Journal of Combat Medicine
2023; 6(1): 18-25
10.30491/JCM.2024.411183.1016
Narrative Review

Health and Environmental Risks Associated with Exposure to Heavy Metals Emitted by Military Operations

Hamze Sharifi [1*], Mohammad Mosaferi [1]

[1] *Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran*

Received: 23 December 2022 **Accepted:** 15 February 2023

Abstract

Background and Aim: During military operations, residual metals and weapons residue, including lead, copper, depleted uranium (DU), zinc, nickel, chromium, cadmium, etc., are released into the environment. These activities can result in human exposure to metal by inhalation or ingestion of released particles, as well as injury from embedded fragments. This study was conducted to investigate potential sources of metal emissions during military operations, pathways of metal exposure, and associated health risks.

Methods: This study is a review study conducted in the spring of 2023 by searching the PubMed, Web of Science, and Scopus databases and searching using the Google Scholar search engine using the keywords "Health effects", "health", "Metal", "Embedded Pieces", "Weapon" "Military" and related articles were selected and reviewed.

Results: Residues of war weapons can directly cause exposure and contamination of plants, animals, and humans with metals through soil, air, underground, and surface water. Biomonitoring studies have shown an increase in the accumulation of these metals in plants, vertebrates and invertebrates. Exposure to these metals leads to adverse cardiovascular, neurological, etc. consequences in military personnel and negative consequences for the development of the nervous system in children living in military areas. Also, experimental studies in vivo and in vitro have shown the toxic effects of specific metals as well as widely used metal alloys.

Conclusion: Evidence shows that exposure to metals during military activities can be associated with metal toxicity and contribute significantly to adverse health effects. An increased metal load in the body may lead to latent and long-term effects in exposed people. The major effects of toxicity depend on various factors such as the type of weapon, chemical composition, routes of exposure, and environmental characteristics, which are currently poorly understood. Therefore, further studies in biological, epidemiological, and laboratory surveillance are needed to better characterize metal exposure associated with military operations.

Keywords: Environment Pollution, Military Activity, Metals, Health Effects.

*** Corresponding Author:** Hamze Sharifi
Address: Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.
E-mail: hamzesharifi95@gmail.com

OPEN ACCESS
Copyright© 2022. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.
Downloaded from: http:// www.jmedbehrazm.ir

نشریه بهداری رزمی دفاع مقدس و مقاومت
۱۴۰۲: دوره ۶: شماره ۱: صفحات: ۲۵-۱۸
10.30491/JCM.2024.411183.1016
مروری روایتی

مخاطرات بهداشتی و زیست محیطی ناشی از مواجهه با فلزات سنگین منتشر شده از فعالیت‌های نظامی

حمزه شریفی[1*]، محمد مسافری[1]

[1] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۱/۱۱/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: در طی فعالیت‌های نظامی، فلزات باقی‌مانده ناشی از کاربرد تسلیحات از جمله سرب، مس و اورانیوم ضعیف شده (DU)، روی، نیکل، کروم، کادمیوم و ... به محیط زیست وارد می‌شوند. این فلزات می‌توانند منجر به مواجهه انسان از طریق استنشاق یا بلع ذرات آزاد شده و همچنین آسیب‌های ناشی از ترکش‌های جدا شده از مهمات همراه باشند. این مطالعه با هدف بررسی منابع بالقوه انتشار فلزات سنگین در فعالیت‌های نظامی، مسیرهای مواجهه با فلزات و خطرات سلامتی مرتبط با آن‌ها به صورت کتابخانه‌ای انجام شد.

روش‌ها: پژوهش حاضر یک مطالعه مروری بوده که در زمستان سال ۱۴۰۱، با جستجو در پایگاه داده‌های PubMed، Web of Science و Scopus و جستجو با موتور جستجوی Google Scholar و با استفاده از کلید واژه‌های "Health Effect"، "Metal"، "Embedded fragments"، "Weapon "، "Military" و انتخاب مقالات مرتبط و مرور و بررسی آن‌ها انجام شد.

یافته‌ها: بقایای سلاح‌های جنگی می‌توانند از طریق خاک، هوا، آب‌های زیرزمینی و سطحی و همچنین به طور مستقیم باعث مواجهه و آلوده‌سازی گیاهان، جانوران و انسان‌ها با فلزات شوند. مطالعات پایش زیستی، افزایش تجمع این فلزات را در گیاهان، مهره‌داران و بی مهرگان نشان داده است. مواجهه با این فلزات منجر به ایجاد پیامدهای نامطلوب قلبی عروقی، عصبی و ... در پرسنل نظامی و پیامدهای منفی رشد سیستم عصبی در کودکان ساکن در مناطق نظامی می‌شود. همچنین مطالعات تجربی *in vivo* و *in vitro* اثرات سمی فلزات خاص و همچنین آلیاژهای فلزی پرکاربرد را نشان داده است.

