



Názov:

**Poskytovanie zdravotnej starostlivosti osobám  
postihnutým radiačnou nehodou  
alebo radiačnou haváriou**

Autori:

**prof. MUDr. Viera Lehotská, PhD.  
MUDr. Marcel Brenner, MPH  
doc. MUDr. Pavol Dubinský, PhD., MHA  
Ing. Martina Dubníčková  
Ing. Igor Gomola, PhD.  
MUDr. Lucia Kaliská, PhD., FEBNM  
Mgr. Žaneta Kantová  
MUDr. Július Pavčo  
MUDr. Eva Takácsová, PhD.**

Odborná pracovná skupina:

**Poskytovanie zdravotnej starostlivosti pri radiačnej nehode/havárii**

Ministerstvo zdravotníctva Slovenskej republiky podľa § 45 ods. 1 písm. c) zákona č. 576/2004 Z. z. o zdravotnej starostlivosti, službách súvisiacich s poskytovaním zdravotnej starostlivosti a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov vydáva štandardný postup:

## Poskytovanie zdravotnej starostlivosti osobám postihnutým radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou

Číslo ŠP	Dátum prvého predloženia Komisii MZ SR pre ŠDTP	Status	Dátum účinnosti schválenia ministrom zdravotníctva SR
308	24. október 2023	schválené	15. november 2023

## Autori štandardného postupu

### Autorský kolektív:

prof. MUDr. Viera Lehotská, PhD.; MUDr. Marcel Brenner, MPH; doc. MUDr. Pavol Dubinský, PhD., MHA; Ing. Martina Dubníčková; Ing. Igor Gomola, PhD.; MUDr. Lucia Kaliská, PhD., FEBNM; Mgr. Žaneta Kantová; MUDr. Július Pavčo; MUDr. Eva Takáčsová, PhD.

### Odborná podpora tvorby a hodnotenia štandardného postupu

Prispievatelia a hodnotitelia: členovia odborných pracovných skupín pre tvorbu štandardných diagnostických a terapeutických postupov MZ SR; hlavní odborníci MZ SR príslušných špecializačných odborov; hodnotitelia AGREE II; členovia multidisciplinárnych odborných spoločností; odborný projektový tím MZ SR pre ŠDTP a patientske organizácie zastrešené AOPP v Slovenskej republike; NCZI; Sekcia zdravia MZ SR, Kancelária WHO na Slovensku.

**Odborní koordinátori:** doc. MUDr. Peter Jackuliak, PhD., MPH; doc. MUDr. Alexandra Krištúfková, PhD.; prof. MUDr. Juraj Payer, PhD., MPH, FRCP, FEFIM

### Recenzenti

**členovia Komisie MZ SR pre ŠDTP:** MUDr. Ingrid Dúbravová; PharmDr. Tatiana Foltánová, PhD.; prof. MUDr. Jozef Glasa, CSc, PhD.; MUDr. Darina Haščíková, MPH; prof. MUDr. Jozef Holomáň, CSc.; doc. MUDr. Martin Hrubíško, PhD., mim. prof.; doc. MUDr. Peter Jackuliak, PhD., MPH; MUDr. Jana Kelemenová; MUDr. Branislav Koreň; doc. MUDr. Alexandra Krištúfková, PhD.; prof. MUDr. Ivica Lazúrová, DrSc.; PhDr. Mária Lévyová; MUDr. Boris Mavrodiev; Mgr. Katarína Mažárová; Ing. Jana Netriová, PhD. MPH; prof. MUDr. Juraj Payer, PhD., MPH, FRCP, FEFIM; Mgr. Renáta Popundová; MUDr. Jozef Pribula, PhD., MBA; MUDr. Ladislav Šinkovič, PhD., MBA; PharmDr. Ellen Wiesner, MSc.; MUDr. Andrej Zlatoš

### Technická a administratívna podpora

**Podpora vývoja a administrácia:** Ing. Peter Čvapek, MBA, MPH; Mgr. Barbora Vallová; Mgr. Ludmila Eisnerová; Mgr. Mário Fraňo; Ing. Petra Hullová; JUDr. Ing. Zsolt Mánya, PhD., MHA; Ing. Katarína Krkošková; Mgr. Miroslav Hečko; PhDr. Dominik Procházka; Ing. Martina Šimonovičová

**Podporené grantom z OP Ľudské zdroje MPSVR SR NFP s názvom:** „Tvorba nových a inovovaných štandardných klinických postupov a ich zavedenie do medicínskej praxe” (kód NFP312041J193)

## **Kľúčové slová**

Radiačná udalosť, radiačná nehoda, radiačná havária, rádioaktívna kontaminácia, rádioaktívna látka, rádionuklid, vonkajšia kontaminácia, vnútorné ožiarenie, duševné zdravie, ľudský organizmus, syndróm akútneho ožiarenia, erytém kože, nekróza

## **OBSAH**

### **1. Úvod**

- 1.1 Cieľ
- 1.2 Definícia radiačnej udalosti, radiačnej nehody a radiačnej havárie
- 1.3 Vplyv rádioaktívnych látok na ľudský organizmus
- 1.4 Základné pojmy

### **2. Núdzová situácia v dôsledku radiačnej nehody alebo radiačnej havárie**

### **3. Klinická triáž**

- 3.1 Ciele lekárskej intervencie, ak nastane radiačná mimoriadna udalosť
- 3.2 Manažment zdravotnej starostlivosti pri poškodení organizmu po ožiarení
- 3.3 Triedenie postihnutých osôb
- 3.4 Počiatočná stabilizácia
- 3.5 Triedenie v nemocnici
- 3.6 Nehoda s nízkym počtom zasiahnutých osôb
- 3.7 Hromadná nehoda
- 3.8 Postup pri liečbe pacientov
- 3.9 Subjekty, ktoré zabezpečujú súčinnosť pri ochrane zdravia a subjekty, ktoré poskytujú zdravotnú starostlivosť osobám postihnutým radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou

### **4. Poskytovanie prednemocničnej zdravotnej starostlivosti - činnosť zdravotnej záchranej služby pri radiačnej nehode a radiačnej havárii**

- 4.1 Operačné stredisko záchranej zdravotnej služby Slovenskej republiky
- 4.2 Poskytovatelia záchranej zdravotnej služby
- 4.3 Zásady poskytovania NZS na mieste udalosti
- 4.4 Preprava kontaminovanej osoby
- 4.5 Dekontaminácia členov zásahovej skupiny ambulancie ZZS

### **5. Poskytovanie ZS pri vonkajšom ožiarení osôb – akútna choroba z ožiarenia, lokálne ožiarenie**

- 5.1 Klinická manifestácia, hodnotenie a diagnostika akútnej expozície ionizujúcemu žiareniu
- 5.2 Kritický orgán
- 5.3 Typy expozície ionizujúcemu žiareniu
- 5.4 Ožiarenie
- 5.5 Identifikácia ožiarenia
- 5.6 Klinické prejavy ožiarenia
- 5.7 Vyšetrenia pri podozrení na expozíciu alebo pri expozícii ionizujúceho žiarenia
- 5.8 Vstupné laboratórne testy
- 5.9 Stanovenie diagnózy akútneho radiačného syndrómu
- 5.10 Odhad radiačnej expozície
- 5.11 Diferenciálna diagnostika
- 5.12 Pediatrické aspekty
- 5.13 Syndróm akútneho ožiarenia
- 5.14 Hematopoetický syndróm
- 5.15 Stratifikácia starostlivosti
- 5.16 Podporná starostlivosť pri hematopoetickom ARS
- 5.17 Gastrointestinálny syndróm

- 5.18 Cerebrovaskulárny syndróm
- 5.19 Kožný syndróm
- 5.20 Sledovanie pacientov po ožiarení s rádioaktívnym poškodením
- 5.21 Pediatrické aspekty

## **6. Rádioaktívna kontaminácia osôb**

- 6.1. Vonkajšia rádioaktívna kontaminácia osôb
  - 6.1.1. Manažment poskytovania zdravotnej starostlivosti rádioaktívne kontaminovaným osobám
  - 6.1.2. Postup pri vyzliekaní rádioaktívne kontaminovaných osôb
  - 6.1.3. Postup zbavenia sa kontaminovaných častí odevu u postihnutých osôb
  - 6.1.4. Dekontaminácia rán
  - 6.1.5. Postup dekontaminácie otvorenej rany
  - 6.1.6. Dekontaminácia otvorov na tvári
  - 6.1.7. Dekontaminácia neporušenej kože
  - 6.1.8. Postup dekontaminácie izolovaného miesta kože
- 6.2. Vnútoraná rádioaktívna kontaminácia
  - 6.2.1. Fázy vnútornej rádioaktívnej kontaminácie
  - 6.2.2. Zdravotné riziká vnútornej rádioaktívnej kontaminácie osôb
  - 6.2.3. Diagnostika a hodnotenie vnútornej rádioaktívnej kontaminácie osôb
  - 6.2.4. Spôsob odberu biologických vzoriek od pacienta
  - 6.2.5. Liečba vnútornej rádioaktívnej kontaminácie osôb
  - 6.2.6. Lekárske sledovanie pacientov s vnútornou rádioaktívnou kontamináciou
- 6.3. Radiačná ochrana zdravotníckych pracovníkov a ochranné opatrenia na zabránenie šíreniu rádioaktívnej kontaminácie
  - 6.3.2. Postup prípravy priestorov zdravotníckeho zariadenia na príjem rádioaktívne kontaminovaných pacientov
  - 6.3.3. Postup správneho obliekania osobných ochranných prostriedkov (OOP) zdravotníckych pracovníkov
  - 6.3.4. Postup správneho spôsobu vyzliekania osobných ochranných prostriedkov, kontrola rádioaktívnej kontaminácie zdravotníckych pracovníkov

## **7. Núdzová komunikácia a aspekty duševného zdravia osôb, ak nastane radiačná nehoda alebo radiačná havária**

- 7.1. Núdzová komunikácia počas radiačnej nehody alebo radiačnej havárie
  - 7.2. Aspekty duševného zdravia, ak nastane radiačná nehoda alebo radiačná havária
    - 7.2.1. Psychosociálne aspekty, ktoré sa týkajú postihnutého obyvateľstva
    - 7.2.2. Psychosociálne aspekty, ktoré sa týkajú záchranárov

