

614.9: 619.2/4-021.1 (539.16): 614.8 (593.16)

DEKONTAMINACE PRASAT, OVCÍ A SKOTU POVRCHOVĚ KONTAMINOVANÝCH ŠTĚPNÝMI PRODUKTY

I. Odstraňování radionuklidů cezia, stroncia a jodu

Inž. František HAVLÍČEK, CSc., plk. doc. MVDr. Jozef HRUŠOVSKÝ, CSc.,
kpt. MVDr. Jiří MACH

Vojenský veterinární výzkumný ústav, Praha 5 - Motol

Působení štěpných produktů na živý organismus je velmi intenzívně propracovááno, zejména pro případ jejich vniknutí do organismu. Vedle vnitřní kontaminace však vystupuje do popředí otázka kontaminace povrchové v masovém měřítku, při použití jaderných a termojaderných zbraní. Dosavadní představy o její likvidaci u hospodářských zvířat, fixované v odpovídajících předpisech, však neodpovídají úrovni současných znalostí a technických možností.

Prakticky veškeré práce v oblasti povrchové kontaminace radioaktivními látkami obecně byly zaměřeny na řešení této problematiky u lidí; experimenty na zvířatech samých lze označit jako modelové. Vzhledem k nemožnosti aproximovat tyto výsledky na jiné druhy, zejména hospodářských a služebních zvířat, považovali jsme za účelné provést tyto experimenty na těch druzích zvířat, které jsou vlastním předmětem zájmu.

V první etapě jsme sledovali možnosti odstraňování radionuklidů těch elementů, které tvoří v radioaktivním spadu jeho nejrozpuštěnější část — radioceziem, radiostroncium a radiojod. Vedle toho jde o radionuklidy významně se uplatňující z hlediska radiobiologického obecně.

Kunkel (1953) dělí kontaminant usazený na povrchu obecně do 3 vrstev. První vrstva je snadno odstranitelná jednoduchými dekonta-

minačními prostředky a postupy, druhá se skládá z atomů a molekul ulpívajících s mimořádně silnou adhezí na povrchu a odstranitelných jen zvláštními prostředky. Třetí vrstva, jejíž procentuální podíl je podle Kunkela silně závislý na prošlé době, je částečně chemicky vázán na povrchu a částečně difunduje. Pro tuto vrstvu dosud nebyl nalezen dostatečně účinný dekontaminační prostředek.

Jako dekontaminační prostředky byly námi testovány komplexotvorné a chelatotvorné sloučeniny, saponátové prostředky resp. mýdlo. Při výběru těchto prostředků bylo sledováno i hledisko ekonomické, jejich dostupnost, skladovatelnost a univerzálnost použití ve vztahu k odstraňování štěpné směsi vcelku.

Metodika

Sledování dekontaminačních vlastností užitých prostředků bylo prováděno na prasatech, ovčích a skotu (býčcích). V době před pokusem byla zvířata karanténizována, krmena a ošetřována podle zásad běžných pro chov jednotlivých druhů. Zásadně byla užívána zvířata s nepoškozenou kůží a tělesným pokryvem; hrubé nečistoty z povrchu těla byly odstraněny mechanicky.

Základní experimenty byly provedeny na kastrátech českého bílého ušlechtilého prasete (obojího pohlaví), váhy od 35 kg do 60 kg.

Kontaminace zvířat, jakož i vlastní dekontaminace byly prováděny v thiopentalové narkóze v kombinaci s chlorpromazinem. Zvířata byla položena hřbetem dolů na fixační stolek. Šablonou z PVC byly na hřbetě vymezeny plochy 500 cm² (20 cm × 25 cm). U zvířat této váhové kategorie bylo možno vytvořit na hřbetě vcelku 3 plochy.

Nanášení vodných roztoků radionuklidů bylo prováděno pomocí inhalátoru Mignon stlačeným vzduchem. Množství kontaminantu na jednu plochu nepřevýšilo 0,5 ml a řídilo se požadovanými hodnotami expozičního příkonu — minimální 50 mR/h. Po nanesení kontaminantu byla zvířata obrácena hřbetem nahoru a provedeno měření hodnot povrchové kontaminace. Očista byla prováděna samotnou vodou či v kombinaci s vodnými roztoky jednotlivých dekontaminačních prostředků.