نتیجه‌گیری: شواهد نشان می‌دهد که مواجهه با فلزات در طی فعالیت‌های نظامی می‌تواند با ایجاد سمیت فلزی همراه بوده و سهم بسزایی در ایجاد اثرات نامطلوب بهداشتی داشته‌باشد. افزایش بار فلزی در بدن ممکن است منجر به اثرات نهفته و دراز مدت نیز در افراد تحت مواجهه، شود. اثرات عمده سمیت به عوامل مختلفی از جمله نوع سلاح، ترکیبات شیمیایی آن‌ها، مسیرهای مواجهه و ویژگی‌های محیطی بستگی دارد که در حال حاضر به خوبی شناخته نشده‌اند. بنابراین، مطالعات پایش زیستی، اپیدمیولوژیک و آزمایشگاهی بیشتری برای توصیف بهتر مواجهه با فلزات مرتبط با فعالیت‌های نظامی مورد نیاز است.

کلیدواژه‌ها: آلودگی محیط زیست، فعالیت نظامی، فلزات، اثرات بهداشتی.

* **نویسنده مسئول:** حمزه شریفی
آدرس: گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران.
ایمیل: hamzesharifi95@gmail.com

همه حقوق مادی و معنوی این اثر به موسسه بهداری رزمی دفاع مقدس و مقاومت تعلق دارد.

مقدمه

امروزه جهان شاهد انواع فعالیت‌های نظامی در قالب حفظ آمادگی نظامی و مانور یا جنگ توسط انواع گروه‌های نظامی یا ارتش‌های کشورهای مختلف است. مطالعات نشان می‌دهد که فعالیت‌های نظامی و استفاده از سلاح‌های جنگی علی‌الخصوص سلاح‌های کوچک، خمپاره، توپخانه و موشک‌ها به طور قابل توجهی باعث آلودگی محیط زیست و ته‌نشین شدن فلزات در خاک‌های منطقه می‌شوند (۱،۲). این فعالیت‌ها با انتشار آلاینده‌های آلی از جمله هیدروکربن‌های پلی آروماتیک، بی‌فنیل‌های پلی کلره، هگزاکلروسیکلو هگزان، دی‌کلرودی‌فنیل تری‌کلرواتان و هگزاکلروبنزن و فلزات سنگین از جمله کروم، مس، روی، سرب و کادمیوم همراه بوده و باعث آلودگی محیط زیست به این آلاینده‌ها می‌شوند (۳،۴). انتشار این آلاینده‌ها می‌تواند باعث ایجاد خطرات بهداشتی از جمله بیماری‌های قلبی عروقی، عصبی، کلیوی و همچنین انواع سرطان‌ها برای پرسنل نظامی، کارآموزان، تیراندازان میدان تیر و همچنین افراد غیرنظامی شود (۵،۶).

در حال حاضر مطالعات در خصوص فلزات منتشر شده از فعالیت‌های نظامی در چندین زمینه مختلف در حال انجام است. از جمله این موارد می‌توان به بررسی آلودگی منابع نقطه‌ای، تحرک و پویایی آلاینده‌ها در محیط زیست، مطالعات آزمایشگاهی در مورد سمیت، فرآیندهای ردوکس، جذب و یا سینتیک واکنش، پاکسازی، اثرات فلزات منتشر شده بر روی حیوانات و گیاهان اشاره کرد (۷). همچنین این تحقیقات بیشتر بر روی آلودگی و خطرات بهداشتی اورانیوم ضعیف شده (DU) و سرب متمرکز شده است و در ارتباط با آلودگی سایر فلزات تحقیقات کمتری انجام شده‌است (۸،۹). از طرف دیگر از آنجایی که فعالیت‌های نظامی در سراسر جهان ممکن است اتفاق بیافتد، طیف وسیعی از شرایط و فرآیندهای محیطی و بیوژئوشیمیایی بر سرنوشت نهایی فلزات در خاک‌ها و آب‌های زیرزمینی تأثیر گذاشته و بررسی و مقایسه مطالعات مختلف را با مشکل مواجه می‌کند (۷). در این مطالعه منابع بالقوه انتشار آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های نظامی و همچنین مسیرهای مواجهه با فلزات و خطرات سلامتی آن‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

روش‌ها

پژوهش حاضر یک مطالعه مروری بوده که در زمستان سال ۱۴۰۱، با جستجو در پایگاه داده‌های PubMed، Web of Science و Scopus و جستجو با موتور جستجوی Google Scholar انجام شد. در این جستجو از کلمات کلیدی " Health Effect"، "Metal"، "Embedded fragments"، "Weapon" و "Military" استفاده شد. در انتخاب مقالات از مقالاتی که دارای شواهد کافی نبوده و یا مقالات سخنرانی و کنفرانسی صرف‌نظر شده و معیارهای ورود مقالات به مطالعه شامل مقالات مروری و اصیل مرتبط با موضوع انتشار فلزات در فعالیت‌های نظامی بر اساس کلمات کلیدی جستجو شده بود.

