

614.898.5:613.67:667.624.4[546.79.02]

SVÍTIVÁ RADIOAKTIVNÍ BARVIVA

Podplukovník MUDr. Jaroslav HALÍK, CSc.

I. Používání bojové techniky v noci si vyžádalo zvláštní druhy osvětlení. Jedním z prostředků osvětlování přístrojů jsou svítivé pigmenty, které světélkují po vybuzení některým zdrojem záření. Pro výhodu trvalého světélkování označeného povrchu byla zavedena radioaktivní svítivá barviva, která ztrácejí svou svítivost až po řadě let. Tato barviva se užívají u letectva na palubních přístrojích, u dělostřelectva na mířidlech, u dalších druhů vojsk na busolách a vytyčovacích tabulích. Barvivo, které se nanáší na tyto předměty, je v podstatě siriak zinečnatý, tepelně zpracovaný za příměsí „znečištěnin“ mědi nebo manganu, na jehož krystaly je adsorbován v různé koncentraci rádiomchlorid. Příměs rádiomchloridu činí 13—100 mg na kg barvy. V dřívějších letech se používal také stronciumchlorid, některé novější výrobky obsahují pokusně příměs prometeumchloridu.

II. Je pochopitelné, že práce s tímto radioaktivním materiálem vyvolává řadu hygienických požadavků. Pracující provádějící nanášení barviva, opravy a skladování výrobků jsou ohroženi jednak možnostmi vnitřní kontaminace barvivem, jednak nadměrným zevním ozářením tkání v blízkosti zdroje.

V letech 1958—59 se vyskytla řada havarijních situací, spočívající v rozsáhlé kontaminaci pracovišť, osob i jejich obydlí radioaktivním barvivem. Tyto stavy byly popsány (Halík, Chyský 1960). Müller a spolupracovníci změřili hodnoty eliminace radioaktivního budiče z organismu postižených osob a upozornili na závislost velikosti tělového depozitu na množství zpracovaného barviva. Podobné důsledky jsou popsány v historii používání svítivých radioaktivních barviv (SRB) řadou zahraničních autorů (Martland 1929, Evans 1943, Jones, Day 1945, Linecki 1961, Bodrova 1961).

Radiohygienická laboratoř našeho ústavu se zabývala pracovními hygienickými poměry ve vojenských objektech používajících SRB a byly zjištěny některé hodnoty radioaktivního zamoření, které si vyžadovaly příslušná bezpečnostní nařízení. Odhadujeme, že osoby zaměstnané při nanášení zpracují ročně nejvýše 50 mg rádia, montážní pracovníci asi 10krát méně. Kontaminace pracovišť je velmi závislá nejen na čistotnosti, zručnosti a odpovědnosti pracujících, ale také na technickém vybavení. Na ruku dělníků velkých provozů jsme naměřili 500—7000 imp. beta/min. a detegovali ultrafialovým světlem kontaminaci částicemi luminiforu. Na pracovních pláštích jsme našli 0,1—0,01 μg Ra. V ovzduší nedostatečně větraných provozů byl zjištěn radon v koncentraci až $10^{10}\text{C}/\text{l}$ vzduchu, většinou na vysokém stupni rovnováhy s jeho

dceřinými produkty. Kontaminace ovzduší prachem barviva je zanedbatelná. Pokud se provádělo seškrabávání barviva z ciferníků pod vodou, kontaminace Ra v odpadní tekutině činila až $10^{-5}\text{C}/\text{l}$ vody, což o více než 6 řádů převyšuje normu pro odpadní vodu. Celotělové ozáření zaměstnanců opraven činí do měsíce v průměru 60—100 mr podle filmové dozimetrie, ve skladech většího množství přístrojů dávková intenzita však dosahuje až 12 mr/h. Nahromadění přístrojů představuje vždy možnost překročení nejvyšší přípustné dávky ozáření. Celotělové ozáření leteckého personálu užívajícího hotové přístroje publikoval autor v r. 1960. Zaměření pracovní hygienického dohledu musí směřovat k ochraně těchto kategorií:

- nanášečů při manipulaci s prachem barviva,
- opravářů při demontáži přístrojů,
- zaměstnanců skladů většího množství přístrojů,
- uživatelů nabarvených předmětů.

