

Exponering och hälsoriskbedömning för bly i samband med skjutövningar inom Försvarsmakten

FABIAN TAUBE, LINDA SCHENK,
HÅKAN WINGFORS, LARS GERHARDSSON



**Fabian Taube, Linda Schenk, Håkan Wingfors,
Lars Gerhardsson**

Exponering och hälsoriskbedömning för
bly i samband med skjutövningar inom
Försvarmakten

Titel	Exponering och hälsoriskbedömning för bly i samband med skjutövningar inom Försvarsmakten
Title	Exposure and risk assessment of lead during shooting exercises within the Swedish Armed Forces
Rapportnr/Report no	FOI-R--5185--SE
Månad/Month	November
Utgivningsår/Year	2021
Antal sidor/Pages	21
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	Försvarsdepartementet
Forskningsområde	CBRN-frågor
FoT-område	Inget FoT-område
Projektnr/Project no	A401021
Godkänd av/Approved by	Åsa Scott
Ansvarig avdelning	CBRN-skydd och säkerhetCBRN-skydd och säkerhet

Bild/Cover: Antonia Sehlstedt/Försvarsmakten

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Bly förekommer i krutröken från blyad ammunition och kan ge upphov till allvarliga effekter på det centrala och perifera nervsystemet, blodet, njurarna, hjärt-kärlsystemet, endokrina systemet, immunförsvaret, mag-tarmkanalen och på den manliga och kvinnliga reproduktionen. I takt med att kunskapen om hälsoeffekter av blyexponering ökar, framförallt vid lågdosexponering, har förslag på nya gränsvärden för bly i blod föreslagits och i vissa fall införts. Samtidigt är exponering och upptag av bly under standardiserade skjutövningar inom Försvarsmakten bristfälligt studerat. Forskare från Karolinska Institutet, FOI och Försvarsmedicincentrum har därför nyligen genomfört och publicerat en riskbedömning för blyexponering i samband med en standardiserad övning för kadetter inom Försvarsmakten. Resultatet från denna riskbedömning sammanfattas i föreliggande rapport och jämförs med tidigare kända studier om exponeringsnivåer av bly bland militär personal. Tillsammans med liknande riskvärderingar från EFSA och osäkerheten om huruvida det existerar en nivå som inte medför negativa hälsoeffekter, är den sammanvägda bedömningen i föreliggande rapport att blyexponeringen alltid ska minimeras under skjutövningar. Kopplat till Försvarsmaktens mål att kraftigt öka andelen kvinnliga rekryter på sikt, bör skjutövningar med finkalibrig ammunition inomhus eller i träningsanläggningar för strid i bebyggelse (SIB) alltid genomföras med blyfri ammunition, såvida deltagarna inte kan skyddas helt från exponeringen för bly på annat sätt.

Nyckelord: bly, exponering, toxicitet, krutgaser, krutrök, SIB, skjutövningar.

Summary

Lead is present in the gunpowder smoke from leaded ammunition and can cause serious effects on the central and peripheral nervous system, blood, kidneys, cardiovascular-, endocrine- and immune systems, gastrointestinal tract, and male and female reproduction. As the health effects of lead exposure increase, especially in low-dose exposure, proposals for new limit values for lead in blood have been proposed and in some cases introduced. At the same time, exposure and uptake of lead during standardized shooting exercises within the Swedish Armed Forces is poorly studied. Researchers from the Karolinska Institute, FOI and the Swedish Armed Forces Center for Defense Medicine have therefore recently conducted and published a risk assessment for lead exposure in connection with a standardized exercise for cadets within the Swedish Armed Forces. The risk assessment is summarized in the present report and compared with previously known studies on lead exposure levels among military personnel. Taken into account the similar risk assessments from EFSA and the uncertainty about the existence of a level without adverse health effects, the conclusion made in the present report is that lead exposure should always be minimized during shooting exercises. Linked to the Swedish Armed Forces' goal of significantly increasing the proportion of female recruits, shooting exercises with fine-caliber ammunition indoors or in Urban Combat Training (UCT) should always be conducted with unleaded ammunition, unless participants can be fully protected from exposure to lead by other means.

Keywords: lead, exposure, toxicity, gunpowder gases, gunpowder smoke, SIB, shooting exercises.

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
2	Upptag, distribution och metabolism	8
3	Hälsoeffekter av blyexponering	9
	3.1 Effekter på nervsystemet.....	9
	3.2 Effekter på övriga organsystem.....	10
	3.3 Störningar i bildningen av hemoglobin	11
	3.4 Endokrinologiska effekter	11
4	Medicinska kontroller för blyexponerad personal.....	13
5	Blyexponering för skyttar vid skjutövningar inom Försvarmakten .	14
6	Diskussion och slutsatser	16
	6.1 Förslag på åtgärder.....	17
7	Referenser.....	18

1 Inledning

Röken från avfyrad ammunition innehåller en komplex blandning av metallinnehållande partiklar och olika gaser. Som en följd av detta leder militär aktivitet till luftföroreningar och markföroreningar av såväl bly, koppar, zink, som andra metaller. De markbundna metallerna kan med tiden migrera till grundvatten eller vattendrag, vilket ökar risken för exponering för både människor och djur. Amerikanska och norska studier har fokuserat på exponeringsrisker för koppar och zink, där framförallt skjutövningar med blyfri kopparbaserad ammunition har visat sig ge upphov till retning av luftvägar och symptom som påminner om metallröksfeber [1, 2, 3].

Bly förekommer i röken från blyad ammunition och kan ge upphov till allvarliga effekter på det centrala nervsystemet (CNS) och det perifera nervsystemet (PNS), blodet, njurarna, hjärt-kärlsystemet, de endokrina och immunologiska systemen, mag-tarmkanalen och på den manliga och kvinnliga reproduktionen. Forskare har påvisat olika typer av nervpåverkan efter exponering för bly i krutgaser, såsom upplevd huvudvärk, minnesförlust, dåsighet, dåligt humör, men också svaghet, muskel- samt buk- och ledvärk. I vissa studier konstateras ett försämrat skytte, sämre beslutsfattande och ökad aggressivitet. När blyexponering bland vuxna i USA med militär bakgrund undersöktes fann forskarna att exponeringen för bly var kopplad till ökat blodtryck och ökad grad av oxidativ stress i kroppen. Förhöjda nivåer av bly i blod har också visat sig ha negativa effekter på bildningen av spermier bland militär personal. Dessutom har forskare funnit att blyexponering kan leda till järnbrist [4, 5, 6, 7, 8].

I takt med att kunskapen om hälsoeffekter av blyexponering ökar, framförallt vid lågdosexponering, har förslag på nya gränsvärden lagts fram och i vissa fall införts. Forskare från Karolinska Institutet, FOI och Försvarsmedicincentrum har därför nyligen publicerat resultatet av en riskbedömning för blyexponering i samband med en standardiserad övning för kadetter inom Försvarsmakten [9]. Föreliggande rapport sammanfattar dels resultaten från ovan nämnda publikation, dels tidigare kunskap om exponeringsnivåer och hälsorisker med bly bland militär personal som skjuter med blyad ammunition.

Försvarsmakten har en intensiv skjut-/övningsverksamhet med blyad ammunition (5,56 samt 7,62, lös och skarp), såväl utomhus som inomhus. Förutom en kärna av bly innehåller denna ammunition även bly i tändsatsen, i form av blystyfnat¹. I likhet med metalliskt bly och blyoxid, som också finns i blyad ammunition och/eller bildas vid avfyrning, kan blystyfnat lätt tas upp i kroppen, i huvudsak via lungorna och mag-tarmkanalen. När ett skott avfyras är det i huvudsak förbränningsprodukterna från blyföreningarna från tändsatsen (blystyfnat) som skytten exponeras för via inhalation². Instruktörer och vissa specialstyrkor har identifierats som mer utsatta på grund av upprepad och mer intensiv exponering under komplexa skjutövningar, såsom strid i bebyggelse (SIB)³. I SIB tränas närstrid med handeldvapen i kombination med sprängladdningar, till exempel chockgranater, i simulerade stadszoner och skjuthus.

