

医学参考报

放射医学与防护频道

Radiological Medicine and Protection

Number 03

执行主编介绍



孙全富 研究员

二级研究员，博士生导师。共培养硕士研究生10名、博士研究生7名、博士后1名。中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所所长。分管人事、财务、应急、信息建设与管理、放射卫生技术支持、专业技术培训等工作。

主要研究方向及成果：长期从事放射流行病学研究与放射工作人员职业健康管理，研究工作包括天然高本底辐射与居民健康放射流行病学研究、高氡钍射气地区肺癌危险调查、辐射致健康效应评估、非铀矿山矿工放射性职业危害调查与控制研究、核设施周围人群健康与卫生调查、公众核与辐射危险认知、放射工作人员职业健康管理、医疗照射水平研究等。作为主要研究人员，2006年“高本底辐射地区流行病学研究”获中华医学科技奖二等奖，2007年“居住环境监测与对人体健康影响研究”获中华预防医学会科学技术奖二等奖。

主要学术组织兼职：第八届国家卫生健康标准委员会放射卫生标准专业委员会主任委员、《中华放射医学与防护杂志》主编、中华医学会放射医学与防护委员会前任主任委员、中国辐射防护学会副秘书长、中国卫生监督协会放射卫生专业委员会副主任委员以及ICRP第一委员会委员等。

消息

医学参考报社网站已开通，以放射医学与防护频道为主的各频道，现正免费注册注册会员，并可网上阅读报纸以及参加继续医学教育等学术活动。

网址：www.yxckb.com

我国核辐射卫生应急体系

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 孙全富 袁龙

当前，我国核能和核技术利用事业快速发展，国际局势持续深刻变化，朝核、伊核问题不断反复，单点核爆等“黑天鹅事件”威胁不容忽视，我国核辐射突发事件卫生应急工作面临新的挑战。为科学、有效应对核辐射突发事件，在国家卫生健康委的领导下，经过近年的积极建设，全国核辐射卫生应急体系基本建立，并在历次核辐射突发事件应急中发挥了重要作用。

一、国家级应急体系

2007年，中编办批准成立卫生部核事故医学应急中心（现国家卫生健康委核事故医学应急中心），经原卫生部批准，先后设立了3个临床部（中国医学科学院放射医学研究所和血液病医院、北京大学第三医院、解放军总医院第五医学中心）、1个监测评价部（中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所）和1个技术后援部（军事科学院军事医学研究院），见图1。

国家卫生健康委核事故医学应急中心办公室设在中国疾控中心辐射安全所，承担中心日常组织协调工作。同时，作为中心的监测评价部，中国疾控中心辐射安全所还负责支援地方开展人员去污洗消、食品饮用水监测、跨省区健康效应评价等工作，目前具备应急现场辐射监测与防护、人员去污洗消、辐射损伤人员内外剂量和公众辐射剂量估算、食品饮用水放射性监测评估、大人群健康效应评价等能力。

2005年，原卫生部在北京、天津2个国家核辐射损伤救治基地（中国疾控中心辐射安全所和北京大学第三医院、中国医学科学院放射医学研究所和血液病医院），见表1。国家级基地主要任务是：承担全国核辐射重度损伤病人的救治和北京市突发核辐射事件损伤人员的医学处理，组织开展相关科学研究；负责辐射监测、剂量估算和健康影响评价；开展辐射损伤救治人员的培训和技术指导；重大辐射

事故的现场指导。

目前，两个国家级救治基地合计拥有层流病床（用于重度以上放射病救治）40张，用于放射病救治的普通病床80张，去污洗消用房160平方米，各拥有一支约30人组成的核辐射突发事件卫生应急队伍，具备核辐射损伤伤员现场急救、伤员去污洗消、重度以上辐射伤员及严重内污染患者院内救治、稳定碘指导服用和医学随访等能力。

2011年以来，原卫生部与原国家卫生计生委相继建立了2支国家核辐射事件卫生应急队（北京、江苏）和1个国家移动核辐射事件卫生应急处置中心

（广东），见表1。

2014年，国家核应急协调委设立了5个国家核应急医学救援技术支持中心（国家卫生健康委核事故医学应急中心、中国医学科学院放射医学研究所和血液病医院、苏州大学附属第二医院、军事科学院军事医学研究院和陆军军医大学）和13支国家核应急医学救援分队（5支卫生健康系统医院、5支核工业医院、3支部队医院），见表2。

国家核应急医学救援技术支持中心主要承担国家核事故医学应急准备与响应涉及医学研究与技术支持任务。包括辐射损伤救治、公众辐射防护、

应急心理援助、健康风险评估等核事故医学应急相关技术储备和科学研究等任务。

国家核应急医学救援分队重点承担快速、就近支援所在区域（指驻地所在省及周边省份）核应急现场医学救援任务，具体承担指导并协助一线救援力量现场医学救治、伤员转运、个人剂量的监（检）测，受照人员的心理评估和干预等任务；根据需要担负跨区域支援任务。

二、省级应急体系

2005年，原卫生部在全国按区域建立了15个省级核辐射损伤救治基地（见表1），同时要求其他省份指定核辐射损伤救治医院。省级核辐射损伤救治基地主要任务是：承担辖区及周边省份的核辐射损伤救治任务；承担核辐射损伤病人的救治和医学随访；负责辐射监测、剂量估算和健康影响评价；负责核辐射事故损伤人员的现场医学处理。省级救治基地大部分具备现场急救、急性放射病（中重度）院内救治、内污

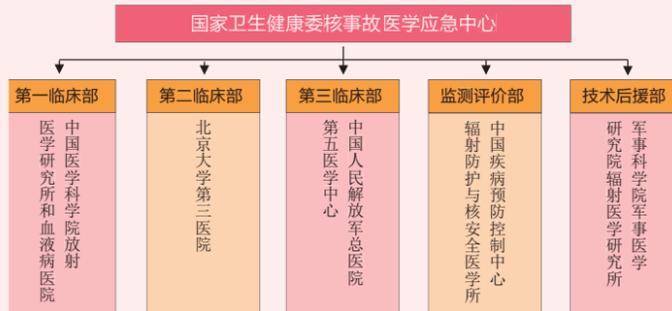


图1 国家卫生健康委核事故医学应急中心组织框架图

表1 核辐射损伤救治基地及国家核辐射卫生应急队伍一览表

国家级核辐射损伤救治基地	省级核辐射损伤救治基地	国家核辐射事件卫生应急队/移动处置中心
中国疾控中心辐射安全所和北京大学第三医院(北京)	包头市肿瘤医院(内蒙古)	中国疾控中心辐射安全所和北京大学第三医院(北京)
中国医学科学院放射医学研究所和血液病医院(天津)	吉林大学第一医院	江苏疾病预防控制中心
	上海市肺科医院	广东省职业病防治院
	连云港第一人民医院(江苏)	
	浙江省人民医院	
	福建省职业病与化学中毒预防控制中心	
	山东省医学科学院放射医学研究所和职业病防治院	
	河南省职业病防治院	
	华中科技大学同济医学院附属同济医院(湖北)	
	湖南省劳动卫生职业病防治所	
	广东省职业病防治院	
	四川省人民医院	
	贵州省职业病防治院	
	核工业417医院(陕西)	
	甘肃省人民医院	

下转第4版

导读

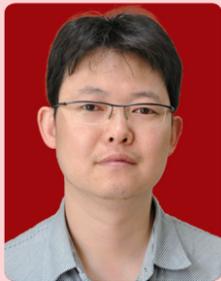
- 单一核武器袭击对现有卫生应急能力的挑战及应对 **2版**
- 应急工作期间的社会支持和随后的严重心理障碍 **3版**
- 对福岛事故中儿童和青少年甲状腺癌的健康管理调查 **5版**
- 氡暴露对健康的影响 **6版**
- 高通量生物剂量测定在核事故分类中的优化作用 **7版**
- 间充质干细胞在放射性肺损伤治疗中的应用 **8版**

终校	排版设计	年 月 日	经营监管部	年 月 日
	编辑出版	年 月 日	总编室	年 月 日

单一核武器袭击对现有卫生应急能力的挑战及应对

袁龙 付照明

作者介绍



袁龙 副研究员

现任中国疾控中心辐射安全所应急办主任(国家卫生健康委核事故医学应急中心办公室主任),从事核辐射卫生应急技术管理及科研工作。曾组织开展日本福岛事故、南京放射源丢失事故、某食品放射性事件、朝核事件等多起国内外核辐射突发事件的卫生应急处置及风险评估,组织起草和制定国家核辐射突发事件卫生相关应急法规、标准和预案,负责国家核事故卫生应急队建设及组织管理等工作。现任中国辐射防护学会、中华医学会灾难预防医学分会、卫生应急分会及中国辐射防护学会核与辐射应急分会等协会委员,作为世界卫生组织辐射应急医学救援网络(WHO-REMPAN)中国联络人,及世界卫生组织公共卫生应急专家库专家。

近期,国际上关注单一核武器攻击对卫生应急能力的挑战。美国佐治亚大学公共卫生学院灾害管理研究所主任 Dallas 教授在 International Journal of Health Geographics 和 Conflict and Health 等期刊发表了一系列分析单一核武器杀伤效应及评估现有卫生应对能力的论文。本文综述这些论文的要点,为国

内开展相关研究提供参考。

无论是地缘政治冲突导致的核爆危机,还是人为疏失导致的核电事故,都会立即引发空前的“构成国际关注的突发公共卫生事件”。尽管国际原子能机构(IAEA)和世界卫生组织(WHO)出台了核事件人员分类和处置计划以及监测技术标准,但在大规模核危机情况下,通过内部协调协作快速展开专业处置力量的能力仍严重缺乏。