Bylo zásadně užíváno 1 litru dekontaminačního prostředku a 9 litrů vody, rozdělených na třetiny. Po dobu přibl. půl minuty byla exponovaná plocha mírně třena rýžovým kartáčem, přičemž byl plynule přidáván dekontaminační roztok. Po tomto úkonu byl dekontaminační roztok spláchnut přibl. 3 litry vody a provedeno měření expozičního příkonu. Tento postup byl opakován vcelku třikrát.

Tytéž experimenty byly provedeny na 3 beranech plemene merino, váhy 36 kg až 57 kg. Týden před zahájením vlastních pokusů byla beranům odstraněna vlna na délku 0,5—1 cm. Metodicky se postupovalo jako v experimentech na prasatech. Místo tření povrchu těla kartáčem byl exponovaný povrch promačkáván. V konečné fázi, před měřením expozičního příkonu, bylo mnutím odstraněno maximum tekutiny.

Závěrečné pokusy byly provedeny na třech býčcích dánského plemene, stáří 6 měsíců, váhy přibl. 250 kg. Při experimentech nebyla zvířata narkotizována. Býčci byli umístěni v improvizovaných stájích, umožňujících bezpečný přístup ke zvířatům a zamezujících jejich pohyb ve směru podélné osy a zejména pak otáčení. Uspořádání pokusů bylo shodné s předešlými. Na každé polovině těla zvířete bylo vymezeno 9 ploch; jednotlivé pokusy byly prováděny od spodních ploch nahoru.

K přípravě dekontaminačních roztoků byly užity tyto látky:

Penol — tekuté toaletní mýdlo
mazlavé mýdlo

Jar-extra — tekutý saponátový prostředek

Sapon — univerzální čistící prostředek

sirnatán sodný p. a.

etylendiamintetraacetát sodný (čtyřsodná sůl)

p. a. — dále EDTA

V úvodních pokusech na prasatech byly testovány dekontaminační prostředky v koncentracích od 0,1 % do 5 %, připravené z pitné

vody. Jako optimální byly dále užívány roztoky v 1% koncentracích. Teplota dekontaminačního roztoku a oplachové vody činila 25 ± 3 °C. Užití dekontaminační roztoky vykazovaly tyto hodnoty pH:

voda	6,80	Sapon 6,57	Jar	4,18
mazl. mýdlo	9,85	Penol 8,55	EDTA	4,48
		EDTA + Jar		4,48

Veškeré experimenty byly provedeny s roztoky radionuklidů získaných ředěním komerčních preparátů. Při ředění nebylo měněno pH roztoků, ani nebyly přidávány izotopové či neizotopové nosiče.

⁹⁰SrCl₂ izotonický roztok 0,08 mg Sr⁹⁰/μCi
2,6 n HCl bez nosiče
Na¹³¹I pH = 7—9 bez nosiče.

K měření expozičního příkonu β a γ bylo užito přenosných přístrojů RBGT-62 a IT-65. Měření byla prováděna pro β i γ záření metodami popsanými v příslušných návodech, uložených v brašnách přístrojů. Přístrojem RBGT-62 s clonou v poloze β₁ či γ bylo přejížděno nad kontaminovaným povrchem ve vzdálenosti 1 cm až 1,5 cm a zaznamenána maximální výchylka přístroje. Od naměřených hodnot byla odečtena hodnota pozadí, uplatňující se zejména v konečných fázích dekontaminace. S přístrojem IT-65 bylo měření prováděno s clonou v obou polohách tak, že měřicí sonda byla v poloze kolmé ke kontaminované ploše. Dále se postupovalo stejně jako v předešlém případě.

S ohledem na užití metody měření povrchové kontaminace a na citlivost užitých přístrojů (±20 %) nebylo užito statistického hodnocení získaných výsledků. Interpretace výsledků je úměrná přesnosti, s jakou mohou být reprodukovány.

V ý s l e d k y

Nejrozsáhlejší experimenty co do počtu testovaných dekontaminačních prostředků i pokusných zvířat byly provedeny na prasatech, i když z praktického hlediska povrchová kontaminace prasat nepředstavuje v této otázce zásadní problém.