نتایج

انتشار فلزات از بقایای مهمات و سلاح‌های جنگی

پس از فعالیت‌های نظامی، بقایای مهمات و سلاح‌های جنگی می‌توانند منابع انتشار فلزات به محیط زیست باشند و افراد را تحت تأثیر قرار دهند (۱۰). مطالعات نشان داده است که انتشار فلزات از بقایای انواع مختلف سلاح و مهمات می‌توانند کاملاً متفاوت باشند که این اطلاعات می‌تواند در علم پزشکی قانونی برای تجزیه و تحلیل نوع فلزات باقی مانده در بدن افراد مفید باشد (۱۱). مثلاً شلیک NM229 حاوی یک هسته فولادی منجر به انتشار قابل توجه مس و روی می‌شود، در حالی که SS109 حاوی هسته سرب، ذرات سرب زیادی را تولید می‌کند (۱۲). آنالیز خاک میدان‌های تیراندازی، آلودگی قابل توجه سرب، مس، کادمیوم، آنتیموان، کروم، نیکل و روی نشان می‌دهد (۱۳–۱۵). بر اساس مطالعات انجام شده محتوای جیوه موجود در خاک مناطقی که از تفنگ استفاده می‌کنند، می‌تواند تا ۱۰ برابر بیشتر از خاک‌های مرجع باشد (۱۶). آلاینده‌های فلزی در محدوده‌های تیراندازی می‌توانند به لایه‌های پایینی خاک غیرفعال نیز انتقال یابند (۱۷). استفاده از آلیاژهای تنگستن (W) منجر به آلودگی قابل توجه خاک با این فلز شده و در خاک‌های شنی، هوازی و با شرایط نسبتاً اسیدی ممکن است به آب‌های زیرزمینی نیز انتقال یابد (۱۸). این انتقال و آلودگی آب‌های زیرزمینی متعاقب آن ممکن است مسیر دیگری برای مواجهه انسان با فلزات ایجاد نماید. علاوه بر این، دسترسی زیستی سرب در خاک میدان‌های تیراندازی نظامی ۴۲ درصد است که نشان‌دهنده خطرات آن برای موجودات زنده است (۱۴). فعالیت‌های نظامی منجر به ایجاد آلودگی فلزات در آب‌های سطحی نیز می‌شود. بالا بودن مقدار سرب، مس و روی در آب‌های سطحی اطراف مناطق تیراندازی اثبات شده است (۱۹). اورانیوم ضعیف شده به طور گسترده در صنایع نظامی و به ویژه در تولید پرتابه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. به همین ترتیب، گلوله‌های حاوی DU، ذرات DU را در هنگام سایش، احتراق و خوردگی آزاد می‌کنند (۲۰). مواد منفجره نیز نقش مهمی در انتشار فلزات به محیط زیست دارند. ذرات منتشر شده از انفجار توپخانه‌ها حاوی مقادیر بالایی از سرب و مس هستند که ممکن است از گلوله‌های توپخانه‌ها، لوله‌های تفنگ و یا گرد و غبار ته نشین شده سرچشمه بگیرند (۲۱).

مطالعات مربوط به پایش زیستی با استفاده از ارگانیسم‌های مختلف، آلودگی فلزات ناشی از فعالیت‌های نظامی و خطرات آن را برای موجودات زنده نشان می‌دهند. علاوه بر افزایش قابل‌توجه سطح سرب و مس خاک در مکان‌های تیراندازی در فضای باز، یک مطالعه پایش زیستی، افزایش تجمع زیستی سرب را در گیاه

گل سوزن اسپانیایی (*Bidens alba* L.) و یا میگوی روح (*Palaemonetes paludosus*) نشان داده است (۲۲). برگ‌های گیاه قاصدک (*Taraxacum officinale*) که در مناطق جنگی رشد می‌کنند، فلزات مربوط به فعالیت‌های نظامی را ذخیره می‌کنند. مطالعه‌ای نشان داده است که گل‌سنگ پس از سه ماه رشد در یک محدوده تیراندازی، با تجمع قابل توجه فلزات و همچنین استرس متابولیک مواجه می‌شود (۲۳). مطالعه دیگری نیز نشان داد که در مناطقی که به شدت با گلوله‌های حاوی DU گلوله باران می‌شوند، تجمع اورانیوم در گل‌سنگ‌ها افزایش می‌یابد (۲۴).

چندین مطالعه ارتباط بین فعالیت‌های نظامی و تجمع فلزات در مهره‌داران را نشان داده‌اند. کریستالدی و همکاران در سال ۲۰۱۳ نشان دادند که سطح سرب و کادمیوم در کبد و کلیه‌ی گوسفندانی که در مزارع نزدیک محل آزمایشات نظامی زندگی می‌کنند از مقادیر مرجع فراتر رفته‌است (۲۵). افزایش سطح فلزات در آبی که از یک محدوده تیراندازی نشأت گرفته بود با تجمع فلزات در کبد و آبشش ماهی قزل‌آلای قهوه‌ای و همچنین اختلالات متابولیکی مختلفی از جمله استرس اکسیداتیو، بیان متالوتیونین، و همچنین فعالیت δ-آمینولولونیک اسید دهیدراتاز همراه بود (۲۶). همچنین در مطالعه‌ای دیگر، مقدار سرب خون بالاتری در سگ‌های کارگر نظامی در مقایسه با سگ‌های دیگر مشاهده شده است (۲۷).

در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهند که مقادیر بالای فلزات انباشته شده در خاک و هوا در نتیجه فعالیت‌های نظامی، در موجودات زنده تجمع می‌یابند و بخشی از زنجیره غذایی جهانی را تشکیل می‌دهند. در عین حال، ممکن است به دلیل تغییر در آلودگی خاک و انتقال فلزات به موجودات زنده، تفاوت‌های خاصی بین آن‌ها وجود داشته باشد.