## **ZHRNUTIE**

### **Používaná terminológia**

### **Literatúra**

**Prílohy:** Základné materiálne technické vybavenie príjmových ambulancií poskytovateľov ZS, vzorové záznamy

**Príloha č. 1:** Odporúčané minimálne vybavenie pre poskytovateľov zdravotnej starostlivosti

**Príloha č. 2:** Odporúčané zásady na poskytovanie neodkladnej zdravotnej starostlivosti osobe postihnutej radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou pre záchrannú zdravotnú službu

**Príloha č. 3:** Odporúčané zásady na poskytovanie neodkladnej zdravotnej starostlivosti osobe postihnutej radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou pre poskytovateľov ústavnej zdravotnej starostlivosti, ktorí poskytujú pohotovostnú službu

**Príloha č. 4:** Sprievodný list kontaminovanej osoby, ktorej zdravotný stav si vyžaduje poskytnutie zdravotnej starostlivosti

## Použité skratky

<sup>131</sup> I	rádionuklid jód-131
<sup>241</sup> Am	rádionuklid amerícium-241
<sup>137</sup> Cs	rádionuklid cézia-137
<sup>90</sup> Sr	rádionuklid stroncium-90
ARS	akútny radiačný syndróm
CNS	centrálne nervová sústava
DTPA	kyselina dietyltriaminopentaoctová
EDTA	kyselina etyléndiaminotetraoctová
LTV 155	linka tiesňového volania 155
MAAE	Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu vo Viedni
NZS	neodkladná zdravotná starostlivosť
OOP	osobné ochranné prostriedky
OOPP	osobné ochranné pracovné prostriedky
OS ZZS SR	operačné stredisko záchranej zdravotnej služby Slovenskej republiky
ŠDP	štandardný diagnostický postup
ZZS	zdravotná záchranná služba
ZZÚZS	zdravotníckemu zariadeniu ústavnej zdravotnej starostlivosti

## 1 Úvod

V posledných dvoch desaťročiach vývoj vo vedeckom výskume a diagnostických metódach, ako aj nové medicínske techniky a nové aplikácie v hodnotení a liečbe dávok výrazne zmenili prostriedky a metódy liečby poškodenia zdravia v dôsledku ožiarenia a rádioaktívnej kontaminácie. Medicínsky manažment jednotlivcov (pacientov) v rámci radiačných mimoriadnych udalostí značne pokročil a nové medicínske prístupy začlenili poznatky zo skúseností získaných pri nehodách, ktoré sa vyskytli v rôznorodých prostrediach, ako je priemysel, zdravotníctvo, manipulácia so zdrojmi ionizujúceho žiarenia.

Tento štandardný postup sa vzťahuje na medicínsky manažment poškodenia zdravia v dôsledku ožiarenia a rádioaktívnej kontaminácie, obsahuje nové informácie o poskytovaní zdravotnej starostlivosti osobám pri radiačných mimoriadnych udalostiach. Je v súlade so zákonom č. 87/2018 Z.z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov [1.1] a so sériou bezpečnostných noriem MAAE č. GSR, časť 7 [1.2].

### 1.1 Cieľ

ŠDP o poskytovaní zdravotnej starostlivosti osobám postihnutým radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou obsahuje nové informácie a poskytuje zdravotníckym pracovníkom pre deti a dospelých usmernenia pri vykonávaní rýchlych diagnostických opatrení a lekárskeho manažmentu jednotlivcov postihnutých radiačnou mimoriadnou udalosťou. Manažment radiačných mimoriadnych udalostí zahŕňa komplexný multidisciplinárny tím zdravotníckych pracovníkov vrátane lekárov, sestier, biológov, pracovníkov radiačnej ochrany, patológov, klinických fyzikov a laboratórnych pracovníkov. Manažment mimoriadnych radiačných udalostí z hľadiska lekárov zahŕňa tieto oblasti medicíny (poskytovania zdravotnej starostlivosti) alebo špecializácie: urgentná medicína, úrazová chirurgia, neurológ, hematológ, odborník na popáleniny, dermatológ, gastroenterológ, onkológ, radiačný onkológ, nukleárna medicína, psychiater, psychológ.

## 1.2 Definícia radiačnej udalosti, radiačnej nehody a radiačnej havárie

Udalosť je výskyt neplánovanej alebo neočakávanej situácie nezanedbateľnej z hľadiska radiačnej ochrany alebo z hľadiska možných následkov vrátane chyby obsluhy, prevádzkovej poruchy alebo poruchy zariadenia pri činnosti vedúcej k ožiareniu alebo zámerného postupu.

Udalosti sa podľa závažnosti členia na radiačnú udalosť, radiačnú nehodu a radiačnú haváriu.

Radiačná udalosť je udalosť, pri ktorej:

- 1) došlo k neplánovanému ožiareniu pracovníkov alebo neočakávanému ožiareniu pracovníkov v dôsledku porušenia prevádzkových predpisov alebo požiadaviek na zabezpečenie radiačnej ochrany, na úrovni vyššej ako 1 mSv, ale nižšej, ako sú limity ožiarenia pracovníka alebo k rozptýleniu rádioaktívnych látok na pracovisku alebo v jeho okolí na úrovni, ktorá vylučuje, že ožiarenie osôb spôsobené rozptýlením rádioaktívnych látok prekročí limity ožiarenia obyvateľa, alebo
- 2) porušenie prevádzkových predpisov alebo nedodržanie požiadaviek na zabezpečenie radiačnej ochrany mohlo spôsobiť ožiarenie pracovníkov, na úrovni vyššej, ako sú limity ožiarenia pracovníka, alebo rozptýlenie rádioaktívnych látok v okolí pracoviska na úrovni, ktorá by mohla spôsobiť ožiarenie obyvateľov na úrovni vyššej, ako sú limity ožiarenia obyvateľa.

Radiačná nehoda je udalosť, pri ktorej v dôsledku straty kontroly nad zdrojom ionizujúceho žiarenia došlo k ožiareniu pracovníkov na úrovni limitov ožiarenia pracovníka alebo na úrovni vyššej, ako sú limity ožiarenia pracovníka, alebo pri ktorej došlo k neprípustnému uvoľneniu rádioaktívnych látok do životného prostredia, v dôsledku ktorého však nemôžu byť prekročené limity ožiarenia obyvateľa.

Radiačná havária je udalosť, pri ktorej v dôsledku straty kontroly nad zdrojom ionizujúceho žiarenia došlo k úniku rádioaktívnych látok alebo ionizujúceho žiarenia do životného prostredia, ktoré môže spôsobiť ožiarenie obyvateľov na úrovni vyššej ako limity ožiarenia obyvateľa, a vyžaduje si zavedenie opatrení na ochranu obyvateľstva [1.1].

## 1.3 Vplyv rádioaktívnych látok na ľudský organizmus

Ak nastane radiačná nehoda alebo radiačná havária, môže dôjsť k šíreniu rádioaktívnych látok do životného prostredia a spôsobiť vonkajšiu alebo vnútornú rádioaktívnu kontamináciu ľudského organizmu. Klinický a laboratórny výsledok je ovplyvnený pôsobením rádioaktívnych látok na ľudský organizmus. Kombinované radiačné poškodenie ľudského organizmu môže byť spojené s ďalším poškodením organizmu, napr. popálením, poranením, a iné.

Rádiotoxicita je súbor fyzikálnych, chemických a biologických vlastností rádionuklidu. Hlavný rozdiel medzi chemicky toxickými a rádioaktívnymi látkami je v tom, že rádioaktívne látky sú toxické aj vo veľmi malých koncentráciách. Rádiotoxicita jednotlivých rádionuklidov závisí najmä od doby polpremeny, druhu a energie žiarenia, metabolizmu prvku a rýchlosti vylučovania rádionuklidu z organizmu (biologický polčas premeny).

Všeobecne platí, že rádionuklid je tým nebezpečnejší čím

- a) má dlhšiu dobu polpremeny,
- b) má žiarenie vyššiu ionizačnú schopnosť (závisí od druhu žiarenia a energie vyžarovaných častíc),
- c) selektívnejšie sa ukladá v určitej časti organizmu,
- d) ťažšie sa z organizmu odstráni (toxicita závisí od metabolizmu rádionuklidu).

Rádiosenzitivita je citlivosť buniek (tkanív, orgánov) na ionizujúce žiarenie.

Rádiorezistencia je odolnosť buniek (tkanív, orgánov) voči pôsobeniu ionizujúceho žiarenia.

Biologický účinok ionizujúceho žiarenia závisí od druhu žiarenia a jeho dávky a od veľkosti a typu telesného objemu vystaveného žiareniu.

Spôsoby vnútornej rádioaktívnej kontaminácie organizmu sú inhalácia, ingescia, prienik cez kožu a prienik cez otvorenú ranu do krvného obehu.

Miera radiačného poškodenia spôsobená určitou dávkou žiarenia závisí od časového rozdelenia dávky a regeneračných schopností ožiareného jedinca.

Biologické účinky ionizujúceho žiarenia delíme na stochastické (náhodné, bezprahové) alebo nestochastické – deterministické (prahové). K stochastickým biologickým účinkom ionizujúceho žiarenia (napr. nádorové ochorenia, genetické poškodenia) môže dôjsť pri obdržaní ľubovoľne nízkych dávok ionizujúceho žiarenia, pravdepodobnosť vzniku týchto biologických účinkov pri nízkych dávkach je však veľmi malá a s rastúcimi dávkami rastie. V prípade stochastických biologických účinkov ionizujúceho žiarenia u ožiareného jedinca sa nedá preukázať príčinná súvislosť medzi poškodením a ožiarovaním. Deterministické biologické účinky (napr. kožná dermatitída, očná katarakta, strata ochlpenia, akútna choroba z ožiarovania, atď.) sú prahové. To znamená, že pri obdržaní prahovej dávky ionizujúceho žiarenia tieto deterministické biologické účinky určite nastanú a pokiaľ obdržaná dávka nedosiahne prahovú hodnotu, deterministické biologické účinky určite nenastanú. V tomto prípade je preukázaná príčinná súvislosť medzi ožiarovaním a poškodením.

Biologické účinky ionizujúceho žiarenia môžu byť somatické, pri ktorých sa poškodenie organizmu prejaví iba na ožiarenom jednotlivcovi alebo genetické, pri ktorých sa poškodenie prejaví aj na ďalších generáciách (dedičné).