K odstraňování radiocezie bylo užito všech prostředků uvedených v tab. 1. V této a dalších tabulkách jsou uvedeny hodnoty zbytkové radioaktivity po provedení jednotlivých dekontaminačních postupů. Užití přibližně třetiny dekontaminačního roztoku a 3 litrů vody je I. stupeň; II. a III. stupeň je užití zbylých částí dekontaminačního roztoku a oplachové vody. U vody samotné bylo užito dávkování 3+3+4 litry. Výsledky jsou uvedeny v % původně nanesených množství kontaminantu. Získány byly měření expozičního příkonu γ záření. Obdobné výsledky byly nalezeny i pro záření β. Pro přehlednost nejsou tyto výsledky uvedeny.

Hodnoty reziduálních množství kontaminantu u prasat po povrchové dekontaminaci. Měření bylo provedeno přístroji RBGT-62 (I.) a IT-65 (II.)

Prostředek		% zbylé radioaktivity					
		137Cs		131J		85Sr	
		II.	III.	II.	III.	II.	III.
voda	A	3,6	3,6	5,0	3,6	12,5	5,0
Jar-extra	B	3,3	2,2	3,2	1,8	7,8	6,4
Sapon	C	0,7	0,6	2,5	0	9,6	5,0
mazl. mýdlo	D	2,7	2,0	—	—	5,3	1,2
Penol	E	1,3	0,6	—	—	28,9	16,0
EDTA	F	0,8	0,8	3,7	3,7	11,2	10,9
EDTA+Jar	G	0,9	0,6	5,0	3,7	6,3	7,6
sirnatan	H	—	—	3,0	1,4	—	—
	A	4,3	2,8	12,5	5,0	10,5	6,1
	B	5,0	1,0	4,0	2,0	6,3	1,7
	C	1,0	0,9	0	0	7,2	5,8
	D	1,7	0,7	—	—	2,9	1,2
	E	2,2	1,1	—	—	52,5	23,6
	F	2,0	2,0	6,6	6,6	3,0	2,8
	G	1,0	0,2	5,0	4,0	4,5	4,0
	H	—	—	4,0	0,5	—	—

Tab. 1

stranění radiojodu, opravňující navrzení těchto prostředků k praktickému použití.

Výsledky pokusů na ovcích jsou shrnuty v tab. 2. Pro vcelku nízký dekontaminační efekt v předchozích pokusech a vzhledem k zanedbatelnému dekontaminačnímu efektu pro ostatní radionuklidy štěpné směsi [Havlíček a spol. 1972], nebylo dále testováno mazlavé mýdlo a Penol. U ¹³¹J byl navíc užít i sirnatan sodný. Pro všechny tři radionuklidy lze obecně uvést, že nejnižší dekontaminační efekt vykazuje EDTA a samotná voda. Naproti tomu je prakticky užitečného efektu dosaženo tehdy, je-li použit saponátový prostředek. Tuto skutečnost lze vysvětlit tím, že značný obsah tuku na kůži ovcí, ve srovnání s prasetem, zabraňuje proniknutí radionuklidů do hlubších vrstev kůže. Současným odstraněním mechanických nečistot a tuku, což saponátové prostředky v užitém množství a koncentraci umožňují, jsou pak odstraněny i přítomné radionuklidy.

Experimenty na býčcích se kvalitativně neliší od shora popsanych pokusů na prasatech a ovcích. Jak ukazuje tab. 3, lze radioceziu a radiojod všemi užitými prostředky odstranit z více než 95 %. Nižších hodnot bylo dosaženo u ⁸⁵Sr vcelku a samotnou vodou zejména. Nejvyšší dekontaminační efekt u tohoto radionuklidu vykazují postupy, kde je užito chelatovné složky — EDTA.

Pro značný rozptyl výsledků nejsou uvedeny hodnoty odstranění kontaminantu v I. stupni. Hodnoty uvedené v tabulkách jsou aritmetickým průměrem ze 3 pokusů.

Jak je zřejmé z tab. 1, nečiní odstraňování ¹³⁷Cs u prasat zvláštní obtíže již samotnou vodou. Ostatní dekontaminační prostředky vykazují ještě vyšší dekontaminační efekt. Rozhodnutí, který z dekontaminačních prostředků je v konečné fázi nejúčinnější, je vcelku nemožné. Účinnost všech je natolik vysoká, že s přihlédnutím k přesnosti užitých měřicích přístrojů a metod je možno tuto metodu považovat za shodnou.