مواجهه با فلزات در نتیجه فعالیت‌های نظامی

علت اصلی مواجهه انسان با فلزات در طی فعالیت‌های نظامی، استنشاق ذرات حاوی فلزات و همچنین قطعات جدا شده از مهمات است که منجر به بروز اثرات نامطلوب بر سلامتی انسان می‌شود (۵). احتراق در دمای بالا نانو ذرات فلزی را تولید کرده که از طریق تنفس و یا گوارش وارد بدن موجودات زنده می‌شوند (۲۸). علاوه بر جذب ذرات فلزی در دستگاه تنفسی، مخاط بینی فلزات ناشی از بقایای گلوله‌ها را در خود تجمع می‌دهند. مقدار فلزات آزاد شده به نوع سلاح وابسته است. ذرات هوابرد حاوی فلزات در محدوده تیراندازی با نرخ بالایی در دستگاه تنفسی رسوب می‌کنند که این مقدار از ۳۴ تا ۷۰ درصد متغیر است (۲۹). مطالعات زیادی رابطه فعالیت‌های نظامی و سطح فلزات موجود در خون افراد را ارزیابی کرده‌اند. افزایش سطح سرب موجود در خون در نتیجه استفاده از سلاح گرم اثبات شده‌است. شدت تیراندازی، تعداد گلوله‌های شلیک شده و کالیبر سلاح بر میزان مواجهه با سرب تأثیرگذار است. مطالعات نشان داده است که سطح سرب خون در تیراندازان ممکن است به ۴۰-۱۰ میکروگرم در دسی‌لیتر برسد، که بیشتر از مقدار استاندارد آن (کمتر از ۵ میکروگرم در دسی لیتر) می‌باشد (۳۱،۳۰). از آنجایی که سرب موجود در مهمات به عنوان یک عامل ایجاد خطر برای سلامتی در نظر گرفته شده است، در حال حاضر گلوله‌های بدون سرب به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه استفاده از این نوع گلوله‌ها به طور قابل توجهی انتشار سرب را کاهش داده است، اما در این نوع گلوله‌ها ذرات معلق و فلز مس به طور قابل توجهی افزایش یافته است (۳۲).

ترکش‌های مهمات و سلاح‌های جنگی منبع قابل توجهی برای مواجهه با فلزات در پرسنل نظامی و سربازان بازنشسته می‌باشند. رایج‌ترین فلزات در این زمینه، Fe، Cu و Al می‌باشند (۳۳). اخیراً یک مطالعه فراتحلیل، ارتباط معنی‌داری را بین قطعات ترکش و سطح سرب خون افراد نشان داده است (۳۴). ترکش‌های بجا مانده در بدن افراد با افزایش سطح اورانیوم در کلیه، مایع منی، خون، پلاسما و ادرار مرتبط است (۳۵). همچنین نشان داده شده است که قطع عضو و صدمات ایجاد شده توسط مهمات و تسلیحات جنگی با تجمع U، Al، Ti، Cu، Sr، Ba، Co، Hg، V، Cs و Sn مرتبط است (۳۶). بنابراین ترکش‌های باقی‌مانده در بدن افراد خطر قابل توجهی در مواجهه‌های طولانی مدت با فلزات به دلیل حرکت یون‌های فلزی ایجاد می‌کنند.

اثرات نامطلوب سلامتی

مطالعات اخیر نشان داده است که بخارات فلزی حاصل از تسلیحات نظامی منجر به التهاب سیستم تنفسی و کاهش عملکرد ریه می‌شود (۳۷). افزایش سطح سرب خون با طیف گسترده‌ای از اختلالات از جمله سردرد، کاهش عملکرد حافظه، خواب‌آلودگی، عدم تمرکز، بد خلقی، درد شکم و مفاصل مرتبط است (۳۸). مواجهه بیش از حد با سرب علاوه بر پیامدهای عصبی نامطلوب، منجر به تغییر سایر عملکردهای طبیعی بدن افراد نیز می‌شود. به طور مثال در مطالعه‌ای مشخص شد که استنشاق گرد و غبارهای حاوی سرب به مدت شش هفته با کاهش قابل توجه سطح سرمی آهن و فریتین در سربازان سالم همراه است (۳۹). مواجهه با سرب در درگیری‌های نظامی باعث ایجاد سرطان نیز می‌شود (۴۰). ترکش‌های باقی‌مانده در بدن پرسنل نظامی باعث اختلال در عملکرد ایمنی، افزایش شاخص تحریک لنفوسیت، افزایش سطح IgE به موازات کاهش سطوح IgA، IgG، IgM می‌شوند (۴۱). افزایش غلظت U در ادرار جانبازان دارای ترکش، با افزایش تدریجی دفع پروتئین از ادرار به عنوان نشانگر اختلال عملکرد کلیه همراه است (۴۲). اثرات نامطلوب سلامتی در کودکان ساکن در مناطق درگیر در فعالیت نظامی نیز در مطالعاتی ثابت شده است. حملات نظامی حتی منجر به مواجهه جنین درون رحم با فلزات و افزایش میزان As، Ba، و Mo شده که می‌تواند به طور بالقوه با کمبود وزن و کوتاهی قد در آینده مرتبط باشد (۴۳). افزایش مواجهه زنان با فلزات سنگین مرتبط با تسلیحات نظامی با تولدهای زودرس

و نقایص مادرزادی نیز مرتبط است (۴۴). اختلالات رشدی عصبی نیز از دیگر اثرات نامطلوب در کودکان درگیر در فعالیت‌های نظامی می‌باشد (۴۵).