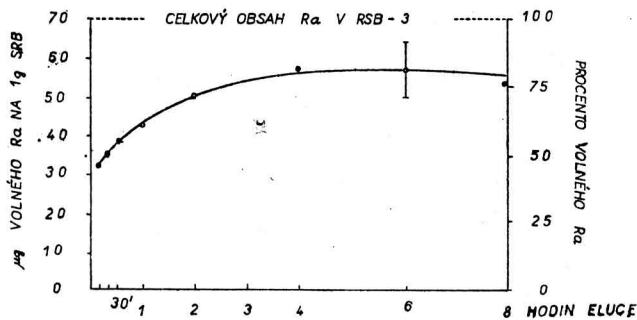
Z hlediska komunálně hygienického je největším problémem odstraňování kapalného odpadu z dílen pro nanášení a snímání barviva a z prádelny většího množství pracovních oděvů.

III. Jako další úkol celé této problematiky stojí zjištění toxicity vlastního barviva pro člověka. Poškození zdraví osob při práci s radioaktivním svítivým barvivem je v podstatě otrava radioaktivním budičem luminiscence. Barvivo se převážně dostává do organismu, jak také potvrzuje hygienický průzkum, cestou perorální. Do nedávné doby panoval názor, že radioaktivní příměs je pevně vázána na luminifor, takže vstřebávání rádia je nepatrné. Vysvětloval se tím průměrně malý depozit rádia v těle postižených ve srovnání s jinými prvky, jako Sr^{90} , Pm^{144} . Prokázali jsme eluačními pokusy (Halík 1963), že rádiu se v kyselém prostředí, a to i v žaludeční šťávě, uvolní v krátké době z 80 % do roztoku a je pravděpodobně vstřebáno do krevního oběhu (graf 1). Když uvážíme, že se dnes používá rozpustná sůl rádiomchloridu, a to ve větším množství než ve starších výrobcích, volná vazba tohoto izotopu vytváří další nepříznivou složku ovlivňující vznik depozitu radioaktivního budiče v kostech postižené osoby.

Kvantitativní poměry při vzniku tohoto depozitu jsme si ověřili biologickým pokusem na bílých krysách. Zvířatům bylo sondou do žaludku vpraveno barvivo ve vodní suspenzi a bylo sledováno vylučování luminiforu $\text{ZnS}:\text{Cu}$ stolicí, rádia močí a stolicí. Kontrolně byl podán stejným způsobem roztok rádiomchloridu a sledována jeho metabolismus. 10. den byla zvířata zabijena a zjiš-

Graf 1

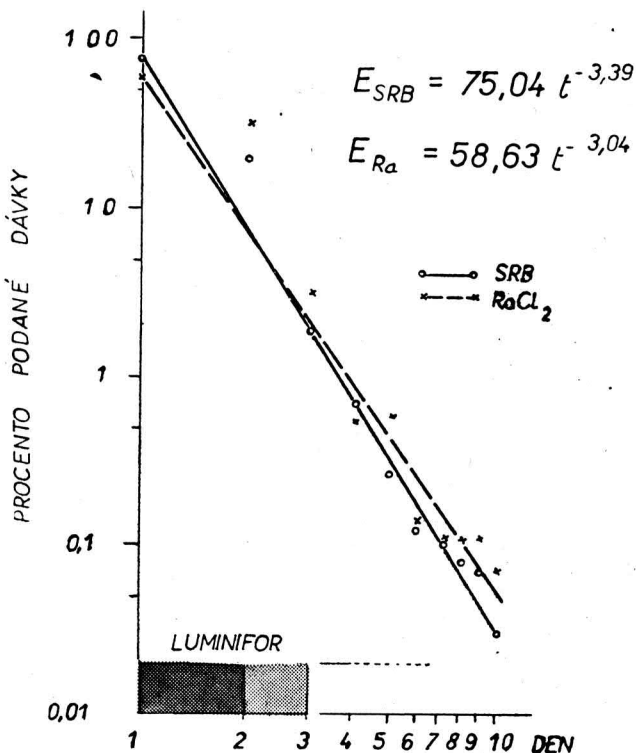
Průběh eluce ^{226}Ra z barviva RSB-3 v citrátovém nárazníku pH 3



