

616.5-001.17-001.29:623.459.8

DEKONTAMINACE POPÁLENIN KONTAMINOVANÝCH RADIOAKTIVNÍMI LÁTKAMI

Pplk. MUDr. Ladislav VYKOUŘIL, CSc.

Vojenský lékařský výzkumný a doškolovací ústav J. E. Purkyně, Hradec Králové
(náčelník: genmjr. prof. MUDr. Jaroslav Vaňásek, CSc.)

Použití zbraní hromadného ničení včetně jaderných zbraní je stále reálnou hrozbou. Termický popáleniny způsobené při jaderném výbuchu světelným a tepelným zářením v kombinaci s radiačním poškozením v případech povrchové kontaminace by samy o sobě vedly k vážnému poškození. Sama povrchová kontaminace radioaktivním spadem, zvláště časný lokální spad s vysokým podílem dávkového příkonu ve prospěch beta záření oproti záření gama, může být příčinou kontaktních radiačních dermatitid až radiačních popálenin. Při ponechání radioaktivních látek v popálenině je narušen ranný proces, objevují se četné komplikace, zvláště zvýšený výskyt infekce, a to i anaerobní. Tyto příčiny i možnost kontaminace okolí a druhotné zamoření ošetřujícího personálu při nesprávném způsobu ošetřování těchto kontaminovaných poranění vedly celou řadu lékařů k tomu, aby se zabývali problematikou dezaktivace (dekontaminace) zamořené kůže, rány a popáleniny.

Proces omezení účinku radioaktivního zamoření popáleniny musí mít komplexní charakter. Léčba je zaměřena na blokádu orgánového příjmu pomocí fixace radionuklidu v místě vstupu (popálenině) a jeho odstranění. Lze toho dosáhnout

- snížením krevního odtoku z místa kontaminované popáleniny (naložením škrtidla, ochlazováním, aplikací vazokonstrikčních preparátů apod.);
- zabráněním vstřebávání radionuklidů z popáleniny (jejich nasakováním do krycího obvazového materiálu, omýváním popáleni-

ny různými roztoky, vytnutím kontaminovaných tkání apod.).

Použití jednotlivých způsobů je závislé na druhu a lokalizaci popáleniny. Naložení škrtidla je např. možné jen při lokalizaci kontaminované popáleniny na končetině, přičemž nutno zvážit nebezpečí prohloubení stupně popáleniny při takovém zásahu.

Absorpce radionuklidů probíhá velmi rychle, ať už se týká zcela vstřebatelného transportabilního radionuklidu, nebo netransportabilního radionuklidu absorbovaného jenom z části, či dokonce v zanedbatelné míře. Protože přesun do cílového orgánu probíhá souběžně s absorpcí a protože současné metody k urychlování vylučování jsou zpravidla neúčinné, je úspěch léčby závislý na pohotovosti a rychlosti lokálního ošetření, jehož účinnost klesá exponenciálně s časem. Každý okamžik ztracený při zahájení léčby zvyšuje výši depozitu. Musí se předejít šíření kontaminace do organismu a nesmí se učinit nic, co by takové šíření podpořilo. U kontaminovaných popálenin je nutno posoudit závažnost poranění a stupeň kontaminace. Zamoření termické popáleniny radioaktivními látkami představuje vždy složité dilema při vytváření taktiky ošetření takového poranění s ohledem na léčbu popáleniny a dekontaminaci radionuklidů.

Popáleniny postihující pouze povrchní vrstvy kůže (I. a II. stupeň) kontaminované radioaktivními látkami se neléčí operativním způsobem. K dekontaminaci se používá vody s mýdlem nebo jiné vhodné roztoky či způsoby za aseptických podmínek. Vzhledem k nebezpečí

zvýšení vstřebávání radionuklidů kůží zbavené rohové vrstvy není vhodné snést puchýře odchlupující epidermis. Vyžaduje to opatrnost při ošetřování, aby nedošlo k poranění stěny puchýřů. Toto doporučení je v souladu s názorem mnoha specialistů na ošetřování popálenin II. stupně i nezamořených; regenerace epidermis pod ponechanými puchýři je rychlejší (rychlost epitelizace se při snesení puchýřů zmenší o 40 %).