Försvarsmaktspersonal som är viltjägare och/eller äter vilt kan dessutom få betydande blyexponering. Enligt den europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet, EFSA (European Food Safety Authority), överskrider nära 30 % av analyserade viltköttprover

¹ Av tändsatsens totala vikt utgör blystyfnat cirka 40 viktprocent, medan blyoxid utgör cirka 5 viktprocent. Den totala andelen bly, inklusive kärnan, i skarp blyad 5,56 samt 7,62, utgör ca 1,7 respektive 2,6 viktprocent av hela ammunitionen.

² Avfyrning av en helmantlad blykula (tombak-kopparlegering runt hela kulan) medför troligen uteslutande blyexponering från blystyfnat. Avfyrning av ammunition där botten inte är mantlad medför sannolikt ett bidrag av bly även från kulan, och då i huvudsak i form av blyoxid.

³ En engelsk benämning är Urban Combat Training (UCT).

från djur som skjutits med blyinnehållande ammunition gränsvärdet för bly i kött. I Sverige beräknas ca 10 % av befolkningen vara högkonsumenter av viltkött. Gravida kvinnor, kvinnor som planerar en graviditet samt barn under sju år bör helt undvika konsumtion av viltkött⁴[10]. Försvarsmakten har som ambition att under de närmaste åren öka andelen unga kvinnliga rekryter, dvs. den mest känsliga gruppen för blyexponering, vilket medför ett ökat arbetsgivaransvar gällande riskbedömning av blyexponering.

Försvarsmaktens interna studier har traditionellt varit fokuserade på luftmätningar av bly och vissa andra metaller som zink och koppar, samt krutgaser, till exempel kolmonoxid. Dessa studier saknar tyvärr ofta upprepade exponeringsmätningar, och eftersom det är många parametrar, utöver valet av blyad ammunition, som påverkar exponeringen för bly under en övning (till exempel lokalstorlek, antal skott, tidsrymden för avlossning, skytterns position; liggande, knä, stående, närhet till annan aktiv skytt) är det svårt att dra säkra slutsatser om exponeringen enbart utifrån dessa studier. I vetenskapliga studier där stationära blymätningar utfördes i samband med skytte i bås på inomhusskjutbanor, fann forskarna mycket höga genomsnittliga nivåer av bly i luften (från ca 0,5 till över 1 mg/m³) [11, 12] jämfört med det nivågränsvärde (NGV) för bly som Arbetsmiljöverket angivit (0,05 mg/m³) [13]. Dessa studier ger en indikation på att övningar med blyad ammunition i begränsade utrymmen, såsom i inomhusskjutbanor och i övningshus kan medföra en exponering som kraftigt överstiger NGV för bly.

Genom att dessutom mäta nivåerna av bly i helblod (B-Pb) får arbetsgivaren en bättre bild av det totala blyupptaget hos varje individ. Sådana studier visar generellt att blyexponeringar från olika skjutövningar ökar dosen av bly i kroppen både för fritids- och yrkesskyttar, och att långvarig exponering ökar B-Pb i en utsträckning som kan orsaka hälsoproblem [51].

Det genomsnittliga medelvärde av B-Pb hos USA:s vuxna befolkning har visat en sjunkande trend sedan millennieskiftet och var vid den senaste mätningen 2013-2014, 0,84 µg/dl [14]. Den senaste beräkningen av medianvärdet för personer i åldersspannet 25–35 år i Sverige är från en utredning i Norrland, 2014. Medelvärdena bland dessa personer var 1,1 µg/dl för män och 0,97 µg/dl för kvinnor. [15]. I Sverige syns en klar minskning av B-Pb hos barn sedan den blyade bensinen fasades ut i början på 90-talet. På 1980-talet var B-Pb hos barn i genomsnitt drygt fyra gånger högre än idag. Enligt den senaste nationella hälsorelaterade miljöövervakningen 2019 har barn i södra Sverige en genomsnittlig B-Pb på 0,7 µg/dl. [16]. Förindustriella B-Pb hos människor har uppskattats till under 0,02 µg/dl [17].

⁴ Personer som äter viltkött en gång per månad eller oftare får med stor sannolikhet en förhöjd blyhalt i blodet som kan vara 30-50 % högre än hos konsumenter som äter viltkött mindre än en gång per månad eller inte alls.

2 Upptag, distribution och metabolism

Absorptionen av bly kan ske via lungorna, huden och från mag-tarmkanalen. Vid munandning av partiklar av storleksordningen 0,01-0,05µm deponeras mellan 40 till 60 % i alveolerna [18]. Studier visar att den beräknade luftvägsdeponeringen av den typ av metallhaltiga luftburna partiklar som genereras vid skjutbanor kan variera från 34 % till 70 % beroende på skillnader i partikelstorleksfördelning och partikelkoncentration [19].

Upptaget av olika blyföreningar i mag-tarmkanalen skiljer sig beroende på typ, men är normalt ca 15-20 % hos vuxna i samband med intag av föda och upp till 80 % om intaget sker på fastande mage [20]. Runt 97 % av blyet i blodet tas upp av de röda blodcellerna, och mindre än 1 % finns i blodplasma. Det bly som kroppen inte klarar av att utsöndra fördelas också till lever, njurar, lungor, mjälte, muskler och hjärta och i vissa fall även till hjärnan medan en del byggs in i det kalciumbaserade mineral, kalciumhydroxyapatit, som utgör benstommen. Det är blyjonens likhet med kalciumjonen som gör att bly kan byggas in i benstommen. Likheten med kalcium orsakar även att blyjoner kan passera via moderkakan till fostret och störa signaleringen i cellerna. Skelettet innehåller mer än 90 % av den totala blymängden i kroppen [21]. Hos långvarigt och högt exponerade blyarbetare kan skeletthinnet vara av storleksordningen 1 g. Bly som tidigare har lagrats in i skelettet frigörs successivt om personen har brist på kalcium. Detta blir särskilt tydligt under perioder av mer omfattande nedbrytning av skelettet, såsom vid amning och under klimakteriet. Efter långvarig exponering (år), då en skelettpool av bly har byggts upp, sjunker därför bly i blod långsammare även om exponeringen har upphört⁵.

⁵ Efter kortvarig exponering (dagar eller månader) är halveringstiden för bly i blod och de flesta organ cirka en månad. Den del som ansamlas i skelett har dock lång halveringstid (5–10 år), liksom det bly som ansamlas i hjärna (1-2 år).

3 Hälsoeffekter av blyexponering

Vissa grupper är mer känsliga för upptag och effekter av bly. Barn är till exempel mer mottagliga än vuxna eftersom de äter mer i förhållande till sin kroppsvikt, har en högre blyabsorption i mag-tarmkanalen och dessutom en mindre fördelningsvolym. Kvinnor i fertil ålder, gravida eller ammande kvinnor är extra känsliga för blyexponering, liksom personer med brist på vissa mineraler, framför allt mineraler innehållande järn, zink och kalcium, eftersom sådan brist kan öka upptaget av bly i kroppen [22]. Brist på mineraler innehållande såväl järn, zink som kalcium kan förekomma hos personer som äter vegansk kost [23, 24]. Gravida och ammande kvinnor som inte har ett tillräckligt högt intag av kalcium och personer med kalciumbrist, mobiliserar kalcium från skelettet, vilket medför att skelettbundet bly frigörs till blodbanan och ökar B-Pb.

3.1 Effekter på nervsystemet

De neurotoxiska effekterna av bly inkluderar bland annat celldöd, negativ påverkan på mitokondrier och på lagring och frisättning av viktiga signalsubstanser i nervsystemet. Kalciumjonens viktiga nervreglerande funktion i kroppen är central för den effekt som bly har på nervsystemet. Bly kan nämligen ersätta kalcium när detta binder in till centrala proteiner inuti cellen, och på så sätt störa nervregleringen. Även om samtliga toxiska effekter inte kan kopplas till en enskild mekanism, är det troligt att det är blyjonens förmåga att ersätta kalciumjonen, och dessutom störa kalciumjonens viktiga nervreglerande funktion i kroppen, som är en viktig gemensam faktor bakom blyjonens neurotoxiska effekter [25].