Pri vonkajšej rádioaktívnej kontaminácii ľudského organizmu je prioritne zasiahnutá pokožka. Vzniká priame poškodenie kože a podkožia (najmä rádionuklidmi emitujúcimi alfa žiarenie alebo beta žiarenie). Prienik rádioaktívnych látok do podkožia je spôsobený prostredníctvom sečných rán, rezných rán alebo plošného poškodenia kože. Pri vnútornej rádioaktívnej kontaminácii ľudského organizmu sú prioritne zasiahnuté oblasti vstupných ciest ľudského organizmu – dutina ústna, sliznica nosa, a sliznica horných dýchacích ciest.

Rozsah poškodenia ľudského organizmu závisí od obdržanej ekvivalentnej dávky, t. j. od druhu a aktivity rádionuklidov, doby pôsobenia rádioaktívnych látok na ľudský organizmus, biologickej a fyzikálnej doby polpremeny rádionuklidov, fyzikálnych a chemických vlastností rádioaktívnej látky, stupňa ochrany ústnej dutiny, sliznice nosa, horných dýchacích ciest a pokožky v čase, keď nastala rádioaktívna kontaminácia ľudského organizmu (napríklad odev, respirátor, použité osobné ochranné prostriedky).

#### 1.4 Základné pojmy

Ionizujúce žiarenie – ionizujúce žiarenie je žiarenie prenášajúce energiu vo forme častíc alebo elektromagnetických vln s vlnovou dĺžkou 100 nm alebo kratšou alebo s frekvenciou  $3 \cdot 10^{15}$  Hz alebo vyššou, ktoré má schopnosť priamo vytvárať ióny alebo nepriamo vytvárať ióny

Absorbovaná dávka - D

je podiel strednej energie ionizujúceho žiarenia de odovzdanej elementu látky s hmotnosťou dm

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

Jednotkou absorbovanej dávky je Gray (Gy), kde  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

### Dávkový príkon - $\dot{D}$

je prírastok absorbovanej dávky za jednotku času

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Jednotkou dávkového príkonu je  $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$ , kde  $1 \text{ Gy}\cdot\text{s}^{-1} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### Stredná absorbovaná dávka v orgáne alebo tkanive – $D_T$

Stredná absorbovaná dávka v orgáne alebo tkanive T je daná podielom celkovej energie ionizujúceho žiarenia  $\varepsilon_T$  odovzdanej orgánu T a hmotnosti tohto orgánu  $m_T$ :

$$D_T = \frac{\varepsilon_T}{m_T}$$

Jednotkou strednej absorbovanej dávky v orgáne alebo tkanive je Gray (Gy).

### Ekvivalentná dávka - $H_T$

je stredná absorbovaná dávka v tkanive alebo orgáne vynásobená príslušným radiačným váhovým faktorom  $w_R$

$$H_T = w_R \cdot D_{T,R}$$

kde  $D_{T,R}$  je stredná absorbovaná dávka žiarenia R v tkanive T a  $w_R$  je radiačný váhový faktor ionizujúceho žiarenia R.

Radiačné váhové faktory charakterizujú rozdielne biologické účinky rôznych druhov ionizujúceho žiarenia; hodnoty radiačných váhových faktorov sú uvedené v prílohe č. 1 zákona č. 87/2018 Z. z. Keď je radiačné pole vytvorené viacerými druhmi žiarenia s rôznymi hodnotami  $w_R$ , celková ekvivalentná dávka v tkanive alebo orgáne T sa stanoví podľa vzťahu

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

Jednotkou ekvivalentnej dávky je Sievert (Sv), kde  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

### Efektívna dávka - E

je súčtom vážených ekvivalentných dávok  $H_T$  vo všetkých orgánoch alebo tkanivách tela v dôsledku vnútorného a vonkajšieho ožiarovania vynásobených príslušným tkanivovým váhovým faktorom  $w_T$

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

kde  $w_T$  je tkanivový váhový faktor tkaniva alebo orgánu T,  $w_R$  je radiačný váhový faktor ionizujúceho žiarenia R a  $D_{T,R}$  je stredná absorbovaná dávka žiarenia R v tkanive T. Tkanivové váhové faktory  $w_T$  orgánu alebo tkaniva T reprezentujú relatívny príspevok daného orgánu k celkovej zdravotnej ujme spôsobenej stochastickými účinkami ionizujúceho žiarenia. Tkanivové váhové faktory sú uvedené v prílohe č. 1 zákona č. 87/2018 Z. z..



Jednotkou efektívnej dávky je Sievert (Sv).

#### Kolektívna efektívna dávka – S

Kolektívna efektívna dávka S sa používa na účely kvantifikácie ožiarenia jednotlivých skupín obyvateľstva; je daná súčtom efektívnych dávok všetkých jednotlivcov v určitej skupine osôb a je definovaná vzťahom

$$S = \sum_i N_i \cdot \bar{E}_i$$

kde  $N_i$  je počet členov v zvolenej podskupine i a  $\bar{E}_i$  je priemerná efektívna dávka v zvolenej podskupine osôb.

Jednotkou kolektívnej efektívnej dávky je man.Sievert (man.Sv).

#### Úväzok ekvivalentnej dávky - $H_T(\tau)$

je časový integrál príkonu ekvivalentnej dávky v orgáne alebo tkanive T za čas  $\tau$  od príjmu rádionuklidu. Je daný vzťahom

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$

kde  $\dot{H}_T(t)$  je príkon ekvivalentnej dávky v orgáne alebo tkanive T v čase t a  $\tau$  je čas, počas ktorého sa vykonáva integrovanie.

Pri stanovení  $H_T(\tau)$  je čas  $\tau$  vyjadrený v rokoch. Na účel hodnotenia veľkosti ožiarenia osôb a sledovania dodržiavania limitov ožiarenia sa pre výpočet úväzku ekvivalentnej dávky u osôb starších ako 18 rokov sa počíta s obdobím 50 rokov a u osôb mladších ako 18 rokov s obdobím 70 rokov od príjmu rádionuklidov.

Jednotkou úväzku ekvivalentnej dávky je Sievert (Sv).

#### Úväzok efektívnej dávky - $E(\tau)$

je súčet úväzkov ekvivalentných dávok  $H_T(\tau)$  v orgáne alebo tkanive T za čas  $\tau$  od príjmu rádionuklidov vynásobených príslušným tkanivovým váhovým faktorom  $w_T$ . Vypočíta sa podľa vzťahu

$$E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau) = \sum_T w_T \cdot \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$

kde  $w_T$  je tkanivový váhový faktor tkaniva alebo orgánu T,  $\dot{H}_T(t)$  je príkon ekvivalentnej dávky v orgáne alebo tkanive T v čase t a  $\tau$  je čas, počas ktorého sa vykonáva integrovanie.

Na účel sledovania dodržiavania limitov ožiarenia sa pre výpočet úväzku efektívnej dávky u osôb starších ako 18 rokov počíta s obdobím 50 rokov a u osôb mladších ako 18 rokov s obdobím 70 rokov od príjmu rádionuklidov.

Jednotkou úväzku efektívnej dávky je Sievert (Sv).

#### Aktivita - A

Aktivita daného množstva rádionuklidu v určitom energetickom stave a v určitom čase je definovaná vzťahom

$$A = \frac{dN}{dt}$$

kde  $dN$  je stredný počet samovoľných jadrových premien z daného energetického stavu v danom množstve rádionuklidu za časový interval  $dt$ .

Jednotkou aktivity je Becquerel (Bq). Jeden becquerel zodpovedá jednej jadrovej premene za sekundu:  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ .

Ak je počiatočná aktivita zdroja žiarenia v čase  $t=0$  rovná  $A_0$ , potom pre aktivitu v čase  $t$  platí

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

kde  $\lambda$  je rozpadová konštanta rádionuklidu, ktorá vyjadruje pravdepodobnosť jadrovej premeny a je charakteristická pre každý rádionuklid. Okrem rozpadovej konštanty sú jednotlivé rádionuklidy charakterizované aj fyzikálnym polčasom premeny  $T_{1/2}$ , ktorý udáva čas, za ktorý sa premení polovica atómových jadier daného množstva rádionuklidu. Vzťah medzi rozpadovou konštantou  $\lambda$  a fyzikálnym polčasom premeny  $T_{1/2}$  je definovaný:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Osobný dávkový ekvivalent -  $H_p(d)$  je dávkový ekvivalent v mäkkom tkanive v určitom bode pod povrchom tela v hĺbke tkaniva  $d$ .

Na účel osobnej dozimetrie, pre stanovenie efektívnej dávky z vonkajšieho ožiarenia, ekvivalentnej dávky v každom orgáne ľudského tela s výnimkou kože a očnej šošovky zodpovedá hĺbkový osobný dávkový ekvivalent  $H_p(10)$  v hĺbke tkaniva 10 mm. Ekvivalentnej dávke v koži zodpovedá povrchový osobný dávkový ekvivalent  $H_p(0,07)$  v hĺbke 0,07 mm a ekvivalentnej dávke v očnej šošovke zodpovedá osobný dávkový ekvivalent  $H_p(3)$  v hĺbke 3 mm.

Pri nerovnomernom ožiarení kože, pre ekvivalentnú dávku v koži sa berie do úvahy priemer z plochy  $1 \text{ cm}^2$  v najviac ožiarenej oblasti kože.

Dávkový ekvivalent  $H$  je definovaný ako súčin absorbovanej dávky v danom bode tkaniva a faktora kvality  $Q$ . Hodnoty faktora kvality sú uvedené v tabuľke č. 4 zákona č. 87/2018 Z. z.

Faktor kvality  $Q$  je funkciou lineárneho prenosu energie ( $L$ ) a používa sa na váhovanie absorbovanej dávky v bode tkaniva s ohľadom na biologické účinky ionizujúceho žiarenia.

Stredný faktor kvality  $\bar{Q}$  je stredná hodnota faktora kvality v bode tkaniva, kde absorbovaná dávka je spôsobená časticami s rôznymi hodnotami lineárneho prenosu energie. Vypočíta sa podľa vzťahu

$$\bar{Q} = 1/\bar{D} \int_0^{\infty} Q(L)D(L)dL$$

kde  $D(L)dL$  je absorbovaná dávka v hĺbke 10 mm v rozmedzí 1 a  $L+dL$ ,  $Q(L)$  je zodpovedajúci faktor kvality zistený podľa vzťahov uvedených v tabuľke č. 4 zákona č. 87/2018 Z. z.

Príjem rádionuklidu je aktivita rádionuklidu prijatá do ľudského organizmu z okolitého prostredia, obvykle požitím alebo vdýchnutím.