Při hlubokých popáleninách III. a IV. stupně se provádí operativní léčba, jejímž cílem je odstranit nekrotické tkáně. Časná nekrektomie za 2–4 dny po vzniku popálení s následnou autoplastikou nejen zkracuje dobu léčení (na 28 dnů místo 73 dnů při pozdním chirurgickém zásahu), ale dosahuje se i lepších funkčních a kosmetických výsledků.

Kontaminovaná popálenina přináší nové problémy:

- výběr dezaktivacích prostředků;
- ocenění jejich efektu v závislosti na stupni popálení, době začátku dezaktivace atd.;
- možnost nejúplnější očisty kontaminované kůže hlavně při povrchních popáleninách, kdy nepřichází v potaz otázka nekrektomie. Ovšem ani u hlubokých popálenin nelze při velké ploše včasnou nekrektomii provést.

V současné době jsou vyzkoušeny vysoce efektivní mycí prostředky pro očistu kůže od nejnebezpečnějších radionuklidů, ovšem ne všech lze užít k dezaktivaci popálené kůže. Mycí prostředky musí být dostatečně efektivní, při opakovaném použití nesmějí působit dráždění popáleniny, nesmějí být toxické, nesmějí alergizovat. Nesmějí zvyšovat prostup radioaktivních látek do organismu. Nesmějí negativně působit na průběh hojení popáleniny.

V klinické praxi se při očištění a dezinfekci popálených ploch užívá fyziologický roztok, mýdlová voda, baktericidní roztoky, líh, benzín. Těchto prostředků nelze užít k dezaktivaci radioaktivně kontaminovaných popálenin, protože některé následkem rozpouštění tuků značně zvyšují resorpci radionuklidů, jiné jsou nedostatečně efektivní jako dezaktivací prostředky. Mnohé vysoce efektivní preparáty určené k očištění kontaminované neporušené kůže nemohou být použity k dezaktivaci popálených ploch, hlavně u popálenin I. a II. stupně, z nebezpečí podráždění a poranění epidermis. Sem patří pasty, řada prostředků s různými tvrdými složkami, granulemi apod.

Musíme se snažit o to, aby dekontaminace popáleniny byla prováděna jednoduchými metodami a byla provázena průběžným monitorováním. Nesmí se nikdy stát příčinou odkladu celkového ošetření, naopak má tvořit jeho první stupeň.

A proto experimentální práce, která byla sice širěji koncipována, řešila též otázky dekontaminace popáleniny pomocí jodoformu, které vedle výborných dekontaminačních účinků má i též dezinfekční vlastnosti.

Metodika

Experimentální práce byla prováděna na bílých laboratorních kryších obojího pohlaví, kmene Wistar. Pokusné zvíře bylo připevněno na operační stůl, v lumbogluteální krajině byla odstraněna srst vytrháním půl hodiny před aplikací radionuklidu na ploše 5×5 cm a kůže odmaštěna éterem. Dekontaminaci radioaktivních látek jsme sledovali

- z nepoškozené kůže,
- z popáleniny II. stupně,
- z popáleniny III. stupně.

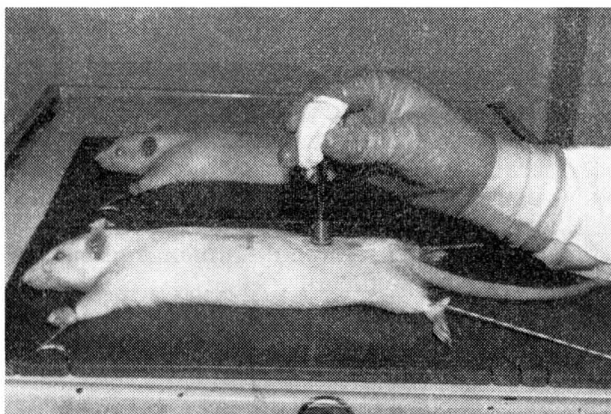
Popáleninu II. stupně jsme vytvořili kovovým pístem 5 ccm injekční stříkačky zahřátým na teplotu cca 100 °C (ve vařící vodě), který jsme přiložili na dobu 3 sekund na epilovanou část pokožky. Tím vznikla popálenina o průměru 12 mm; hloubka popáleniny byla prověřena histologicky. Popáleninu III. stupně jsme vyvolávali podobně pístem injekční stříkačky zahřátým v olejové lázni na teplotu 200 °C.