Při odstraňování ⁸⁵Sr nebylo obecně dosaženo tak vysoké účinnosti dekontaminace. Přesto je možno říci, že většinou testovaných prostředků lze odstranit více než 90 % původně přítomného množství kontaminantu. Nízkých hodnot odstranění ⁸⁵Sr bylo dosaženo roztokem Penolu, jak potvrzují údaje získané měřením oběma přístroji. Nízkého stupně dekontaminace bylo dosaženo použitím samotného EDTA, jak ukazují hodnoty měření RBGT-62. Vzhledem k chemickým vlastnostem Sr²⁺ a hodnotám nalezeným při měření IT-65, lze nízký dekontaminační efekt EDTA přisoudit spíše chybě měření.

Při experimentech s ¹³¹J nebyly testovány všechny dekontaminační prostředky; vedle toho bylo užito i specificky působícího komplexotvorného prostředku — Na₂S₂O₃. Ve všech případech bylo dosaženo vysokého stupně od-

Diskuse

Pro úvodní experimenty při sledování povrchové kontaminace štěpnými produkty u hospodářských zvířat byly vybrány radionuklidy

Tab. 2

Hodnoty reziduálních množství kontaminantu u ovcí po povrchové dekontaminaci. Měření bylo provedeno přístroji RBGT-62 (I.) a IT-65 (II.)

Prostředek		% zbylé radioaktivity					
		137Cs		131J		85Sr	
		II.	III.	II.	III.	II.	III.
voda	A	1,5	0,9	16,6	13,3	14,2	11,4
Jar-extra	B	2,8	0,2	0,5	0	2,7	1,8
Sapon	C	1,4	0	1,0	0	1,7	0,8
EDTA	D	1,0	0,3	14,3	12,0	11,2	6,7
EDTA+Jar	E	0	0	0	3,2	3,2	2,1
sirnatan	F	—	—	4,4	2,7	—	—
	A	3,4	0,9	22,2	17,0	22,2	22,2
	B	1,1	0,3	1,9	0	6,7	3,4
	C	0,4	0	1,2	0	4,8	2,0
	D	1,8	0,6	27,0	14,0	8,9	3,3
	E	0	0	0	0	7,6	2,6
	F	—	—	6,7	3,3	—	—

I.

II.

Tab. 3

Hodnoty reziduálních množství kontaminantu u skotu po povrchové dekontaminaci. Měření bylo provedeno přístroji RBGT-62 (I.) a IT-65 (II.)

Prostředek		% zbylé radioaktivity					
		137Cs		131J		85Sr	
		II.	III.	II.	III.	II.	III.
voda	A	1,3	0,4	5,0	1,8	25,0	20,0
Jar-extra	B	1,4	0,6	4,0	1,7	10,9	4,6
Sapon	C	1,8	0	2,9	0	8,9	4,5
EDTA	D	1,7	0,5	7,5	1,5	3,3	1,3
EDTA+Jar	E	0	0	2,6	0,5	4,0	2,8
		A	6,0	2,0	10,0	1,7	25,0
		B	7,5	3,0	8,3	3,3	12,5
		C	0	0	5,0	0	18,7
		D	3,2	0	12,5	3,3	12,5
		E	0	0	5,3	2,2	5,5

cezia, jodu a stroncia. Z hlediska veterinární hygienického (radiocesium) a radiobiologického (radiostroncium, radiojod) je nutno tyto radionuklidy či radionuklidy těchto elementů označit za nejzávažnější. Je-li brána v úvahu povrchová kontaminace hospodářských zvířat speciálně, pak vedle možného poškození povrchu těla — podrobněji Karavajev a spol. (1967) — je nutno předpokládat, že u zvířat může dojít jejich neuvědomělým jednáním (olizováním apod.) k vnitřní kontaminaci.

Závažnost povrchové kontaminace radioaktivními látkami je určena řadou faktorů: dobou setrvání kontaminantu na povrchu těla, stavem kůže, místem kontaminace a konečně chemickými a fyzikálně chemickými vlastnostmi kontaminantu. Zásady a prostředky povrchové dekontaminace musí z těchto faktorů vycházet a přitom je nutno brát v úvahu i možnosti masového použití v polních podmínkách.

