

稀土元素暴露致炎症因子变化与健康风险探析

柳芸芸

江苏护理职业学院医学技术学院

DOI:10.12238/bmtr.v7i5.16518

[摘要] 稀土元素作为重要的战略资源,其使用不规范,会造成严重的健康危险。现有研究表明该元素可以导致机体炎症,进而使免疫受损伤及产生远期危害。基于这一发现,本研究梳理了稀土元素的形成及属性,探明其诱发体内炎症介质分子(如IL-6、TNF- α 、CRP)发生变化的作用机理,构建“暴露—反应—健康风险”逻辑链条。对现有检测体系存在缺失问题进行总结,包括监控网络中漏洞、研究进展滞缓、缺乏安全界限及预防不足等多个方面,并提出建立综合性数据库、完善监控网络、确立合理限值及强化生活方式等各层防控的建议,以期为高危人群的机体健康保驾护航,为有关法规与制度提供科学依据和技术支撑。

[关键词] 稀土元素; 炎症因子; 健康风险; 防控路径

中图分类号: R364.5 文献标识码: A

Inflammatory Factors Changes and Health Risks Caused by Rare Earth Elements Exposure

Yunyun Liu

School of Medical Technology, Jiangsu College of Nursing

[Abstract] Rare earth elements, as important strategic resources, pose health risks due to their use. Existing research indicates that this element can cause inflammation in the body, thereby damaging the immune system and causing long-term harm. Based on this discovery, this study sorted out the formation and properties of rare earth elements, clarified the mechanism by which they induce changes in inflammatory mediator molecules in the body (such as IL-6, TNF- α , CRP), and constructed a logical chain of "exposure – response – health risk". This paper summarizes the deficiencies in the current detection system, covering multiple aspects such as vulnerabilities in the monitoring network, slow research progress, lack of security boundaries, and insufficient prevention. It also proposes suggestions for establishing a comprehensive database, improving the monitoring network, setting reasonable limits, and strengthening lifestyle prevention and control at all levels, with the aim of safeguarding the physical health of high-risk groups. Provide scientific basis and technical support for relevant regulations and systems.

[Key words] Rare earth elements; Inflammatory factors; Health risk; Prevention and control path

引言

近年来,对稀土资源的大量使用,使稀土元素在人体接触和环境中的残留含量不断增加,进而增加了人们对人体健康的顾虑。已有大量研究证明,稀土元素通过吸入、摄入或皮肤接触途径可被机体吸收,从而引起机体免疫反应异常,导致慢性病发生风险增加。因此,全面探索稀土元素暴露过程中机体内在病理学过程、炎性反应、风险评估及控制干预问题,将有助于为制订环保政策和人类健康发展提供可靠的数据支撑。

1 稀土元素暴露引发炎症因子变化的机制逻辑

1.1 稀土元素基本特征及来源

稀土元素是一类具有相似物理化学性质的金属元素,广泛

应用于新能源、电子信息、冶金、医疗等领域。稀土元素的广泛开采和使用导致其在环境中游离,对环境造成污染的同时,还可经过人体呼吸道、皮肤直接接触或通过食物链作用进入人体,从而对人体健康造成影响。因工业开采和生产使工作场所以及周围环境中稀土元素浓度增加,使包括采矿工人、冶炼工、稀土处理行业员工在内的人群成为高危险人群的健康风险增加。

1.2 关键炎症因子及其功能特征

炎症因子是机体免疫应答的最主要信号分子,受外来污染物的诱导会立即被激活。一般来讲,稀土元素会影响多个经典的炎症因子,如IL-6、TNF- α 、CRP、IL-1 β 等。IL-6可以促进蛋白质的合成,而TNF- α 是细胞因子串联反应的激活分子,CRP是

一个高度灵敏的炎性标记,能够测定机体整体的炎性状况,如果高于正常水平,会引起机体免疫失调、氧化应激、组织损伤并增加患心脏病、肺病等各种慢性疾病的风险。

1.3 暴露—反应链条解析

稀土元素暴露与炎症反应的关系可概括为“外源暴露—机体应答—炎症放大—健康损害”链条。暴露于高浓度或长时间的大量稀土微粒能够激发肺巨噬细胞,并引发炎症因子持续性释放,诱导慢性炎症,且暴露浓度越高,引发炎症反应越严重。为定量评估风险,可采用日均暴露剂量(ADD)计算模型:

$$ADD = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

式中:ADD为环境中稀土元素浓度,IR为摄入率或吸入率,EF为暴露频率,ED为暴露年限,BW为体重,AT为平均时间。通过暴露剂量与炎症水平的关联分析,可揭示稀土元素的生物效应链,为后续健康风险评估提供量化依据。

2 当前研究与实践中存在的关键问题

2.1 监测体系缺位,数据基础薄弱

目前,我国稀土元素暴露现状监测尚处在初级阶段,网络结构分布不完善且覆盖性不足,不能全面反映实际情况。目前环境监测内容主要为矿区或加工企业,对于大气、水源、土地等介质连续性监测没有具体设计,不能进行风险评价;且对于从业人员及周边居民健康监测的记录很少,缺乏血样、尿样的长期调查结果。更为重要的是,实验室之间监测的方式方法、技术规范、敏感性指标差异较大,导致数据的不一致性和累积性问题。