Studier har visat att bly kan transporteras till hjärnan via blod-hjärn-barriären (BBB) som ett substitut för kalcium [26]. I hjärnan kan bly orsaka inflammation [27, 28] som vid svår förgiftning kan visa sig som koordinationsrubbnings, koma och kramper.

Lågdosexponeringar av långvarigt blyexponerade personer har visat öka förekomst av irritabilitet, oro, trötthet, nedstämdhet, koncentrationssvårigheter och kognitiv CNS-påverkan. Blyförgiftning hos vuxna kan leda till skador på nervsystemet, framför allt i form av polyneuropati⁶ samt encefalopati⁷.

Blyexponering har också visat sig ge en ökad risk för utveckling av neurodegenerativa sjukdomar som Alzheimer, Parkinson och ALS (amyotrofisk lateral skleros)[29, 30, 31, 32]. Det finns indikationer på att s.k. epigenetisk modifiering⁸ kan trigga eller förvärra en ackumulering av den typ av sjukdomsframkallande proteiner som misstänks vara en orsak bakom neurodegenerativa sjukdomar. Det finns också ett antal studier som visar att blyexponering kan bidra till epigenetisk modifiering, vilket orsakar hälsoeffekter hos barn som under fosterstadiet exponerats för bly via modern [33, 34].

I en studie där USA-veteraner med ALS ingick fann författarna att förhöjda halter av B-Pb korrelerade med högre risk för ALS [35] samt att blyhalterna dessutom korrelerade med överlevnad efter diagnos, dvs. ju lägre B-Pb desto längre överlevnad [36]. Förutom att bly kan få hjärnceller att påbörja en programmerad celldöd orsakar bly också toxiska effekter genom så kallad oxidativ stress, genom inducerade skador på mitokondrier och genom att störa glutamatreceptorers funktion⁹. Samtliga av de tre sistnämnda effekterna har föreslagits som delorsaker till uppkomsten av ALS [37].

⁶ Polyneuropati är en sjukdom i flera av kroppens nerver. Den börjar oftast i benens nerver och leder till en gradvis sämre känsel i fötterna och svårigheter att gå.

⁷ Encefalopati är en generell beteckning på nervsjukdom i hjärnan.

⁸ Epigenetisk modifiering utgörs av DNA-modifieringar som inte direkt ändrar DNA-sekvensen men som leder till förändringar i avläsningen av DNA.

⁹ Glutamatreceptorerna är viktiga för centrala nervsystemets synaptiska signalöverföring, minnesbildning, inlärning och nervreglering. Receptorerna är involverade i en rad olika degenerativa sjukdomar. Detta kan bero på en

Hos barn är de mest kritiska hälsoeffekterna beteendeförändringar och endokrina förändringar, såsom en ökning av hyperaktivitet och oförmåga till koncentration, fördröjd pubertet och kognitiva utvecklingsstörningar i form av IQ-förändringar. Andra effekter som kan uppträda hos barn vid relativt låg exponering är störd blodbildning, nedsatt hörsel, njurpåverkan och hämmad skelettillväxt. Det framväxande fostret är särskilt känsligt för effekterna av bly när hjärnan utvecklas. Bly kan påverka synapsbildningen, utvecklingen av neuron och interaktionen mellan neuron och gliaceller¹⁰ [38]. För barn och foster har EFSA därför bedömt blyets potentiella effekter på nervsystemets utveckling och intelligenskvot (IQ) som den allvarligaste effekten. Eftersom det framväxande fostret och barnet är särskilt känsliga bedöms den allvarligaste effekten vid yrkesmässig exponering för bly vara effekter på foster och på barn som ammas. Minskad tillväxt hos foster och effekter på CNS hos barn har rapporterats vid halter runt 20–100 µg/dl. Rapporterade effekter innefattar också inlärningsproblem, beteendeförändringar, hörsel- och talsvårigheter, försämrade uppmärksamhetsförmåga, försämrade visuomotorik¹¹, förlängd reaktionstid och försämrade skolresultat inom intervallet vid eller under 5 µg/dl och upp till ca 10 µg/dl. Studier har visat en IQ-sänkning med 1–2 IQ-enheter vid en ökning av B-Pb från 10 till 20 µg/dl [39]. Även en ökad risk för antisocialt och våldsamt beteende har beskrivits [40]. Ökad blyexponering misstänks också kunna bidra till utvecklingen av ADHD hos barn [41].

I ett antal studier har forskare, med hjälp av frågeformulär och bloddata, påvisat samband mellan nervskador och blyexponering hos såväl militär personal som hos civila personer med blyexponering från ammunition. I en studie kunde författarna påvisa att kvarvarande fragment från blyad ammunition hos skottskadade personer var relaterad till nervsymtom [4]. Personerna i kontrollgruppen hade ett medianvärde av B-Pb på 2,1 µg/dl, medan gruppen med blyfragment i kroppen hade ett medianvärden på 6,5 µg/dl. Personerna i denna grupp rapporterade irritabilitet, dåligt humör, huvudvärk, minnesförluster, ljuskänslighet, myalgi, svaghet, buksmärta, ledvärk, darrande och stickningar signifikant oftare än personerna i kontrollgruppen. Forskare har också påvisat kognitiva effekter hos militär insatspersonal med hög blyexponering, till exempel försämrat skytte och beslutsfattande [5].

I en studie där 118 slumpvis valda skyttar och bågskyttar valts ut från olika skytteklubbar i Sydafrika kunde forskare notera en ökad aggressivitet hos skyttarna och ett signifikant ökat fientligt beteende med ökad halt av bly i blodet, framförallt vid nivåer från 10 µg/dl och över. Skyttarna hade ett medianvärde av B-Pb på 11,9 µg/dl (intervall från 2,0 µg/dl till 60,0 µg/dl). 80% av skyttarna hade B-Pb $\geq$ 5 µg/dl och 40% $\geq$ 10 µg/dl [6].

3.2 Effekter på övriga organsystem

För icke gravida vuxna har EFSA bedömt blyets njurskadande och blodtryckshöjande potential som de mest allvarliga effekterna. En blodtrycksökning kan innebära en ökad risk för stroke och hjärtkärlsjukdom. Om ökade halter B-Pb orsakar ett förhöjt blodtryck hos modern under graviditeten ökar också risken för reducerad födelsevikt hos barnet, placentaavlossning och en ökad risk för fosterdöd under senare delen av graviditeten [42].

Genom att samla in data för systoliskt blodtryck, diastoliskt blodtryck och gamma-glutamyltransferas (ett enzym som katalyserar bildningen av glutation, kroppens viktigaste antioxidant) från personer som tjänstgjort inom militären, visade forskare nyligen att exponeringen för bly är kopplad till ett ökat systoliskt blodtryck tillsammans med ökad

kombination av överaktiva glutamatreceptorer (skapar för stort inflöde av kalcium i cellen) och att glutamatreceptorer förekommer i så stort antal i hela centrala nervsystemet.

¹⁰ Gliaceller finns runt nervceller och påverkar nervimpulsernas rörelser.

¹¹ Visuomotorik innebär samordning av visuell perception och motorisk kontroll, till exempel att komma ihåg hur visuell information ser ut, att tolka information rätt och effektivt, att koordinera handmotoriken för att återge informationen.

aktivitet av gamma-glutamyltransferas [8]. B-Pb samt ämnen i blodet som påvisar hjärt-kärlpåverkan och oxidativ stress analyserades hos 1806 personer som tidigare hade tjänstgjort i militären och 16 439 personer som inte hade tjänstgjort i militären. Medelvärden av B-Pb för grupperna var 1,83 µg/dl (intervall 1,68–1,98) respektive 1,33 µg/dl (intervall 1,27–1,38). Slutsatsen från denna studie var att de som tidigare tjänstgjort i militära miljöer fortfarande, flera år senare, har högre blynivåer i blodet än kontrollgruppen, trots att de inte är blyexponerade idag. Gruppen hade även förhöjt blodtryck och högre aktivitet av enzymer som indikerar en pågående oxidativ stress i kroppen. Dessa resultat återstod även efter att forskarna justerat för skillnader i alkoholkonsumtion och rökning mellan de båda grupperna. Författarna hade inte möjlighet att mäta skelettbundet bly, men föreslår att de förhöjda blyvärdena i blodet beror på långsamt läckage av bly från skelettet.