tována orgánová distribuce rádia. Výsledky eliminace a úbytek z organismu jsou znázorněny v grafech 2 a 3. Orgánová distribuce rádia je znázorněna v tab. 1. Jak je vidět, luminifor odchází během prvních 3 dnů stolicí, eliminace Ra však trvá dále a rychlost vylučování rádia od 5. dne je stejná jak u rádia z SRB, tak u roztoku rádiu chloridu. Depozit Ra u obou skupin 10. den činí 2,1 % podané dávky u barviva a 4,8 % u rádiu chloridu, není však statisticky signifikantní. Resorpce rádia při podání barviva do žaludku je velmi rychlá, rádiu se v moči objeví dříve, než luminifor ve stolicí. V orgánové distribuci není pochopitelně u obou skupin žádný rozdíl. Můžeme tedy učinit závěr, že v důsledku labilní vazby s luminiforem se rádiu chlorid vstřebává do oběhu a usazuje v organismu, což

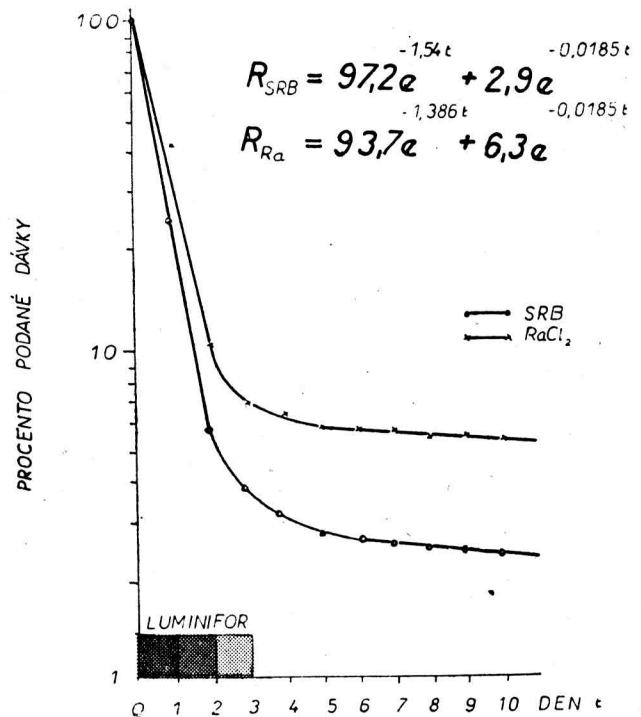
Graf 2

Srovnání průběhu eliminace ^{226}Ra po perorálním podání SRB a roztoku RaCl_2 krysám



Graf 3

Srovnání retence ^{226}Ra v organismu po perorálním podání SRB a roztoku RaCl_2 krysám



vede k vzniku chorob známých pod názvem „otrava rádiem“, jak je popsal např. Aub 1938, Hasterlík 1955. Rozdílnost toxicity moderních rádiových SRB je ve srovnání s toxicitou prostých rádiových solí nepatrná, takže užívání SRB nás zavazuje k stejným bezpečnostním opatřením na ochranu zdraví personálu, jaká jsou obvyklá pro izotopové provozy s tímto prvkem. Určitá výhoda rádia, zdůvodněná poměrně malým nálezem jeho depozitu v kostech postižených ve srovnání s depozitem stroncia se dá zdůvodnit podle našeho názoru nejen jeho poněkud snazší eliminací (graf 3), ale hlavně okolností, že k buzení luminiscence, při zachování stejné svítivosti, stačí koncentrace zářiče alfa 15krát – 80krát menší než zářiče beta.