Úväzok efektívnej dávky z príjmu rádionuklidov požitím alebo vdýchnutím za kalendárny rok je definovaný vzťahom

$$E(50) = \sum_j h(g)_{j,ing} \cdot I_{j,ing} + \sum_j h(g)_{j,inh} \cdot I_{j,inh}$$

kde  $E(50)$  je úväzok efektívnej dávky z vnútorného ožiarenia za obdobie 50 rokov po prijme rádionuklidov,  $I_{j,ing}$  je príjem rádionuklidu  $j$  (Bq) potravou za rok,  $I_{j,inh}$  je príjem rádionuklidu  $j$  (Bq) dýchaním za rok,  $h(g)_{j,ing}$  je konverzný faktor pre výpočet úväzku efektívnej dávky z príjmu rádionuklidu  $j$  (Sv/Bq) potravou pre rôzne vekové skupiny  $g$  a  $h(g)_{j,inh}$  je konverzný faktor pre výpočet úväzku efektívnej dávky z príjmu rádionuklidu  $j$  (Sv/Bq) dýchaním pre rôzne vekové skupiny  $g$ .

Hodnoty konverzných faktorov príjmu požitím  $i_{ing}$ , prípadne vdýchnutím  $i_{inh}$ , udávajúce efektívnu dávku pripadajúcu na jednotkový príjem rádionuklidu, vypočítané na základe štandardných modelov, sú uvedené v prílohe č. 1 zákona č. 87/2018 Z. z.

Ročný príjem rádionuklidov potravou  $I_{j,ing}$  (Bq) sa vypočíta pomocou vzťahu

$$I_{j,ing} = \sum_P a_{P,j} \cdot P_P$$

kde  $a_{P,j}$  je priemerná ročná merná aktivita  $j$ -tého rádionuklidu v potravine  $P$  (Bq/kg) alebo vo vode (Bq/l) a  $P_P$  je spotreba potravy  $P$  za rok (kg alebo l).

Pri stanovení príjmu rádionuklidov z vody sa používajú pre jednotlivé skupiny osôb nasledovné hodnoty ročného príjmu vody: deti do 2 rokov  $0,25 \text{ m}^3$  vody vo forme kvapaliny, deti od 2 do 17 rokov  $0,45 \text{ m}^3$  vody vo forme kvapaliny a osoby staršie ako 17 rokov  $1 \text{ m}^3$  vody, z toho  $0,7 \text{ m}^3$  vo forme kvapaliny.

Pri stanovení ročného príjmu rádionuklidov potravou je potrebné vychádzať zo štatistických prehľadov ročnej spotreby jednotlivých potravín a to osobitne pre jednotlivé vekové kategórie.

Ročný príjem rádionuklidov dýchaním  $I_{j,inh}$  (Bq) sa vypočíta pomocou vzťahu

$$I_{j,inh} = a_{V,j} \cdot B$$

kde  $a_{V,j}$  je priemerná ročná objemová aktivita  $j$ -tého rádionuklidu vo vdychovanom vzduchu ( $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ) a  $B$  je množstvo vdychovaného vzduchu za rok ( $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ ).

Pri stanovení príjmu rádionuklidov vdychovaním sa používajú pre jednotlivé skupiny osôb množstvá vdychovaného vzduchu, ktoré sú uvedené v prílohe č. 1 zákona č. 87/2018 Z. z.

Efektívna dávka na účel osobného monitorovania pracovníkov a hodnotenia ožiarenia, s cieľom preukázať dodržiavanie stanovených limitov ožiarenia, je daná súčtom efektívnej dávky z vonkajšieho ožiarenia  $E_{\text{external}}$  a úväzku efektívnej dávky z vnútorného ožiarenia  $E(50)$  a je definovaná vzťahom

$$E = E_{external} + E(50) = Hp(10) + \sum_j h(g)_{j,ing} \cdot I_{j,ing} + \sum_j h(g)_{j,inh} \cdot I_{j,inh}$$

kde  $H_p(10)$  je osobný dávkový ekvivalent v hĺbke tkaniva 10 mm,  $E(50)$  je úväzok efektívnej dávky z vnútorného ožiarovania za obdobie 50 rokov po prijímaní rádionuklidov,  $I_{j,ing}$  je príjem rádionuklidu  $j$  (Bq) potravou za rok,  $I_{j,inh}$  je príjem rádionuklidu  $j$  (Bq) dýchaním za rok,  $h(g)_{j,ing}$  je konverzný faktor pre výpočet úväzku efektívnej dávky z príjmu rádionuklidu  $j$  (Sv/Bq) potravou pre rôzne vekové skupiny  $g$  a  $h(g)_{j,inh}$  je konverzný faktor pre výpočet úväzku efektívnej dávky z príjmu rádionuklidu  $j$  (Sv/Bq) dýchaním pre rôzne vekové skupiny  $g$ .

Hodnoty konverzných faktorov príjmu požitím  $i_{ing}$ , alebo vdýchnutím  $i_{inh}$ , udávajúce efektívnu dávku pripadajúcu na jednotkový príjem rádionuklidu, vypočítané na základe štandardných modelov, sú uvedené v prílohe č. 1 zákona č. 87/2018 Z. z.

### Stanovenie ekvivalentnej dávky v koži pri povrchovej kontaminácii:

Nasledujúci postup slúži na stanovenie ekvivalentnej dávky v koži pri povrchovej kontaminácii kože alebo odevu rádionuklidmi, vzhľadom na to, že je veľmi problematické stanoviť ekvivalentnú dávku v koži meraním, najmä od beta žiarenia.

Pri povrchovej kontaminácii kože alebo odevu rádionuklidmi sa ekvivalentná dávka v koži od beta žiarenia stanoví pomocou nasledujúceho vzťahu

$$H_K = \sum_i H_{K,i} = \sum_i \bar{A}_{K,i} \cdot C_{K,i} \cdot S_{K,i} \cdot T$$

kde  $H_{K,i}$  je ekvivalentná dávka v koži od rádionuklidu  $i$ ,  $A_{K,i}$  je priemerná povrchová aktivita rádionuklidu  $i$  na koži alebo odevu,  $C_{K,i}$  je konverzný koeficient príkonu ekvivalentnej dávky v koži rádionuklidu  $i$ ,  $S_{K,i}$  je tieniaci faktor pre zoslabenie beta žiarenia v odevu a  $T$  je doba expozície.

Konverzný koeficient  $C_{K,i}$  predstavuje nominálnu hodnotu príkonu ekvivalentnej dávky v koži ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ) na jednotkovú povrchovú aktivitu rádionuklidu ( $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ ).

Hodnoty konverzných koeficientov  $C_{K,i}$  sú uvedené v prílohe č. 1 zákona č. 87/2018 Z. z.

Pre tieniaci faktor  $S_{K,i}$  charakterizujúci zoslabenie beta žiarenia bežným odevom sa odporúča používať hodnoty: 0,20 pre letné obdobie, 0,30 pre obdobie jar a jeseň, 0,001 pre zimné obdobie a 0,001 pre kožu nechránenú odevom. [1.1]

### **Literatúra (kapitola 1)**

- 1.1 Zákon č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
- 1.2 Medical Management of Radiation Injuries; Safety Reports Series No. 101; IAEA; Vienna, 2020

## **2 Núdzová situácia v dôsledku radiačnej nehody alebo radiačnej havárie**

Za núdzovú situáciu sa považuje udalosť, ktorá si vyžaduje rýchle prijatie ochranných opatrení na zmiernenie závažných nepriaznivých následkov na ľudské zdravie a bezpečnosť, kvalitu života, majetok, životné prostredie alebo na zmiernenie nebezpečenstva, z ktorého by také závažné nepriaznivé následky mohli vzniknúť. Núdzová situácia môže vzniknúť:

- a) pri činnosti vedúcej k ožiarovaniu,
- b) v dôsledku nelegálneho použitia zdroja ionizujúceho žiarenia alebo teroristického činu, alebo zlovoľného použitia zdroja ionizujúceho žiarenia,
- c) v dôsledku radiačnej havárie, ktorá vznikla mimo územia Slovenskej republiky. [2.1]

Nebezpečenstvo v zdravotníctve predstavujú uzavreté rádioaktívne žiariče (napríklad  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  alebo  $^{192}\text{Ir}$ , používané väčšinou v medicíne a priemysle) alebo otvorené rádioaktívne žiariče (používané

v nukleárnej medicíne a vo vedeckom výskume), kedy v prípade manipulácie s nimi môže dôjsť k nekontrolovanému úniku ionizujúceho žiarenia alebo rádioaktívneho materiálu do životného prostredia, prípadne k rádioaktívnej kontaminácii jednotlivcov. Nekontrolované ožiarenie jednotlivca môže nastať aj pri medicínskom použití röntgenových zariadení, lineárnych urýchľovačov a iných zdrojov ionizujúceho žiarenia.

V priemyselných odvetviach tiež môže dôjsť k radiačným mimoriadnym udalostiam, a to napríklad pri prevádzke jadrových elektrární, pri preprave a manipulácii s jadrovým materiálom a rádioaktívnou látkou a odpadom, pri používaní otvorených a uzavretých žiaričov a röntgenových zariadení v priemysle.

K neplánovanému ožiareniu a rádioaktívnej kontaminácii osôb môže dôjsť aj v dôsledku krádeže alebo straty uzavretých alebo otvorených rádioaktívnych žiaričov, pri teroristických útokoch s použitím rádioaktívnych látok, alebo v dôsledku radiačných mimoriadnych udalostí v iných štátoch.

Všetky hore uvedené situácie môžu viesť k závažným deterministickým účinkom ionizujúceho žiarenia u postihnutých osôb, ktoré je potrebné bezodkladne medicínsky riešiť.

V určitých prípadoch nemusí dôjsť k deterministickým účinkom ionizujúceho žiarenia, napriek tomu je potrebné pacienta dlhodobo sledovať z dôvodu vzniku možných stochastických biologických účinkov ionizujúceho žiarenia.

Pri plánovaní poskytovania zdravotnej starostlivosti osobám postihnutým radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou je potrebné uvažovať o počte postihnutých osôb, mieru ich ožiarenia alebo rádioaktívnej kontaminácie, predpokladané zdravotné následky, prítomnosť vystavenia osôb ionizujúcemu žiareniu v kombinácii s tepelným alebo chemickým účinkom alebo s mechanickou traumou.