在埃博拉疫情爆发初期也有类似困境,最终通过来自全球疫情预警和响应网络(GOARN)的传染病专家以及 WHO 支持的多个多学科外国医疗团队得以解决。这一成功促使 WHO 提出建立全球卫生人力(GHW)联盟。美国一些卫生应急/灾害医学专家提出利用现有的传染病爆发应急响应机制,将其扩展为核应急准备与响应战略架构。这些专家建议在 IAEA 和 WHO 医学应急准备和救援网络(REMPAN)技术专家库的基础上,建立核全球卫生人力(NGHW)联盟,从而实现在大规模核危机情况下快速部署强大的多学科响应力量,完成应急处置任务。

一、发生核战争的可能性较小,单一核武器袭击风险增加

在冷战结束时,全球大约有 25 000 枚核弹头,其中 97% 属于美国和前苏联。迄今为止,已知有 9 个国家拥有大约 16 350 枚核武器。庆幸的是,美国和俄罗斯大幅度缩减了处于待命状态的核武器,但被封存的核武器随时可被重新启用。

中、法、俄、英、美是被“不扩散核武器条约”正式承认的核武器拥有国。印、巴、以、朝 4 个事实上的核拥有国未加入或已经退出“不扩散核武器条约”。日本、伊朗等国拥有

表 1 全球核武器相关国家

拥有核武器的国家				
俄罗斯	英国	中国	巴基斯坦	朝鲜
美国	法国	印度	以色列	
在领土上部署核武器的国家				
比利时	意大利	土耳其		
德国	荷兰			
核联盟中的国家				
阿尔巴尼亚	捷克	冰岛	挪威	斯洛文尼亚
澳大利亚	丹麦	日本	波兰	韩国
保加利亚	爱沙尼亚	拉脱维亚	葡萄牙	西班牙
加拿大	希腊	立陶宛	罗马尼亚	
克罗地亚	匈牙利	卢森堡	斯洛伐克	
拥有可制造核武器的先进核材料的国家				
日本	伊朗			

先进核材料,具备制造核武器的潜力。此外,还有一些国家在其领土上部署了核武器或者依靠与美国的核联盟(见表 1)。2014 年美国科学家联合会的报告显示,至少有 40 个国家拥有能转用于核武器生产的核动力堆或研究堆,其中几个国家能在数月内制造核武器。

敌对邻国之间展开的区域核军备竞赛非常令人担心,以往的非核冲突有可能转化为核武战争。有的地区宗教冲突产生并持续了上千年,如印度的印度教徒与巴基斯坦的穆斯林之间。自从 1998 年印巴两国进行了针锋相对的核试验后,这一地区形势令人担忧。目前两国分别拥有 100 余枚核弹头并且可能还在持续增长。类似的情况还出现在以色列和它的伊斯兰邻国之间,以及在伊斯兰世界内部,逊尼派和什叶派之间。

从全球层面来看,美俄之

间具备“相互保证毁灭(mutually assured destruction)”的能力,它们各自拥有约 7000 枚大当量热核武器(大于 10 万吨当量)。中、英、法、以也拥有大当量热核武器,但数量相比美俄要少得多,大约各拥有 200 ~ 300 枚。其他国家如印、巴、朝不具备生产大当量热核武器的能力,且核武器装备数量较少(见图 1)。

从当前世界局势看,发生全球层面大规模核战争的可能性较小。但是中小型拥核/潜在拥核国家由于地缘政治或宗教矛盾等原因,对周边国家或全球主要大国发动单一核武器攻击的可能性不能排除。此外,恐怖分子可能利用非法取得的核材料(如高浓缩铀)制造简陋核爆装置,对主要大国发动单点核攻击。通常,这些攻击使用的核武器当量较小,破坏范围仅限于单个城市及其郊区。



图 1 全球核武器数量和当量示意图

二、单一核武器袭击对现有卫生应急能力的挑战

单一核爆袭击将给诸如伊朗这样一般发展水平的中型国家带来灾难性后果。计算表明,25 万吨以上当量核武器袭击将造成德黑兰约 600 ~ 700 万人死亡。此外,还将有 150 万名左右伤员需要救治,这对卫生应急能力提出严峻挑战。比较可能的情况是,100 万名以上烧伤患者得不到任何有意义的治疗。这是因为烧伤救治专业性很强,对救治设施要求高(如需要无菌环境),单位患者耗费的医疗资源(人力、设备)相较于冲击伤要大得多,由于感染等问题烧伤患者的预后不好。基于以上原因核爆后幸存的少数医疗资源很可能主要用于救治冲击伤,而占伤员总数比例最高的烧伤患者无法得到有效救治。此外,由于放射损伤患者要在接受辐射后几小时至几天才会出现症状,他们也很可能得不到任何救治。数十万冲击伤患者可能占用被袭城市内全部医疗救治资源,但这些人中合并烧伤和放射伤的患者很难得到理想的治疗结果。面对此种巨灾,有限的卫生应急能力会造成极其混乱的医疗响应过程,其结果是只有少数冲击伤患者能得到最低限度的医疗救治。在核爆后 24 ~ 72 h,大量重伤者(特别是复合伤患者)会死亡,将事件造成的本已非常高的死亡率推向更高水平。

即使像美国这样一个超级大国,单一核爆造成的影响都是现有卫生应急能力难以承受的。尽管美国国家灾害医学系统拥有约 10 万张应急病床,但它们广泛分布于全国各地,如何将伤员及时转运到这些地点是很大的挑战。特别是核爆后

下转第 3 版

医学参考报

理事长兼总编辑:巴德年
副理事长:曹雪涛等
理事会秘书长:周赞
社长:魏海明
副社长:吕春雷
副社长:周赞
社址:北京西城区红莲南路30号4层B0403
邮编:100055
总机:010-63265066

名誉主编:吴祖泽 潘自强
主编:马力文
副主编:陈英 刘 强 梁 莉 刘芬菊 尚 兵
常务编委:
陈红红 丁振华 郭国栋 江其生 金顺子 吕慧敏
吕玉民 李君利 李 蓉 李连波 刘玉龙 冉新泽
田 梅 问清华 万 玲 邢志伟 张照辉 朱国英
编委:
崔凤梅 崔 勇 曹宝山 高林峰 高 玲 何 玲
鞠永健 金义光 刘福东 凌光华 李 丹 刘鉴峰
林 智 廖宗辉 马庆录 马国林 宁 静 任福利
郭家龙 赵丽娅 王墨培 王嘉东 王治东 王志成
魏伟奇 肖德涛 谢 萍 肖 宇 徐 畅 姚 波
余长林 余祖胤 杨文峰 尹在哲 岳 瑶 张继勉
张玉松 张 庆 朱卫国 赵 刚 赵超英 左雅慧
专家委员会主任委员:尉可道
专家委员会副主任委员:贾廷珍 白 光
委 员:
傅宝华 龚守良 龚怡芬 姜恩海 李开宝 罗庆良
施仲齐 粟永萍 童 建 王洪复 王继先 王文学
王桂林 杨业鹏 周湘艳 张淑兰
编辑部主任:张照辉
编辑部副主任:曹宝山 廖宗辉 宋娜玲
编 辑:陈 森 岳 瑶 尹文净 张 煜
学术发展部主任:梁 莉
学术发展部副主任:王墨培

◀ 上接第 2 版

面临严重的放射性污染，运输车辆和飞机可能无法接近出现大量伤员的地区。美国全国共拥有约 1,500 张烧伤救治床位，这远不能满足核爆后动辄几十万烧伤患者的救治需求，而且这些烧伤床位可能已被原有的病人（非核爆造成的）占据。

现以华盛顿哥伦比亚特区受到 1 万吨当量核武器攻击后急救病床需求和实际可提供的床位为例分析美国现有卫生应急能力的不足（见图 2）。图 2 中两条虚线表示两个不同研究团队得出的 1 万吨当量核武器袭击后的医院急救病床需求，实线表示距爆心不同距离内现有应急能力可紧急准备的床位数。可以看出，在核爆后 24 h 内，紧急准备的床位数远不能满足应急需要；直到 48 h 后，可提供的床位数接近需求数量，但是主要分布在距离爆心 200 至 300 英里区域，爆心附近急救床位资源仍十分有限。

核武器攻击还会对现有医学应急资源将造成极大的影响和破坏，使面对核武器攻击本已不足的救治能力更加捉襟见肘。现以美国纽约遭受 55 万吨当量核武器袭击为例，其落下灰分布区域将覆盖整个长岛（Long Island），见图 3。特别是长岛西半部布鲁克林区等地人口密集，医疗机构众多，该区域落下灰照射剂量可造成 90% 以上人员死亡（图中红色区域）。这一辐射剂量除造成 500 万人以上死伤外，还造成该地区医疗机构几乎全部无法正常使用。邻近的曼哈顿区由于地处爆心，大火和强辐射将导致其医疗资源同样全部失效。只有纽约以西的新泽西州尚有一些医院可以使用，但是将长岛上的伤员运输到哈德孙河以西的新泽西存在严重困难。连接两岸的桥梁和隧道或被冲击波破坏，或遭受严重的放射性污染。唯一可行方法是采用水路运输，但水运能力十分有限，这又将极大限制核爆后尚存的医学应急能力的发挥。