Njurarna spelar en central roll i reglering av röda blodkroppar genom att utsöndra hormonet EPO. Dessutom reglerar njurarna den kemiska balansen av näringsämnen som natrium, kalium, kalcium, magnesium och järn i blodet genom att styra återupptaget av ämnen från primärurinen. Skador på njurarna kan därför påverka möjligheten att återföra exempelvis kalcium till blodet. Eftersom bly i blodet successivt ansamlas i njurarna kan bly skada njurarnas roll i reglering av röda blodkroppar samt njurarnas renande och filterande förmåga, inklusive förmågan att återföra kalcium och andra mineraler till blodet [43]. För effekter på kronisk njursjukdom och blodtryck har EFSA satt hälsobaserade referensvärden på 1,5 µg/dl respektive 3,6 µg/dl [33].

3.3 Störningar i bildningen av hemoglobin

Blyets förmåga att förhindra bildningen av hemoglobin och att förstöra röda blodceller kan leda till järnbrist och anemi, med försämrad syreupptagningsförmåga som följd. De komplicerade kemiska reaktioner som är involverade i bildningen av hemoglobin kräver närvaro av flera olika enzymsystem som katalyserar reaktionerna. Genom interaktion med flera av de enzymer som är nödvändiga kan bly hämma bildningen av vissa proteiner som behövs som byggstenar till hemoglobin. Bly kan även förhindra det nödvändiga upptaget av järnjoner till mitokondrierna [44]. Bildningen av hemoglobin påverkas negativt redan vid B-Pb på ca 10 µg/dl [45]. Om det dessutom samtidigt sker en exponering för kolmonoxid, som bildas vid avfyrning av ammunition, så löper den exponerade individen större risk att påverkas av effekter av blyexponering, eftersom kolmonoxid ytterligare minskar upptaget av syre i hemoglobin.

Upprepad inandning av blyexponering från damm på inomhusskjutbanor under ett antal veckor visade sig resultera i en betydande minskning av järnnivåerna i blod hos soldater [7]. Studien omfattade data från en grupp på 30 unga och friska soldater i åldersintervallet 19–21 år som tränat tillsammans under ett års tid och, enligt medicinsk undersökning, inte haft symtom på järnbrist eller blyförgiftning. Blodprover togs för bly, järn och hemoglobin samt för zinkprotoporfyrin och ferritin (markörer för järnstatus) före och efter en 6 veckors daglig målträning på skjutbanor inomhus. Medelvärden av B-Pb före respektive efter denna övning var ca 10 och 19 µg/dl. Halterna järn och ferritin i blodet minskade signifikant under övningens gång, med drygt 30 respektive 10 %. Slutsatsen från studien var att blyexponering kan leda till järnbrist, men också att låg järnstatus före blyexponering kan förvärra effekten av blyexponeringen. Forskarna betonade vikten av att ta hänsyn till synergieffekterna mellan järn och bly när man kliniskt behandlar patienter med känd risk för antingen järnbrist eller hög blyexponering.

3.4 Endokrinologiska effekter

Effekter av bly på kroppens hormonbildande organ, som hypofysen, sköldkörteln, bisköldkörtlarna, binjurarna samt äggstockarna respektive testiklarna har studerats under

många år. Djurstudier har exempelvis visat att bly kan förstöra äggceller. Eftersom äggceller ligger vilande från kvinnans fosterstadium (inga nya bildas under livet) kan äggcellen vara särskilt känslig för toxisk påverkan. Blodblyhalter från omkring 10 µg/dl kan orsaka spontanaborter och bly kan dessutom vara hormonstörande, antingen direkt genom att hämma sekretionen av follikelstimulerande hormon (FSH)¹² eller indirekt genom att inverka på östrogenreceptorn i livmodern och därmed försvåra implantationen av äggcellen. Fostret är extra känsligt under de första tre månaderna (första trimestern). Efter denna period kan toxiska ämnen främst störa själva tillväxten och mognaden/funktionen på olika system, till exempel de neurologiska, immunologiska och endokrina systemen. Ökad B-Pb har visat sig reducera fertiliteten och även orsaka en fördröjd pubertetsutveckling hos såväl flickor som pojkar. Blyexponering kan hos kvinnor orsaka infertilitet, missfall, fosterdöd, preeklampsi¹³ och graviditetshypertoni¹⁴ [46]. Negativa effekter på fostertillväxt i livmodern, födelsevikt, födelselängd och för tidig förlossning har rapporterats vid B-Pb <10 µg/dl [47].

Gravida och ammande kvinnor som inte har ett tillräckligt högt intag av kalcium mobiliserar kalcium från skelettet, vilket medför att skelettbundet bly frigörs till blodbanan och ökar B-Pb. Vid amning utsöndras bly i modersmjölken och koncentrationen i modersmjölken är proportionell mot blyhalten i moderns skelett som bidrar till cirka hälften av blymängden i mjölken. Den andra hälften kommer från moderns födointag. Gravida kvinnor som är eller som tidigare har varit blyexponerade kan därför överföra bly till sina ofödda foster. Eftersom bly ackumuleras och lagras i skelettet i årtionden utgör det ett hot mot kvinnor i reproduktiv ålder långt efter det att deras exponering för bly har upphört. Förutom överföring av bly till foster under graviditeten ökar också blyhalten i bröstmjolk med blyhalten i moderns blod, vilket utgör en risk även för det födda barnet. Överföringen av bly från skelettet under graviditet och även efter graviditet via bröstmjölken bedöms som bekymmersam eftersom flera studier tyder på att skadliga effekter på kognitiv utveckling uppstår redan vid halter lägre än 10 µg/dl i moderkakan [25], som är det svenska B-Pb gränsvärdet för yrkesverksamma kvinnor under 50 år.

Hos män sker en ansamling av bly i testiklar, bitestiklar, seminalvätska¹⁵ och prostata. Blyexponerade arbetare har en ökad ansamling av bly i seminalvätska, nivåerna är omkring en tiondel av B-Pb. Rapporterade effekter av bly runt 30-40 µg/dl innefattar minskad libido, effekter på spermiogenesen¹⁶ (minskad rörlighet, minskat spermieantal, onormal form), kromosomförändringar, infertilitet, onormal prostatafunktion och förändringar i halten av testosteron i blodet (S-testosteron) [41].

¹² FSH är ett centralt hormon för vår fortplantning, och främjar bildningen av könsceller. Hos kvinnor bildar FSH ägg, så kallade folliklar, i äggstockarna.

¹³ Kallas ibland även havandeskapsförgiftning och innebär bl.a. högt blodtryck samt onormal ökning av proteinämnen i urinen.

¹⁴ Förhöjt blodtryck under graviditet.

¹⁵ hjälper spermierna till rörelse vid ejakulation.

¹⁶ Sista steget i bildningen av spermier.