## **Literatúra (kapitola 2)**

2.1 Zákon č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov

### **3 Klinická triáž**

Triáž je proces určovania priority ošetrovaní pacientov na základe závažnosti ich stavu. Používa sa, ak zdroje nestačia na okamžité ošetrovanie všetkých postihnutých. Triáž ovplyvňuje poradie a prioritu núdzového ošetrovania, transportu a miesta hospitalizácie. Triedenie v prípade radiačnej mimoriadnej udalosti je založené na závažnosti zdravotného stavu jednotlivcov s použitím konvenčných systémov triedenia. Primárna pozornosť je vždy zameraná na život ohrozujúce stavy.

Druhým krokom je identifikácia osôb, ktoré môžu byť exponované alebo kontaminované monitorovaním povrchovej kontaminácie. Závažnosť radiačného poškodenia zdravia závisí od obdržanej dávky ionizujúceho žiarenia, radiosenzitivity postihnutých tkanív a orgánov a oblasti a rozsahu, ktorému bolo telo vystavené.

Pri tej istej absorbovanej dávke sú zdravotné následky čiastočnej expozície tela menej závažné ako dôsledky expozície celého tela.

Radiačné nehody a radiačné havárie spojené s ožiarением môžu byť kombinované s traumatickým, tepelným, chemickým alebo iným vplyvom .

Kombinácia radiačného poškodenia s traumou alebo s tepelným alebo chemickým popálením zhoršuje prognózu pacienta. Rozhodnutie o hospitalizácii v prípade celotelovej expozície alebo lokálnej expozície závisí v niektorých prípadoch od prítomnosti skorých klinických príznakov. V závislosti od stavu pacienta, lekárskej diagnózy a odhadovanej dávky však môže byť potrebná hospitalizácia. Alternatívnou liečbou je sledovanie výskytu kožných lézií a analýza laboratórnych testov pacienta počas prvých 48 hodín.

**3.1 Ciele lekárskej intervencie, ak nastane radiačná mimoriadna udalosť** sú nasledovné:

- zachraňovať životy a vykonávať núdzové lekárske postupy;
- liečiť radiačné zranenia a zranenia v dôsledku núdzovej situácie;
- vykonávať požadované opatrenia v oblasti verejného zdravia vrátane poskytovania verejného poradenstva a dlhodobého lekárskeho sledovania exponovaných osôb.

**3.2 Manažment zdravotnej starostlivosti pri poškodení organizmu po ožiarení**

Ožiarenie môže zasiahnuť viacero orgánových systémov, najmä kožu, hematopoetický systém, gastrointestinálny trakt a mozog. Následná toxicita je ovplyvnená typom a dávkou žiarenia a povahou udalosti, pri ktorej nastala expozícia.

Typ udalosti, pri ktorej nastalo vystavenie ožiareniu ovplyvňuje jeho povahu (neionizujúce verzus ionizujúce žiarenie), typy ionizujúcich častíc (častice alfa, častice beta, neutróny alebo röntgenové/gama lúče), dávku a trvanie expozície žiareniu a následné biologické účinky.

Príklady potenciálnych udalostí, pri ktorých môže nastať expozícia zahŕňajú:

- ožiarenie jednotlivca pri priemyselnej alebo lekárskej udalosti,
- hromadné nehody pri:
  - dopravnej nehode,
  - nehode jadrového reaktora,
  - nukleárnej detonácii,
  - rádioaktívnom rozptyle (napr. špinavá bomba).

Typ udalosti s expozíciou ožiareniu tiež ovplyvňuje pravdepodobnosť súvisiacich zranení nad rámec samotného ožiarenia. Napríklad nukleárna detonácia alebo špinavá bomba môže zahŕňať zranenia spôsobené výbuchom a šrapnelmi, popáleniny od ohnivej gule alebo iné zranenia.

**3.3 Triedenie postihnutých osôb**

Triedenie je

- krátke vyšetrenie, zhodnotenie životných funkcií, celkového stavu, anamnézy poranenia a psychického stavu,
- rozdeľovanie ranených do skupín podľa závažnosti, druhu a charakteru poranenia alebo ochorenia so zreteľom na všetky okolnosti nehody a na podmienky, ktoré majú záchranári k dispozícii na poskytnutie včasnej, účinnej a efektívnej zdravotníckej pomoci a zabezpečenie odsunu postihnutých osôb,
- dynamický proces na rýchle vyčlenenie osôb s kritickým stavom zo všetkých postihnutých osôb, ktoré sa vykonáva na rôznych úrovniach pri hromadných nešťastiach a v bežnej medicínskej praxi,
- účinný spôsob na záchranu čo najväčšieho počtu obetí a rýchly transport stabilizovanej osoby do primeraného zdravotníckeho zariadenia,

- časovo závislý proces, stav postihnutej osoby sa mení, je potrebné ho pravidelne opakovať pri každej etape ošetrovania, zhoršenie zdravotného stavu môže z časového hľadiska nastúpiť rýchlo,
- výsledok triedenia je potrebné zaznamenať do sprievodnej dokumentácie s presnými časovými údajmi (dátum, hodina, minúta).[3.1]

Triedenie postihnutých osôb vykonáva zdravotnícky záchranár alebo lekár urgentnej medicíny. Triedenie rozdeľuje postihnuté osoby podľa schopnosti chodiť, prítomnosti dýchania, prekrvenia koncových častí prstov a stavu vedomia.

Orientačné triedenie môže rozdeliť postihnutých na schopných – neschopných chôdže, rádioaktívne nekontaminovaných – kontaminovaných alebo podľa odsunu zo zasiahutej oblasti.

Triediace indexy z hľadiska závažnosti zdravotného stavu

Označovanie pacientov sa vykonáva pomocou farebných štítkov:

- štítok zelenej farby – neurgentný stav (chodiaci);
- štítok žltej farby – urgentný stav;
- štítok červenej farby – kritický stav;
- štítok čiernej alebo bielej farby – mŕtvy alebo neliečiteľne zranení (bez pochybností).

- I. skupina – červená – poruchy dýchania a krvného obehu, krvácanie, bezvedomie, šok. Poskytnutie pomoci je potrebné do niekoľkých minút. Prvý stupeň naliehavosti: uvoľnenie dýchacích ciest, stabilizovaná poloha, umelá ventilácia pľúc, protišokové opatrenia, zastavenie krvácania, zaistenie žily, oxygenoterapia, fixácia zlomenín a lekárske výkony – tracheálna intubácia, tracheostómia, kardioverzia, EKG diagnostika, amputácie, ligatúry, analgézia, pretlakové infúzie (aj na nevyslobodenej osobe). Urgentný odsun alebo hospitalizácia je potrebná. Dekontaminácia sa uskutoční po vykonaní život zachraňujúceho lekárskeho ošetrovania. Kontaminácia sa môže znížiť odstránením vrchného odevu.
- II. skupina – žltá – polytraumy, rany brucha, hrudníka, popáleniny. Poskytnutie pomoci je potrebné do 1 až 2 hodín. Ošetrovanie je naliehavé, no je možný odklad: zlomeniny chrčtice, úrazy CNS s miernou a krátkou poruchou vedomia, strata krvi do 1000 ml, popáleniny bez inhalačného postihnutia. Súrny odsun alebo hospitalizácia je potrebná. Dekontaminácia sa uskutoční po vykonaní lekárskeho ošetrovania. Kontaminácia sa môže znížiť odstránením vrchného odevu a dekontamináciou povrchu kože dekontaminačným prostriedkom.
- III. skupina – zelená – ľahšie poranenia mäkkých častí tela, zlomeniny horných končatín, popáleniny s menším rozsahom, postihnutá osoba je schopná chodiť. Poskytnutie pomoci je potrebné do 4 - 6 hodín. Odsun pacientov je neurgentný. Dekontaminácia sa uskutoční po vykonaní lekárskeho ošetrovania. Kontaminácia sa môže znížiť odstránením vrchného odevu a dekontamináciou povrchu kože dekontaminačným prostriedkom.
- IV. skupina – čierna – poranenie nezlučiteľné so životom, umierajúci a mŕtva osoba. Do štvrtej skupiny patria rozsiahle kraniocerebrálne poranenia, popáleniny II. a III. stupňa na viac ako 60 % povrchu tela, polytrauma s hemoragickým šokom v terminálnej fáze. Poskytuje sa analgézia, analgosedácia, zakrytie poranení a psychická asistancia. Lekár konštatuje smrť, vystaví potvrdenie o úmrtí, obhliadka mŕtveho sa vykoná neskôr prostredníctvom súdneho lekára.[3.2]

### 3.4 Počiatočná stabilizácia

Princípy stabilizácie a triedenia zahŕňajú:

- ak pred príchodom do prijímacieho zariadenia ožiarené osoby neprešli dozimetrickým vyšetrením a dekontamináciou, predpokladáme, že všetci pacienti sú kontaminovaní,
- život ohrozujúce stavy, ktoré si vyžadujú uvoľnenie dýchacích ciest a okamžitú podporu dýchania alebo krvného obehu, by sme mali riešiť ešte pred vyhodnotením dávky ožiarenia alebo vykonaním dekontaminácie,
- predbežnú dekontamináciu, ktorá zahŕňa vyzlečenie a umytie obeť často začíname v teréne a môžeme takto odstrániť 90 až 95 percent vonkajšej kontaminácie a obmedziť ďalšie radiačné poškodenia. Kontaminované osoby, ktoré neboli dekontaminované v teréne, si vyžadujú opakované merania pred a po dekontaminácii v prijímacom zariadení,
- v prípade hromadnej nehody by mali byť osoby, ktoré sú externe kontaminované a s ľahkým zranením alebo nezranené, premiestnené na miesto vzdialené od pohotovostného oddelenia na dekontamináciu.

### 3.5 Triedenie v nemocnici

Včasné triedenie by malo určiť závažnosť mechanického poranenia, popálenín a iných zranení. Ak je to možné, mali by sme odhadnúť aj povahu a intenzitu vystavenia žiareniu. Poskytovatelia zdravotnej starostlivosti by mali pracovať v tímoch a mali by byť monitorovaní z hľadiska radiačnej záťaže osobnými dozimetrami

### 3.6 Obmedzená udalosť

Pri mimoriadnej radiačnej udalosti s nízkym počtom zasiahnutých osôb je možné vykonať núdzové triedenie ako v prípade akýchkoľvek pacientov prichádzajúcich na pohotovosť alebo osôb, u ktorých je možná kontaminácia rádioaktívnou látkou pri výkone práce. Triedenie by však malo prebiehať mimo zariadenia, napr. v sanitke. Pacientov so stavmi bezprostredne ohrozujúcimi život je potrebné priviesť priamo do resuscitačnej zóny urgentného príjmu na stabilizáciu. Títo pacienti by mali byť chránení pred expozíciou rádioaktívnou látkou ingesciou alebo inhaláciou zakrytím tváre kyslíkovou maskou alebo tvárovým štítom a zvyšok tela čistou plachtou. Nosidlá v resuscitačnej miestnosti by mali byť prikryté dvoma plachtami. Ak to čas dovoľí, zariadenie by malo byť pripravené na minimalizáciu kontaminácie.