此外，烧伤患者的救治存在特殊困难。首先，烧伤的清创、植皮和后续抗感染治疗专业性高、技术要求高，需要经过特殊训练的医师完成，其他专业的医师无法代替。其次，美国已经建立了放射事件药品储备机制，但没有建立大规模烧伤事件药品储备机制，大规模烧伤患者第一时间的用药存在短缺。再者，烧伤合并放射伤会大幅加重病情。动物实验表明，无热烧伤的 4 Gy 全身照射只造成 20% 实验动物死亡；但 4 Gy 辐射照射伴随 15% 面积热烧伤会使死亡率大幅上升至 90%。因此，对放射复合伤的救治研究亟待加强。

三、美国现有的灾害卫生应急课程

核事件卫生应急是灾害卫生应急的一部分，美国现有一套完善的灾害卫生应急培训课程。由美国医学会（AMA）牵头的 100 余个学院、州和联邦机构组成的国家灾害生命支持（NDLS）联盟开发了一个大规模伤亡事件响应和医学培训的课程。该课程是一个用于应对各种灾害类型的国家标准培训计划，已在美国 50 个州和其他 17 个国家开展培训。NDLS 开发的课程分为 3 个等级，即灾害生命支持核心课程（CDLS）、灾害生命支持基本课程（BDLS）和灾害生命支持高级课程（ADLS）。

CDLS 课程是一个时长 3.5 h 以能力为导向、认知水平的课程，介绍灾害和突发公共卫生事件管理中临床和公共卫生的概念及原则。具体内容包括公共卫生应急、个人及社区应急准备计划、灾害卫生系统、公共卫生法律法规、灾害应急范例等。该课程受众包括医疗急救人员、公共卫生人员和卫生支持人员等。

BDLS 课程是一个时长 7.5 h 的课程，介绍灾害和突发公共卫生事件中伤病员处置的概念和原则。该课程以 CDLS 课程为基础，是对 CDLS 中概念和原则的强化和应用。其重点是在各种类型的灾害中采用“全危害”方法开展大规模伤亡处置和人群护理工作。具体内容包括灾害基础知识、公共卫生在灾害中的作用、大规模灾害伤亡应急管理，涉及化学爆炸、外伤、核灾难、放射事故、自然灾害、生物灾害以及应急救援人员响应程序等。该课程受众包括医护人员、公共卫生人员、医疗急救服务人员、其他医学初始响应人员等。

ADLS 课程是一个时长 15 h 的高强度课程。该课程以参加过 BDLS 课程为前提，旨在提高学员的大规模伤亡处置能力。培训内容包括人群场景讨论、大规模伤员分类桌面和情景式演练、医疗设施激增场景桌面演练、个人防护设备的使用和去污技能培训、分小组开展的模拟伤员处置以及应急作业中心模拟演练等。该课程目标受众包括医生、护士、急救医技人员、药剂师和卫生专业学生等。

四、建议发展的全球核事件卫生应急体系框架

建议设立的核全球卫生人力（NGHW）联盟工作框架应包括对伤员分类的医学支援、对可能存活者的治疗和护理、对受影响较小人群以及撤离到安全地点人群的缓解治疗。持续支援和分配稀缺资源及提供决策支持，对最大限度地降低死亡率和发病率至关重要。这需要建立核应急伤员分类中心、核急救救治中心、核应急缓解治疗中心以及卫生系统支持中心。

1. 核应急伤员分类中心

需要集中协调的移动式或固定式初始伤员分类和剂量监测设施，用来有效识别、评估、转移、去污以及将伤员转运到救治或缓解治疗中心。伤员类型包括急性放射病、复合伤、局部放射损伤和放射性核素污染患者，过往的研究认为临床症状和血液学指标不足以支持初始伤员分类。所以，在核应急伤员分类中心，第一线伤员分类工作最好能得到快速生物剂量测定的支持。正确的伤员分类可以优化对事件中直接受伤人员的救治，减少间接或可预防的死亡或发病率。伤员分类是一个持续性过程，不是一次性的，当有新的监测和评估手段时，进一步检伤分类的结果可能与初始分类结果不同。

核应急伤员分类中心需要的专业人员主要包括：在 IAEA 响应和援助网络（RANET）中登记的伤员分类、生物剂量/生物检测团队；医学分类支持团队，包含放射医学、急救/灾害医学医师，执业护士，应急管理专家；提供分类咨询和建议的多学科专家；精神科医生/心理专家；核预防医学和公共卫生专家（开展监测和收集数据）；军民协调员（开展后勤、安全、运输、沟通和物资管理工作）；伤亡人员交接协调员等。

2. 核急救救治中心

需要固定式/以医院为基础的设施，用于提高伤员存活率并减少次级/间接死亡和发病率。核急救救治中心配备的专业人员包括：入口二次伤员分类团队，包含急救医师、执业护士、伤员分类资源管理者；二次生物剂量/生物检测团队；普通、烧伤、冲击伤、眼科和整形外科医师；放射科、放射肿瘤科、核医学科医师和辐射安全官；血液科、胃肠病科、临床毒理学、儿科医师；传染病/免疫学专家；急性和慢性病护理人员，包含手术、烧伤、重症监护护士；卫生保健专家；预防医学和公共卫生专家（开展监测和收集数据）；精神卫生专家和家庭辅导员；军民协调员（开展后勤、安全、运输、沟通、核技术和管理工作）；与外国医学团队（FMT）的协调员等。

3. 核应急缓解治疗中心

需要固定和移动式设施用来提供缓解治疗，包括止痛/疼痛处理，社会、心理、家庭和殡葬服务。在核应急缓解治疗中心工作的专业人员可由经过培训的志愿者、来自周边社区的支持服务人员组成。核应急缓解治疗中心配备的专业人员包括：临终关怀/缓解治疗护士；保健医生和护士；麻醉医师/护士和疼痛处理专家；精神科医生/心理专家；家庭辅导员；军民协调员（开展后勤、安全、运输、沟通工作）；与外国医学团队（FMT）的协调员等。

4. 卫生系统支持中心

该中心是为满足未受影响地区人群和撤离人员的需求，恢复、还原、修复和维护基本的公共卫生基础设施和卫生系统，确保他们可以获得卫生保健服务以减少间接发病和死亡。这包括对脆弱人群进行监测，其中包含监测非传染性指标。卫生系统支持中心将是外国医学团队（FMT）及其他卫生和非卫生相关的国际非政府组织（INGO）开展工作的主要场所。核全球卫生人力联盟（NGHW）将事先确定在护理难民和国内流离失所人员方面有丰富经验的非政府组织、FMT 和本地卫生护理志愿者，来提供补充护理服务。

应该对可能需要的专业类别及专业人员数量进行估计。例如，为应对核爆后大量创伤患者，需要受过康复医学训练的伤口和烧伤清创专家；在核爆后出现玻璃破碎的大范围区域（即使对小当量核武器，该区域范围也远超出冲击伤分布区域），需要眼科医生和验光师；为解决各治疗中心、避难营地和其他应急现场之间的紧急医学通讯问题，需要信息技术人员。

资源的转换使用也适用于核事件全球响应工作。例如，在短时间增加病床的能力，以及在不增加患者发病率或死亡率的前提下，将事件发生前已经住院的患者转移到核辐射事件区域以增加应对突发事件的资源。

五、小结

当前全球面临的核威胁有上升趋势，核爆造成的巨大伤亡人数以及伤情之复杂，使任何国家在面对核爆袭击这一巨灾场景时，其现有卫生应急能力都难以发挥有效作用。我们需要利用现有一般灾害卫生应急体系和能力，将其扩展升级为全球核事件卫生应急体系，以更好应对未来可能发生的核冲突。

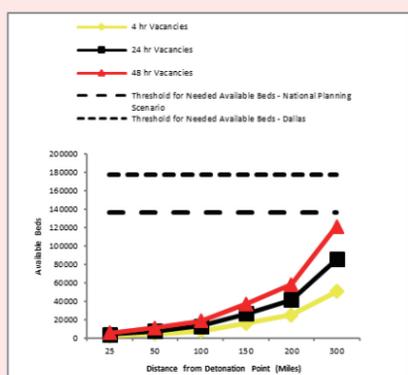


图 2 华盛顿哥伦比亚特区受到 1 万吨当量核弹袭击后医院病床需求（虚线）及现有卫生应急能力可紧急准备的床位数（实线）

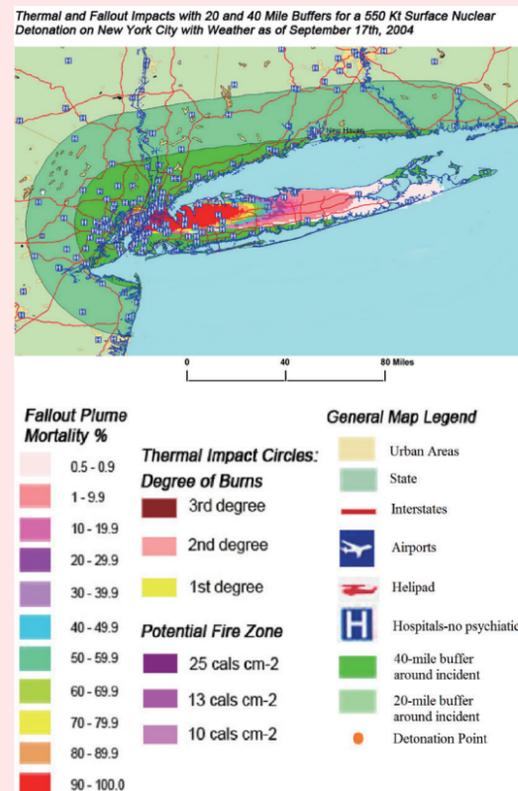


图 3 美国纽约遭受 55 万吨当量核弹袭击杀伤效应及救治资源分布

应急工作期间的社会支持和随后的严重心理障碍

【据《Journal of Occupational and Environmental Medicine》2019年06月报道】题：应急工作期间的社会支持和随后的严重心理障碍：应对福岛第一核电站事故的应急工作人员的横向研究（作者 Kosuke Mafune 等）

