

616.5-001.17-001.29:616-001.28-092.9

OVlivNĚNÍ VSTŘEBÁVÁNÍ RADIOAKTIVNÍCH LÁTEK Z POPÁLENINY CELOTĚLOVÝM OZÁŘENÍM

Pplk. MUDr. Ladislav VYKOUŘIL, CSc.

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

Různí autoři (Beneš, Iljin aj.) se shodují v tom, že příčiny, které mají v různém stupni vliv na vstřebávání radioaktivních látek kůže neporušenou nebo popálenou, je možno zařadit do několika kategorií:

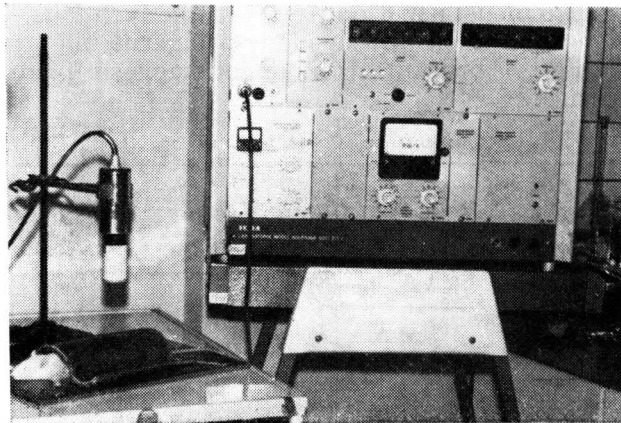
- a) vlastnosti radioaktivních látek,
- b) vliv celkového ozáření organismu či lokálního ozáření kůže,
- c) vlastnosti organismu,
- d) dodatečné faktory.

Vliv celkového ozáření organismu je stále nedostatečně objasněn, a proto bylo naším cílem přesvědčit se experimenty, jak výrazný tento vliv skutečně je. Práce navazuje na studii mého učitele prof. Beneše, který výsledky svého rozsáhlého šetření o vstřebávání radioaktivních látek včetně modelové směsi atomového výbuchu a směsi štěpných produktů z neporušené kůže, popáleniny a řezné rány zveřejnil v r. 1967 a na stránkách tohoto časopisu ve 2. čísle roku 1968.

Hlavním úkolem bylo prokázat, jak se uplatní při vstřebávání radionuklidů z neporušené kůže a popáleniny II. a III. stupně celotělové ozáření organismu v dávce 5 Gy, které předcházelo kontaminaci kůže či popáleniny hodinu nebo týden. Je to dávka, která je schopna vyvolat těžký stupeň nemoci z ozáření.

Metodika

Experimentální práce byla prováděna na bílých laboratorních kryších obojího pohlaví, kmene Wistar, průměrného stáří 2–3 měsíce a hmotnosti 180–250 g. Ozáření vždy šestičlenné skupiny bylo provedeno jednorázově celotělově expozicí 5 Gy. Zdrojem gama záření byl kobaltový zářič ^{60}Co přístroje Chisotron (obr. 1). Třetina zvířat byla ozářena 1 hodinu



Obr. 1

před zamořením, třetina týden před zamořením. Průkaz vzniku nemoci z ozáření u druhé skupiny byl ověřen typickými změnami v krevním obraze zvířat.

Kůže byla depilována v lumbogluteální krajině zvířete na ploše 5×5 cm vytrháním srsti asi 1/2 hodiny před aplikací radionuklidu a odmaštěna éterem.

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

Nepoškozenou kůži jsme za 30 minut po skončení depilace kontaminovali jednou kapkou vodného roztoku některého ze zkoumaných radionuklidů, popáleniny jsme zamořili ihned po jejich vytvoření. Aktivita roztoků byla volena tak, aby v jedné kapce ve vzdálenosti 10 cm

bylo naměřeno okolo 10 000 impulsů za 1 minutu.

Četnost impulsů byla měřena GM trubicí GOR 101, umístěnou 10 cm nad pokusným zvířetem připoutaným k pokusnému stolku tak, aby střed trubice byl kolmo nad středem zamoření. Ostatní tělo pokusného zvířete bylo odstíněno olověným plechem 6 mm silným, ve kterém bylo okénko 25×35 mm nad místem kontaminace. Takto byla eliminována aktivita radionuklidů vstřebaných do těla zvířete. GM trubice byla připojena na laboratorní měřicí soupravu Tesla NZQ 717-T s pracovním napětím 1480 V. Měření bylo prováděno ihned po zamoření, za 10, 30, 60 minut, za 2, 6, 24 hodin.