V prípade kontaminácie by sa stabilní pacienti mali podrobiť dekontaminácii v oblasti určenej v pláne zariadenia. Kedykoľvek je to možné, títo pacienti by mali vstúpiť do zdravotníckeho zariadenia samostatným vchodom a byť privedení do určenej dekontaminačnej miestnosti, ktorá je oddelená od zvyšku oddelenia urgentného príjmu. Vstupná brána by mala byť pripravená tak, aby sa minimalizovala kontaminácia pacientov, poskytovateľov zdravotnej starostlivosti, vybavenia a zariadenia.

### 3.7 Hromadná nehoda

Po aktivácii núdzového plánu pre hromadnú nehodu by malo byť zriadené externé miesto triedenia. Na organizáciu triedenia pri nehodách existujú rôzne algoritmy triedenia v teréne, ktoré môžeme použiť aj počas radiačnej udalosti, ako napríklad jednoduché triedenie a rýchle ošetrenie ("START" a "JumpSTART") alebo triedenie, hodnotenie, zásahy zachraňujúce život, ošetrenie/preprava ("SALT").

Pri hromadných nehodách musí prijímacie zariadenie triediť pacientov podľa svojich možností, pričom prednosť majú tí, ktorí pravdepodobne prežijú. Algoritmy rozdeľujú pacientov do nasledujúcich kategórií:



Urgentný odsun (okamžitá starostlivosť): postihnutí si nemôžu dovoliť čakať na ošetrovanie dlhšie ako pár minút a pravdepodobne prežijú po počiatočnej lekárskej stabilizácii, dekontaminácii a podpornej starostlivosti. Patria sem aj hroziace poškodenia dýchacích ciest alebo dýchacie ťažkosti.

Súrny odsun: postihnutí môžu čakať na lekársku starostlivosť až niekoľko hodín. Títo pacienti môžu poslúchať príkazy, nemajú dýchacie ťažkosti, majú hmatateľný periférny pulz a nemajú žiadne veľké krvácanie, môžu mať aj ťažšie zranenia, pri ktorých zvyčajne nemôžu chodiť bez pomoci.

Neurgentný odsun: patria sem pacienti, ktorí spĺňajú všetky kritériá pre oneskorenú starostlivosť a majú len ľahké zranenia a ktorí sú po vhodnej dekontaminácii považovaní za minimálne postihnutých. Títo pacienti sú zvyčajne schopní chodiť a hovoriť.

Neodsúva sa (expektácia, mŕtvi): patria sem osoby, ktoré vzhľadom na dostupné informácie pravdepodobne neprežijú. Pre rádiologické nehody je dôležitým determinantom odhadovaný stupeň radiačnej expozície (Tabuľka 7). Odhady expozície však nie sú zvyčajne dostupné počas akútnej fázy incidentu, hoci môžu ovplyvniť neskoršie rozhodnutia o pokročilej podpornej starostlivosti, napríklad o špeciálnej liečbe hematopoetického akútneho radiačného syndrómu).

### **3.8 Postup pri liečbe pacientov zahŕňa**

- lekárske triedenie pacientov je určené predovšetkým ich klinickým stavom a ich konvenčnými zraneniami (ako sú trauma, rany a popáleniny);
- potreba liečby radiačného poškodenia zdravia (vnútorná a vonkajšia kontaminácia) samé osebe nepredstavujú bezprostredné ohrozenie života, avšak je potrebné vykonať niektoré včasné nevyhnutné opatrenia (ako je odber krvi, moču, prípadne stolice na posúdenie dávky žiarenia u pacienta alebo vyzlečenie odevu pri vonkajšej kontaminácii, resp. podávanie rádioprotektívnych látok pacientovi).

Po asistencii osobám so život ohrozujúcimi stavmi a klasickými úrazmi slúžia prípadné prodromálne prejavy na triedenie osôb vystavených žiareniu a rozhodovanie o správnej zdravotnej starostlivosti na individuálnej úrovni. Dôležité včasné klinické príznaky sú: nevoľnosť, vracanie, hnačka, erytém kože a slizníc. Môžu sa vyvinúť v priebehu hodín alebo niekoľkých dní v závislosti od charakteristík ožiarovania.

**Pacienti vystavení iba vonkajšiemu ožiareniu nepredstavujú radiačné riziko pre zdravotnícky personál.**

**V prípade vonkajšej alebo vnútornej kontaminácie rádioaktívnym materiálom (zvyčajne inhaláciou a ingesciou) môžu oblečenie a nekryté časti tela pacienta (predovšetkým vlasy, ruky a tvár), ako aj biologické výlučky pacienta predstavovať veľmi nízku úroveň radiačnej záťaže asistujúceho tímu.**

Závažnosť expozície sa zvyčajne hodnotí opakovane. Veľmi skoré hodnotenie je založené na klinických prejavoch a hematologických nálezoch. Tieto prejavy, ako aj čas ich výskytu, ich frekvenciu a závažnosť je potrebné starostlivo zaznamenať. To umožní klasifikáciu pacientov do odlišných kategórií zodpovedajúcich ich odhadovaným absorbovaným dávkam.

Ďalšie hodnotenie exponovaných pacientov sa uskutočňuje na základe vývoja klinických, biologických a laboratórnych parametrov. V závislosti od typu expozície (celotelová expozícia alebo lokálna expozícia) je životne dôležitý hematologický vývoj a ďalšie postupy, ako je cytogenetická a fyzikálna dozimetria.

### **3.9 Subjekty, ktoré zabezpečujú súčinnosť pri ochrane zdravia a subjekty, ktoré poskytujú zdravotnú starostlivosť osobám postihnutým radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou**

- a) Ministerstvo zdravotníctva Slovenskej republiky,
- b) Úrady verejného zdravotníctva v oblasti radiačnej ochrany,
- c) Operačné stredisko záchranej zdravotnej služby,
- d) Poskytovatelia záchranej zdravotnej služby,
- e) Poskytovatelia zdravotnej starostlivosti, ktorí poskytujú zdravotnú starostlivosť osobám postihnutým radiačnou udalosťou.

Aktuálny zoznam subjektov a kontaktné údaje sú uvedené v odbornom usmernení Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky na poskytovanie zdravotnej starostlivosti osobám postihnutým radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou, ktorý je uvedený vo Vestníku MZ SR a uverejnený na webovom sídle Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky.

### **Literatúra (kapitola 3)**

- 3.1 Vyhláška Ministerstva vnútra Slovenskej republiky č. 173/1995 Z. z. o zabezpečovaní záchranných, lokalizačných a likvidačných prác
- 3.2 Štětina J. a kol. Medicína katastrof a hromadných nešťestí, Grada Publishing. Praha, 2000

## **4 Poskytovanie prednemocničnej zdravotnej starostlivosti - činnosť zdravotnej záchranej služby pri radiačnej nehode a radiačnej havárii**

### **4.1 Operačné stredisko záchranej zdravotnej služby Slovenskej republiky**

OS ZZS SR sa riadi pokynmi koordinačného strediska integrovaného záchranného systému (ďalej len „*koordinačné stredisko*“) a územne príslušným orgánom štátnej správy v oblasti radiačnej ochrany. Zabezpečuje príjem, spracovanie, vyhodnotenie a realizáciu odozvy ohlásenej udalosti na linke tiesňového volania 155.

OS ZZS SR vyhodnotí dostupné informácie o:

- a) mieste udalosti,
- b) type udalosti,
- c) počte a rozsahu zasiahnutých a ranených osôb,
- d) čase vzniku a trvania udalosti.

OS ZZS SR realizuje odozvu ohlásenej udalosti:

- a) aktivuje určené ambulancie ZZS k príprave na zásah,
- b) vydá určeným ambulanciám ZZS pokyn na zásah,
- c) vyrozumie vyhodnotenú správu určeným subjektom,
- d) aktivuje systém vzájomnej komunikácie pri riešení následkov udalosti s hromadným postihnutím osôb v rezorte zdravotníctva,
- e) v prípade potreby ohlasuje zdravotníckemu zariadeniu ústavnej zdravotnej starostlivosti požiadavku na príjem rádioaktívne kontaminovanej osoby.

OS ZZS SR koordinuje a riadi činnosť ZZS, plní a riadi sa pokynmi koordinačného strediska, odborného pracovníka v oblasti radiačnej ochrany, územne príslušného orgánu štátnej správy v oblasti radiačnej ochrany a krízového štábu príslušného okresného úradu.

### **4.2 Poskytovatelia ZZS**

Neodkladná zdravotná starostlivosť osobám postihnutým dôsledkami radiačnej nehody alebo radiačnej havárie sa môže poskytovať ambulanciami ZZS.

Ambulancia ZZS určená na poskytovanie NZS osobám postihnutým dôsledkami radiačnej nehody alebo radiačnej havárie je okrem personálneho a materiálno technického vybavenia v zmysle Výnosu

Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky z 7. júna 2019 č. 07648-2019-OL, ktorým sa mení a dopĺňa výnos Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky z 11. marca 2009 č. 10548/2009-OL, ktorým sa ustanovujú podrobnosti o záchranej zdravotnej službe v znení výnosu z 9. júla 2010 č. 14016/2010-OL, vybavená aj:

- a) osobnými ochrannými prostriedkami zabraňujúcimi povrchovému zamoreniu a vnútornej kontaminácii,
- b) transportným izolačným prostriedkom na uloženie osoby v bezprostrednom ohrození zlyhania niektorej zo základných životných funkcií alebo vážneho zranenia kombinovaného s vnútornou kontamináciou,
- c) rádioprotektívnymi látkami,
- d) osobnými dozimetrami,
- e) prístrojom na meranie príkonu dávkového ekvivalentu a povrchovej rádioaktívnej kontaminácie,
- f) ručnou dekontaminačnou súpravou a dekontaminačným roztokom.