大约有2万名急救人员参与了对2011年东京电力公司福岛第一核电站事故的应急工作，大多数急救人员的心理健康现状和相关因素尚不明确。

为了研究应急工作期间社会支持

与事后严重心理障碍之间的联系，由日本职业与环境卫生大学、北里大学公共卫生学部医学、国防医学精神病学系学院、辐射效应研究基金会的相关学者针对福岛核事故应急工作人员开展了一项荟萃分析研究。该研究通过问卷调查的方式，衡量应急工作期间的社会支持、随后的严重心理障碍、职业和一些混杂因素，并进行多重逻辑回归分析。

具体研究内容包括：1. 应急工作

期间的社会支持（感知应急人员在应急工作期间获得的支持水平）；2. 应急工作期间的职业特征（参与日期、持续时间、具体工作）；3. 事后严重的心理障碍（心理压力量表）；4. 潜在的混淆因素（个体因子、人口特征、生活事件）。

结果显示：对于在现场工作超过31天的应急人员来说，上层支持者相关心理压力较低；对于在场工作10天或更短时间的应急人员，同事支持者相

关心理压力较低。结论：社会支持是重要的减少应急工作后续严重心理障碍的重要来源。

同时，作者指出作为第一个报告应急工作期间的社会支持与应急工作人员随后出现严重的心理障碍的相关研究，有其自身局限性（参与率低，横向研究，难以回忆等），目前的研究结果应谨慎推广。

（滕州市中心人民医院 孙义玲
苏州大学附属第二医院 刘玉龙 报道）

在核应急中使用碘化钾的科学声明

【据《Thyroid》2017年7月报道】题：美国甲状腺协会关于在核应急中使用碘化钾的科学声明（作者 Leung KM 等）

未来核应急风险：核电站事故风险持续存在。辐射风险：所有运营核电站意外释放的放射性物质预计碘131和其他少量的放射性碘同位素都包括在内。疏散风险：暴露的主要途径取决于个人在核事故发生时与反应堆现场的距离。在离反应堆大约10英里半径的范围内，吸入烟羽中的放射性物质是暴露的主要途径。在10英里半径之外，摄入是另一个重要的暴露途径，放射性物质沉积在植被上（主要是由于降雨），土壤和水源也会受到污染，从而导致放射性物质在食品表面沉积，通过食物链而被人类吸收。

在过去，核事故对甲状腺和其他健康造成了明显的影响。三个历史上的重大核电站事故为我们提供了广泛的视角，让我们了解到在核紧急情况发生后，

保护放射性同位素暴露所带来的教训和挑战。三哩岛事故（1979年3月28日）后释放了少量的¹³¹I，现场没有碘化钾（KI），也没有足够的KI供周围人群使用。在事故发生时居住在邻近地区和国家的儿童或青少年中发现了6,000多例甲状腺癌。儿童比成人消耗更多的牛奶。因此，如果牛奶受到污染，儿童就会得到更高的甲状腺剂量。

福岛事故（2011年3月11日）后国际原子能机构对福岛第一核电站事故的细节进行了广泛调查，大量的¹³¹I是在2011年3月11日日本东北地震后的海啸引发福岛第一核电站事故后释放的。这次核事故中被释放到环境中的¹³¹I，大约占切尔诺贝利事故释放量的10%。KI并没有预先分发给福岛第一核电站附近的居民。2011年3月13日，中央核应急指挥部建议40岁以下的撤离人员接受KI。由于福岛核事故发生才短短几年，而且辐射诱发的癌症

潜伏期较长，现在估计这次核事故对健康的潜在长期影响还为时过早。第一轮甲状腺筛查，包括超声和细针穿刺活检，已经在福岛县的大部分儿童身上完成（2011—2014），并且已经诊断出相当数量的甲状腺癌。从福岛核事故中得出的主要教训是控制饮食途径是可行的，即使在复杂的紧急情况下也是可行的。虽然日本政府最终建议使用KI，但估计的甲状腺剂量低于世界卫生组织（世卫组织）准则。报告显示，在福岛核事故发生后，日本真正摄入碘化钾的人相对较少。一般来说，加碘食盐和其他含碘食品的碘含量不足以阻断甲状腺的作用¹³¹I吸收。此外，摄入KI不能保护甲状腺免受内部或外部暴露于其他放射性同位素的影响。

美国疾病控制与预防中心和美国卫生与公众服务部已经提供了指导，指导哺乳期妇女在核应急情况下使用KI。KI的使用应该是应急计划的一部

分，包括在核应急情况下疏散、避难以及避免食用受污染的食品、牛奶和水。KI的使用和所有其他紧急措施的最高优先级应给予婴儿、18岁以下儿童和孕妇。在运营的核电站周围至少10英里的范围内，KI应该预先分发给各个家庭。在这个半径之外的区域也应该配备额外的KI储备。这应该是必需的，而不是可选的措施。对于距离正在运行的核电站50英里以内的个人家庭，KI应储存在当地的公共设施中，如学校、医院、诊所、邮局、药店、警察和消防站，并在当地卫生官员通知后分发。

总体而言，KI应该准备好从美国卫生和公众服务部（Department of Health and Human Services）的国家药品库存中向美国民众提供，但仅在监管指导下使用。

（浙江中医药大学附属第二医院 向军益
苏州大学附属第二医院 刘玉龙 报道）

上接第1版

染患者救治、辐射损伤分类、人员去污洗消、应急人员防护、食品饮用水监测、剂量估算与健康效应评价、稳定碘指导服用、心理援助等能力。

2017年，根据国务院《国家突发事件应急体系建设“十三五”规划》和国家卫生健康委《突发事件紧急医学救援“十三五”规划（2016—2020年）》要求，进一步提升核辐射突发事件监测、医疗救治水平和能力，委应急办组织未建基地省份开展核辐射紧急医学救援基地建设。“十三五”期间，拟新建4个国家级基地，分别位于辽宁、吉林、江苏、广东；新建7个省级基地，分别位于河北、黑龙江、安徽、广西、海南、云南、新疆。

三、市级应急体系

有核设施及重点边境地区市级核辐射卫生应急工作主要由市级指定医疗机构和疾控/职防机构承担。主要负责开展辐射伤员分类和污染检测、现场急救、轻度及非放射伤员救治、放射性污染伤员转运、现场辐射水平监测、表面污染检测、卫生应急人员防护、食品饮用水样品预处理等工作。

根据2017年的调查显示，9%的市级医疗机构具备伤员放射性污染检测与辐射伤员分类能力、39%具备辐射伤员现场急救能力、46%具备轻度辐射伤员院内救治能力、20%具备放射性污染伤员转运能力。39%的市级疾控/职防机构具备现场辐射水平监测能力、33%具备表面污染检测能力、33%具备个人防护能力、29%具备

表2 国家核应急救援技术支持中心和救援分队一览表

国家核应急医学救援技术支持中心	国家核应急医学救援分队
国家卫生健康委核事故医学应急中心	国家卫生健康委核事故医学应急中心
中国医学科学院放射医学研究所和血液病医院（天津）	中国医学科学院放射医学研究所和血液病医院（天津）
苏州大学附属第二医院（核工业总医院）	江苏省疾病预防控制中心
中国人民解放军军事科学院军事医学研究院（北京）	上海市肺科医院
陆军军医大学（重庆）	广东省职业病防治院
	苏州大学附属第二医院（核工业总医院）
	南华大学附属南华医院（原核工业415医院）（湖南）
	核工业416医院（四川）
	核工业417医院（陕西）
	核工业419医院（广东）
	中国人民解放军军事科学院军事医学研究院（北京）
	中国人民解放军陆军军医大学（重庆）
	中国人民解放军第313医院（辽宁）

食品饮用水样品预处理能力。约30%的市级疾控/职防机构配备了核辐射卫生应急监测基本仪器（辐射巡测仪和表面污染仪），但缺少专业技术人员。

四、县级应急体系

有核设施及重点边境地区县级核辐射卫生应急工作主要由市级指定医疗机构和疾控机构承担。主要负责开展辐射伤员分类、伤员放射性污染检测、现场辐射水平监测、表面污染检测、卫生应急人员防护、食品饮用水样品采集等工作。

根据2017年的调查显示，仅5%的县级指定医疗机构具备伤员放射性污染检测与辐射伤员分类能力，仅约10%的县级疾控机构初步具备现场辐射水平监测、表面污染检测、个人防护、食品饮用水样品采集能力，且严重缺少专业技术人员。目前，县级能力还相对薄弱。

目前从整体上看，我国已经基本建立了核辐射突发事件卫生应急体系，各级核辐射损伤救治机构和疾控/职防机构对核辐射突发事件具备一定的应对能力，物资装备和人才队伍建设均取得长足发展，能够在核辐射突发事件应急响应中发挥重要作用。但通过全国调查和调研也暴露出目前我国核辐射突发事件应急体系存在的薄弱环节，特别是市、县级机构能力还比较薄弱。各级卫生健康部门应有针对性地采取措施，强化核辐射救治、监测能力建设，完善救援网络，进一步提高我国核辐射突发事件卫生应急响应能力。

对福岛事故中儿童和青少年甲状腺癌的健康管理调查

【据《Journal of Epidemiology》2019年6月15日报道】题：影响福岛对儿童和青少年甲状腺癌的健康管理调查中非受检者比例的因素：基线调查结果（作者高桥邦彦等）

