Nuclear Technology Innovation Joint Fund) (U2267220); Internal Cooperation Project of the State Key Laboratory of Radiation Medicine and Radiation Protection (GZN1202201); Clinical Key Disease Diagnosis and Treatment Technology Special Project of Suzhou (LCZX202105); Discipline Construction Promotion Project of the Second Affiliated Hospital of Soochow University (a Team Project of Application Innovation of Nuclear Technology in Medicine) (XKTJ-HTD2021001); Key Project of "Nuclear Medicine Science and Technology Innovation" of China Nuclear Health (ZHYLZD2021001); China Baoyuan Scientific Research Foundation (270001)

DOI: [10.3760/cma.j.cn121381-202308004-00353](https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121381-202308004-00353)

氙是氢的同位素之一,也是氢发生核聚变反应的重要核素之一。近年来,随着核能的不断发展,在核电厂的运行、乏燃料后处理、放射性同位素的生产、核潜艇动力的研究过程中和核退役设施中,氙的释放越来越多,其均存在潜在的氙泄露风险。此外,核电站发生事故时还会导致更多的氙排放到环境中^[1]。近年来,日本福岛核事故产生的大量含氙放射性污水的排放^[2-4]使公众对氙的辐射效应及辐射防护、氙的应急等相关问题更加关注。中国的核安全白皮书^[5]指出,要提升我国核与辐射事故的应急能力。核与辐射事故的医学应急是国家核应急的重要组成部分,一旦发生严重的核与辐射事故,应将公众的健康放在第一位^[6],首先抢救放射损伤或受伤人员,其次维护国家的财产安全^[7]。做好核与辐射事故应急的准备与响应工作的重要性日益突出^[8],核应急作为核辐射纵深防御的最后一道屏障^[9],是一项社会系统工程,其涉及面广、社会影响大、敏感度高。涉氙事故的医学应急可参考核与辐射事故的医学应急,应有充分的组织准备、应急预案、周密的应急行动计划及平时的培训演练。

本文针对涉氙事故的发生特点,结合相关法律法规的规定,对涉氙事故医学应急三级救援体系、涉氙事故受照人员的医学管理及心理援助等方面进行分析,期望对今后涉氙事故的医学应急与管理提供建设性的意见。

1 核与辐射应急的相关法律法规

《中华人民共和国突发事件应对法》^[10]规定了突发事件应急的管理体制、监测与应急救援等基本制度及其法律地位。国家建立的应急管理体制为“统一领导、综合协调、分类管理、分级负责、属地管理为主”。突发事件应对工作实行“预防为主、预防与应急相结合”的原则。国家建立重大突发事件风险评估体系,对可能发生的突发事件进行综合性评估,减少重大突发事件的发生,最大限度地降低重大突发事件的影响。《国家核应急预案》^[9]是我国进行核应急准备与响应的指导文件,其指导应急相关人员科学统一地执行应急处置流程,有效应对和规范放射损伤人员的急救、放射性核素污染的去污洗消、心理咨询与援助等工作。《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》^[11]规定对放射源和射线装置实行分类管理,根据放射源、射线装置对人体健康和环境的潜在危害程度,将放射源分为I~V级,并采取不同的管理和应急措施。《国家突发公共卫生事件医疗卫生救援应急预案》^[12]规定了医疗卫生救援的组织体系,根据医疗卫生救援应急的分级时间启动相应的应急响应,规范了各类医疗卫生机构承担突发事件的医疗卫生救援任务及分级响应职责。《卫生部核事故和辐射事故卫生应急预案》^[13]细化了卫生部核与辐射事故医学应急的组织体系,规

定了相关单位的职责任务,明确了突发核与辐射事故医学应急坚持分级负责与属地为主的原则。《WS/T 467-2014核和辐射事故医学响应程序》^[14]是核与辐射事故医学救援的专业指导文件,规范了核与辐射事故现场科学统一的医学应急处置和救治流程,可以指导各级部门及医疗单位进行核事故与辐射事故的医学应急救援工作。《全国医疗机构卫生应急工作规范》^[15]对卫生应急机构的职责、管理制度、现场处置和队伍建设等方面进行了规范,明确各级卫生行政部门、各类医疗卫生机构在突发事件应急工作中的职责。