Pravidlo, že čas, který uplyne od kontaminace k počátku dekontaminace, má být co nejkratší, vyjadřuje řada prací, zabývajících se touto problematikou (Edvardsson a spol. 1966; Stajič a spol. 1965a, b, c a jiní). Stav kůže a místo kontaminace souvisí zejména se stupněm perkutánní resorpce, resp. s pevností „vazby“ kontaminantu na povrchu těla. Odpovídající experimenty byly prováděny zejména s radionuklidy objevujícími se nejčastěji ve vědeckovýzkumné praxi (Minato a spol. 1967, Bosse 1966, Edvardsson a spol. 1966).

Chemické a fyzikálně chemické vlastnosti kontaminantu ovlivňují jeho „vazbu“ na povrchu těla, perkutánní resorpci a jsou určujícími faktory pro výběr dekontaminačních prostředků a postupů. Pro kontaminant v iontové formě uvažuje Tashiro a spol. (1966) o 2 typech kontaminace — kationtové a aniontové. Wada a

spol. (1963) zjistil v experimentech s ^{90}Sr - ^{90}Y , že adhezivní kontaminace silně závisí na hodnotách pH roztoku kontaminantu. Stejně tak Surověžin (1967) našel závislost perkutánní resorpce na pH roztoku kontaminantu.

V případě povrchové kontaminace je třeba brát v úvahu i fyzikálně chemické a chemické vlastnosti spadu vcelku. Podstatná část hmoty radioaktivního spadu je tvořena neaktivním materiálem. Podle Mamura a spol. (1965) je v částicích spadu v době vzniku méně než setina radioaktivních jader. Složení částic spadu silně závisí vedle jiných faktorů na druhu výbuchu. Při pozemních výbuších prováděných v ČLR v roce 1964 byly analyzovány částice obsahující Fe, Al, Si, Ca, K, Mn, Ti a P (Mamuro 1968).

K odstraňování kontaminantu z povrchu organismu bez ohledu na chemické a fyzikálně chemické vlastnosti radioaktivní složky a „nosné hmoty“ byly zkoušeny v principu tyto prostředky:

voda,
mýdlo a detergenty,
komplexotvorné a chelatotvorné látky,
speciální prostředky.

S těmito prostředky byla provedena řada pokusů a pouhý výčet publikovaných prací přesahuje rámec této publikace. Společným znakem je však to, že jsou orientovány na povrchovou kontaminaci radionuklidy užívanými ve vědecko-technické praxi z hlediska humaní medicíny. Prakticky nejsou zastoupeny práce zabývající se problematikou povrchové dekontaminace štěpnými produkty u hospodářských zvířat. Různorodost dekontaminačních postupů a prostředků (označovaných zpravidla jejich obchodními názvy) neumožňuje jednoznačné srovnání a vyhodnocení výsledků.

V naší práci jsme dodrželi shora užívané schéma při povrchové dekontaminaci a vyzkoušeli jsme prostředky u nás dostupné. Jak vyplývá z charakteristiky kontaminantu, není překvapující, že všechny dekontaminační prostředky včetně vody samy vykazují vysoký prakticky využitelný dekontaminační efekt u všech druhů pokusných zvířat.

U Cs (^{137}Cs), které poskytuje převážně dobře rozpustné a disociované sloučeniny, bylo dosaženo všemi užitými prostředky snížení povrchové kontaminace o více než 1 řád.

Jednoznačně vysoký dekontaminační efekt všech užitých prostředků byl nalezen u J (^{131}J) v pokusech na prasatech a skotu. Kvantitativní odstranění kontaminantu u ovcí souvisí zcela jednoznačně s odstraněním tukové složky a nečistot z povrchu těla. Proto se jasně odlišují vysokým dekontaminačním efektem saponátové prostředky ve srovnání s EDTA a $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Specifický dekontaminační efekt sirnatanu sodného se při odstraňování ^{131}J neprojevil.

Vcelku nižší účinnost byla pozorována při odstraňování Sr (^{85}Sr). I když samotný efekt specificky působícího EDTA se výrazně neprojevuje, v kombinaci s Jarem vykazuje prakticky využitelný efekt.