Sledovali jsme vstřebávání ^{89}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce a směsi štěpných produktů (SŠP). Charakteristika těchto látek je uvedena v tabulce 1. Směs štěpných produktů je dodávána komerčně firmou Isocommerz — NDR.

Výsledky měření byly hodnoceny Dixnovým testem a statisticky Student-Fischerovým t-testem. Hladina významnosti je uváděna pro $P = 0,05$. Žádná statisticky hodnocená skupina nebyla menší než 6 zvířat. V přehledných tabulkách a grafech jsou uvedeny průměrné úbytky aktivity v procentech u jednotlivých sérií pokusu.

Charakteristika zkoušených izotopů Tab. 1

Záříč	^{89}Sr	^{137}Cs	^{144}Ce	SŠP
Fyzikální poločas	51 d	30 r	285 d	—
Biologický poločas pro celý organismus	35,6 r	70 d	4,1 r	—
Biologický poločas pro kritický orgán	49 r	70 d	4,1 r	—
Efektivní poločas pro celý organismus	50,3 d	69,6 d	243 d	—
Maximální energie beta MeV (zastoup. v %)	1,46 (100)	1,17 (8)	0,32 (72)	—
Energie gama MeV (zastoup. v %)	0,91 (0,02)	0,66 (92)	0,03 (0,13)	—
Použitá chemická forma	chlorid	chlorid	chlorid (Cl---)	dusičnan
pH	5,2	3,0	2,1	2,3

Výsledky

U ^{89}Sr celotělové ozáření krátce před kontaminací stejně jako týden před aplikací radionuklidu na neporušenou kůži nemá prakticky vliv na vstřebávání a je přibližně stejné jako u skupiny neozářených zvířat. U popáleniny II. stupně zvětší úbytek radioaktivity až na 15 % za 24 h, rychlost vstřebávání je po celou dobu rovnoměrná a týden po ozáření již ovlivnění vstřebávání není tak výrazné. U popáleniny III. stupně ozáření výrazně ovlivňuje vstřebávání, které neustále narůstá, a není dosaženo ustáleného stavu ani za 24 hodin. Za týden po ozáření byly nalezeny hodnoty blízké hodnotám vstřebávání u neozářeného organismu. Také dynamika je pro oba případy téměř shodná (tabulka 2 a graf 1).

Tab. 2

Porovnání dynamiky vstřebávání ^{89}Sr
(průměr úbytku aktivity v %)

Neporušená kůže

Interval	Neozářen	Ihned po ozáření	Týden po ozáření
10 min	4,9	4,2	3,3
30 min	11,5	8,7	7,6
60 min	15,5	11,1	11,9
2 h	14,6	15,5	14,4
6 h	13,9	16,1	14,2
24 h	15,1	16,2	16,0

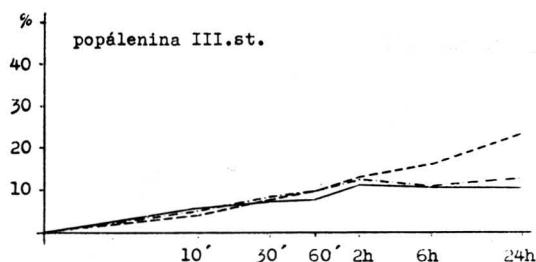
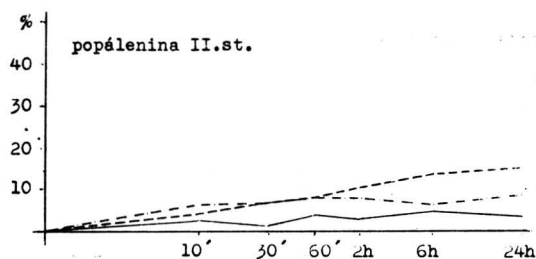
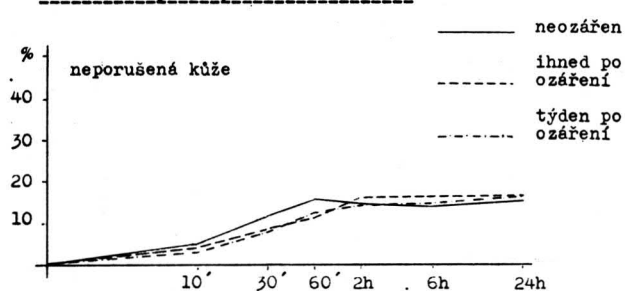
Popálenina II. stupně