在2011年3月11日东日本大地震引发的核电站事故后，政府进行了福岛健康管理调查（FHMS），以支持福岛居民的长期健康。2011年10月，作为FHMS的一部分，福岛县政府启动了针对所有在福岛第一核电站事故发生当天居住在福岛县的18岁或18岁以下居民的甲状腺癌（甲状腺超声检查：TUE）超声波筛查计划。2011年10月至2015年4月对TUE进行的是基线调查，也称为第一轮TUE，或初步基线筛查。这为后续的全面筛查，从而在统一的队列研究计划中评估同一目标人群建立了基线。该筛查计划包括使用超声和一个后续确认试验进行的初步评估。在接受检查的300,473名儿童和青少年中，116名（39名男孩和77名女孩）被

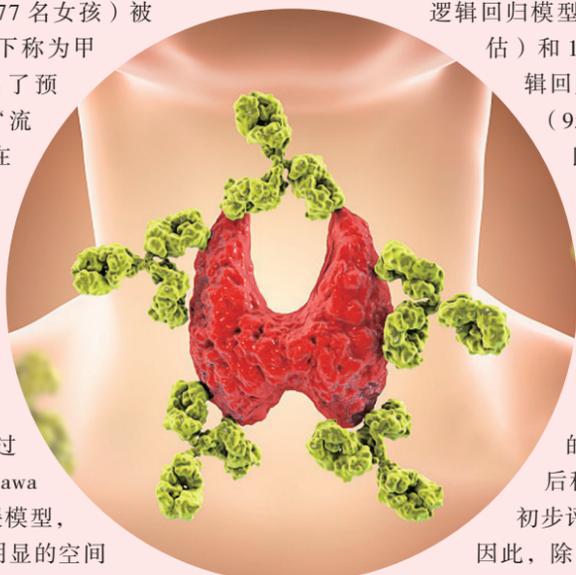
诊断患有确诊或疑似甲状腺癌（以下称为甲状腺癌病例）。这一案件数量超出了预期，因此引发了对辐射诱发癌症“流行”的怀疑。包括辐射科委会报告在内的多份报告也在此后讨论了观察到的案件数量是否过多。津田等人提出，居民暴露于环境中的放射性污染，是引起甲状腺癌地理过剩的一大原因。另一方面，Ohira等得出结论，甲状腺癌的患病率与当地的辐射暴露水平之间没有显著关联。此外，Katanoda等提出甲状腺癌存在潜在过度诊断；而Takahashi等和Midorikawa等已经考虑了与调查相关的癌症进展模型，Nakaya等则发现超声检查者中没有明显的空间异常/聚类或甲状腺癌患病率的地理趋势。

对于这种调查，正如上述研究所指出的那样，参与率，即受检者的比例是解释结果时需要考虑的重要因素。例如，为了研究辐射对TUE中观察到的甲状腺癌病例的区域分布的影响，参与

率可能成为估计病例数的干扰因子。2017年3月31日正式报告的TUE基线调查结果摘要（以下简称FHMS官方报告）显示，初步评估的参与率为81.7%，目标人群的参与率为92.9%。虽然FHMS官方报告中也报告了每个城市的比率，但该报告不仅应该明确参与的差异，还应该阐述人口统计特征，以评估甲状腺癌病例数量对统计分析的潜在影响。

来自日本名古屋大学医学研究生院的高桥邦彦等人对此进行了一项调查。在此次调查中，作者们评估了非受检者比例与目标人群特征之间的关系。在总结了2011年3月11日居住在福岛县的359,200（初级评估）和2,246（确认测试）人群中非受检者的地区差异后，他们估算了每个特征的优势比（OR），包括年龄、性别、居住地和事故后的移动。根据非受检者的初级检查和确认检测的比例，该研究使用了多变量逻辑回归模型。总数据集包括64,117名（初步评估）和194名（确认性测试）非受检者。逻辑回归结果表明，年龄的校正OR为0.80（95% CI 0.78~.81），意味着与男性相比，进行初步评估的女孩不太可能是非受检者。和与0~5岁的儿童相比，6~10岁儿童（y/o）拥有最低优势比（OR=0.26, CI 0.25 ~ 0.27），而11~15岁（OR=1.28, CI 1.25 ~ 1.32），超过16岁（OR=5.30, CI 5.16 ~ 5.43）则相对高些。在考察居住地这一因素时发现，居住在县西部的居民有着更高的OR。而事故发生后移动者中非受检者的比例高于未接受初步评估的人（OR=1.72, CI 1.64 ~ 1.79）。因此，除了人口统计学特征之外，居住地的变化可能是影响非受检比例的潜在因素。这项研究的结果将有助于正确解释调查报告和调查的前瞻性管理。

（上海交通大学医学院附属仁济医院 黄仁华
苏州大学附属第二医院 刘玉龙 报道）



联合执行主编介绍



刘玉龙 医学博士

现任苏州大学附属第二医院主任医师，博士生导师，主要研究方向为核应急医学及放射性疾病的防、诊、治。主要学术兼职有：IAEA核应急救援专家、国家核应急协调委专家委员会委员、国家卫生应急体系建设指导专家库成员、国家卫生健康标准委员会放射卫生标准专业委员会委员、中华医学会放射医学与防护学会委员、中华预防医学会放射卫生专业委员会委员、中国毒理学会放射毒理专业委员会委员以及多家专业期刊编委或常务编委。参加工作以来，以第一作者或通讯作者发表科技论文70余篇，获得省部级科技成果奖10余项。

福岛事故对周边淡草蓝蝶历史辐射剂量的继代影响

【据《Environmental Research》2019年1月报道】题：福岛第一核电站熔毁事故后，周边淡草蓝蝶历史辐射剂量的继代影响（作者Samuel Hancock等）

多年来学者们专注于研究切尔诺贝利事故后低剂量辐射的影响，但许多动物物种最初接受的剂量存在不确定性，福岛第一核电站事故为研究初始历史低剂量辐射对直接暴露在核辐射中的物种及其后代的影响提供了一个机会。这篇论文提出历史上的急性辐射及其产生的非靶向效应（NTEs）可能与福岛周围几代淡草蓝蝶（Zizeeria maha）的高死亡率/异常率有关。

在过去的研究中，低剂量辐射对非人类生物群的影响尚不清楚。切尔诺贝利在这个问题上进行的一些工作一直存在争议，因为有人认为受污染地区的剂量率太低，无法产生明显的影响。然而，对低剂量辐射一般效应的研究揭示了可能导致突变率升高的机制。本研究的目的是确定在福岛第一核电站事故中，祖先淡草蓝蝶所接受的急性剂量，以及由此产生的非靶向效应，尤其是基因组的

不稳定性，是否有助于观察异常的频率和死亡率。

本文采用Hiyama等（2012）在福岛附近采集的淡草蓝蝶及其后代的形态学异常频率数据，为了确定辐射效应，记录了翅膀畸变的频率、颜色和其他畸变以及死亡率。在5月和9月从野外采集了标本。每一批样本都被带到实验室，繁殖后代。这些后代是在充满植物的圈养环境中长大的，这些植物是从它们的自然栖息地带来的，以模仿它们的天然食物来源。没有进一步的照射，因此，畸变被认为是最初照射的跨代表达。

采用基于高斯烟羽模型的两剂量重建方法，本研究从地面光和烟羽光两方面确定了第一代曝光的外部吸收剂量。第一种方法使用的是数据收集时记录的剂量率，且只考虑到Cs-137。另一种方法通过释放速率和大气条件来确定剂量，并同时考虑了Cs-137和Cs-134。通过将重建剂量与几代淡草蓝蝶的死亡率和异常频率进行对应，发现不论是用Cs-137源还是Cs-134

源重建的历史辐射剂量越大，辐照前代后代的死亡率都呈线性增加。此外，在子代中观察到的形态学异常水平比在祖代中更高，平均异常频率也随着世代的增加而增加。由于这些结果是涉及非靶向效应的迹象，因此可以认为跨代增加的突变水平可能部分是由于第一代受照射者最初接受的低剂量引起的。然而，不排除其受污染的栖息地，是突变随着代数持续累积的影响因素。

本文的结果证实了之前的学者对切尔诺贝利鸟群数据的分析，并指出

历史性剂量可能为后代带来非靶向效应负担，此负担需要被考虑进剂量效应关系的建模，以及环境和野生动物的辐射防护框架。虽然计算的剂量与形态异常频率和死亡率之间有很强的依赖性，但仍有可能是跨代突变积累机制在起作用。本研究丰富了现有的现代放射生态学文献，进一步强调在评估辐射对野生动物健康的影响时，必须考虑基因损伤的跨代遗传影响。

（苏州大学附属第二医院
王敏 刘玉龙 报道）



氡暴露对健康的影响

【据《Yonsel Medical Journal》2019年7月报道】题: 氡暴露对健康的影响 (作者 Jin-Kyu Kang 等)

1924年, Ludewig 等人报道称, 在捷克斯洛伐克的某些矿井中检测到空气中高浓度的氡, 那里肺癌的发病率很高, 这导致了氡暴露可能导致肺癌的假设。自20世纪40年代“冷战”时代以来, 世界各地特别是德国、捷克共和国、加拿大和美利坚合众国都开发了许多铀矿。对在这些铀矿工作的矿工进行的流行病学研究表明, 他们比一般人群更容易死于肺癌。自20世纪50年代以来, 人们认识到氡及其子代可以在家里高浓度积累, 这引起了人们对普通人群家庭室内暴露可能导致的肺癌风险的担忧。由于认识到这一点, 自20世纪80年代以来, 许多直接涉及普通人群中家庭室内氡暴露与肺癌关系的流行病学研究公布。1986年, 氡被世界卫生组织和1988