相关法规明确了核与辐射事故应急的管理体制、根本原则和各级各类医疗救治科学规范的应急处置流程,为核应急建设奠定了法律基础。相关涉核单位应严守各类法律法规,尽可能减少核与辐射事故的发生,减轻甚至消除核与辐射事故的危害。

2 涉氙事故的特点

《卫生部核事故和辐射事故卫生应急预案》^[13]对核事故进行了基本定义,由此,我们推及涉氙事故,即涉氙事故指核电厂或其他核设施中极少发生的严重偏离运行工况的状态,在这种状态下,氙的释放可能或已经失去应有的控制,超过可接受的水平^[16]。

2.1 氙的性质

氙只能进行低能量的 β 衰变,其产生的 β 粒子的穿透能力很弱,因此含氙物质外照射产生的危害局限于短时间接触大量含氙物质导致的烧伤。人体绝大部分的组成物质中均含有氢元素,氙是氢的同位素,因此氙和氢的化学性质相似。氙易形成水分子,且具备较强的化学置换特性和渗透性能,其易经水和食物进入人体与有机分子结合形成有机结合的氙(OBT)^[17]。氙进入人体2~3h后,人体内的氙均匀分布到全身,其中97%与人体内的水结合,其生物半排期为10d;另外3%与有机分子结合,其生物半排期为40d。氙对人体外照射的危害较小,可以忽略,其对人体的内照射是造成辐射损伤的主要原因^[18]。

2.2 涉氙事故对人体的影响

氙的辐射生物效应是评价氙对人体健康危害的基础。2021年,国际放射防护委员会(ICRP)第148号出版物^[19]总结了不同生物学终点的低能氙 β 粒子的相对生物效能(relative biological effectiveness, RBE)数据,与X射线和 γ 射线相比,氙的RBE报告值分别为1.5~2和2~2.5。Johnson和Rouleau^[20]对核电厂周围出生的新生儿的健康情况进行了调查,发现在气溶胶的放射性水平较高的地区,新生儿中枢神经缺陷的发生率较高,但未发现该结果与氙直接相关。截至目前,已有数例因氙的急性照射而导致人员死亡^[18]的报道。有研究结果表明,氙的急性照射导致人员死亡是

由于人体的骨髓细胞与氚的结合受到破坏,导致受照的有效剂量高达数十西弗^[21]。自然环境中氚的浓度远低于细胞试验和动物试验中氚的浓度,难以发现氚对人体健康造成的影响。大剂量的氚对人体健康可能产生的影响可通过非致癌影响和致癌影响等方面进行评估。

由于辐射源的多样性与不确定性,含氚(包含氚和其他放射性核素)泄露事故较为复杂,且较单纯氚泄露事故严重。含氚泄露事故早期造成的照射包括烟云浸没外照射、放射源导致的外照射和吸入氚导致的内照射。在事故后期,放射性物质在大气扩散、沉降或以放射性废水的方式排放到自然环境中,通过自身的衰变对人体产生外照射。虽然氚对外照射效应非常小,但发生 α 衰变的放射性核素的衰变过程伴随 γ 衰变,其对人体的影响不容忽视。日本福岛核事故产生的大量含氚放射性污水的排放,即是通过影响水源环境,进而对人体健康造成影响。

3 涉氚事故医学应急的方针与政策

涉氚事故的医学应急遵循核应急的基本方针,依法、科学统一地制定核医学应急预案,充分发挥现有的放射卫生防护机构的技术力量和装备,建立监测网络,掌握所在区域涉氚事故的情况,利用医疗单位的专业技术资源,制定核应急的医疗救援与处置计划^[6],平时做好医学应急的物资准备、人员培训、演习演练及装备配备等工作;发生涉氚事故时,及时有效地进行去污洗消,组织实施医学应急救援,最大程度地降低涉氚事故的影响。