Členovia zásahovej skupiny ambulancie ZZS sú vyškolení na používanie osobných ochranných prostriedkov, používanie osobných dozimetrov, používanie prístrojov na meranie príkonu dávkového ekvivalentu a povrchovej rádioaktívnej kontaminácie, zariadením na vykonávanie povrchovej dekontaminácie a v špecifických postupoch manipulácie a ošetrovania povrchovo a vnútorne kontaminovanej osoby.

#### **4.3 Zásady poskytovania NZS na mieste udalosti**

Členovia zásahových skupín ambulancií ZZS, ktorí sa podieľajú na odstraňovaní následkov radiačnej nehody alebo radiačnej havárie podľa potreby užijú profylaktické rádioprotektívne látky, pričom:

- a) podanie 50 - 300 mg stabilného jódu hodinu pred vnútornou kontamináciou <sup>131</sup>I zabezpečí prakticky 100 % ochranu
- b) podanie stabilného jódu po vnútornej kontaminácii <sup>131</sup>I zabezpečí ochranu na cca 50 % ak je stabilný jód podaný 6 hodín po kontaminácii.

Ambulancia ZZS sa po príchode do bezpečnej zóny na mieste udalosti hlási u veliteľa zásahu.

Členovia zásahových skupín ambulancií ZZS používajú pri zásahu spojenom s radiačnou udalosťou primerané OOPP:

- a) celotelový ochranný odev s kapucňou (Tyvek),
- b) ochranné návleky na obuv,
- c) ochranné rukavice (dve vrstvy),
- d) respirátor,
- e) ochranné okuliare alebo tvárový štít.

Správny spôsob obliekania OOP:

Každý člen zásahovej skupiny ambulancie ZZS si oblečie celotelový ochranný odev (Tyvek) a na bezpečnostnú obuv si navlečie ochranné návleky. Spoj nohavíc celotelového obleku a ochranných návlekov na obuvi prelepí lepiacou páskou. Na ruky si navlečie spodné ochranné rukavice, ku ktorým lepiacou páskou prilepí rukávniky celotelového obleku. Na ruky si navlečie vrchné ochranné rukavice. Na ústa si naloží respirátor a cez oči ochranné okuliare alebo tvárový štít. Hlavu si prekryje kapucňou celotelového obleku.

V prípade potreby sa na mieste udalosti zriaďuje manažment zdravotníckeho zásahu podľa zákona č. 579/2004 Z. z. o záchranej zdravotnej službe a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

Veliteľ zdravotníckeho zásahu určí veliteľa triedenia, veliteľa hniezda ranených a veliteľa odsunu.

Veliteľ triedenia zabezpečí vytriedenie osôb postihnutých radiačnou haváriou.

Obete postihnutia sa delia na:

- a) vážne zranení, u ktorých je prvoradá stabilizácia životných funkcií a následne buď dekontaminácia v teréne s odvozom do nemocnice, alebo pri život ohrozujúcom zranení priamy transport do nemocnice s dekontamináciou v nemocnici (červení) a (žltí, ktorí sú prevezení do zdravotníckeho zariadenia pred vykonaním dekontaminácie).
- b) zranení, ktorí nevyžadujú okamžitý prevoz do nemocnice, táto skupina postihnutých sa delí na:
  - kontaminovaných (dekontaminácia priamo v teréne) (žltí)
  - nekontaminovaní pacienti (zelení)

Veliteľ zdravotníckeho zásahu v spolupráci s veliteľom zásahu určí zhromaždisko zasiahnutých a ranených osôb s vyhradeným sektorom pre dekontamináciu.

Osoby kontaminované rádioaktívnou látkou sa najskôr podrobia dekontaminácii, ktorá sa zaznamená do triediacej karty. Dekontaminované osoby sa sústreďujú v hniezde ranených, kde sa pripravujú na prepravu.

V prípade vonkajšieho ožiarenia kombinovaného s vonkajšou kontamináciou a poranením majú vždy prednosť život zachraňujúce úkony, dekontaminácia sa vykonáva po život zachraňujúcich úkonoch, liečbe a ošetrovaní život ohrozujúcich poranení.

#### **4.4 Preprava kontaminovanej osoby**

Preprava kontaminovaných osôb sa vykonáva v prípade nemožnosti vykonať dekontamináciu na mieste zásahu alebo v prípade potreby neodkladnej prepravy osoby do ZZÚZS z dôvodu bezprostredného ohrozenia zlyhaním základných životných funkcií u postihnutej osoby.

Prepravu kontaminovaných osôb vykonávajú členovia zásahových skupín ambulancií ZZS v OOPP podľa čl. III, bodu 3; v prípade potreby (doprovod) v spolupráci s policajným zborom Slovenskej republiky.

Ak nastane bezprostredné ohrozenie osoby zlyhaním niektorej zo základných životných funkcií alebo vážneho zranenia kombinovaného s vnútornou kontamináciou sa preprava osoby vykonáva v transportnom izolačnom prostriedku (Biovak) a prepravu vykonáva ambulancia ZZS určená ako „Biohazard tím“ alebo ambulancia ZZS s najkratším dojazdom.

V prípade veľkého počtu zranených osôb s vonkajšou kontamináciou sa preprava vykonáva vo vopred pripravených ambulanciách ZZS k transportu.

Členovia zásahovej skupiny ambulancie ZZS pripravujú:

- a) ručnú dekontaminačnú súpravu s dekontaminačným roztokom podľa pokynov odborného pracovníka v oblasti radiačnej ochrany,
- b) transportný vozík, ktorý sa prekryje jednorazovou plachtou,
- c) v prípade potreby transportný izolačný prostriedok (Biovak),
- d) prenášacie lôžko, ktoré sa položí medzi dve jednorazové rozprestreté plachty,
- e) po vykonaní život zachraňujúcej liečby a ošetrovaní závažných poranení sa postihnutá osoba preloží na prenášacie lôžko a prekryje sa vyčnievajúcimi stranami jednorazových plachiet,
- f) postihnutá osoba sa preloží na transportný vozík,
- g) plachta na transportnom vozíku sa znovu preloží cez pacienta.

Počas prepravy sa postihnutá osoba odkrýva len v nevyhnutnom rozsahu na nevyhnutný čas.

Prepravovanú kontaminovanú osobu odovzdáva ambulancia ZZS v ZZÚZS vo vyhradenej a vopred pripravenej vyšetrovacej ambulancii.

Prekladanie pacienta sa vykoná podľa nasledovných zásad:

- a) plachty na transportnom vozíku sa odkryjú z pacienta rolovaním pod prenášacie lôžko,

- b) pacient sa preloží s prenášacím lôžkom na vyšetrovacie lôžko,
- c) plachty z transportného vozíka sa uložia do igelitového vreca určeného na likvidáciu OOPP použitých pri zásahu,
- d) prístrojom na meranie príkonu dávkového ekvivalentu a povrchovej rádioaktívnej kontaminácie sa vykoná kontrolné meranie,
- e) ručnou dekontaminačnou súpravou a dekontaminačným roztokom sa vykoná dekontaminácia prepravných pomôcok a priestorov ambulancie ZZS.

#### 4.5 Dekontaminácia členov zásahovej skupiny ambulancie ZZS

Členovia zásahovej skupiny ambulancie ZZS sa podrobia dekontaminácii podľa pokynov odborného pracovníka v oblasti radiačnej ochrany.

Členovia zásahovej skupiny ambulancie ZZS si vyzlečú použité OOPP. Pri vyzliekaní OOPP sa odporúča asistencia inej osoby. Ochranný odev sa vyzlieka v poradí:

- a) zvliečť vrchné rukavice,
- b) odlepiť spodné rukavice od celotelového obleku a zvliečť celotelový odev smerom k nohám,
- c) odlepiť nohavice,
- d) zložiť masku a okuliare z tváre,
- e) vyzuť návleky z nôh,
- f) zvliečť spodné rukavice.

Použité OOP sa uložia do jednorazového zaťahovacieho igelitového vreca s označením rádioaktívny odpad, ktorý je určený na likvidáciu OOP použitých pri zásahu.

Meradlom na meranie povrchovej rádioaktívnej kontaminácie sa vykoná kontrolné meranie povrchu tela.

Ak sa zistí povrchová rádioaktívna kontaminácia, členovia zásahových skupín ambulancií ZZS sa podrobia dekontaminácii telesného povrchu podľa nasledovných zásad:

- a) vyzliečť zásahový odev.
- b) vykonať celotelovú sprchu teplou vodou s použitím bežných saponátov, šampónu alebo mydla bez použitia mechanických pomôcok (kefa), ktoré zvyšujú prekrvenie kože, čím môže nastať zvýšený prestup rádioaktívnych látok do tela.
- c) osušiť telo jednorazovým uterákom alebo teplým vzduchom.
- d) vykonať dozimetrickú kontrolu.

Ak je známy kontaminant:

- a) pri kontaminácii rádionuklidom  $^{90}\text{Sr}$  sa na oplach môže použiť neutrálny stabilný izotopický nosič chloridu stronnatého,
- b) pri kontaminácii rádionuklidom  $^{137}\text{Cs}$  sa na oplach Berlínsku modrú,
- c) pri kontaminácii rádionuklidom  $^{131}\text{I}$  sa- na oplach môže použiť stabilný izotopický nosič jodidu draselného,
- d) pri kontaminácii plutóniom, transuránmi, resp. štiepnymi produktmi sa použije na oplach 1 % roztok kyseliny dietyltriainopentaoctovej s pH 3 – 5,
- e) pri kontaminácii uránom sa použije roztok hydrouhličitanu sodného,
- f) pri kontaminácii stronciom sa použije rhodizonát draselný alebo sodný,
- g) pri kontaminácii ťažkými kovmi sa použije 1 % roztok kyseliny etyléndiaminotetraoctvej s pH 7 - 8, použiť možno aj 1 % roztok kyseliny citrónovej,
- h) pri lokálnej kontaminácii kože sa môže koža zbavená ochlpenia prelepiť leukoplastom a po niekoľkých hodinách leukoplast odlepiť, tým sa odstráni aj časť zvyškovej kontaminácie.