تاکنون تحقیقات مختلفی در مورد ارزیابی سمیت ناشی از ترکش‌های تسلیحات و مهمات به صورت *In vitro* و *In vivo* انجام شده است. طی مطالعه‌ای که به صورت *In vitro* با استفاده از سلول‌های آلوئولی و برونشی انجام گردید، مشاهده شد که جذب ذرات حاوی سرب باعث استرس اکسیداتیو و پاسخ التهابی می‌شود (۴۶). در تحقیقی دیگر مشخص شد، غبار حاصل از گلوله‌های فولادی از نوع NM255 و به ویژه از نوع NM229 منجر به سمیت سلولی قابل ملاحظه‌ای به دلیل آسیب DNA می‌شود، در حالی‌که اثرات مشابه در مواجهه با غبار حاصل از گلوله‌هایی از نوع SS109 با هسته سرب نرم، مشاهده نگردید (۱۲). التهاب و سمیت قابل ملاحظه ریه، اختلال عملکرد فاگوسیت و تغییر ژن‌های دخیل در بیان ردوکس و متابولیسم از نتایج مواجهه با آلیاژهای تنگستن مربوط به تسلیحات نظامی گزارش شده است (۴۷). تیاگی و همکاران در سال ۲۰۱۴، تغییرات قابل‌توجهی را در متابولیسم انرژی، به‌ویژه چرخه کربس، متابولیسم اسیدهای آمینه و همچنین یکپارچگی غشاء و متابولیسم میکروفلور روده موش‌ها در نتیجه مواجهه با تنگستن مشاهده کردند. این پیامدها با استفاده از تست‌های متابولیتی ادرار ارزیابی شدند (۴۸). افزایش القای محرک‌های دخیل در التهاب، آپوپتوز (نوعی از مرگ برنامه‌ریزی شده سلول یا خودکشی سلولی)، استرس شبکه آندوپلاسمی و سایر مسیرها در مواجهه سلول‌های HepG2 با فلزات مربوط به تسلیحات نظامی (W، Ni، Co و مخلوط آن‌ها) گزارش شده است (۴۹). مطالعات *In vivo* و *In vitro* شواهد واضحی از سمیت DU در اندام‌های هدف، یعنی کلیه، ریه‌ها، استخوان‌ها، مغز، سیستم تولید مثل ارائه داده‌اند. در مطالعه‌ای مشخص شد که سمیت کلیوی با DU ممکن است با اختلال عملکرد میتوکندری به دنبال مهار ETC و ایجاد استرس اکسیداتیو همراه باشد (۵۰). در مطالعه‌ای دیگر موش‌هایی که در تماس مزمن با DU قرار گرفته بودند، دچار آسیب‌های کلیوی قابل توجهی شدند که این آسیب‌ها با اختلال عملکرد کلیوی و یافته‌های پاتومورفولوژیکی در گلومرول‌ها، لوله‌ها و مزانشیم کلیوی مشاهده شدند (۵۱). آسیب کلیه بر اثر مواجهه با DU با کاهش تراکم معدنی استخوان به دلیل تعدیل فعالیت استئوکلاست از طریق سیگنالینگ استئوپروتگرین همراه می‌باشد (۵۲). همچنین در مطالعه مونلاو و همکاران در سال ۲۰۰۶ نشان داده شد که استنشاق DU در موش‌ها منجر به شکستن رشته DNA، بیان سیتوکین‌های پیش التهابی و استرس اکسیداتیو در لاواژ برونش آلوئولی می‌گردد (۵۳).

بحث

در طی فعالیت‌های نظامی فلزات و باقی‌مانده ناشی از کاربرد تسلیحات و مهمات به محیط زیست منتشر شده و این آلاینده‌ها می‌توانند وارد خاک، هوا و آب‌های زیر زمینی شوند. بنابراین فعالیت‌های نظامی می‌توانند با مواجهه انسان با فلزات در نتیجه استنشاق یا بلع ذرات آزاد شده و همچنین آسیب‌هایی ناشی از قطعات جداسازی شده از مهمات همراه باشند. اگرچه اطلاعات در این زمینه هنوز محدود است، شواهد نشان می‌دهد که این مواجهه می‌تواند با ایجاد سمیت فلزی همراه بوده و سهم بسزایی در ایجاد اثرات نامطلوب بهداشتی داشته باشد. با توجه به اثرات تجمعی فلزات در بدن، اثبات شده است که افزایش بار فلزی در بدن ممکن است منجر به اثرات نهفته و دراز مدت نیز در افراد در مواجهه، شود. بطوری‌که یکسری از اثرات نامطلوب ممکن است تا سال‌ها پس از مواجهه، بروز نکرده و پس از مدت طولانی اثرات خود را نشان دهند. اثرات عمده سمیت به عوامل مختلفی از جمله نوع سلاح، ترکیبات شیمیایی مهمات، مسیرهای مواجهه و ویژگی‌های محیطی بستگی دارد. علاوه بر این، مواجهه با ترکیبی از فلزات که به دلیل استفاده از آلیاژها اتفاق می‌افتد ممکن است سمیت ناشی از فلزات را تشدید نماید. افرادی که ترکش سلاح‌ها یا مهمات جنگی در بدنشان باقی می‌ماند، در معرض خطر بیشتری قرار می‌گیرند و باید از نظر بیماری‌های مزمن ناشی از فلزات، تحت مراقبت پزشکی باشند. آنالیز ترکیب شیمیایی ترکش‌های جامانده در بدن افراد نیز باید اطلاعات تشخیصی در مورد نوع فلزات را ارائه دهد (۵۴).