4 Medicinska kontroller för blyexponerad personal

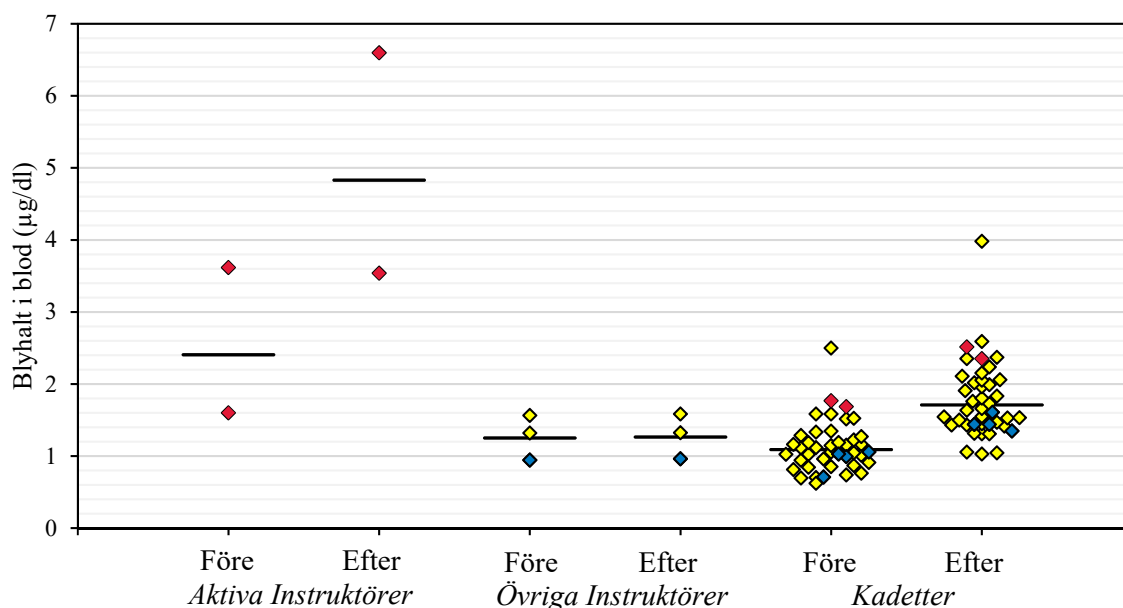
Enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter om medicinska kontroller (AFS 2019:3) ska, med vissa undantag, B-Pb regelbundet kontrolleras hos blyexponerad personal [48]. Gränsvärdena i föreskrifterna anges i $\mu\text{mol/l}$, vilka i den här rapporten har räknats om till $\mu\text{g/dl}$ för att underlätta jämförelser med internationella riktlinjer och studier. Föreskrifterna delar upp arbetstagare i två grupper: kvinnor under 50 år samt män och kvinnor över 50 år. Om B-Pb hos kvinnor under 50 år är högre än $10 \mu\text{g/dl}$ får de inte exponeras ytterligare innan en ny mätning har visat att nivåerna är under gränsvärdet. För övriga arbetstagare är motsvarande gräns $30 \mu\text{g/dl}$, och återgång till arbete med blyexponering får ske om B-Pb har visats vara under $27 \mu\text{g/dl}$. Om tre mätningar i rad därefter är under $8 \mu\text{g/dl}$, behöver arbetsgivaren inte genomföra ytterligare medicinska kontroller för arbetstagare i den här gruppen. Ingen motsvarande gräns är satt för kvinnor under 50 år.

På EU-nivå finns motsvarande biologiska gränsvärden (BLV) för B-Pb hos arbetstagare. Det nu gällande EU gränsvärdet, $70 \mu\text{g/dl}$, är högre än gränserna satta i föreskrifterna om krav på medicinska kontroller, men en uppdatering av detta gränsvärde väntas. Europeiska kemikaliemyndigheten (ECHA) rekommenderade år 2020 ett BLV på $15 \mu\text{g/dl}$, men noterade också att detta inte skyddar de allra känsligaste arbetstagarna, såsom gravidakvinnor. Därför rekommenderade ECHA också en vägledande riktlinje, BGV (Biological Guidance value) om $4,5 \mu\text{g/dl}$, som en indikator för att yrkesexponering sker och som en rekommenderad maxgräns för B-Pb i kvinnor i fertil ålder. Värdet är inte baserat på en toxikologisk bedömning, utan på nuvarande bakgrundshalter av B-Pb i den europeiska befolkningen, som för den arbetande befolkningen i medeltal är B-Pb i EU $3\text{--}3,5 \mu\text{g/dl}$ [49]. En liknande diskussion har förts av NHANES (CDC¹⁷ National Health and Nutrition Examination Study) som rekommenderat en referensnivå på $3,5 \mu\text{g/dl}$ [50].

¹⁷ The United States Centers for Disease Control and Prevention.

5 Blyexponering för skyttar vid skjutövningar inom Försvarsmakten

Den hittills enda studien över blymätningar i blod för svenska militärer visar att en 9-dagars inledande SIB-utbildning med låg intensitet, gynnsamma utomhusförhållanden och delvis användning av blyfri ammunition ändå ger en mätbar och statistiskt signifikant ökning av bly i blodet (figur 1). Studiedeltagarna bestod av fem instruktörer (35 till 42 år gamla, median 36 år), samt 43 kadetter (21 till 39 år gamla, median 24 år). Sex av deltagarna var kvinnor. De flesta av deltagarna hade varit anställda av Försvarsmakten mellan 1–5 år när studien påbörjades. Information om deltagarnas skjutintensitet, möjliga exponering för bly på fritiden etcetera, hämtades in via frågeformulär [9].



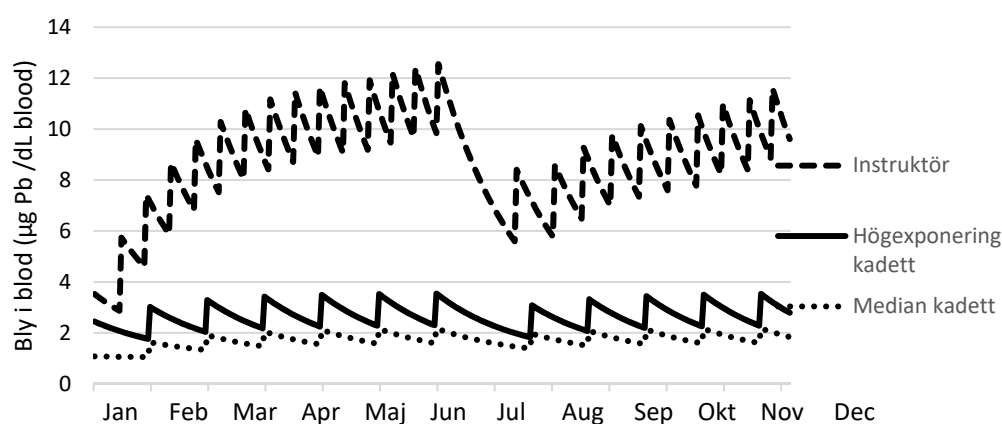
Figur 1. Blyhalter i blodet (µg/dl) för instruktörer (n=5) och kadetter (n=42), före och efter 9-dagarskursen. De horisontella linjerna anger medianvärdet, röda markörer indikerar fritidsskyttar (samtliga män), blå markörer markerar kvinnliga deltagare, gula markörer markerar övriga manliga deltagare [9].

Figur 1 visar blyhalten i blod före och efter kursen. Eftersom instruktörerna hade skilda uppgifter delades de in i "aktiva instruktörer" som följde kadetterna på nära håll under hela övningen, och "övriga instruktörer". För de två instruktörer som aktivt följde kadetterna under övningen medförde övningen en fördubbling av B-Pb från 2,41 µg/dl i median före övningen till 4,83 µg/dl efter övningen, medan instruktörer som följde övningen på håll hade oförändrade blyhalter i blodet. Även för kadetterna ökade B-Pb signifikant, från 1,09 µg/dl till 1,62 µg/dl (medianvärde). De fyra fritidsskyttarna hade högre värden än medianen före kursen (1,73 µg/dl) medan de fem kvinnliga deltagarna låg under mediannivåerna. Ingen av instruktörerna eller kadetterna överskred de svenska gränsvärdena för B-Pb, och samtliga uppmätta blyvärden låg under åtgärdsnivåerna då hälsokontroll är nödvändig enligt Arbetsmiljöverkets regler.