4 涉氚事故医疗救治的三级管理体系

涉氚事故的医疗救治等级主要取决于事故的性质及其严重程度。涉氚事故可导致人体体表放射性沾染和(或)体内放射性污染,也可导致非放射性损伤,如烧伤、冲击伤、放射性复合伤。根据涉氚事故现场情况,伤员的受照情况、受放射性核素沾染和(或)污染情况、临床表现对受伤人员分类,对受伤严重程度不同的人员给予不同等级的医学帮助,即分级医疗救治。目前,国际上多采用三级医疗救治体系。

4.1 一级医疗救治

一级医疗救治(现场救护)由涉氚事故发生现场的卫生医疗部门负责。其首要任务是组织相关人员立即撤离事故现场,组织和指导症状较轻的受伤人员和(或)无生命危险的较重受伤人员完成基本的自救、互救。其次,初步估计人员的受照剂量,尽可能详细地了解事故源项(单纯氚泄露或含氚泄露的其他辐射源项)、受影响范围、辐射剂量及剂量率、放射性污染水平。设立人员临时分类站,进行初步分类诊断,并依据“先重后轻,先急后缓”的原则开展医学

救治工作。对氚内污染人员尽早采取阻吸收和促排措施^[22],对合并放射性伤口的人员进行伤口去污、包扎,对其他复合类受伤人员根据症状进行对症处理。最后,收集、留取生物样品(主要为尿液)用以估算生物剂量,登记受伤人员的相关资料和数据,以供二、三级医疗救治参考。参加一级医疗救治的人员应注意个人防护,穿戴好防护用具,必要时采取轮换作业等方式进行医疗应急救援。

4.2 二级医疗救治

二级医疗救治(当地救治)由事故发生地的应急卫生医疗单位实施,是一级医疗救治的及时补充,在需要时可给予一级医疗救治支援和指导。当地应急卫生医疗单位主要负责收治轻度、中度氚内污染人员和合并放射复合伤患者。二级医疗救治可利用当地的医疗资源对患者进行精准分类,通过尿氚浓度监测、临床检查、早期血象变化和临床症状估计患者的受照剂量,将重度及以上氚内污染人员和难以诊断和处理的人员送至三级医疗救治单位。

4.3 三级医疗救治

三级医疗救治(专科救援)由国家设定的具有放射损伤医学救治专科的综合医院承担,负责收治严重的氚内污染人员、中度以上急性放射病患者和严重的放射复合伤人员,其职责包括通过明确诊断,为受伤人员提供专科治疗;对于从接收区转入的患者进行专业的诊断检查,制定合适的治疗方案。完成三级医疗救治任务需要放射损伤各专科专家充分利用综合医院的优势,进行多学科的沟通与融合。通过二、三级医疗救治,可对受伤人员进行较为全面的放射污染检查,监测治疗过程中的各项指标,将其作为临床救治、预后判断和远期效应对比分析的依据。

5 涉氚事故受照人员的识别与医疗救治

氚通过各种途径进入人体后,会迅速、均匀地分布在机体所有器官和组织中的含水部分内,各器官和组织水相中的氚浓度相同,可引起全身性的放射性污染,其临床表现和实验室检查结果类似于外照射放射病,可能出现不典型外照射放射病的早期反应、造血功能障碍以及神经衰弱综合征等,极期发生较晚,病程迁延。氚内照射损伤主要通过氚含量的测量和剂量估算评估人体内氚内污染的严重程度,再结合临床症状、化验检查结果及人体各系统、器官的功能检查进行综合判断。

既往的救治经验表明,氚内污染人员的处置策略包括:(1)及时、快速、大量饮水是缩短氚的生物半排期最重要的措施。在既往的救治中,我们发现,每24h给予受伤人员5~10L浓茶水,同时给予利尿剂、维生素、复方氨基酸及电解质等营养支持,在治疗的前10天内,尿氚浓度下降较快,之后逐渐趋于本底水平。(2)将受伤人员的排泄物

收集在专门的容器里,及时进行监测,以避免污染扩大^[23-24]。

氚与公众健康密切相关^[25-26],因此其辐射效应不容忽视^[27-28],需要长期的关注。应对可能吸入氚或摄入氚污染的食品、水等的人员进行登记并进行剂量估算,确定是否需要进行医学随访。