IV. Po zjištění hygienické situace i vysoké toxicity používaných barviv jsme ve spolupráci s velitelstvím PVOS a letectva jako největšími uživateli SRB vypracovali bezpečnostní a hygienic-

Tab. 1

Orgán	% nalezeného depozitu při podání	
	SRB	RaCl_2
Kostí	95,7	95,5
Svalovina	1,1	1,1
Kůže	0,5	1,0
Zažívací trakt.	1,9	1,9
Ostatní orgány	0,6	0,3

ké směrnice pro práci s SRB u vojenských útvarů. Cílem tohoto nařízení (SILS PVOS a let. r. 1963) bylo vydat takové normativy, které by postihovaly i řadu zvláštností organizace opravářského provozu u vojenské správy. Toto nařízení je v podstatě vojenským doplňkem Směrnic o hygienických podmínkách pro práci s SRB, vydaných ve Věstníku MZd č. 16 z 25. 7. 1959 hlavním hygienikem ČSSR. Při zachování zásad těchto směrnic a také vyhlášky 34/1963 Sb. zák. provedli jsme některá nová opatření, lépe vyhovující podmínkám na vojenských pracovištích. Především je to kategorizace pracovišť s SRB. Aby se usnadnily organizační a stavební úpravy, rozlišujeme pracoviště pro práci s práškovitou SRB (při ředění a nanášení barviva i při jeho snímání), při níž je riziko kontaminace osob i prostředí největší. Pro tato pracoviště typu A platí v plném rozsahu všechna ustanovení Směrnic MZd č. 16/59 pro stavební a vnitřní vybavení, je v nich zaveden režim obvyklý pro radioizotopová pracoviště. V kategorii B jsou pracoviště, která přístroje demontují, opravují, ale v nichž nález kontaminace prostředí je menší, protože může nastat pouze radioaktivním materiálem oloupaným při provozu přístrojů, a tento zdroj je méně závažný než práce s prachem a roztokem barvy. V této kategorii jsou vymezeny stavební úpravy a vnitřní vybavení, jakož i pracovní režim (včetně opravářské technologie) úměrné finančně i materiálně pracovnímu riziku. Do kategorie C spadají všechna pracoviště, kde není riziko kontaminace barvivem, ale zbývá, nebo může být i větší (ve skladech) riziko zevního ozáření.

Podle znalosti obsahu rádia na jednotlivých typech ciferníků jsme po změřením dávkové intenzity stanovili maximální přípustné množství vymontovaných přístrojů na skladování v opravářských provozech ve vzdálenosti 2—3 m od pracovních stolů. Pro pracoviště B bylo stanoveno prozatímni nejvyšší množství přístrojů, které může pracovník měsíčně opravit, aniž překročil nejvyšší přípustné dávky ozáření.

Výhodou při návrhu těchto opatření je standardizace přístrojů a přibližně trvale stejná doba potřebná k jejich opravě.

Směrnice řeší kontrolní opatření zavedením zdrojů ultrafialového světla do všech provozů, takže je zaručeno, že sami pracovníci se mohou o kontaminaci pracoviště i sebe kdykoli přesvědčit. Toto opatření se provádí ještě mimo kontrolu dozimetrickými přístroji. Pro různé typy kategorií je odstupňováno nařízení povinné lékařské prohlídky zaměstnanců a jsou vymezeny mimořádně odměny a výhody na těchto družích pracovištích. Podle doby vykonávání rizikové práce je řešen i návrh na jednotýdení dodatkovou dovolenou.