Genom att extrapolera mätdata har man i studien modellerat hur blodnivåerna teoretiskt kommer att förändras på sikt om man fortsätter att exponeras för samma typ av övningar upprepade gånger. I studien utfördes extrapoleringar för tre olika tänkta scenarier: dels ett planerat värsta-fall för instruktörer baserat på de högsta instruktörsvärdena före och efter kursen, ett beräknat mediankadettscenario och ett scenario med högt upptag för kadetter (figur 2). Eftersom vissa instruktörer arbetar kontinuerligt med denna typ av utbildning

modellerades ett värsta-fallscenario med 24 liknande exponeringstillfällen per år baserat på totalt 220 arbetsdagar per år. Detta inkluderar ett 5-veckors sommarlov och ett 2-veckors vinterlov. Båda kadettscenarierna antog att kadetter under utbildning gick en liknande kurs 11 gånger per år (månadsvis, med undantag för juli). Modellerna tar inte hänsyn till omfördelningen av bly från andra delar av kroppen tillbaka till blod, exempelvis om personen har bly upplagrat i benstommen. Modellen tar heller inte hänsyn till om det förekommer andra blyexponeringskällor parallellt under året.

Av figur 2 framgår att hos instruktörer som exponeras enligt våra antaganden ökar B-Pb under ett år från den antagna startpunkten på strax under 4 µg/dl till drygt 11 µg/dl i slutet av året. I kadettscenariot med högt upptag av bly med en utgångsblodhalt på 2 µg/dl vid årets början ökar B-Pb till ca 4 µg/dl vid årets slut. För mediankadettscenariot utgick modelleringen från drygt 1 µg/dl vid årets början, vilket under ett år skattas att öka till ca 2 µg/dl. Längre tid med regelbundna övningar skulle leda till ytterligare ackumulerad blodhalt.



Figur 2. Modellerad blyhalt i blodet under ett år med upprepade exponeringar för tre scenarier: instruktörers värsta fall (streckad linje), högnivå för kadetter (heldragen linje) och mediannivå för kadetter (punkter) [9]

Extrapoleringarna visar att halterna av B-Pb för instruktörer tidvis kan ligga i nivå med det nyligen av ECHA föreslagna BLV på 15 µg bly/dl blod [29] och att halterna närmar sig de nivåer då åtgärder krävs enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter om medicinska kontroller. Sannolikheten för överskridande av ECHA BLV ökar om den anställda även ingår i annan verksamhet som innebär högre blyexponering än vad som var fallet under den aktuella SIB-övningen, eller om det finns ytterligare icke-yrkesrelaterade källor till blyexponering. När det gäller det biologiska riktvärdet för extra känsliga yrkesgrupper (BGV) på 4,5 µg/dl som föreslås av ECHA, för t.ex. kvinnor i fertil ålder, indikerar extrapoleringarna att instruktörer med frekvent exponering kan komma upp i nära trefaldigt högre halter över tid. Även högexponerade kadetter skulle kunna komma att överskrida detta riktvärde, särskilt om de har högre bakgrundsexponeringar från kost och fritidsaktiviteter än vad vi antog i våra beräkningar här.

6 Diskussion och slutsatser

Det är vetenskapligt klarlagt att skytte inomhus leder till en ökad blyexponering och stegrade blodblyhalter. Ju mer tid man spenderar i skyttehallen, ju högre blir upptaget. Grövre vapen/kalibrar och grövre ammunition leder generellt till högre blodblyhalter, liksom om man deltar i städningen, vilket visat sig röra upp metallinnehållande damm. Rengöring av exempelvis kulfång leder till en klart högre exponering. Är hallen ostädad ökar exponeringen för samtliga deltagare liksom om ventilation i hallen är bristfällig.

I en nyligen publicerad review-artikel [51] sammanställdes data för B-Pb för skyttar på olika typer av skjutbanor. I 18 av studierna rapporterades B-Pb > 20 µg/dl, i 17 studier > 30 µg/dl och i 15 studier > 40 µg/dl. Nästan samtliga B-Pb halter överskred ECHA:s föreslagna referensnivå på 4,5 µg/dl. I en studie där forskare undersökt blodblyhalter hos kadetter vid utomhusträning har tydliga öknings noterats, från under 0,29 µg/dl till 1,17 µg/dl efter 15 veckors grundutbildning. Nivåerna ökade ytterligare till 3,92 µg/dl efter ytterligare 15 veckors avancerad träning [52]. Slutsatserna från studien är att upp till 25 % instruktörerna och 5 % kadetterna riskerar att drabbas av överexponering av bly under grundutbildningen, medan motsvarande siffra under avancerad utbildning är 10 % för båda grupperna. En 45-dagars kurs (motsvarande en längre SIB-träning) resulterade i en B-Pb ökning från i medeltal 7,2 till 20,5 µg/dl hos kadetter. Efter att åtgärder för att minska exponeringen införts minskade nivåerna till ett genomsnitt på 10,5 µg/dl [53]. En studie på skyttar med en genomsnittlig B-Pb halt runt 7 µg/dl visar att dessa riskerar neuropsykiatriska symtom om de deltar i fler än 12 skjutövningar under ett år [54].

Andra studier med militärmedicinsk relevans tyder på att läckage av bly från skelettet ut till blodet efter tidigare blyexponering tycks kunna påverka blodtryck och oxidativ stress långt efter att exponeringen har upphört, även vid så låga halter av bly i blodet som 2 µg/dl [8]. Personer med en pågående blyexponering motsvarande B-Pb runt 6 µg/dl rapporterar i högre utsträckning än oexponerade att de upplever irritabilitet, dåligt humör, huvudvärk, minnesförluster, dåsighet, ledvärk och stickningar i kroppen [4]. Vid B-Pb från 10 µg/dl har forskare noterat en ökad aggressivitet hos skyttar och även ett ökat fientligt beteende [6]. B-Pb från ca 10 µg/dl kan dessutom påverka det nödvändiga upptaget av järnjoner till mitokondrier och också bildningen av hemoglobin [44, 45]. Om det dessutom samtidigt sker en exponering för kolmonoxid, som också bildas vid skjutningar, löper den exponerade individen ännu större risk att påverkas av effekter av blyexponering, eftersom kolmonoxid ytterligare minskar upptaget av syre i hemoglobin. B-Pb mellan 2 till 10 µg/dl ligger inom intervallet för var både instruktörer och övriga soldater i Försvarmakten skulle kunna ha över tid.

Det biologiska gränsvärdet från Arbetsmiljöverket på 10 µg bly/dl blod för kvinnor upp till 50 år är, i likhet med det av ECHA föreslagna BLV på 15 µg bly/dl blod, samt BGV för extra känsliga yrkesgrupper på 4,5 µg /dl blod, tillämpligt för yrkesarbetande personer med åtta timmars arbetsdag, fem dagar i veckan. Budskapet bakom ECHA:s BGV är att ingen blyexponering kan anses säker för kvinnor i fertil ålder, och av praktiska skäl anges en gräns, 4,5 µg /dl blod, vid vilken arbetsgivaren kan anta att det finns ett oönskat tillskott av arbetsrelaterat bly. EFSA har dock konstaterat att det inte finns några bevis för en tröskel för de kritiska effekterna av blyexponering, men att risken för effekter på t.ex. systoliskt blodtryck hos allmänbefolkningen troligtvis är "låg" om nivåerna ligger under 3,6 µg/dl. På liknande sätt bedöms lågrisknivån för njureffekter kunna vara under 1,5 µg/dl. I National Toxicology Program (NTP)¹⁸ drogs slutsatsen att nivåer runt 5 µg/dl kan leda till försämrad njurfunktion hos vuxna [55]. Det bör noteras att dessa uppskattningar är avsedda att täcka hela befolkningen, inklusive känsligare individer som kanske inte är

¹⁸ [Home - National Toxicology Program \(nih.gov\)](http://www.hhs.gov/nhtp/)

arbetande. Det känsligaste effektmåttet är dock utvecklingstoxicitet, relevant för barn och gravida kvinnor, där 1,2 µg/dl har identifierats av EFSA som en lågrisknivå, dvs. under vilken risken för utvecklingsskador under graviditeten eller under barnets tidiga uppväxt bedöms som mycket liten. Enligt EFSA riskerar gravida kvinnor (foster) och barn boende i Europa att ha en blyexponering som är nära eller över referensvärdet på 0,5 µg bly/kg kroppsvikt/dag [56]. På grund av den korta halveringstiden för bly i blodet är det viktigt att påpeka att den period under vilken bly kan detekteras i blodet kan vara mycket kortare än den period som bly kan utöva toxiska effekter i hjärnan. Blyets halveringstid i hjärnan är ett par år, medan halveringstiden i blod är några veckor.