6 涉氚事故受照人员的心理援助与公众的风险沟通

6.1 涉氚事故受照人员的心理援助

2020年,联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)对日本福岛核事故的放射性照射水平及其健康效应进行了全面评估^[29],日本福岛核事故发生10年后的剂量与健康效应评估结果表明,整个事故过程没有人员受到过度辐射的危害,未来可能难以观察到与辐射相关的健康效应,但核电站周围撤离人群的死亡率明显高于未在核电站周围的其他人群,其原因主要是人们对于核的恐惧、紧急撤离后导致的高度焦躁不安,使其产生悲观失望的情绪^[30]。在已发生的辐射事故的应急救助过程中,通常过于强调受照人员身体损伤的医疗救治,而未能充分关注事故对受照人员心理的影响,辐射事故对受照人员心理的影响可能比放射损伤对人体的影响更严重。近年来,放射损伤临床救治逐步将“身心兼治”纳入救治的核心理念中。通过对患者进行心理测评,分析测评结果,为其讲解、科普核与辐射的相关常识,详细解释病情的转归和预后,可使受照人员逐渐消除焦躁、辐射应激等负面情绪。

6.2 对公众的宣传教育

核与辐射事故对人和环境的辐射影响、经济影响可能是巨大的,是社会和公众难以接受的^[31],因此在事故发生后应重视对公众进行放射防护基本知识的宣传教育,其内容可包括氚导致的辐射健康效应、氚污染后进行医学处理的常规流程、氚事故的医学应急计划等,以消除公众的恐惧心理,缓解紧张的社会氛围,使公众对氚的危害和氚的辐射防护措施等有科学、正确的认识,使突发事件对社会、公众的生产和生活造成的影响降低到最小。

7 总结

核裂变反应堆涉及大量氚的排放,氚排放后以不同形式进入环境,在生物圈中迁移和循环^[32],因此对氚的辐射生物效应的评估变得越来越重要,尤其需要重点关注其对人体的影响。涉氚事故的医学应急需要根据事故早、中、晚期各阶段释放的放射性物质以及公众与放射性物质接触的不同照射途径进行评估,以采取不同的应急措施^[33]。在氚的应急响应中,现场监测到存在、可能存在氚泄露的区域或合并其他放射性核素泄露的区域,应立即实施区域隔离措施,将其中居留的人员撤出,并在专业人员的指导下

及时去污。人员去污和区域去污过程中产生的含氚污染物应妥善收集,以防污染扩大。

与其他灾害的损伤救治相比,涉氚事故医学应急救援工作具有一定的特殊性。涉氚事故涉及的患者数量通常不多,其中部分受照剂量较少的患者可在普通医疗机构进行处理,但有急性放射损伤或怀疑有急性放射损伤、放射复合伤的人员应迅速送往具备专门诊治技术和设施的放射损伤医疗单位进行诊断和治疗。涉氚事故的应急医学救援工作需要做好氚突发事件的相关应急准备,包括常规救治物资的储备,人员受照射后的剂量估算方法与程序的建立、维护,放射性污染的去污洗消技术与设备的支持,放射损伤的诊断、救治技术方案与相关药品的规范化管理。在应急预案中,应明确应急医学救援物资的储备情况和实施监督管理的情况,包括应急医学救援的必备设备、器材和药品等,尤其是应急救援药品,应包括现场应急急救药品、放射损伤救治药、促排药等。

涉氚事故的医学应急是一项技术性较强的工作,在事故发生前,应制定针对涉氚事故的医学应急计划,以预防、避免涉氚事故的发生;事故发生后,应按照应急预案采取有效的应急及防护措施,迅速进行医学应急准备与响应工作,降低事故的影响。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 马楠负责文章的撰写;冯骏超负责文章的修改与文献的查阅;刘玉龙负责命题的提出与指导、修改与审阅