Souhrn

V pokusech na prasatech, ovcích a skotu byl sledován vliv dekontaminačních prostředků na odstraňování radioizotopů Cs, J a Sr z povrchu těla. Užité dekontaminační prostředky — samotná voda, roztoky Jaru-extra, Saponu a EDTA — snižují podstatně množství kontaminantu na povrchu těla. K praktickému použití je jako univerzální prostředek navrhován 1% vodný roztok EDTA s Jarem-extra.

Literatura

1. Bosse, K.: Vergleichende Dermatologie des Menschen und der Tiere II. Mitt. Physiologie periodischer Hautveränderungen unter besonderer Berücksichtigung der Versuchstiere. Hautarzt, 17, 1966, s. 411.
2. Edvardsson, K. A., Hagsgard, S., Swensson, A.: Dekontamination experiments of intact pig skin contaminated with beta — gamma emitting radionuclides. AE — 255, 1966.
3. Havlíček, F., Hrušovský, J., Mach, J.: Dekontaminace prasat, ovcí a skotu povrchově kontaminovaných štěpnými produkty. II. Odstraňování radionuklidů zirkonu, niobu, ceru a rutenia. Voj zdrav. Listy 1972, v tisku.
4. Karavajev, V. M., Koljakov V. L., Korževenko, G. H.: Veterinarnosanitarnaja expertiza produktov životnovodstva pri radiacionnyh poraženijach. Moskva, iz-vo Kolos 1967.
5. Künkel, H. A.: Strahlenschutzmassnahmen gegen Verseuchung mit radioaktiven Isotopen. Strahlentherapie 90, 1953, s. 100.
6. Mamuro, T., Matsunami, T., Maki, N.: Solubility of fallout particles. Health Phys. 12, 1965, s. 757.
7. Mamuro, T.: Physico-chemical properties of fallout particles in relation to burst condition. Atompraxis, 14, 1968, s. 1.
8. Minato, A., Fukuzawa, H., Hirose, S., Mastunaga, Y.: Radioisotopic studies of percutaneous absorption. Chem. Pharm. Bull., 15, 1967, s. 1470.
9. Stajič, V., Milovanovič, A., Stojanovič, D.: Dekontaminacija kože oglednih životinja kontaminirane radionuklidima iz kompleksa fisionih produkata. Vojnosanit. Pregl., 22, 1965a, s. 446.
10. Stajič, V., Milovanovič, A., Stojanovič, D.: Dekontaminacija radioaktivno kontaminirane kože oglednih životinja pomoću materija za dekontaminaciju bez upotrebljenja vode. Vojnosanit. Pregl., 22, 1965b, s. 541.
11. Stajič, V., Stojanovič, D., Milovanovič, A.: Uticaj preeventivne aplikacije zaštitnog krema za ruke na efikasnost dekontaminacije radioaktivno kontaminirane kože oglednih životinja. Vojnosanit. Pregl., 22, 1965c, s. 679.
12. Surovžin, N. N.: Vsasyvanije ^{144}Ce čerez nepovrežděnuju kožu životnyh. Med. Radiol. 12, 1967, s. 62.
13. Tashiro, S., Wadachi, Y.: Skin contamination by radioisotopes. Pig skin contamination by ^{35}S , ^{125}Sb , ^{147}Pm , ^{204}Tl and ^{210}Po . J. At. Energy Soc. Japan., 8, 1966, s. 642.
14. Wada, Y., Tashiro, S., Tanima, U.: Skin contamination by radioactive isotopes. I. Pig skin contamination by ^{90}Sr , ^{90}Y and ^{32}P . J. At. Energy Soc. Japan, 5, 1963, s. 938.

Za technickou spolupráci děkují autoři paní Vlastě Heřmanové a paní Evě Mandíkové.

**Fysiatrická společnost, Diabetologická společnost a Gastroenterologická společnost
Československé lékařské společnosti J. E. Purkyně**

pořádají společně

s Ústavem pro další vzdělávání lékařů a farmaceutů

ve dnech 1.—5. října 1973 v Karlových Varech

**XXVI. MEZINÁRODNÍ LÉKAŘSKÝ
POSTGRADUÁLNÍ KURS**