Kůži či popáleninu jsme zamořili jednou kapkou roztoku radioaktivní látky. Sledovali jsme dekontaminaci ⁸⁹Sr, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce a směsí štěpných produktů (SŠP). Objemová aktivita aplikovaných vodných roztoků radionuklidů byla volena tak, aby v jedné kapce bylo naměřeno ve vzdálenosti 10 cm okolo 10 000 impulsů za 1 minutu. SŠP je dodávána komerčně firmou Iso-commerz NDR. K měření četnosti impulsů byla použita GM trubice GOR 101 umístěná 10 cm nad stolem s pokusným zvířetem tak, aby střed trubice byl kolmo nad středem zamoření kůže či popáleniny. Aby nedošlo ke zkreslení naměřené aktivity hodnotami, které odpovídají vstřebanému množství radioaktivních látek do celého těla, bylo celé pokusné zvíře odstíněno olověným plechem 6 mm silným, ve kterém bylo ponecháno okénko rozměrů 25×35 mm, umístěné nad zamořeným místem. GM trubice byla připojena na laboratorní měřicí soupravu Tesla NZQ 717-T s pracovním napětím 1480 V.

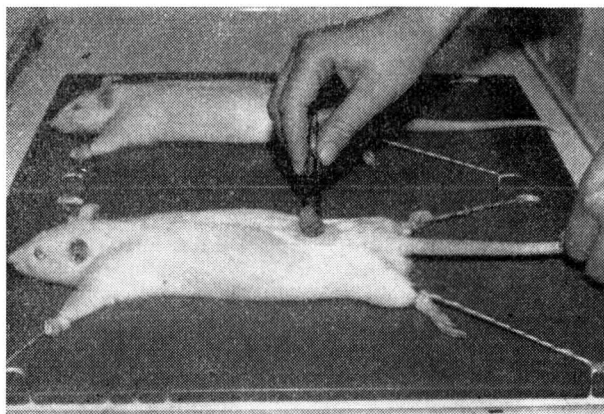
V jedné skupině jsme za 1 hodinu, ve druhé za 6 hodin po aplikaci radionuklidu provedli fyzikálně chemickou dezaktivaci a přímou radiometrii sledovali pokles aktivity a tím účinnost dekontaminace. Fyzikálně chemická dezaktivace byla provedena párovými tampóny o rozměru asi 20×10×10 mm zvlhčenými jedním ze zkoumaných dezaktivacích roztoků. Dekontaminace byla prováděna standardně setřením místa kontaminace tampónem dvakrát v jednom směru a druhým tampónem dvakrát ve směru na první kolmém. Třetím suchým tampónem pak bylo provedeno vysušení. Ihned po dezaktivaci byla změřena četnost impulsů a výsledek opraven o hodnotu pozadí. Dekontaminační účinnost byla vypočtena ze vztahu:

$$D\bar{U} = \frac{A_p - A_d}{A_p} \cdot 100 (\%),$$

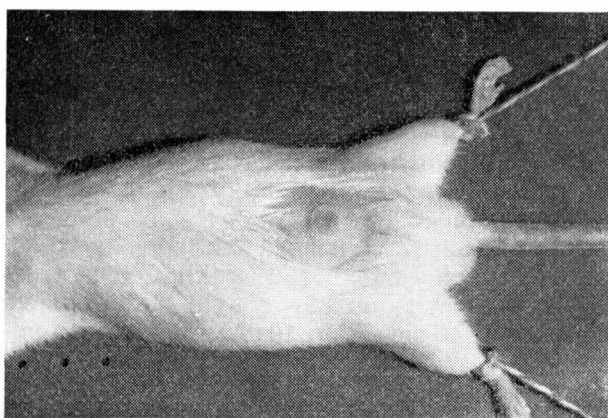
kde A_p . . . četnost impulsů před dekontaminací (min^{-1}),