参 考 文 献

- [1] Zhao C, Wang G, Zhang M, et al. Transport and dispersion of tritium from the radioactive water of the Fukushima Daiichi nuclear plant[J]. *Mar Pollut Bull*, 2021, 169: 112515. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112515.
- [2] Men W. Discharge of contaminated water from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident into the Northwest Pacific: what is known and what needs to be known[J]. *Mar Pollut Bull*, 2021, 173: 112984. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112984.
- [3] Kaizer J, Kontul' I, Povinec PP. Impact of the Fukushima accident on ³H and ¹⁴C environmental levels: a review of ten years of investigation[J/OL]. *Molecules*, 2023, 28(6): 2548 [2023-08-07]. <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/6/2548>. DOI: 10.3390/molecules28062548.
- [4] 吕德胜. 日本不顾国际社会反对正式批准核废水排海计划[J]. *雷锋*, 2022, 8(8): 68. DOI: 10.19564/j.cnki.leifeng.2022.08.017. Lyv DS. Japan formally approves nuclear wastewater discharge plan despite international opposition[J]. *Leifeng*, 2022, 8(8): 68. DOI: 10.19564/j.cnki.leifeng.2022.08.017.
- [5] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 中国的核安全[N]. 人民

- 日报, 2019-09-04(017).
The Information Office of the State Council of the People's Republic of China. China's nuclear safety [N]. People's Daily, 2019-09-04 (017).
- [6] 王睿昊, 刘玉龙. 核与辐射事故应急的医疗计划[J]. *辐射防护通讯*, 2018, 38(2): 44-45. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6356.2018.02.010.
Wang RH, Liu YL. Medical plan for nuclear and radiation accident emergency response[J]. *Radiat Prot Bull*, 2018, 38(2): 44-45. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6356.2018.02.010.
- [7] 王川, 马志刚, 袁添鸿. 福岛核电站事故对我国核电发展的启示[J]. *工业安全与环保*, 2014, 40(2): 83-85. DOI: 10.3969/j.issn.1001-425X.2014.02.026.
Wang C, Ma ZG, Yuan TH. The enlightenment of Fukushima nuclear power plant accident to China's nuclear power development[J]. *Ind Saf Environ Prot*, 2014, 40(2): 83-85. DOI: 10.3969/j.issn.1001-425X.2014.02.026.
- [8] 白光, 刘玉龙, 曹毅, 等. 提高我国核与辐射突发事件医学应急救援水平的思考[J]. *辐射防护通讯*, 2020, 40(4/5): 7-10, 21. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6356.2020.04.003.
Bai G, Liu YL, Cao Y, et al. Thoughts on improving nuclear and radiation emergency medical rescue in China[J]. *Radiat Prot Bull*, 2020, 40(4/5): 7-10, 21. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6356.2020.04.003.
- [9] 中华人民共和国国家核事故应急协调委员会. 国家核应急预案[EB/OL]. (2013-06-30) [2023-08-07]. https://www.gov.cn/yjgl/2013-07/09/content_2443474.htm.
National Nuclear Accident Emergency Coordinating Committee of the People's Republic of China. National Nuclear Emergency Response Plan [EB/OL]. (2013-06-30)[2023-08-07]. https://www.gov.cn/yjgl/2013-07/09/content_2443474.htm.
- [10] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国突发事件应对法[EB/OL]. (2007-08-30) [2023-08-07]. https://www.gov.cn/ziliao/flfg/2007-08/30/content_732593.htm.
The State Council of the People's Republic of China. Law of the People's Republic of China on Emergency Response [EB/OL]. (2007-08-30) [2023-08-07]. https://www.gov.cn/ziliao/flfg/2007-08/30/content_732593.htm.
- [11] 中华人民共和国国务院. 放射性同位素与射线装置安全和防护条例[M]. 北京: 中国法制出版社, 2005.