10 min	2,5	3,4	5,8
30 min	0,7	6,2	6,2
60 min	3,6	7,7	7,6
2 h	2,6	10,2	7,6
6 h	4,3	13,4	6,1
24 h	3,1	15,0	8,2

Popálenina III. stupně

10 min	5,7	3,8	5,1
30 min	7,0	7,1	7,6
60 min	7,5	9,5	9,6
2 h	11,0	12,8	13,0
6 h	10,6	16,2	10,7
24 h	10,8	23,4	12,6

U ^{137}Cs urychlí celotělové ozáření bezprostředně před kontaminací počáteční vstřebávání z neporušené kůže, které již po 10 minutách dosahuje téměř poloviny množství, které se vstřebá za 24 hodin, avšak množství vstřebané za celých 24 hodin je přibližně stejné jako u neozářené skupiny. Ozáření týden před zamořením již prakticky vstřebávání neovlivní.

Porovnání dynamiky vstřebávání ^{89}Sr 

Graf 1

U popáleniny II. i III. stupně celotělové ozáření nemá vliv na změnu vstřebávání, ať již bylo provedeno za 1 hodinu, nebo 7 dnů před kontaminací, a také dynamika procesu vstřebávání je pro všechny případy prakticky shodná [tabulka 3 a graf 2].

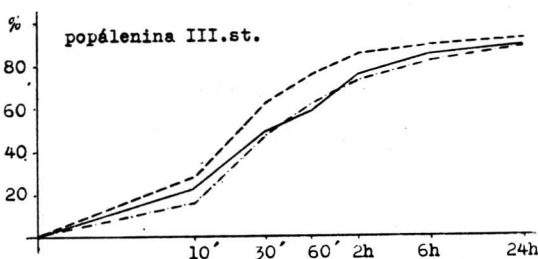
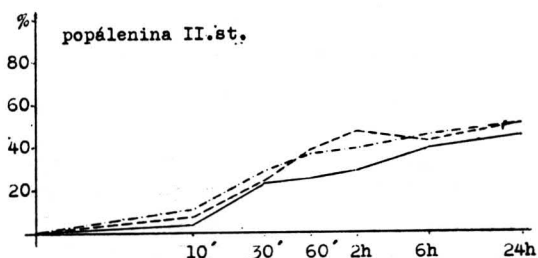
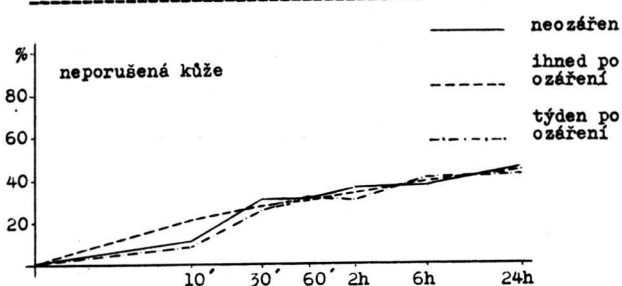
U ^{144}Ce nemá ozáření organismu žádný vliv na vstřebávání radionuklidů z neporušené kůže. U popáleniny II. stupně celotělové ozáření zvířat krátce před zamořením zpomalí vstřebávání, které ani za 24 hodin nedosáhne rovnovážného stavu, i když se za 24 hodin vstřebá prakticky stejné množství. Zato v sérii ozáře-

Popálenina II. stupně

10 min	3,2	6,7	9,7
30 min	22,7	23,7	28,0
60 min	24,4	38,2	37,4
2 h	28,2	47,0	39,6
6 h	38,9	43,0	44,9
24 h	45,0	50,3	50,7

Popálenina III. stupně

10 min	21,9	26,9	14,3
30 min	48,3	61,9	46,9
60 min	58,0	74,8	61,7
2 h	75,4	85,4	72,4
6 h	84,8	89,4	81,7
24 h	89,3	92,0	90,1

Porovnání dynamiky vstřebávání ^{137}Cs 

Graf 2

Tab. 3

Porovnání dynamiky vstřebávání ^{137}Cs
(průměr úbytku aktivity v %)

Neporušená kůže

Interval	Neozářen	Ihned po ozáření	Týden po ozáření
10 min	10,5	19,9	7,7
30 min	29,6	27,2	24,4
60 min	31,6	30,0	30,1
2 h	34,7	33,8	29,6
6 h	36,9	37,9	38,6
24 h	44,7	43,7	41,5

ných krys týden před zamořením dochází ke snížení vstřebávání. U popáleniny III. stupně ozáření organismu v obou případech také snižuje vstřebávání a rovnovážného stavu je dosaženo v prvních hodinách. Celkové množství vstřebaného céru je několikanásobně menší než u ostatních námi zkoumaných radionuklidů a také vstřebávání je pomalejší [tabulka 4 a graf 3].