2.2 机制研究滞后,路径不清

尽管已经有研究对稀土元素的暴露与炎症因子的升高及免疫系统失衡的关系进行过探讨,但是对其内在机制尚未有很深入的理解。截至目前,研究大多围绕着稀土的物理化学性质与环境效应展开,对于稀土元素如何在身体内吸收转化成为具有生物活性的物质、最终达到什么目的组织靶标及分子级的功能机制还了解不多。尤其是在炎症中,有关信号通路、受体辨识以及细胞应答等具体步骤的实验证据还非常少见,仅仅只是简单地描述了外周炎症标记物的变异情况。此外,每一种稀土元素的毒理学性质、暴露剂量的作用反应图还未被确定,基本的实验与流行病学的调查也没有很好地关联起来,暴露—反应的关系变得很模糊,无法为风险评价提供科学性证据。

2.3 风险阈值缺失,标准体系缺乏

已有的研究对稀土元素暴露与炎症因子升高、免疫功能失常研究,并未对其内部作用机理做深入介绍。目前多数研究主要是集中在对稀土物理化学特性和生态环境影响上,对于稀土元素进入人体成为活跃的化合物后,对其目标器官或分子的作用机制还未清晰明确,尤其是炎症过程中信号通路、受体识别以及细胞应答的详细过程并没有实证支持,只简单罗列周围的炎症标志物变化。

2.4 干预防控滞后,高风险人群易被忽视

当前对于稀土元素暴露对健康的危害,尚缺乏足够的保护措施,没有对高风险个体进行辨识和干预,在没有完全辨识暴露人群的情况下,工作场所和周边社区没有建立风险分级、健康监测、预警系统,也不能及时确认潜在高危个案身份。常用的管理模式为一般的职业卫生管理制度,而不是专门针对稀土元素特点设置的监测随访方案,因此很难进行精准干预。另外,一般人和一线作业人员对于稀土元素对健康的危害认识不充分,自我保护意识和防护能力不够,部分地方的信息收集渠道不通畅,不能及时获得早期线索,出现防控空白。

3 多层次健康风险防控策略路径

3.1 构建稀土—炎症因子联合数据库

对于暴露的人群来说,对稀土安全缺乏足够的认识。建立“稀土—炎症因子数据库”能够为防范风险奠定基础,适应暴露监测、机制研究、公众安全等需要。数据库的核心工作在于采集、收集环境监测、生物监测以及健康效应等方面数据,集中存储,并且具备标准化特征,保证持续性、统一性和追踪特征。需要在重点矿区、厂矿及周围人群密集区固定采样点采集空气、水、土壤中稀土含量,并建立一系列持续监测数据;针对接触量高的居民,收集血、尿、呼吸道样本,并检测IL-6、CRP、TNF- α 等炎性因子水平,建立个人健康反映数据库。所有试验方法、采样频率和质量控制由相关组织负责制定,以避免其误差。数据库则由环境、疾控等部门一起维护和更新,有利于部门合作,消除信息隔阂,避免资源浪费。

例如,在某稀土冶炼企业周边两公里范围内布设五个空气采样点,由环保部门每月取样送至疾病预防控制中心实验室进行稀土测定。企业员工每年参加全面体检并进行IL-6和CRP的测量,上述参数均通过信息化方式归入同一数据库。每季度末,CDC对监测资料进行汇总并做出趋势分析,同时根据企业生产和工作场所的特点预测可能存在的变化。这样,可以连续不断地积累监测资料,暴露水平及与相关的炎症因子之间的关系会更加清楚,并为下一步危险性评定和预防措施的制定提供直接依据。

3.2 构建环境—生物—健康三位一体监测系统

在暴露健康风险控制过程中,单一部门监管只能实现孤立效应,建立“环境—生物—健康”三维度整体监管系统,能够实现把暴露在体外环境浓度,暴露后人体反应,以及在健康最终结局都联系在一起,成为一个动态的监管和预警系统。环境方面,建议在矿山现场、厂区内外和社区布设监测站,定期开展粉尘、空气颗粒物中稀土含量及水体中稀土含量的监测,弄清其浓度变化。工人方面,定期进行人体健康体检和炎症因子检验,尤其是要关注敏感指数如IL-6、CRP、TNF- α 等。健康管理方面,则要进行长期的健康跟踪记录,追踪疾病状况、治疗结果、各种检测指标等,对处于高暴露风险群体发出警示。监测数据要由卫监、环保、医疗组织进行共享,并借助信息管理系统分析整体数据,实现暴露—反应—结果的动态关联。

例如,在某矿区建立三类监测节点,矿区作业点负责实时采集空气样本,社区卫生服务中心记录居民炎症因子监测结果,当连续两次检测出现指标升高时,由疾控部门启动现场调查,安排复查和岗位调整。