The State Council of the People's Republic of China. Regulations on the safety and protection of radioisotopes and radiation devices[M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2005.
- [12] 中华人民共和国卫生部. 国家突发公共事件医疗卫生救援应急预案[EB/OL]. (2006-02-26) [2023-08-07]. https://www.gov.cn/yjgl/2006-02/26/content_211628.htm.
Ministry of Health of the People's Republic of China. National emergency plan for medical and health rescue in public emergencies [EB/OL]. (2006-02-26) [2023-08-07]. https://www.gov.cn/yjgl/2006-02/26/content_211628.htm.
- [13] 中华人民共和国卫生部. 卫生部核事故和辐射事故卫生应急预案[EB/OL]. (2009-10-27)[2023-08-07]. https://www.gov.cn/govweb/zwgk/2009-10/27/content_1450118.htm.
Ministry of Health of the People's Republic of China. Emergency plan for nuclear and radiological accidents of the Ministry of Health [EB/OL]. (2009-10-27)[2023-08-07]. https://www.gov.cn/govweb/zwgk/2009-10/27/content_1450118.htm.
- [14] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会. WS/T 467-2014 核和辐射事故医学响应程序[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. WS/T 467-2014 Procedures for medical response during a nuclear or radiological accident[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [15] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会应急办. 全国医疗机构卫生应急工作规范(试行)[EB/OL]. (2015-10-28)[2023-08-07]. <http://www.nhc.gov.cn/yjb/s7859/201511/8b520f79cba04976bd563ab22bd0fc69.shtml>.
Emergency Office of the National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National health emergency response work specifications for medical institutions (Trial)[EB/OL]. (2015-10-28)[2023-08-07]. <http://www.nhc.gov.cn/yjb/s7859/201511/8b520f79cba04976bd563ab22bd0fc69.shtml>.
- [16] 游振根. 关于消防部队核与辐射事故应急救援力量建设问题的思考[J]. *城市建设理论研究(电子版)*, 2012, (7): 1-7.
You ZG. Reflections on the construction of emergency rescue forces for nuclear and radiation accidents in fire fighting forces[J]. *Urban Constr Theory Res (Electron Ed)*, 2012, (7): 1-7.
- [17] Okada S, Momoshima N. Overview of tritium: characteristics, sources, and problems[J]. *Health Phys*, 1993, 65(6): 595-609. DOI: 10.1097/00004032-199312000-00001.
- [18] 周文明, 古晓娜, 郝杰. 两种氘化水内照射剂量估算方法比较[J]. *中国工业医学杂志*, 2022, 35(3): 282-284. DOI: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2022.03.032.
Zhou WM, Gu XN, Hao J. Comparison of two methods for estimating the dose of internal irradiation in deuterated water[J]. *Chin J Ind Med*, 2022, 35(3): 282-284. DOI: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2022.03.032.
- [19] Higley K, Real A, Chambers D. ICRP publication 148: radiation weighting for reference animals and plants[J]. *Ann ICRP*, 2021, 50(2): 9-133. DOI: 10.1177/0146645319896548.
- [20] Johnson KC, Rouleau J. Temporal trends in Canadian birth defects birth prevalences, 1979-1993[J]. *Can J Public Health*, 1997, 88(3): 169-176. DOI: 10.1007/BF03403882.
- [21] 黄彦君, 陶云良, 上官志洪. 氚对公众的健康影响及风险评估[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2012, 32(4): 431-435. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2012.04.028.
Huang YJ, Tao YL, Shanguan ZH. Public health effects and risk assessment of tritium[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2012, 32(4): 431-435. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2012.04.028.