Obr. 1. Vytvoření popáleniny



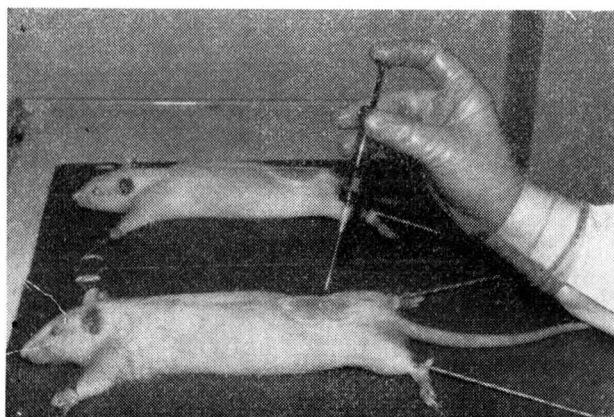
Obr. 4. Způsob odmořování



Obr. 2. Popálenina III. stupně



Obr. 5. Způsob měření zamoření



Obr. 3. Kontaminace kůže

A_d četnost impulsů po dekontaminaci (min^{-1}),

$D\bar{U}$ dekontaminační účinnost v %.

Jako dekontaminační roztoky byly použity:

- destilovaná voda $\text{pH}=6,1$
- dekontaminační směs $\text{pH}=6,4$
- Jodonal B 2% roztok $\text{pH}=2,4$

Dekontaminační směs byla tohoto složení:
0,1 % Saponu (dle ČSN 68 1101)

0,35 % Komplexonu čistoty p. a.
(dvojsodná sůl etyléndiamintetraoctové kyseliny)

0,35 % HMFNa čistoty č.
(hexametafosforečnan sodný)

Jodonal B (výrobce Lachema, n. p.) je směsný roztok jódu s etoxylovanými nonylfenoly a kopolymerem etylénoxidu s propylénoxidem. Přípravek obsahuje dále kyselinu fosforečnou (3,6 %), stabilizující účinek germicidního jó-

du a přídatné látky ve vodném roztoku. Obsah aktivního jódu činí minimálně 1,7 %.

Výsledky měření jsou hodnoceny Dixnovým testem a statisticky Studentovým t-testem. Úroveň významnosti je uváděna pro hladinu významnosti $p=0,05$. Žádná statisticky hodnocená skupina nebyla menší než 6 zvířat.

Výsledky

V tabulkách 1–3 jednotlivých sérií pokusů jsou uvedeny průměrné úbytky radioaktivity účinkem dekontaminace v procentech.

Tab. 1

Porovnání účinnosti dekontaminace (průměr úbytku aktivity v %)

Neporušená kůže

Izotop	Voda		Směs		Jodonal	
	za 1 h	za 6 h	za 1 h	za 6 h	za 1 h	za 6 h
⁸⁹ Sr	51,9	56,3	82,0	68,3	81,2	72,0
¹³⁷ Cs	80,9	91,8	86,4	90,6	86,0	90,7
¹⁴⁴ Ce	62,5	60,0	91,3	90,3	80,8	79,8
SŠP	62,9	78,9	81,4	71,4	79,5	79,5
průměr	64,5	71,7	85,2	80,1	81,8	80,5

Tab. 2

Popálenina II. stupně

⁸⁹ Sr	41,9	48,8	56,7	69,6	74,9	56,5
¹³⁷ Cs	83,9	79,3	81,5	79,7	84,9	83,7
¹⁴⁴ Ce	57,6	53,9	80,8	83,8	70,6	69,8
SŠP	51,3	52,7	77,3	73,4	69,3	60,1
průměr	58,6	58,6	74,0	76,6	74,9	67,5