Tab. 4

Porovnání dynamiky vstřebávání ^{144}Ce
(průměr úbytku aktivity v %)

Neporušená kůže

Interval	Neozářen	Ihned po ozáření	Týden po ozáření
10 min	0,9	0,8	0,0
30 min	5,1	2,5	3,3
60 min	8,1	5,7	6,4
2 h	12,2	17,0	15,4
6 h	14,3	16,2	14,2
24 h	14,5	13,9	19,2

Popálenina II. stupně

10 min	0,0	0,3	0,3
30 min	3,6	0,1	0,2
60 min	10,5	5,4	7,6
2 h	10,9	8,1	9,9
6 h	14,1	11,2	7,7
24 h	15,3	13,8	8,7

Popálenina III. stupně

10 min	0,6	1,9	1,8
30 min	3,2	2,0	1,6
60 min	5,8	10,5	6,5
2 h	13,6	12,9	14,3
6 h	18,0	12,4	14,3
24 h	17,8	11,4	13,1

U SŠP celotělového ozáření krátce před kontaminací zmenší u neporušené kůže množství vstřebané směsi, ozáření před týdnem zvýší vstřebávání SŠP. Ve všech případech je vstřebávání pomalé a rovnovážného stavu je dosaženo asi po 2 hodinách. Ozáření zmenší úbytek vstřebané směsi u popáleniny II. stupně v obou případech podobně jako u popáleniny III. stupně (viz tabulka 5 a graf 4).

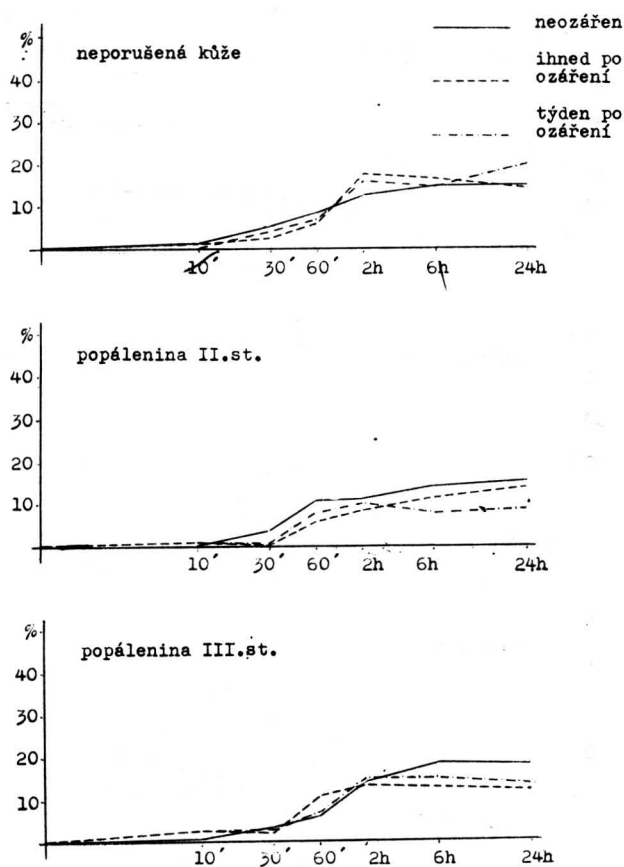
Vstřebávání z neporušené kůže

Z kůže neozářeného organismu se vstřebalo za 24 h nejvíce ^{137}Cs (44,7 %) a nejméně ^{144}Ce (14,5 %) a ^{89}Sr (15,1 %). V průměru činilo vstřebávání všech sledovaných radioizotopů 22,9 %.

U pokusné skupiny zvířat, kterým byly radionuklidy aplikovány ihned po celotělovém ozáření, zjišťujeme malé snížení vstřebávání všech zkoumaných radioizotopů mimo ^{89}Sr (rozdíl však nedosahuje hladiny statistické významnosti). V průměru činilo vstřebávání všech izotopů 21,8 %.