I vilken utsträckning Arbetsmiljöverkets och ECHA:s gränsvärden är fullt tillämplbara för yrkesexponerad personal i Försvarsmakten kan diskuteras, dels eftersom exponeringen inte sker jämt fördelat över veckan, dels eftersom kadetters och rekryters arbetsdagar inte alltid är jämt fördelade till åtta timmar per dag. Oavsett tillämpligheten av yrkesrelaterade gränsvärden, så utgör resultat från den svenska studien, internationella studier, riskvärderingen från EFSA, kunskapen om blyets ackumulerande egenskaper och osäkerheten om huruvida det existerar någon nivå som är utan negativ hälsopåverkan, sakliga skäl för att blyexponeringen alltid ska minimeras. Blyexponering vid Försvarsmaktens olika typer av skjutövningar är dessutom hittills bristfälligt studerat och fler studier där blymätningar i blod genomförs är önskvärdt för att dels få aktuellt jämförelsedata och dels erhålla information om exponering över tid.

Med utgångspunkt i att Försvarsmakten har som mål att öka andelen kvinnliga rekryter på sikt, är det angeläget att denna grupp ses som den primära riskgruppen i riskhanteringen av bly från ammunition. Enligt Arbetsmiljöverket får varken gravida eller ammande kvinnor sysselsättas i arbeten som innebär blyexponering och därför är ammunitionsshantering eller skytte med blyinnehållande ammunition ingen lämplig sysselsättning under graviditet eller amning.

Det huvudbudskap föreliggande rapport vill förmedla är att skjutövningar med finkalibrig ammunition inomhus eller i SIB-miljö alltid bör genomföras med blyfri ammunition, såvida deltagarna inte kan skyddas helt från exponeringen för bly på annat sätt.

6.1 Förslag på åtgärder

Det finns flera åtgärder för att kontrollera och minska exponeringen under övningar eller andra omständigheter med hög risk för exponering för bly (och andra metaller och gaser). Förutom den uppenbara åtgärden att övergå till blyfri ammunition för utbildningsändamål [3, 57] kan förbättrad bedömning och styrning av ventilationssystem vara effektivt för att minska exponeringarna [58]. Rutiner för ventilation genom öppna fönster och dörrar under och mellan övningar är nödvändiga om ett ventilationssystem saknas eller är ur funktion. Dessutom rekommenderas noggrann och regelbunden rengöring av lokaler och utrymmen [59], helst med hjälp av en EX-klassad dammsugare utrustad med HEPA-filtrer (eller motsvarande). Om torrsopning inte kan undvikas, till exempel för insamling av tomhylsor, behöver rengöringspersonalen bära lämpligt andningsskydd. Eftersom inandning kanske inte är den enda vägen för blyexponering bör noggranna hygienrutiner och användning av engångshandskar under vapenvård [60] rekommenderas till deltagarna i dessa övningar. Hygienrutiner inkluderar att ingen snusning eller rökning sker under skjutträning och att strikt handtvätt sker efteråt. Dessutom bör kläbytte ske efter ett skyttepass, och de förorenade kläderna bör tvättas på jobbet och inte hemma.

Eftersom luftburen exponering kan vara svår att eliminera helt under militära övningar, måste varaktighet, exponeringsfrekvens och andra faktorer beaktas. Försiktighet bör vidtas för att undvika alla blykällor så långt det är möjligt, särskilt under inomhusträning. Åtgärder för att minska exponeringen, såsom förbättrade ventilations- och hygienrutiner, bör genomföras och utvärderas med personlig luftprovtagning under skjutövningar. När instruktörsuppgifter planeras bör man undvika att instruktörer upprepade gånger följer grupper under flera timmar.

7 Referenser

1. E. Mariussen, L. Fjellsbo, T.R. Fromyr, I.V. Johnsen, T.E. Karsrud, O.A. Voie, Toxic effects of gunshot fumes from different ammunitions for small arms on lung cells exposed at the air liquid interface, *Toxicology in Vitro* 72 (2021).
2. C.M. Grabinski, M.M. Methner, J.M. Jackson, A.L. Moore, L.E. Flory, T. Tilly, S.M. Hussain, D.K. Ott, Characterization of exposure to byproducts from firing lead-free frangible ammunition in an enclosed, ventilated firing range, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 14(6) (2017) 461-472.
3. O. Voie, A.K. Borander, L.I.B. Sikkeland, S. Grahnstedt, A. Johnsen, T.E. Danielsen, K. Longva, J. Kongerud, Health effects after firing small arms comparing leaded and unleaded ammunition, *Inhalation Toxicology* 26(14) (2014) 873-879.
4. de Araújo, G.C., Mourao, N.T., Pinheiro, I.N., Xavier, A.R., Gameiro, V.S., 2015. Lead toxicity risks in gunshot victims. *PLoS One* 10 (10), e0140220
5. Brandon JW, Solarczyk JK, Durrani TS. Lead Exposure in the Special Operations Shooter How to Prevent Cognitive Decline and Permanent Disability. *J Spec Oper Med*. 2018 Spring;18(1):81-87.
6. Naicker, N.; De Jager, P.; Naidoo, S.; Mathee, A. Is There a Relationship between Lead Exposure and Aggressive Behavior in Shooters? *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2018**, *15*, 1427.
7. Vivante, A., Hirshoren, N., Shochat, T., Merkel, D. Association between acute lead exposure from indoor firing ranges and iron metabolism (2008) *Israel Medical Association Journal*, 10 (4), pp. 292-295.
8. Obeng-Gyasi, E., Obeng-Gyasi, B., 2018. Blood pressure and oxidative stress among U.S. Adults exposed to lead in military environments-A preliminary study. *Diseases* 6 (4), 97
9. Linda Schenk, Håkan Wingfors, Björn Skoog, Niklas Forsgard, Christina Nyberg, Fabian Taube. Exposures to lead during urban combat training. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Volume 235, June 2021, 113773.
10. Livsmedelsverket. Kautto, A. H. & Bjerselius, R. 2020. L 2020 nr 15: Ammunitionsbly i vilt. Livsmedelsverkets rapportserie. Uppsala
11. S. E. VALWAY et.al. Lead Absorption in Indoor Firing Range Users. *AJPH* August 1989, Vol. 79, No. 8.
12. HETA 97-0255-2735 Forest Park Police Department Forest Park, Ohio. Joshua M. Harney, MS. Michael E. Barsan *Health Hazard Evaluation Report No. 97-0255*.
13. AFS 2018:1 Hygieniska gränsvärden Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om hygieniska gränsvärden.
14. Tsoi MF, Cheung CL, Cheung TT, Cheung BMY (2016). Conctinual decrease in blood lead level in Americans: United States National Health Nutrition and Examination Survey 1999-2014. *Am J Med* 129: 1213-1218.