Tab. 3

Popálenina III. stupně

⁸⁹ Sr	19,0	15,9	32,4	34,7	26,8	36,5
¹³⁷ Cs	62,0	65,6	61,5	65,0	54,4	79,8
¹⁴⁴ Ce	48,4	35,6	78,4	72,3	48,0	48,1
SŠP	29,5	13,8	67,2	47,7	48,4	40,2
průměr	39,7	32,7	59,8	54,9	44,4	51,1

Z tabulek jasně vyplývá, že nejlépe se daří dekontaminovat neporušenou kůži (77,3 %), hůře popáleninu II. stupně (68,4 %) a nejhůře popáleninu III. stupně (47,1 %). Rozdíly dosahují hladiny statistické významnosti. Ze zkoušených dekontaminačních roztoků měla největší účinnost směs (71,8 %), dále pak Jodonal (66,7 %) a nejmenší voda (54,3 %).

Dále z tabulek vyplývá, že nejméně bylo deaktivováno ⁸⁹Sr (51,4 %), zatímco největšího odstranění bylo dosaženo ve všech případech u ¹³⁷Cs (78,2 %).

Diskuse

Dekontaminace kůže se uskutečňuje podle obdobných zásad jako prací proces. I zde je možno rozlišovat fázi smáčení povrchů, tvorbu disperzí nečistot ve vodě a stabilizaci vzniklé disperze včetně žádané zábrany redepozice. Proto je příkládán takový význam přítomnosti komplexotvorných činidel v dekontaminačních roztocích [Vojenská radiobiologie — díl II., 1975].

Nejjednodušším způsobem fyzikálně chemické dekontaminace kůže či popáleniny je oplachování. Tato metoda však vyžaduje poměrně velké množství sterilních tekutin, dekontaminační tekutina pak vytéká do okolí, vymývá sebou radioaktivní látky a zamořuje kůži, roušky, operační stůl, podlahu atd. Tím dojde k druhotnému zamoření kůže a předmětů, což je nežádoucí. S touto metodou je třeba počítat při dezaktivaci větších tělesných dutin (klouby, pohrudniční a břišní dutina), avšak pro hromadné použití v polních podmínkách při dezaktivaci popálenin je třeba volit účinnější a úspornější metody [Beneš, 1967].

V naší práci jsme proto zvolili dekontaminaci šetrným otíráním zamořeného povrchu kůže či popáleniny gázovými tampóny napuštěnými dekontaminační tekutinou. Ověřili jsme si v předpokusech, že na prvním tampónu se zadrží téměř 80 % radioaktivních látek, které lze touto metodou z rány odstranit, na druhém tampónu bylo naměřeno průměrně 20 % odstranitelné aktivity. Na třetím tampónu zůstalo kolem 1–2 %.

Při volbě dezaktivací roztoků jsme vycházeli z předpokladu, že nelze najít univerzální chemický dekontaminační roztok, který by byl dostatečně účinný pro všechny radionuklidy. Velké popálené plochy jsou velkou branou vstupu infekce do organismu, proto je u popálenin velmi důležité všemožně bránit sekundární infekci. Většinu dekontaminačních roztoků doporučovaných v současné době lze sterilizovat, aniž se změní jejich účinnost. Tím lze zabránit nebezpečí infikování popáleniny při dekontaminaci. Mnohem výhodnější jsou však roztoky, které vedle výborných dekontaminačních účinků mají též účinky dezinfekční a k takovým patří jodofory. Jodofory s obsahem povrchově aktivních látek je možno pokládat za perspektivní, neboť vykazují mohutnou antimikrobiální aktivitu při současném detergentním efektu.

Jodofory patří v současnosti mezi nejúčinnější dezinfekční a antiseptické prostředky. Jejich široké spektrum antimikrobiální aktivity, rychlý nástup účinku, praktická nejedovatost a další výhodné vlastnosti urychlily jejich zavedení do výroby i v ČSSR. Jsou určeny k provádění antiseptiky a povrchové dezinfekce ve zdravotnictví, veterinárním lékařství a potravinářství. Zvláště pro širší využití v potravinářství a ve veřejném stravování je žádoucí, aby přípravky vy-

kazovaly vedle dezinfekčního efektu též dobrou detergenční účinnost.