- [22] Chen WB, Li HW, Wang KZ, et al. Medical treatment and dose estimation of a person exposed to tritium[J/OL]. Dose Response, 2019, 17(4): 1559325819880670[2023-08-07]. https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1559325819880670?rft_dat=cr_pub++0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rft_id=ori%3Arid%3Acrossref.org. DOI: 10.1177/1559325819880670.
- [23] 陈炜博, 刘玉龙, 卞华慧, 等. 1 例氚内污染人员的剂量估算与医学处理[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(12): 1952-1955. Chen WB, Liu YL, Bian HH, et al. The dose estimation and the medical treatment of one person with tritium internal contamination[J]. Chin J Health Lab Technol, 2015, 25(12): 1952-1955.
- [24] 刘玉龙, 陈炜博, 卞华慧, 等. 1 例小剂量氚水体内污染人员的医学观察及处理[C]//中华医学会灾难医学分会第三届年会暨城市安全与灾难医学救援国际高峰论坛论文集. 上海: 中华医学会, 世界灾难与急救医学会, 2015: 25-26. Liu YL, Chen WB, Bian HH, et al. Medical observation and management of a case of small-dose tritium water internal contamination in a person[C]//Proceedings of the Third Annual Meeting of the Disaster Medicine Branch of the Chinese Medical Association and International Summit Forum on Urban Safety and Disaster Medical Rescue. Shanghai: Chinese Medical Association, World Society for Disaster and Emergency Medicine, 2015: 25-26.
- [25] 刘玉龙, 马楠. 核能运转中氚的防护[J]. 中国辐射卫生, 2021, 30(3): 386-390. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.03.025. Liu YL, Ma N. Tritium protection in the operation of nuclear energy[J]. Chin J Radiol Health, 2021, 30(3): 386-390. DOI: 10.13491/j.issn.1004-714X.2021.03.025.
- [26] Pédehontaa-Hiaa G, Holstein H, Mattsson S, et al. Tritium in urine from members of the general public and occupationally exposed workers in Lund, Sweden, prior to operation of the European Spallation Source[J]. J Environ Radioact, 2020, 213: 106141. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.106141.
- [27] 李圣日, 崔凤梅, 刘玉龙, 等. 氚水致癌、致突变和致畸效应研究进展[J]. 辐射防护通讯, 2019, 39(5): 32-35. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6356.2019.05.005.
- Li SR, Cui FM, Liu YL, et al. Advances in research on carcinogenic, mutagenic and teratogenic effects of tritiated water[J]. Radiat Prot Bull, 2019, 39(5): 32-35. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6356.2019.05.005.
- [28] Balonov MI, Muksinova KN, Mushkacheva GS. Tritium radiobiological effects in mammals: review of experiments of the last decade in Russia[J]. Health Phys, 1993, 65(6): 713-726. DOI: 10.1097/00004032-199312000-00009.
- [29] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation, UNSCEAR 2020/2021 Report Volume II. Scientific Annex B - levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: implications of information published since the UNSCEAR 2013 Report[M]. New York: United Nations Publication, 2021.
- [30] 潘自强. 切尔诺贝利和福岛核事故对人体健康影响究竟有多大?[J]. 中国核电, 2018, 11(1): 11-14. DOI: 10.12058/zghd.2018.01.011. Pan ZQ. How much impact of Chernobyl and Fukushima nuclear accidents on human health[J]. China Nucl Power, 2018, 11(1): 11-14. DOI: 10.12058/zghd.2018.01.011.
- [31] Matsunaga H, Orita M, Iyama K, et al. Intention to return to the town of Tomioka in residents 7 years after the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: a cross-sectional study[J]. J Radiat Res, 2019, 60(1): 51-58. DOI: 10.1093/jrr/rry094.
- [32] Eyrolle F, Ducros L, Le Dizès S, et al. An updated review on tritium in the environment[J]. J Environ Radioact, 2018, 181: 128-137. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2017.11.001.
- [33] International Atomic Energy Agency. Lessons learned from the response to radiation emergencies (1945-2010)[M]. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2012.

(收稿日期: 2023-08-08)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

关于关键词的使用

1. 关键词是为了便于编制文献索引、检索和阅读而选取的能反映文章主题概念的词或词组。一般每篇论文选取 2~5 个关键词。中英文关键词应一致。
2. 关键词尽量从美国国立医学图书馆的 Mesh 数据库(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=mesh>)中选取, 其中文译名可参照中国医学科学院信息研究所编译的《医学主题词注释字顺表》。未被词表收录的新的专业术语(自由词)可直接作为关键词使用, 建议排在最后。中医药关键词应从中国中医科学院中医药信息研究所编写的《中医药主题词表》中选取。
3. 应特别注意首标关键词的选用, 该词应反映全文最主要的内容; 切勿将副主题词当作关键词列出。未被词表收录的词(自由词), 必要时可作为关键词使用, 但排序应在最后。