U zvířat celotělově ozářených týden před zamořením dochází ke zvýšenému vstřebávání u ^{144}Ce a SŠP (statisticky významně), kdežto u ^{89}Sr a ^{137}Cs se prakticky nemění.

Porovnání dynamiky vstřebávání ^{144}Ce



Graf 3

Vstřebávání z popáleniny II. stupně

U krys bez dávkové zátěže ubylo za 24 h nejvíce ^{137}Cs (45 %) a nejméně ^{89}Sr (3,1 %). V průměru činilo vstřebávání všech radioizotopů 21,0 %.

V případě kontaminace kůže ihned po celotělovém ozáření zjišťujeme zvýšené vstřebávání u ^{89}Sr a ^{137}Cs (u stroncia statisticky významně), snížení vstřebávání u ^{144}Ce a SŠP (statisticky nevýznamně). V průměru ubylo za 24 h celkem 24 % aktivity.

Vstřebávání radionuklidů u zvířat ozářených celotělově před týdnem dávkou 5 Gy má pro jednotlivé radioizotopy a SŠP stejný charakter jako v předchozím případě, i když v průměru dochází k menšímu úbytku aplikované aktivity (20,1 %). Jen vzestup vstřebávání cesia nedosahuje hladiny statistické významnosti 0,05, ostatní změny ve vstřebávání (vzestup stroncia a pokles céru a SŠP) hladiny statistické významnosti dosahují.

Vstřebávání z popáleniny III. stupně

U krys, které nebyly ozářeny, je největší vstřebávání opět u ^{137}Cs , které dosahuje 89,3 %, nejmenší je ^{89}Sr (10,8 %). V průměru činilo vstřebávání všech zastoupených izotopů 35,1 % za 24 h.

U zvířat krátce po ozáření došlo k zvýšení vstřebávání u radiostroncia a radiocesie, za-

Tab. 5

*Porovnání dynamiky vstřebávání SŠP
(průměr úbytku aktivity v %)*

Neporušená kůže

Interval	Neozářen	Ihned po ozáření	Týden po ozáření
10 min	0,9	0,0	0,5
30 min	1,6	0,4	2,6
60 min	7,2	1,2	6,7
2 h	13,5	12,6	25,2
6 h	7,6	19,4	25,5
24 h	17,5	13,4	27,2

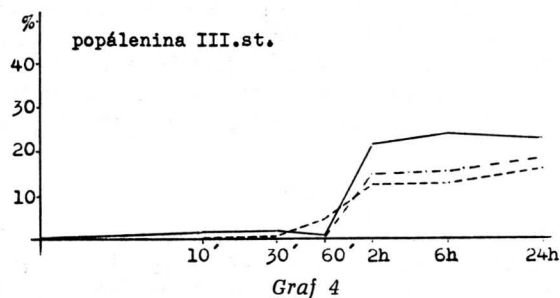
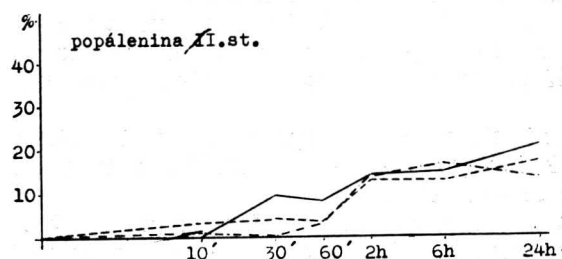
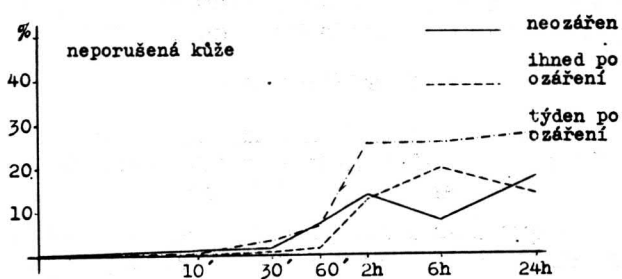
Popálenina II. stupně

10 min	0,1	2,8	0,8
30 min	9,2	4,0	0,1
60 min	8,0	3,3	2,8
2 h	13,9	12,3	13,5
6 h	14,6	12,5	16,1
24 h	20,7	16,9	12,9

Popálenina III. stupně

10 min	1,1	0,0	0,0
30 min	1,4	0,2	0,0
60 min	0,6	4,0	0,0
2 h	21,4	11,9	14,2
6 h	23,7	12,4	15,0
24 h	22,5	15,6	17,8

Porovnání dynamiky vstřebávání SŠP



tímco u radiocéru a směsi lze sledovat pokles. Vzestup ^{89}Sr a pokles ^{144}Ce a SŠP je statisticky významný. Průměr vstřebávání za 24 h u všech zkoumaných izotopů činí 35,6 %.