نتیجه‌گیری

با این حال، اطلاعات در خصوص برآورد میزان سمیت فلزات ممکن است به دلیل وجود عوامل خطرناک متعدد موجود در فعالیت‌های نظامی محدود باشد. بنابراین، مطالعات اپیدمیولوژیک، آزمایشگاهی و پایش زیستی بیشتری برای برآورد دقیق میزان سمیت و اثرات نامطلوب سلامتی در مواجهه‌های نظامی مورد نیاز است.

تضاد منافع: بدین وسیله نویسندگان تصریح می‌نمایند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Hopke PK. Contemporary threats and air pollution. Atmospheric Environment. 2009;43(1):87-93. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.09.053

2. Bellinger DC, Burger J, Cade TJ, Cory-Slechta DA, Finkelstein M, Hu H, et al. Health risks from lead-based ammunition in the environment.

Environmental Health Perspectives. 2013;121(6): a178-9. doi:10.1289/ehp.1306945
3. Neffe S. Chemical Aspects of Environmental Contamination at Military Sites. InEnvironmental Contamination and Remediation Practices at Former and Present Military Bases. Dordrecht: Springer Netherlands. 1998. pp. 83-92. doi:10.1007/978-94-011-5304-1_8
4. Radonic J, Sekulic MT, Miloradov MV, Čupr P, Klánová J. Gas–particle partitioning of persistent organic pollutants in the Western Balkan countries affected by war conflicts. Environmental Science and Pollution Research. 2009;16:65-72. doi:10.1007/s11356-008-0067-3
5. Kalinich JF, Kasper CE. Are internalized metals a long-term health hazard for military veterans?. Public Health Reports. 2016;131(6):831-3. doi:10.1177/0033354916669324
6. Rehman K, Fatima F, Waheed I, Akash MS. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. Journal of Cellular Biochemistry. 2018;119(1):157-84. doi:10.1002/jcb.26234
7. Barker AJ, Clausen JL, Douglas TA, Bednar AJ, Griggs CS, Martin WA. Environmental impact of metals resulting from military training activities: A review. Chemosphere. 2021;265:129110. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.129110
8. Papastefanou C. Depleted uranium in military conflicts and the impact on the environment. Health Physics. 2002;83(2):280-2.
9. Bem H, Bou-Rabee F. Environmental and health consequences of depleted uranium use in the 1991 Gulf War. Environment International. 2004;30(1): 123-34. doi:10.1016/S0160-4120(03)00151-X
10. Broomandi P, Guney M, Kim JR, Karaca F. Soil contamination in areas impacted by military activities: A critical review. Sustainability. 2020;12 (21):9002. doi:10.3390/su12219002
11. Bailey MJ, Kirkby KJ, Jeynes C. Trace element profiling of gunshot residues by PIXE and SEM-EDS: a feasibility study. X-Ray Spectrometry: An International Journal. 2009;38(3):190-4. doi:10.1002/xrs.1142
12. Mariussen E, Fjellsbø L, Frømyr TR, Johnsen IV, Karsrud TE, Voie ØA. Toxic effects of gunshot fumes from different ammunitions for small arms on lung cells exposed at the air liquid interface. Toxicology in Vitro. 2021;72:105095. doi:10.1016/j.tiv.2021.105095
13. Etim EU, Onianwa PC. Lead contamination of soil in the vicinity of a military shooting range in Ibadan, Nigeria. Toxicological & Environmental Chemistry. 2012;94(5):895-905. doi:10.1080/02772248.2012.678997
14. Islam MN, Nguyen XP, Jung HY, Park JH. Chemical speciation and quantitative evaluation of heavy metal pollution hazards in two army shooting range backstop soils. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2016;96:179-85. doi:10.1007/s00128-015-1689-z
15. Clausen J, Korte N. The distribution of metals in soils and pore water at three US military training facilities. Soil and Sediment Contamination. 2009; 18(5):546-63. doi:10.1080/15320380903085683
16. Gębka K, Bełdowski J, Bełdowska M. The impact of military activities on the concentration of mercury in soils of military training grounds and marine sediments. Environmental Science and Pollution Research. 2016:23103-13. doi:10.1007/s11356-016-7436-0
17. Vasarevičius S, Greičiūte K. Investigation of soil pollution with heavy metals in Lithuanian military grounds. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2004;12(4):132-7. doi:10.1080/16486897.2004.9636834
18. Clausen JL, Korte N. Environmental fate of tungsten from military use. Science of the Total Environment. 2009;407(8):2887-93. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.01.029
19. Idzelis RL, Greičiūte K, Paliulis D. Investigation and evaluation of surface water pollution with heavy metals and oil products in Kairiai military ground territory. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2006;14(4):183-90. doi:10.1080/16486897.2006.9636896
20. Handley-Sidhu S, Keith-Roach MJ, Lloyd JR, Vaughan DJ. A review of the environmental corrosion, fate and bioavailability of munitions grade depleted uranium. Science of the Total Environment. 2010;408(23):5690-700. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.08.028
21. Gillies JA, Kuhns H, Engelbrecht JP, Uppapalli S, Etyemezian V, Nikolich G. Particulate emissions from US Department of Defense artillery backblast testing. Journal of the Air & Waste Management Association. 2007;57(5):551-60. doi:10.3155/1047-3289.57.5.551
22. Hoch JM, Bruce M. Metal contamination hotspots at unregulated firearm target shooting sites in the Everglades. Journal of Environmental Quality. 2019;48(3):755-61. doi:10.2134/jeq2018.08.0319
23. Sujetovienė G, Česynaitė J. Assessment of air pollution at the indoor environment of a shooting range using lichens as biomonitors. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. 2021; 84(7):273-8. doi:10.1080/15287394.2020.1862006
24. Di Lella LA, Frati L, Loppi S, Protano G, Riccobono F. Lichens as biomonitors of uranium and other trace elements in an area of Kosovo heavily shelled with depleted uranium rounds. Atmospheric Environment. 2003;37(38):5445-9. doi:10.1016/j.atmosenv.2003.09.009
25. Cristaldi M, Foschi C, Szpunar G, Brini C, Marinelli F, Triolo L. Toxic emissions from a military test site in the territory of Sardinia, Italy. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2013;10(4):1631-46. doi:10.3390/ijerph10041631
26. Heier LS, Lien IB, Strømseng AE, Ljønes M, Rosseland BO, Tollefsen KE, et al. Speciation of lead, copper, zinc and antimony in water draining a shooting range—time dependant metal accumulation and biomarker responses in brown trout (Salmo trutta L.). Science of the Total Environment. 2009;407(13): 4047-55. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.03.002