15. Wennberg M, Lundh T, Sommar JN, Bergdahl IA. Time trends and exposure determinants of lead and cadmium in the adult population of northern Sweden 1990-2014. *Environ Res.* 2017 Nov;159:111-117
17. Flegal, A.R., Smith, D.R., 1992. Lead levels in preindustrial humans. *N. Engl. J. Med.* 326 (19), 1293–1294.
18. Hinds, W.C., 1999. Respiratory deposition. In: Hinds, W.C. (Ed.), *Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles.* , 2nd ed. Wiley, New York, pp. 233–259
19. Lach, K., Steer, B., Gorbunov, B., Mička, V., Muir, R.B., 2015. Evaluation of exposure to airborne heavy metals at gun shooting ranges. *Ann. Occup. Hyg.* 59 (3), 307–323.
20. ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2010. Toxicological Profile for Lead. Atlanta, GA: Department of Health and Human Services. Available from: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=96&tid=22>
21. Barry PS (1975). A comparison of concentrations of lead in human tissues. *Br J Ind Med* 32(2): 119-139.
22. Christopher D. Toscano, Toma's R. Guilarte. Lead neurotoxicity: From exposure to molecular effects. *Brain Research Reviews* 49 (2005) 529 – 554.
23. Larpin C, Wozniak H, Genton L, Serratrice J. Vegetarian and vegan diets and their impact on health. *Rev Med Suisse.* 2019 Oct 16;15(667):1849-1853. French. PMID: 31617971.
24. Rogerson D. Vegan diets: practical advice for athletes and exercisers. *J Int Soc Sports Nutr.* 2017 Sep 13;14:36. doi: 10.1186/s12970-017-0192-9. PMID: 28924423; PMCID: PMC5598028.
25. Theodore I. Lidsky and Jay S. Schneider Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates. *Brain* (2003), 126, 5-19.
26. Neuwirth LS (2018). Resurgent lead poisoning and renewed public attention towards environmental social justice issues: a review of current efforts and call to revitalize primary and secondary lead poisoning prevention for pregnant women, lactating mothers, and children within the U.S. *Int J Occup Environ Health* 24(3-4): 86-100.
27. Chibowska K, Baranowska-Bosiacka I, Falkowska A, Gutowska I, Goschorska M, Chlubek D (2016) Effect of Lead (Pb) on Inflammatory Processes in the Brain. *Int J Mol Sci.* 17(12): 2140.
28. Dumková J, Smutná T, Vrlíková L, Le Coustumer P, et.al. (2017) Subchronic inhalation of lead oxide nanoparticles revealed their broad distribution and tissue-specific subcellular localization in target organs. *Particle and Fibre Toxicology* 14:55.
29. Gunnarsson, LG och Bodin, L (2018) Amyotrophic lateral sclerosis and occupational exposures: a systematic literature review and metaanalyses. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018, 15, 2371.
30. Meng E, Mao Y, Yao Q, Han X, Li X, Zhang K, Jin W. Population-based study of environmental/occupational lead exposure and amyotrophic lateral sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Neurol Sci.* 2020 Jan; 41(1):35-40.
31. Wang MD, Gomes J, Cashman NR, Little J, Krewski D. A meta-analysis of observational studies of the association between chronic occupational exposure to lead and amyotrophic lateral sclerosis. *J Occup Environ Med.* 2014 Dec;56(12):1235-42.

32. Reuben A (2018). Childhood lead exposure and adult neurodegenerative disease. *J Alzheimers Dis* 64(1): 17-42.
33. Eid A, Zawia N. Consequences of lead exposure, and its emerging role as an epigenetic modifier in the aging brain. *Neurotoxicology*. 2016 Sep; 56:254-261.
34. Sen A, Heredia N, Senut MC, Land S, Hollocher K, Lu X, Dereski MO, Ruden DM. 2015. Multigenerational epigenetic inheritance in humans: DNA methylation changes associated with maternal exposure to lead can be transmitted to the grandchildren. *Sci Rep* 5:14466.
35. Fang F, Kwee LC, Allen KD, Umbach DM, Ye W, Watson M, Keller J, Oddone EZ, Sandler DP, Schmidt S, Kamel F (2010) Association between blood lead and the risk of amyotrophic lateral sclerosis. *American Journal of Epidemiology* 171(10): 1126–1133.
36. Fang F, Peters TL, Beard JD, Umbach DM, Keller J, Mariosa D, Allen KD, Ye W, Sandler DP, Schmidt S, Kamel F (2017) Blood Lead, Bone Turnover, and Survival in Amyotrophic Lateral Sclerosis. *American Journal of Epidemiology* 186(9):1057–1064.
37. Musaro, A. (2013) Understanding ALS: new therapeutic approaches. *FEBS Journal*, 2804315–4322.
38. Dórea JG (2019). Environmental exposure to low-level lead (Pb) co-occurring with other neurotoxicants in early life and neurodevelopment of children. *Environ Res* 177: 108641.
39. Pocock SJ, Smith M, Baghurst P (1994). Environmental lead and children's intelligence: a systematic review of the epidemiological evidence. *BMJ* 309: 1189-1197.
40. Rocha A, Trujillo K (2019). Neurotoxicity of low-level lead exposure: history, mechanisms of action and behavioral effects in humans and preclinical models. *Neurotoxicology* 73: 58-80.
41. Rísová V (2019). The pathway of lead through the mother's body to the child. *Interdiscip Toxicol* 12(1): 1-6.
42. Khattak SN, Deebea F, Ayaz A, Khattak MI (2012). Association of maternal hypertension with placental abruption. *J Ayub Med Coll Abbottabad* 24(3-4): 103-105.
43. Yu CC, Lin JL, Lin-Tan DT. Environmental exposure to lead and progression of chronic renal diseases: a four-year prospective longitudinal study. *Journal of the American Society of Nephrology: JASN*. 2004 Apr; 15(4): 1016-1022.
44. Timbrell, John. *Introduction to Toxicology*. Third Edition, ISBN: 9780415247634, *CRC Press*. 2009.
45. Arbets- och miljömedicin - en lärobok om hälsa och miljö. ISBN: 9789144127460, *Studentlitteratur*. Stockholm, 2019.
45. Kumar S (2018). Occupational and environmental exposure to lead and reproductive health impairment: an overview. *Indian J Occup Environ Med* 22(3): 128-137.
47. Zhu M, Fitzgerald EF, Gelberg KH, Lin S, Druschel CM (2010). Maternal low-level lead exposure and fetal growth. *Environ Health Perspect* 118: 1471-1475.
48. Medicinska kontroller i arbetslivet (AFS 2019:3), föreskrifter. Arbetsmiljöverket.
49. ECHA RAC (2020) ANNEX 1 in support of the Committee for Risk Assessment (RAC) for evaluation of limit values for lead and its compounds at the workplace.

50. Tsoi MF, Cheung CL, Cheung TT, Cheung BMY (2016). Conctinual decrease in blood lead level in Americans: United States National Health Nutrition and Examination Survey 1999-2014. *Am J Med* 129: 1213-1218.
51. Laidlaw, M.A.S., Filippelli, G., Mielke, H., Gulson, B., Ball, A.S., 2017. Lead exposure at firing ranges-a review. *Environ. Health* 16.
52. Greenberg, N., Frimer, R., Meyer, R., Derazne, E., Chodick, G., 2016. Lead exposure in military outdoor firing ranges. *Mil. Med.* 181 (9), 1121–1126.
53. Weber, A.K., Bannon, D.I., Abraham, J.H., Seymour, R.B., Passman, P.H., Lilley, P.H., Parks, K.K., Braybrooke, G., Cook, N.D., Belden, A.L., 2020. Reduction in lead exposures with lead-free ammunition in an advanced urban assault course. *J. Occup. Environ. Hyg.*
54. Aguilar Madrid, G., et.al 2016. Blood lead determinants and the prevalence of neuropsychiatric symptoms in firearm users in Mexico. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 29 (2), 219–228.
55. NTP – National Toxicology Program, 2012. NTP Monograph on Health Effects of Low Level Lead. U.S. Department of Health and Human Services, Research Triangle Park, NC.
56. Efsa 2012. Lead dietary exposure in the European population. Scientific Report of Efsa. *The Efsa Journal* 10(7): 2831.
57. Wurster, U., Ebert, H., Fleig, E., Ott, G., 2006. Reducing exposure to hazardous substances at indoor shooting ranges by using lead-free training ammunition. *Gefahrst. Reinhalt. Luft* 66 (7–8), 295–299 (NA).
58. Grabinski, C.M., et.al.2017. Characterization of exposure to byproducts from firing lead-free frangible ammunition in an enclosed, ventilated firing range. *J. Occup. Environ. Hyg.* 14 (6).
59. Scott, E.E., Pavelchak, N., DePersis, R., 2012. Impact of housekeeping on lead exposure in indoor law enforcement shooting ranges. *J. Occup. Environ. Hyg.* 9 (3), D45–D51.
60. Johnson-Arbor, K., Soto, P., Liu, L., 2020. Adult lead exposure from ammunition reloading and indoor residential shooting. *Am. J. Ind. Med.* 63 (8), 733–737.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se