Jelikož se v dřívějších letech celé přístroje zpravidla odevzdávaly po jejich certifikaci do kovového šrotu, bylo nutné normovat způsob certifikace tak, že nabarvené části přístrojů jsou odmontovány, uloženy do aktivního odpadu a jen neaktivní součástky směřují být dány do šrotu. Od-

voz radioaktivního odpadu je celostátně prováděn na jednotné odkliziště.

Úklid pracovišť a předpírání pracovních oděvů typu A provádějí sami rizikovní pracovníci a je to součástí jejich pracovního úvazku. Teprve pracovištím typu B a C je dovoleno brát k těmto pracím vojáky v základní službě při zachování bezpečnostních opatření. Je normováno používání černých (pro snadnou detekci SRB v UV světle) oděvů a je stanovena jejich náležitost na každého pracovníka. Ustanovení směrnic dále předepisují dozimetrickou kontrolu při opravách odpadového potrubí a ukládají povinnosti zaměstnanců při náhle vzniklých havarijních situacích. Současně s vydáním těchto normativních opatření byla zavedena filmová dozimetrie u všech osob pracujících s SRB, jejíž výsledky jsou sledovány velitelskou cestou i odpovědným hygienikem.

Pracovně a komunálně hygienický dohled nad těmito pracovišti je prováděn běžnou organizací hygienicko-epidemiologické péče zdravotnické služby vojenské správy. Odpovědný hygienik schvaluje stavební projekty, účastní se kolaudačních řízení a vydává povolení pro práci. Odběr radioaktivního materiálu u výrobce barviv povoluje hyg. služba. Vypracování a vydání Směrnic ILS PVOSL 1963 na základě zkušeností z dlouhodobého radiačně hygienického dohledu a řady experimentálních prací představuje pro nás vyřešení jednoho z nejobtížnějších radio-hygienických problémů na pracovištích vojenské správy.

Souhrn

Je podán přehled problematiky spojené s používáním svítivých radioaktivních látek u vojenské správy. Kromě nejzávažnějších hygienických aspektů je rozebráno zjištění vysoké toxicity radiových SRB a její příčiny. Autor podává výklad bezpečnostních směrnic pro práci s SRB, vydaných pro vojenské provozy.

Резюме

Рассмотрены вопросы, связанные с применением радиоактивных светосоставов в учреждениях военного ведомства. Наряду с важнейшими гигиеническими аспектами проанализирован вопрос высокой токсичности радиоактивных светосоставов и рассмотрены причины такой токсичности. Автор дает объяснение правил по технике безопасности при работах с радиоактивными светосоставами, утвержденных для учреждений военного ведомства.

Summary

A survey of the problems connected with the use of radioactive luminous paints in Army workshops is given. Besides the most important hygienic aspects are also the findings and causes of the high radiological toxicity of radioactive luminous paints analysed. The author interprets the recommendations on radiological protection for the use of luminous paints edited to military workshops.

Literatura

1. Aub J. S., Evans R. D., Gallagher T. M., Tibbetts D. M.: Ann. Int. Med. 11, 1443, 1938.
2. Bodrova D. E.: Konference o hygieně práce, Moskva 16. 3. 1961.
3. Evans R. D.: Journ. Industr. Hyg. 25, 253, 1943.
4. Halík J.: VZL 6, 258, 1960.
5. Halík J.: Prac. lékařství 10, 1963.
6. Halík J., Chyský J.: Referát na I. biofyzik. sjezdu, V. Tatry 1961.
7. Hasterlík R. J.: Ženevská konference 1955, R 243.
8. Jones J. C., Day B. A.: Brit. J. Radiol. 18, 208, 1945.
9. Linecki J.: Ref. konference o hyg. práce, Moskva 16. 3. 1961.
10. Martland H. S.: JAMA 92, 446, 1929.
11. Müller J., David A., Rejsková M., Březíková D.: Lancet 7194, 129, 1961.