27. Reid P, George C, Byrd CM, Miller L, Lee SJ, Motsinger-Reif A, et al. Blood Lead Toxicity Analysis of Multipurpose Canines and Military Working Dogs. Journal of Special Operations Medicine: A Peer Reviewed Journal For SOF Medical Professionals. 2018;18(1):74-6. doi:10.55460/1xjj-72ql
28. Elder A, Lynch I, Grieger K, Chan-Remillard S, Gatti A, Gnewuch H, Kenawy E, Korenstein R, Kuhlbusch T, Linker F, Matias S. Human health risks of engineered nanomaterials: critical knowledge gaps in nanomaterials risk assessment. InNanomaterials: risks and benefits. Springer Netherlands. 2009, pp. 3-29. doi:10.1007/978-1-4020-9491-0_1
29. Lach K, Steer B, Gorbunov B, Mička V, Muir RB. Evaluation of exposure to airborne heavy metals at gun shooting ranges. Annals of Occupational Hygiene. 2015;59(3):307-23. doi:10.1093/annhyg/meu097
30. Cook JM, Sakr CJ, Redlich CA, DeLoreto AL. Elevated blood lead levels related to the use of firearms. Journal of Occupational and Environmental Medicine. 2015;57(10):e136-8.
31. Laidlaw MA, Filippelli G, Mielke H, Gulson B, Ball AS. Lead exposure at firing ranges—a review. Environmental Health. 2017;16(1):34. doi:10.1186/s12940-017-0246-0
32. Weber AK, Bannon DI, Abraham JH, Seymour RB, Passman PH, Lilley PH, et al. Reduction in lead exposures with lead-free ammunition in an advanced urban assault course. Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2020;17(11-12):598-610. doi:10.1080/15459624.2020.1836375
33. Centeno JA, Rogers DA, Van der Voet GB, Fornero E, Zhang L, Mullick FG, et al. Embedded fragments from US military personnel—chemical analysis and potential health implications. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2014;11(2):1261-78. doi:10.3390/ijerph110201261
34. Apte A, Bradford K, Dente C, Smith RN. Lead toxicity from retained bullet fragments: a systematic review and meta-analysis. Journal of Trauma and Acute Care Surgery. 2019;87(3):707-16. doi:10.1097/TA.0000000000002287
35. McDiarmid MA, Gucer P, Centeno JA, Todorov T, Squibb KS. Semen uranium concentrations in depleted uranium exposed gulf war veterans: correlations with other body fluid matrices. Biological Trace Element Research. 2019;190:45-51. doi:10.1007/s12011-018-1527-3
36. Skaik S, Abu-Shaban N, Abu-Shaban N, Barbieri M, Barbieri M, Giani U, Manduca P. Metals detected by ICP/MS in wound tissue of war injuries without fragments in Gaza. BMC International Health and human rights. 2010;10(1):17. doi:10.1186/1472-698X-10-17
37. Borander AK, Voie ØA, Longva K, Danielsen TE, Grahnstedt S, Sandvik L, et al. Military small arms fire in association with acute decrements in lung function. Occupational and Environmental Medicine. 2017. doi:10.1136/oemed-2016-104207
38. Araújo GC, Mourão NT, Pinheiro IN, Xavier AR, Gameiro VS. Lead toxicity risks in gunshot victims. PloS One. 2015;10(10):e0140220. doi:10.1371/journal.pone.0140220
39. Vivante A, Hirshoren N, Shochat T, Merkel D. Association between acute lead exposure in indoor firing ranges and iron metabolism. The Israel Medical Association Journal. 2008;10(4):292.
40. Ryu H, Han JK, Jung JW, Bae B, Nam K. Human health risk assessment of explosives and heavy metals at a military gunnery range. Environmental Geochemistry and Health. 2007;29:259-69. doi:10.1007/s10653-007-9101-5
41. Samelko L, Petfield J, McAllister K, Hsu J, Hawkinson M, Jacobs JJ, et al. Do battlefield injury-acquired indwelling metal fragments induce metal immunogenicity?. Clinical Orthopaedics and Related Research. 2020;478(4):752-66. doi:10.1097/CORR.0000000000000953
42. Squibb KS, Leggett RW, McDiarmid MA. Prediction of renal concentrations of depleted uranium and radiation dose in Gulf War veterans with embedded shrapnel. Health Physics. 2005;89(3):267-73. doi:10.1097/01.HP.0000165451.80061.7e
43. Baraquoni NA, Qouta SR, Vänskä M, Diab SY, Punamäki RL, Manduca P. It takes time to unravel the ecology of war in Gaza, Palestine: Long-term changes in maternal, newborn and toddlers' heavy metal loads, and infant and toddler developmental milestones in the aftermath of the 2014 military attacks. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(18):6698. doi:10.3390/ijerph17186698
44. Manduca P, Al Baraquni N, Parodi S. Long term risks to neonatal health from exposure to war—9 Years long survey of reproductive health and contamination by weapon-delivered heavy metals in gaza, palestine. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(7):2538. doi:10.3390/ijerph17072538
45. Savabieasfahani M, Alaani S, Tafash M, Dastgiri S, Al-Sabbak M. Elevated titanium levels in Iraqi children with neurodevelopmental disorders echo findings in occupation soldiers. Environmental Monitoring and Assessment. 2015;187:4127. doi:10.1007/s10661-014-4127-5
46. Bergström U, Ekstrand-Hammarström B, Hägglund L, Wingfors H. Comparing acute toxicity of gunshot particles, from firing conventional and lead-free ammunition, in pulmonary epithelial cell cultures. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. 2015;78(10):645-61. doi:10.1080/15287394.2015.1017682
47. Roedel EQ, Cafasso DE, Lee KW, Pierce LM. Pulmonary toxicity after exposure to military-relevant heavy metal tungsten alloy particles. Toxicology and Applied Pharmacology. 2012;259(1):74-86. doi:10.1016/j.taap.2011.12.008
48. Tyagi R, Rana P, Gupta M, Bhatnagar D, Srivastava S, Roy R, et al. 1H NMR spectroscopic analysis detects metabolic disturbances in rat urine on acute exposure to heavy metal tungsten alloy based