年国际癌症研究机构列为致癌物。

关于地下矿工氡暴露与肺癌风险之间关系的第一项综合研究是电离辐射的生物学效应 (BEIR) IV 报告, 其中包括科罗拉多州、安大略省、埃尔多拉多和马尔伯吉特的矿工队列研究。在 BEIR IV 报告发布五年后, 国际辐射防护委员会 (ICRP) 65 报告发布。ICRP 65 报告中所涵盖的一些流行病学研究与 BEIR IV 报告中所涵盖的研究重叠, 并增加了一些研究。联合国原子辐射影响科学委员会 2006 年报告中描述了一项更广泛和全面的研究。委员会建议室内氡最大参考水平从 600 Bq/m³ 降至 300 Bq/m³, 相当于工作场所的年有效剂量为 4 mSv, 家庭的年有效剂量为 14 mSv。

随着对矿工职业性氡暴露导致肺癌风险增加的识别, 一般人群中的居民暴露也有望增加肺癌风险。但是, 应考

虑到直接推断地下矿工的结果存在很大的不确定性, 因为地下矿工队列的特殊性质和一般人群队列的吸烟习惯可能不同。以及接触其他有害物质, 也可导致肺癌, 如砷和石英。与矿工的职业暴露相比, 许多关于普通人群的居住暴露的研究显示统计上没有显著性。世界卫生组织认为, 氡暴露是仅次于吸烟的第二大肺癌病因。

有许多科学证据表明, 氡暴露可导致肺癌; 然而, 尚不清楚氡是否可导致肺癌以外的疾病。由于人体吸入氡的独特生物动力学, 到达特定器官的有效辐射剂量远低于肺部接收的有效辐射剂量。由于氡主要通过释放 α 粒子影响人体, 因此外部暴露几乎不会引起健康问题。

许多关于氡暴露与血液肿瘤之间关系的研究已被报道, 但一些研究甚至报告了负相关, 因此, 氡暴露可能导致白

血病的观点一般不被认为是科学事实。氡暴露与中枢神经系统肿瘤的关系也不确定。氡暴露与甲状腺癌、皮肤癌、头颈癌、胃癌、心脏病、与生殖、胎儿和遗传效应之间的关系也没有同样的科学依据。

科学证明暴露在氡下会导致肺癌。然而, 肺癌以外的疾病似乎是无关的, 与某些疾病的关系仍然存在争议。然而, 随着公众对核或辐射相关问题的兴趣增加并引起过度关注, 大众传媒和相关专家需要在科学证据的基础上不断向公众提供准确的信息。当大众媒体或相关专家向公众传播信息时, 需要一个由许多研究支持的平衡的观点, 而不是专注于一个或两个研究。为了商业目的和经济利益而进一步传播公众对氡的恐惧的现象应该被消除。

(苏州大学附属第二医院 卞华慧 刘玉龙报道)

放射生物学揭示低剂量辐射的潜在健康影响

【据《Journal of Radiological Protection》2019年6月报道】题: 关于低剂量辐射的潜在健康影响, 放射生物学学会告诉我们什么? (作者: Edouard I. Azzam)

迄今为止, 人类受到低剂量和低剂量率电离辐射后所产生的健康风险仍然是不明确的, 并且始终是辐射领域专家讨论的主题。学术管理机构已经认识到, 需要根据低剂量/低通量辐射照射的潜在机制建立风险评估标准, 这对于降低预测人类受到低剂量辐射照射的不利健康风险的不确定性至关重要。本文简要回顾了低剂量和低剂量率辐射引起分子和生物化学领域变化的实验室证据; 特别讨论了两种效应, 即可能影响低水平辐射健康风险的旁观者效应和适应性反应, 以及对此进一步研究的必要性。通过对

这些知识的扩展, 同时考虑影响辐射效应的重要因素 (例如遗传易感性, 受照后时间等), 以及使用实验模型的最新进展和生物信息学工具, 也许可以降低预测低剂量辐射健康风险的不确定性。

目前, 关于诱导培养的细胞和组织在受到低剂量辐射后所产生的生物学和生物化学方面的变化研究已经有了重大进展。这些研究有助于建立生物剂量-反应模型以及评估低剂量辐射的健康危害。然而这些研究仍然存在很多问题。大多数关于评估 DNA 的破坏作用或信号事件调控的体外研究都是用乏氧状态下的二维培养体系中生长的细胞进行的, 很显然需要扩展到模拟人体内环境生长的三维体系中。研究中使用的细胞通常也是转化细胞,

而非正常原代细胞, 并且主要研究的是近期效应。这些研究还需要在模仿人体内氧分压的条件下进行, 细胞氧分压可能影响酶活性。事实上, 令人惊讶的是, 在 X 射线发现后不久电离辐射生物效应已很明显, 但在放射生物学实验中并没有更大程度地考虑到氧的影响, 而且在辐射效应中不同类型细胞之间的相互作用还需要被反复验证。

应用最新的基因组技术进行研究有望解释特定的低剂量效应, 其性质不同于高剂量辐射诱导的效应。目前大部分研究重点已经放在 mRNA 和蛋白质表达水平的变化、翻译后修饰 (磷酸化、乙酰化、亚硝基化)、分泌蛋白质组、脂质的变化等, 希望可以得到有用信息。利用人工智能及其他先进

方法, 从低剂量辐射人群个体组织 (如外周血细胞) 中获得大量基因组学数据, 将可能会有重大发现, 并且可以得到低剂量辐射的远期效应数据。更重要的是, 基因组技术将有助于发现低剂量辐射效应的生物标志物。同时, 这些研究均需考虑影响辐射效应的重要因素, 包括受照年龄、遗传易感性、受照后时间、以及多次受照间的间隔时间等。应用这些经过严格验证的数据来建立生物剂量-反应模型, 将有助于降低预测低剂量辐射健康风险的不确定性。大力支持这些研究将非常有助于对氧化应激的机制的充分认识, 并对低剂量辐射效应的调控管理问题具有重要意义。

(苏州大学附属第二医院 王优优 刘玉龙报道)

空间辐射的致癌作用

【据《PLOS One》2016年9月等报道】题: 高能粒子致胃肠道肿瘤 (作者 Trani D 等)

空间辐射作为载人航天长期飞行及深空探测面临的最重要的环境因素之一, 一直受到全世界载人航天国家的高度关注。ICRP 通常将辐射相关研究按照效应、剂量、医学、应用及环境 5 个方面展开。根据载人航天飞行任务中空间辐射及其研究的特点, 其研究方向主要聚焦在辐射剂量测量、辐射生物学效应、辐射风险评估技术及辐射防护技术等 4 个方面。针对独特的空间辐射环境给航天员造成的确定效应、随机效应及非癌症疾病等, 近几十年来, 各载人航

天国家投入了大量的精力进行研究。由于复杂的空间辐射源对组织器官细胞分子的独特损伤, 缺乏地面人群数据, 地面实验条件限制, 以及从动物模型和离体模型外推到人体数据的局限性等复杂因素, 目前对辐射导致的死亡风险及特有的影响仍知之甚少。长期飞行及深空探测任务辐射生物效应始终是各载人航天国家高度关注的问题之一, NASA 将其概括为致癌、中枢神经系统 (central nervous system, CNS) 影响、退行性变 (心血管、免疫系统变化, 白内障等)、辐射综合症 4 种影响类型。NASA 空间辐射计划专题 (space radiation program element, SRPE) 研究的优先级顺序中

将致癌作用的研究列在第一位。

相关研究表明, 飞行中或飞行后发生癌症的风险均与所受辐射剂量有关, 剂量增加则癌症风险加大。Weil 等研究了 ²⁸Si 离子、⁵⁶Fe 离子高能重离子及质子致鼠白血病和肝癌的效应, 认为高能重离子致白血病的相对生物效能 (relative biological effectiveness, RBE) 较低, 实体癌 RBE 较高。Ding 等多个研究团队针对支气管上皮、肺癌、肠癌等的研究表明, 高低 LET (linear energy transfer) 间、高低辐射剂量及不同离子照射所致生物效应中存在着不同的信号通路, 基因表达明显不同。Gonon 等利用 CR39 核径迹探测器研究

了重离子非靶效应, 发现 DNA 损伤主要出现在未被高原子序数和能量击中的细胞上, 提出辐射致癌作用中存在着持续氧化应激和炎症激活的途径。

Casolino 等指出长期国际空间站飞行中航天员所受剂量大于 70 mSv, 该剂量一般认为会使癌症发生率增加, 但从循证数据上看, 受低剂量率空间辐射照射的国际空间站航天员, 与美国普通人群相比其癌症发生率并没有增加。这可能是由于近地轨道飞行辐射和剂量率很低、航天员数量太少、航天飞行与当前健在的航天员时间相隔太久等因素所致。

(苏州大学附属第二医院 陈炜博 刘玉龙报道)

高通量生物剂量测定在核事故分类中的优化作用

【据《International Journal of Radiation Biology》2018年10月报道】题:高通量生物剂量测定在核事故后辐射暴露人群分类治疗中的优化作用(作者 Aviva R. Jacobs 等)