U organismu ozářeného celotělově před týdnem je situace ve vstřebávání obdobná, i když v průměru se vstřebalo za 24 h 33,4 % izotopů a statisticky významný je pouze pokles vstřebávání ^{144}Ce .

Vstřebávání všech zkoumaných izotopů a SŠP

Výsledky provedených pokusů jednoznačně ukazují, že prověřované vodné roztoky radioaktivních látek se vstřebávají z popáleniny II. stupně méně než z nepoškozené kůže (statisticky nevýznamně), zatímco u popáleniny III. stupně je vstřebávání největší a rozdíl dosahuje úrovně statistické významnosti 0,05.

Tab. 6

Průměrné vstřebávání zkoumaných izotopů za 24 hodin

Kůže	Ozáření	Průměr úbytku aktivity v %	Interval spolehlivosti průměru	
			horní mez	dolní mez
Neporušená	neozařen	22,9	31,5	14,3
	ihned po ozáření	21,8	30,5	13,0
	týden po ozáření	25,9	31,6	20,2
	průměr	23,5	31,2	15,8
Popálenina II. stupně	neozařen	21,0	27,4	15,2
	ihned po ozáření	24,0	34,0	13,9
	týden po ozáření	20,1	27,8	12,4
	průměr	21,7	29,7	13,8
Popálenina III. stupně	neozařen	35,1	38,5	31,6
	ihned po ozáření	35,6	39,9	31,3
	týden po ozáření	33,4	38,5	28,3
	průměr	34,6	38,9	30,4

Celotělové ozáření organismu dávkou 5 Gy ať krátce před zamořením, nebo týden před kontaminací kůže i popáleniny II. a III. stupně jen statisticky nevýznamně ovlivní vstřebávání průměru všech námi zkoumaných radionuklidů (tabulka 6).

Závěr

Autor studoval experimentálně na krysách vstřebávání vodných roztoků ^{89}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce a laboratorně připravené směsi štěpných produktů z neporušené kůže a popáleniny II. a III. stupně u neozářeného organismu, organismu bezprostředně po celotělovém ozáření dávkou 5 Gy (za 1 hodinu) a organismu ozářeného stejnou dávkou před týdnem. Sledování bylo prováděno za bazálních podmínek v prvních 24 hodinách po kontaminaci. Přímým radiometrickým měřením úbytku aktivity měřením četnosti impulsů ve standardních měřicích podmínkách zjistil:

1. Radionuklidy různých chemických prvků a stejně tak směs štěpných produktů mají svoji vlastní dynamiku vstřebávání.
2. Ze zkoumaných radionuklidů se za všech experimentálních podmínek nejrychleji vstřebává ^{137}Cs .
3. Největší vstřebávání radioaktivních látek nastává u popáleniny III. stupně, tedy tam,

kde je nejvíce porušena kožní bariéra organismu.

4. Rozdílnost vstřebávání ^{137}Cs z popáleniny II. stupně oproti popálenině III. stupně je tak výrazná (45 % : 90 %), že lze využít tohoto radionuklidu jako ukazatele stupně hloubky termického poškození.
5. Vstřebávání radioaktivních látek u popáleniny II. stupně se statisticky významně neliší od vstřebávání z neporušené kůže.
6. Celotělové ozáření organismu dávkou 5 Gy bezprostředně ani v průběhu nemoci z ozáření statisticky významně neovlivní vstřebávání radioaktivních látek z neporušené kůže ani popáleniny.

Souhrn

Experimentální práce sleduje vstřebávání radioaktivních látek (^{89}Sr , ^{137}Cs , ^{144}Ce a směsi štěpných produktů) v prvních 24 hodinách z nepoškozené kůže a popáleniny II. a III. stupně. Celotělové ozáření dávkou 5 Gy bezprostředně ani týden před kontaminací vstřebávání statisticky významně neovlivní.

Literatura u autora.

Klíčová slova: Vstřebávání radionuklidů z kůže; Vstřebávání radionuklidů z popáleniny; Vliv ozáření na vstřebávání.