metals salt. Chemico-Biological Interactions. 2014; 211:20-8. doi:10.1016/j.cbi.2013.12.016
49. Miller AC, Brooks K, Smith J, Page N. Effect of the militarily-relevant heavy metals, depleted uranium and heavy metal tungsten-alloy on gene expression in human liver carcinoma cells (HepG2). Molecular and Cellular Biochemistry. 2004;255:247-56. doi:10.1023/B:MCBI.0000007280.72510.96
50. Shaki F, Hosseini MJ, Ghazi-Khansari M, Pourahmad J. Toxicity of depleted uranium on isolated rat kidney mitochondria. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects. 2012; 1820(12):1940-50. doi:10.1016/j.bbagen.2012.08.015
51. Zhu G, Xiang X, Chen X, Wang L, Hu H, Weng S. Renal dysfunction induced by long-term exposure to depleted uranium in rats. Archives of Toxicology. 2009;83:37-46. doi:10.1007/s00204-008-0326-6
52. Fukuda S, Ikeda M, Chiba M, Kaneko K. Clinical diagnostic indicators of renal and bone damage in rats intramuscularly injected with depleted uranium. Radiation Protection Dosimetry. 2006;118(3):307-14. doi:10.1093/rpd/nci350
53. Monleau M, De Méo M, Paquet F, Chazel V, Duménil G, Donnadieu-Claraz M. Genotoxic and inflammatory effects of depleted uranium particles inhaled by rats. Toxicological Sciences. 2006; 89(1):287-95. doi:10.1093/toxsci/kfj010
54. Gaitens JM, Condon M, Squibb KS, Centeno JA, McDiarmid MA. Metal exposure in veterans with embedded fragments from war-related injuries. Journal of Occupational and Environmental Medicine. 2017;59(11):1056-62.