据美国 Buddemeier 等人 2011 年报道 10 千吨 (kT) 核装置的突然爆炸,将会导致超过 30 万人受到辐射损伤并需要进行医疗管理。预计将有一半以上的伤者不需要任何医疗干预,大约 50000 人即使进行积极的医疗干预,死亡的可能性也很大,还有约 10 万人最有可能从骨髓细胞因子治疗中获益。但是在基础设施受损和疏散人员有限的危急情况下,如何快速识别这类最有可能从医疗干预中受益的人群将是紧急救援人员和医务人员面临的艰巨挑战。大规模核辐射事件发生后,对辐射暴露人群进行准确且高通量的快速诊断将是核事故医学应急的有效措施。

当今,急救人员和医生主要依靠血液学指标、临床症状及体征和模拟核爆炸来确定治疗方案。目前的方法虽然有用但都有一定的局限性,在面对大规模核事故应急时,要么不能满足实际情况,要么会显示出较高的假阳性和假阴性率。为了应对大规模核事件的应急,美

国 DxTerity 公司联合杜克大学、加州大学洛杉矶分校、希望之城癌症中心等研究人员研发并验证了一种新型的高通量生物剂量测定—REDI-DX 生物测量系统。研究人员通过收集未受照射的健康人员的外周血样本、接受放射治疗的癌症患者或者是先前研究存储的受照外周血样本,基于 DxDirectVR 基因组平台对外周血样本进行一组辐射敏感基因的基因表达测量,以估测核事件后血液

样本中吸收的电离辐射的个体化水平,并验证了实际吸收剂量为 2.0Gy 和 6.0Gy 时 REDI-Dx 测试的灵敏度和特异性。

研究结果显示,该测试系统具有较高的特异性,且不受医疗条件的影响。使用接收器操作特性 (ROC) 曲线分析,证明了 REDI-Dx 可以准确且快速将辐射暴露者进行分类。在实际吸收剂量为 2.0Gy 时,具有 98.5% 的灵敏度和 90% 特异性。实际吸收剂量为 6.0Gy 时的敏

感性为 92%, 特异性为 84%。结果是可重复的。因此,急救人员和医务人员可以结合辐射扩散监测和临床症状,使用这一估测值,准确且快速地将高度和适度暴露的个人从有关的公众中区分出来进行优先治疗。这是第一个用于放射生物剂量测定的 CE-IVD 检测产品,它设计应用在现有的临床检测仪器上,由 ABI 3500 Dx CE 的仪器进行读取。此外,研究指出,REDI-Dx 以其便利的样品运输方法、6 小时的结果读取时间和标准化的 CE-IVD 高通量检测试剂盒,克服了现有测试方法测试容量有限、标准化缺乏以及 72 小时测试结果必读的局限。

该研究指出,在大规模核事件应急中,REDI-Dx 生物剂量测定是一种灵敏且特异的能够对辐射吸收剂量进行测定,从而将辐射暴露人群进行快速准确的分类。与单独使用现有的工具相比,使用生物剂量测定法(如 REDI-Dx 测试系统)将提供有价值的信息,与现有的生物剂量测定工具相结合,可提高将患者分配到正确治疗类别的核应急能力,可作为有效的核应急医疗管理整体战略的一部分。但目前该产品仍处于研究阶段,尚不能应用于临床诊断及患者的管理。

(毕金玲 刘玉龙 报道)



图 1 REDI-Dx 系统的工作流程

高温环境对热释光剂量计测量结果的影响

【据《Radiation Protection Dosimetry》2019年6月报道】题:高温环境会导致热释光剂量计信号丢失(作者 Andrew Villanueva 等)

热释光剂量计 (TLD) 是一种利用热致发光原理记录累积辐射剂量的器件,具有尺寸小巧、成本低廉、量程范围宽、常温衰退小等优点,被广泛应用于核工业、医学和其他与辐射相关领域从业人员的电离辐射剂量监测。TLD 每次使用后需退火去除残留剂量,以免影响下次的测量。Zimmerman 的研究证实了退火后辉光曲线呈指数下降,符合 Randall 和 Wilkins 提出的捕获电子数量随温度变化的模型。另一方面,Luo 通过研究不同材料的 TLD 持续 500 天在 0 °C、20 °C、40 °C 的环境温度下信号和灵敏度损失情况,发现保持在 40 °C 的 TLD 丢失信号的速度比在 20 °C 时更快。Delgado 的研究发现 70 °C 对 TLD-100 的信号丢失同样存在显著影响。

意外辐射后退火是指 TLD 在除数据采集或实验以外的任何情形下都处于高温环境的情况。来自弗吉尼亚联邦大学的 Andrew Villanueva 选择了 40 °C、50 °C、60 °C、70 °C、80 °C 和 90 °C 的温度范围来模拟不同环境温度对 TLD-100H 热释光剂量计测量结果的影响 (TLD-100H 热释光剂量计的 2σ 不确定度为 ±15%)。本次研究选用的辐射源为 PXI 225XL 辐照仪,产生射线平均能量为 70 KeV,曝光时长 5 s,累积剂量 240 mSv。完成辐照后,将 TLD 放入数字真空炉内,在标准大气压下,用上述不同温度下分别烘烤 2 h、8 h 和 24 h。随后,将 TLD 冷却至室温,使用 TLD 阅读器进行读取 TLD 数值(加热速率 25 °C/s,最高温度 300 °C)。实验结果表明(见表 1),当烘烤时间为 2 h 时,40 °C 和 90 °C 的 TLD 光输出测量值百分比具备较大的不确定性,结果无统计学意义,其余温度条件下的测量值均存在下降趋势;当烘烤时间为 8 h 时,所有温度条件下的测量值均下降,且在 70 °C 和 80 °C 时呈指数下降,90 °C 时接近 100% (即实际剂量为 0);当烘烤时间为 24 h 时,测量结果的趋势与 8 h 相同。

因此,我们可以认为 TLD-100H 的报告剂量在环境温度为 40 °C 至 90 °C 范围内有统计学意义的减少。同时,通过对比 8 h 和 24 h 的试验,在每种温度下,减少的光输出在统计上是相同的,可以认为当 TLD 暴露在高温环境 8 h 后,时间长短对测量结果几乎没有影响。

(苏州大学附属第二医院 于军 刘玉龙 报道)

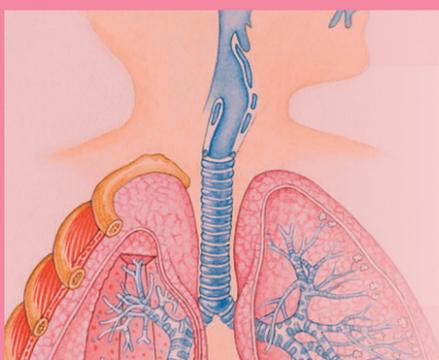
核辐射传感技术进展: 三维伽玛射线视觉

【据《Sensors》2019年6月4日报道】题:核辐射传感技术进展:三维伽玛射线视觉(作者 Kai Vetter 等)

近年来,由于传感和数据处理技术的巨大进步,再加上核辐射探测和成像方面的最新发展,三维场景数据融合 (SDF) 技术的应用,使我们现在可以实时地“看到”放射性核素辐射的三维成像。它克服了目前使用的大多数辐射测绘系统的几个局限性,实现了伽马射线发射的映射,并最终实现了无要求的移动平台的剂量率。长时间的设置需要共同注册(或同步)仪器和现场的位置。这样就可以更快、更准确地测量三维环境,并进行实时观测,以及得到几乎即时的反馈。

SDF 的方法是基于—组测距传感器、辐射检测和成像仪器,以及用于映射、姿态估计、辐射(图像)重建的算法,以及数据融合、测距和传感器,如结构光,光探测和测距,或视觉摄影测量提供点(或面),反映相对距离。它能够映射一个局部场景,并将场景数据与三维核辐射数据融合,同时该仪器可以自由地在场景中移动。这一新技术与部署平台和特定的辐射探测或成像方式无关。是以计算机视觉与核辐射探测和成像技术相结合为基础的概念,为核辐射的测绘和可视化提供了新的手段。为了实现实时映射,我们使用了 16 或 32 根旋转激光束的激光雷达,这些激光束以几十赫兹的频率旋转,通常产生数十万点每秒,精确范围可以从数厘米至 100 米之间。激光雷达通过测量从表面反射的发射激光脉冲的飞行时间来测量距离。每个返回脉冲在场景中创建一个点,其三维坐标由激光发射的两个坐标和测量的距离确定。使用同步定位和映射 (SLAM) 算法在毫秒内映射和估计仪器的位置和方位(姿态)。一个具体的同步定位和映射实现,使用的是谷歌制图器的机器人操作系统集成。测距传感器和同步定位和映射的组合广泛用于自主系统的控制和导航。为了使同步定位和映射的跟踪更加强大,补充激光雷达 GPS 和惯性测量单位或 IMUS。通过了解正在创建的场景或地图中的辐射检测或成像仪器的姿态,当系统在现场移动时可以将计数或图像信息反投影到场景中。我们在不同的地点,例如日本福岛县或乌克兰的切尔诺贝利,在无人和载人航空上或地面平台演示了这种三维场景数据融合的概念。它提供了新的手段,用于探测、测绘和可视化与核和放射性设施安全

下转第 8 版



间充质干细胞在放射性肺损伤治疗中的应用

【据 (Stem Cell Research & Therapy) 2018 年 9 月报道】题: 间充质干细胞在放射性肺损伤治疗中的应用 (作者 Tiankai Xu 等)

由于放射治疗在胸部肿瘤中的广泛应用, 我们开始认识到放射性肺损伤严重限制了放射治疗的效果。不幸的是, 我们仍然没有有效的方法来阻止放射性肺损伤的发生。在过去的几十年中, 许多研究报道表明间充质干细胞对组织的修复和再生的具有正面作用, 它不仅可以分化为肺泡上皮细胞, 分泌抗炎因子, 还可以为肺损伤修复的基因治疗提供一些载体, 为放射性肺损伤的治疗提供了新的思路。