V experimentech s dekontaminací jsme použili jodoformu Jodonal B na podkladě velmi dobrých dekontaminačních účinků, které zjistil při dezaktivaci kontaminovaných dermoepidermálních štěpů odebraných z mrtvol v r. 1978 Pivoňka.

Dezaktivací účinek výše popsaného Jodonalu B jsme srovnávali s dekontaminačním účinkem jednoho z roztoků dekontaminační směsi, která podle Severy je velmi účinná při dekontaminaci kůže. Jejich dekontaminační účinnost jsme srovnávali s účinností vody jako referenčního prostředku. Koncentrace použitých dekontaminačních roztoků byla volena tak, aby nepřevyšovala koncentraci používanou při zevním použití na kůži.

Velmi důležitým faktorem, který ovlivňuje účinnost dekontaminace popáleniny, je doba, která uplyne mezi zamořením a dekontaminací. Na základě výsledků z jiné naší experimentální práce o časové závislosti vstřebávání radionuklidů z popáleného povrchu jednoznačně vyplývá nutnost provést dekontaminaci co nejdříve. Proto jsme v našich sledováních prováděli dezaktivaci za 1 hodinu a za 6 hodin po kontaminaci, tedy v době, kdy by dekontaminace popáleniny mohla být prováděna už v rámci první lékařské pomoci.

Jak ukazují naše výsledky, je dekontaminace fyzikálně chemickým způsobem vysoce účinná. Je nesporné, že se při ní uplatňuje především složka mechanická, tj. zejména odstranění volných izotopů z popáleniny. Uplatňuje se však i složka chemická, jejíž mechanismus je složitý.

Závěry

Autor sledoval experimentálně na krysách účinnost fyzikálně chemického způsobu dekontaminace popáleniny kontaminované vodnými roztoky ^{89}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce a laboratorně připravené směsi štěpných produktů (SŠP). K fyzikálně chemické dezaktivaci bylo použito tampónů napuštěných některým z dekontaminačních činidel: destilovaná voda, dekontaminační roztok

složený z hexametafosforečnanu sodného, Saponu a Komplexonu 3 a 2% roztok Jodonalu B. Účinnost dekontaminace byla ověřována za 1 h a 6 h po zamoření u neporušené kůže, popáleniny II. stupně a popáleniny III. stupně. Radiometrickým měřením úbytku aktivity místa aplikace bylo zjištěno, že:

- fyzikálně chemická dekontaminace výše uvedenými roztoky snižuje statisticky významně stupeň radioaktivního zamoření kůže a popáleniny;
- nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl lokálního efektu dekontaminace, byla-li tato uskutečněna 1 h nebo 6 h po kontaminaci (pokud pomineme významnost časového faktoru dezaktivace v důsledku vstřebávání radioaktivních látek);
- dekontaminace všech radioaktivních látek je nejúčinnější u neporušené kůže (v průměru 77 %), méně u popáleniny II. stupně (v průměru 68 %) a nejméně účinná u popáleniny III. stupně (průměrně 47 %);
- ve všech případech bylo fyzikálně chemickým způsobem dekontaminováno nejvíce ^{137}Cs ;
- byla prokázána velká dekontaminační účinnost roztoku Jodonalu B (průměrně 67 %), která se blíží účinku dekontaminačního roztoku směsi výše uvedeného složení (průměrně 72 %), zatímco vodou lze dekontaminovat průměrně 54 % aktivity.

Souhrn

Experimentální práce sleduje dekontaminační účinnost fyzikálně chemického způsobu dekontaminace kůže a popálenin kontaminovaných radioaktivními látkami. Velmi dobré účinky byly prokázány u Jodonalu B, který patří v současnosti mezi nejúčinnější dezinfekční a antiseptické prostředky a pro tyto všechny jeho vlastnosti ho lze navrhnout k ošetření radiálně kontaminovaných popálenin.

Literatura u autora.

Klíčová slova: Dekontaminace kůže; Dekontaminace popálenin; Využití jodoformů k dekontaminaci.