表1 三位一体监测系统建设示例

| 监测环节 | 责任单位 | 核心内容 | 监测频率 | 处置方式 |
|------|---------|-------------|------|-----------|
| 环境监测 | 环保部门 | 粉尘、水体稀土浓度监测 | 每月 | 数据录入与超标预警 |
| 生物监测 | 医疗机构 | 炎症因子、肺功能检测 | 每季度 | 结果上报、异常复查 |
| 健康管理 | 疾控与卫健部门 | 健康档案与风险研判 | 每半年 | 联合研判与个体干预 |

这种三位一体的监测体系,可以在风险萌芽阶段实现识别与处置,为防控措施调整提供数据支撑。

3.3 明确稀土环境限值与职业接触阈值

稀土暴露风险防控要从监测转向管理,明确环境限值与职业接触阈值是关键。这些限值都需要根据长期的数据和健康研究来确立科学的剂量—反应关系而制定。环境限值应该反映空气中的稀土颗粒、水中溶解的稀土元素和土中的沉淀的混合暴露。对于工作人员来说,如老年工、妊娠、慢性病工人可能需要更高的限值。政府机构、研究机构和企业均应积极参与其中以确保其科学性和可行性。一旦这些限值建立了,应列入日常监测和企业安全生产检查,实现从建议值向强制性要求的转变。

例如,在某冶炼企业,环保部门根据三年不间断监测数据得出建议限值的空气中灰尘的稀土含量。卫生防疫部门根据工人炎症因素的变化情况进行调查分析,作为依据给生产车间的粉尘岗位分级。企业据此确定不同岗位接触限值进行划分,对超过限值岗位实施强制岗位轮换,降低接触时间,并将监测结果报监督管理部门实时上报。从这种限值的数据建立和执行中提升管理的有效性和针对性,也让防控措施更具操作性。

3.4 引导生活方式干预降低炎症水平

生活方式干预作为稀土暴露的预防措施之一,优点是低成本、长期性,对于接触量高者,改变生活模式有助于降低机体炎症反应和提高机体免疫力。要求工作者在工作中必须做好个人防护(正确佩戴口罩及防护衣)以避免过多吸尘,改善膳食结构,增加新鲜蔬菜水果和优质蛋白质比例,少摄入油脂和食盐,进而加强机体抗氧化能力。健康体检能有效发现早期问题并尽早治疗。开展健康教育则是开展生活方式转化的前提,可采取单位小组授课或社区健康课堂等开展。

例如,在某稀土加工厂,该企业会定期组织一个团队会议来

分享健康安全方案。健康护理学家向员工解释为什么粉尘有害,以及粉尘如何引起炎症,同时亲自教导如何正确使用口罩,并且根据营养学家的建议改变膳食,增加富含维生素C和纤维素的食物,每年为所有员工进行身体检查并对炎症指标异常高的员工进行一对一指导。该方案无需投入太多的经济成本,却可以显著降低慢性炎症反应,并增强人群整体健康防护能力。

4 结语

稀土元素暴露对炎症因子水平和人群健康的影响,已经成为环境与职业卫生工作中的一个重要环节。通过梳理已有问题,包括不完善的监测体系、不明确的途径、风险阈值缺乏和防控措施滞后等,均是造成未有效控制的原因。本文通过构建以整合数据库为信息支撑体系,以三位一体监测为核心途径的风险辨识模式,以明确定义标准为核心标准的管理流程,以干预改善生活方式为补充的人群干预方式。多路径协同,有助于实现从风险发现到实际干预的全过程闭环,为政策制定、行业监管和健康保护提供了现实可行的操作框架。

项目基金

江苏省高等学校基础科学(自然科学)研究面上项目“基于炎症细胞因子探讨孕期稀土元素暴露与早产的关联”(编号:22KJD330001);江苏省卫生健康委科研课题“基于端粒系统探讨孕期稀土元素暴露对子代生长发育的影响及作用机制”(编号:Ym2023118);淮安市基础研究计划(联合专项)项目“基于炎症细胞因子及相关基因多态性探讨孕期稀土元素暴露对出生结局及子代体格发育的影响及其作用机制”(编号HABL2023033)。

参考文献

[1]任禹熙,刘博玉,仲琦.稀土元素在口腔医学中运用的相关研究进展[J].广东化工,2024(002):051.

[2]吕佳玲,王素华,高艳荣,等.氧化钕暴露对小鼠肺组织炎症因子及转化生长因子- β /Smads通路的影响[J].环境与职业医学,2021,38(9):7.

[3]代世峰,沈明联,刘桂建,等.黔西晚二叠世煤系基底凝灰岩中稀土元素的富集机制[J].地质学报,2024,98(8):2281–2298.

[4]王园园,傅浩洋,朱建喜,等.稀土元素的生物毒害性研究进展[J].地球化学,2024,53(1):3–16.

简介简介:

柳芸芸(1991--),女,汉族,山东烟台人,博士,讲师,研究方向:环境污染暴露对妇幼健康的影响。