1. 放射性肺损伤的机制

当肺组织被 X 射线照射时, 辐射会使细胞受到直接或间接的损伤。一旦剂量超过辐射阈值, 其所造成的损伤可能会超出人体内在的修复能力, 并导致辐射诱发的肺损伤。放射性肺损伤可分为放射性肺炎 (RP) 和放射性肺纤维化 (RIPF) 两个阶段, 它们分别代表放射性肺损伤发展的早期和晚期阶段。研究人员普遍认为, 电离辐射可以导致上皮细胞和内皮细胞的损伤, 破坏血气屏障, 增加血管通透性, 还可进一步激活肺泡巨噬细胞, TGF- β 1, TNF- α , IL-1 β , IL-6 和 IL-12 等炎症指标, 通过人体免疫的放大效应, 局部炎症反应增强, 继而导致间质性肺炎的发生, 最终导致肺纤维化。

2. 间充质干细胞

20 世纪 60 年代, Friedenstein 等人首先证实了间充质干细胞的存在, 充质干细胞通常存在于骨髓, 脐带和脂肪等成体组织中。其优点可以总结为以下 5 点: 1) 来源广泛, 易于获得; 2) 可以归巢和移植到受损组织; 3) 具有广泛的增殖潜力, 可分化成不同类型的细胞; 4) 免疫原性低, 易于突破免疫屏障; 5) 应用间充质干细胞没有伦理争议。间充质干细胞治疗放射性肺损伤主要依赖其旁分泌功能及非免疫原性机制, 但其确切的分子机制尚不明了, 但多项研究表明 TGF- β 和 Wnt 信号通路在其过程中起重要作用。动物试验表明时间窗是治疗放射性肺损伤的关键点, 受照射后立即注射间充质干细胞有助于肺损伤的修复。间充质干细胞的使用剂量同样会产生不同的治疗效果, 研究发现使用低剂量的骨髓间充质干细胞更有利于小鼠的功能恢复。此外, 不同类型的间充质干细胞以及被不同基因修饰的间充质干细胞治疗放射性肺损伤具有不同的作用机制。尽管越来越多的动物和体外研究表明间充质干细胞治疗放射性肺损伤具有良好的前景, 但仍然缺乏相应临床研究。

放射性肺损伤是胸部恶性肿瘤放射治疗的主要临床并发症, 它严重影响了患者的生活质量, 同时降低了患者的总体生存率。目前, 类固醇仍然是治疗放射性肺损伤的主要药物, 但是越来越多的学者开始尝试使用间充质干细胞治疗放射性肺损伤, 但是将其用于临床实践之前还有很长的路要走。

(苏州大学附属第二医院 姚振 刘玉龙 报道)

维持肠道内皮细胞能减轻放射性肠损伤的发生

【据《Radiation Research Society》2019 年 7 月报道】题: 小鼠血管内皮细胞对电离辐射的敏感性促进延迟性肠损伤的发生 (作者 Chang-Lung Lee 等)

腹部和盆腔放射治疗常用于胃肠道肿瘤、腹膜后肉瘤、前列腺癌和妇科肿瘤患者。小肠是治疗性辐射剂量的剂量限制结构之一, 小肠单次高剂量照射可导致潜在致命性的急性放射综合征, 而对于分次放射治疗, 剂量限制性毒性是放射性肠病的远后效应表现。随着癌症存活率的提高, 辐射诱导的迟发性肠道毒性患者比溃疡性结肠炎和克罗恩病的患者要多。

迟发性放射性肠病是一种慢性病, 其特征是肠道粘膜缺失、纤维化和血管的变化, 可导致肠道吸收不良和肠道运动障碍。胃肠道上皮细胞是急性胃肠道辐射损伤的关键细胞靶点。小肠受到大剂量照射后, 肠腔中的干细胞丢失, 导致内皮细胞生成不足, 无法维持正常的结构和粘膜屏障。来自杜克大学的 Chang-Lung Lee 等人发现, 调节内皮细胞辐射敏感性的一个关键基因是肿瘤抑制因子 p53, 该团队利用基因工程, 通过 VECre (血管内皮钙粘蛋白 -Cre) 去除内皮细胞中的 p53 等位基因 (p53^{FL}), 得到 VECre; p53^{FL/FL} 小鼠 (内皮细胞中 p53 的两个等位基因均被敲除), 以及 VECre; p53^{FL/+} 小鼠 (内皮细胞中保留一个 p53 的等位基因)。对实验动物模型进行剂量为 15Gy 的控制全腹照射 (TAI), 并通过异硫氰酸荧光素 (FITC) - 葡聚糖检测肠道粘膜屏障的完整性。

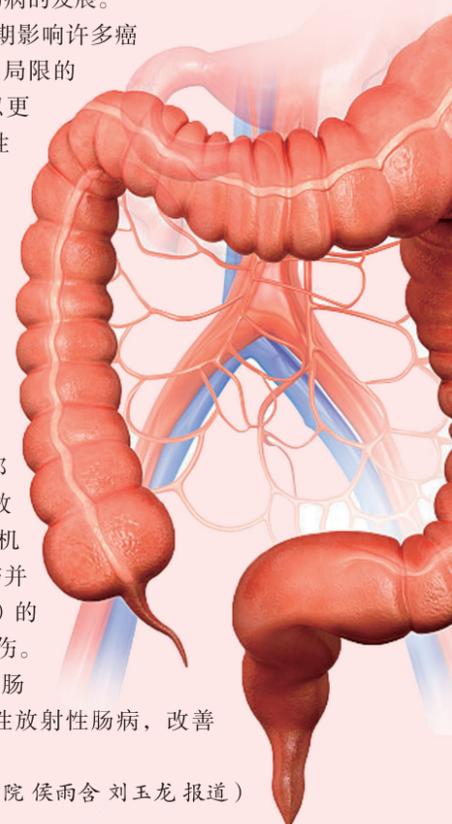
照射后, VECre; p53^{FL/FL} 组和 VECre; p53^{FL/+} 组因急性胃肠辐射综合征在 10 天内死亡的小鼠百分比没有显著差异, 但急性辐射损伤后存活的小鼠 VECre; p53^{FL/FL} 小鼠在约一个月开始出现体重显著下降及死亡。组织学检查表明, 迟发性放射性肠病的 VECre; p53^{FL/FL} 小鼠小肠血管损伤严重, 表现为出血、微血管丢失和组织缺氧。显微 CT 成像发现在 TAI 后 28 天,

VECre; p53^{FL/FL} 小鼠体内小肠血管通透性显著增加。这些实验结果表明, 尽管内皮细胞的敏感性促进了迟发性放射性肠病的发展。

迟发性放射性肠病是一种慢性疾病, 长期影响许多癌症幸存者。它显著的发病率和死亡率与较为局限的

放射治疗选择相关, 虽然新的治疗技术可以更精确定位肿瘤病灶, 降低了晚期胃肠道毒性的风险, 但对于许多肿瘤治疗来说, 放射治疗导致肠道暴露于辐射损伤中是不可避免的。因此, 对于某些患者, 如胰腺癌患者, 胃肠道组织毒性仍然是提高局部控制剂量的限制性障碍。明确辐射后迟发胃肠道病变的病理机制是制定预防措施和治疗方案的重要一步, 提升放射性肠病的管理不仅可以改善患者当前的病情, 同时为实现局部肿瘤更高的放射剂量提供可能, 以增加局部肿瘤控制。本研究数据表明了急性胃肠型放射病和迟发性放射性肠病在病理生理学上机制的区别, 由 p53 缺失介导的内皮细胞损伤并不是急性放射病 (acute radiation syndrome) 的关键介质, 但足以引起迟发性放射性肠道损伤。这一研究表明, 在放射治疗后制定维持肠道内皮细胞功能的治疗策略可以减轻迟发性放射性肠病, 改善放射治疗的远期预后。

(苏州大学附属第二医院 侯雨含 刘玉龙 报道)



◀ 上接第 7 版

和有保障运作有关的放射性材料和核材料。及时、准确和有效地评估放射性物质, 避免放射性物质的意外或有意释放。

同样, 我们在福岛和切尔诺贝利的污染地区和在美国的搜索任务中演示了基于定位映射平台的自卫队系统。特别令人感兴趣的是绘制放射性污染物地图的能力。在城市环境中以及在放射性和核设施中进行离子和核实净化活动。此类评估对于减少运营商和公众告知疏散、净化和安置工作的风险至关重要。此外, 随着战术核武器的重新考虑, 军事部队关注的是加强现有的地图绘制能力, 以避免暴露部队和装备。虽然到目前为止的焦点是伽马射线的测绘, 但探测器材料的最

新进展 - 特别是所谓的 Elpasite 闪烁体 - 不仅提供了伽马射线探测, 而且也提供了新的探测手段。既有伽马射线探测能力, 也有中子探测、定位和测绘能力。与伽马射线不同的是, 中子不能被屏蔽, 诸如铅的材料。因此, SDF 用于探测、映射和可视化中子, 将扩展增强搜索通用辐射以及特殊核材料的能力。国际将增强 SDF 在几大平台上的运行, 以创建更大规模的三维地图。总的来说, 在未来 SDF 可以使放射性核素特有的三维伽马射线视觉扩展到其他类型的辐射, 比如中子, 甚至 β 粒子。

(苏州大学附属第二医院 杜云 刘玉龙 报道)