Pri vnútornej rádioaktívnej kontaminácii je potrebné sa snažiť odstrániť rádionuklidy z tela zasiahnutej osoby a zabrániť ich inkorporácii v tele. „Naslepo“ sa môžu podať nasledovné látky:

- a) jodid draselný 0.13 – 0.30 g v prípade vnútornej kontaminácie s rádioaktívnym jódom,
- b) 1 g berlínskej modrej v prípade vnútornej kontaminácie s rádioaktívnym céziom, rubídiom alebo talliom,
- c) Gasterin gel (suspenzia uhličitanu vápenatého, pektínu a xanátu) s lyžicou síranu horečnatého na lekárske účely v prípade vnútornej kontaminácie s rádioaktívnym stronciom,
- d) jodid draselný potom Gasterin gel a za 3 hodiny 1 g berlínskej modrej v prípade vnútornej kontaminácie so zmesou štiepných produktov.

Prevenia pri vnútornej kontaminácii  $^{131}\text{I}$  sa vykoná podaním 50 - 300 mg stabilného jódu jednu hodinu pred vnútornou kontamináciou s rádionuklidom  $^{131}\text{I}$ , čo zabezpečí prakticky 100 % ochranu štítnej žľazy. Podanie stabilného jódu po vnútornej kontaminácii s rádionuklidom  $^{131}\text{I}$  zabezpečí ochranu na cca 50 %, ak je stabilný jód podaný 6 hodín po kontaminácii. Vždy je potrebné rozumne zvážiť potrebu blokovania štítnej žľazy.

#### Literatúra (kapitola 4)

- 4.1 Guidance for Radiation Accident Management. <https://orise.orau.gov/resources/reacts/guide/index.html>
- 4.2 Mettler FA Jr, Voelz GL. Major radiation exposure--what to expect and how to respond. *N Engl J Med* 2002; 346:1554.
- 4.3 DiCarlo AL, Maher C, Hick JL, et al. Radiation injury after a nuclear detonation: medical consequences and the need for scarce resources allocation. *Disaster Med Public Health Prep* 2011; 5 Suppl 1:S32.
- 4.4 Coleman CN, Sullivan JM, Bader JL, et al. Public health and medical preparedness for a nuclear detonation: the nuclear incident medical enterprise. *Health Phys* 2015; 108:149.
- 4.5 Procedures for radiation decontamination. Radiation Emergency Medical Management. US Department of Health and Human Service. [https://www.remm.nlm.gov/ext\\_contamination.htm#cavity](https://www.remm.nlm.gov/ext_contamination.htm#cavity).
- 4.6 U.S. Food and Drug Administration, Home preparation procedure for emergency administration of potassium iodide tablets to infants and children using 130 milligram (mg) tablets. <https://www.fda.gov/drugs/bioterrorism-and-drug-preparedness/potassium-iodide-ki> (Accessed on June 04, 2019).
- 4.7 Linet MS, Kazzi Z, Paulson JA, Council of Environmental Health. Pediatric Considerations Before, During, and After Radiological or Nuclear Emergencies. *Pediatrics* 2018; 142.
- 4.8 Management modifiers for treating radiation exposure. Radiation Emergency Medical Management. US Department of Health and Human Service. [https://www.remm.nlm.gov/exposure\\_modifiers.htm#trauma](https://www.remm.nlm.gov/exposure_modifiers.htm#trauma)
- 4.9 Psychological issues for radiation emergencies. Radiation Emergency Medical Management. US Department of Health & Human Services. <https://www.remm.nlm.gov/psych.htm>
- 4.10 Managing Acute Radiation Syndrome (ARS). US Department of Health & Human Services. Radiation Emergency Medical Management. <https://remm.hhs.gov/ars.htm>
- 4.11 Dainiak N, Waselenko JK, Armitage JO, et al. The hematologist and radiation casualties. *Hematology Am Soc Hematol Educ Program* 2003; :473.
- 4.12 Gorin NC, Fliedner TM, Gourmelon P, et al. Consensus conference on European preparedness for haematological and other medical management of mass radiation accidents. *Ann Hematol* 2006; 85:671.
- 4.13 Dainiak N, Gent RN, Carr Z, et al. First global consensus for evidence-based management of the hematopoietic syndrome resulting from exposure to ionizing radiation. *Disaster Med Public Health Prep* 2011; 5:202.
- 4.14 Dainiak N. Medical management of acute radiation syndrome and associated infections in a high-casualty incident. *J Radiat Res* 2018; 59:ii54.
- 4.15 Cytokines for treatment of acute exposure to myelosuppressive doses of radiation: Hematopoietic subsyndrome of acute radiation syndrome (H-ARS). REMM: Radiation Emergency Medical Management. US Department of Health and Human Services. <https://www.remm.nlm.gov/cytokines.htm>
- 4.16 Wong K, Chang PY, Fielden M, et al. Pharmacodynamics of romiplostim alone and in combination with pegfilgrastim on acute radiation-induced thrombocytopenia and neutropenia in non-human primates. *Int J Radiat Biol* 2020; 96:155.
- 4.17 DISASTER PREPAREDNESS ADVISORY COUNCIL. Medical Countermeasures for Children in Public Health Emergencies, Disasters, or Terrorism. *Pediatrics* 2016; 137:e20154273.
- 4.18 Pegfilgrastim. [Pegfilgrastim: Uses, Dosage, Side Effects, Warnings - Drugs.com](#)
- 4.19 Romiplostim. [Romiplostim: Uses, Dosage, Side Effects, Warning - Drugs.com](#)
- 4.20 Dobiáš V: Hromadné nešťastia a triedenie ranených. *Via practica*, 2006;3:41-43.

## 5 Poskytovanie ZS pri vonkajšom ožiarení osôb – akútna choroba z ožiarenia, lokálne ožiarenie

### 5.1 Klinická manifestácia, hodnotenie a diagnostika akútnej expozície ionizujúcemu žiareniu

Citlivosť k ožiareniu (rádiosenzitivita) sa medzi jednotlivcami líši, ale všetky mechanizmy, ktoré zodpovedajú za tieto rozdiely nepoznáme. Dojčatá a malé deti, ako aj pacienti s určitými genetickými syndrómami (napr. Fanconioho anémia), ktoré zhoršujú reakcie na poškodenie DNA, sú zraniteľnejšie voči radiačnému poškodeniu.

Letalita žiarenia sa líši v závislosti od typu žiarenia, stupňa expozície a dostupnosti lekárskej starostlivosti. Letalita je vyjadrená ako LD50: stredná dávka žiarenia, pri ktorej 50 % exponovaných pacientov zomrie do 30 dní. LD50 pre vysoko energetické, prenikajúce gama žiarenie sa odhaduje na 4,5 Gy. Je však dôležité si uvedomiť, že pri kontrolovanom terapeutickom ožiarení s cieľovým tinením citlivých orgánov sú tolerované podstatne vyššie dávky žiarenia (napr. dávky  $\geq 12$  Gy pri celotelovom ožiarení s následnou transplantáciou kmeňových krvotvorných buniek pri liečbe leukémie) ako pri neúmyselnom ožiarení.

Netienená expozícia  $\geq 10$  Gy je všeobecne smrteľná do šiestich mesiacov. Sledovanie jedincov, ktorí boli náhodne vystavení ionizujúcemu žiareniu a ktorí dostali súčasnú podpornú starostlivosť vrátane cytokínovej terapie, ukázalo, že prakticky všetci jedinci vystavení  $\geq 5$  až 6 Gy zomreli do jedného roka po expozícii. Letalita sa tiež líši v závislosti od prístupu k lekárskej starostlivosti. U jedincov, ktorí majú rýchly prístup k chirurgickým a popáleninovým jednotkám intenzívnej starostlivosti s možnosťou izolácie a transplantácie kostnej drene, môže LD50 vzrásť na 10 Gy; pri prístupe len ku krvným transfúziám a antibiotikám je LD50 4,5 Gy a pri dostupnosti len základnej prvej pomoci, je LD50 2,5 Gy.

Biologické účinky ionizujúceho žiarenia závisia od typu exponovaných tkanív. Krátko žijúce bunky tkanív s rýchlym delením buniek sú náchylnejšie na spustenie apoptózy alebo nekrózy a inhibíciu bunkovej obnovy vyvolaných žiarením. Vysoko proliferatívne bunky, ako sú spermatocyty, hematopoetické prekurzory, cirkulujúce lymfocyty a bunky črevných krýpt, patria medzi najkritickejšie ovplyvnené typy buniek. Napríklad prahové dávky pre semenníky (0,15 Gy) a kostnú dreň (0,5 Gy) sú nižšie ako pre iné orgány.

Ionizujúce žiarenie má na dávke závislé ("deterministické") účinky s predvídateľnými prahmi pre reakciu tkaniva a závažnosť poranenia (napr. útlm kostnej drene). Žiarenie má tiež náhodný („stochastický“) účinok, pričom dávka ovplyvňuje skôr pravdepodobnosť účinku než závažnosť poškodenia. Stochastické účinky nemajú zjavnú prahovú dávku, čo znamená, že akákoľvek dávka, bez ohľadu na to, aká je nízka, môže mať sledovaný účinok. Príkladom stochastického účinku je karcinogenéza vyvolaná žiarením, ktorá má vo všeobecnosti dlhý, ale premenlivý čas od expozície po účinok.

### 5.2 Kritický orgán

Ionizujúce žiarenie môže poškodiť makromolekuly (napr. DNA, RNA, proteíny) a bunkové zložky (napr. plazmatickú membránu). Účinky žiarenia môžu byť priame (napr. jedno- alebo dvojláknové zlomy DNA) alebo nepriame (interakciou s vodou alebo inými molekulami za vzniku voľných radikálov). Pravdepodobnosť poškodenia cieľa v štruktúre bunky sa mení s množstvom ionizácie vyvolanej pozdĺž dráhy žiarenia. Zdroje žiarenia s nízkym lineárnym prenosom energie (LET), ako sú röntgenové a gama žiarenie, produkujú riedku ionizáciu, zatiaľ čo zdroje žiarenia s vysokým LET, ako sú častice alfa a neutróny, spôsobujú hustú ionizáciu.

### 5.3 Typy expozície ionizujúcemu žiareniu

Rôzne typy vystavenia žiareniu sa môžu vyskytnúť samostatne alebo súčasne.

**5.4 Ožiarenie** nastáva, keď je jednotlivec vystavený prenikavému žiareniu z vonkajšieho zdroja. Žiarenie môže prechádzať telom alebo môže byť absorbované. Ožiarené osoby nie sú rádioaktívne (nevyžarujú žiarenie) a nepredstavujú žiadne riziko pre ostatných, pokiaľ nie sú kontaminované aj rádioaktívnymi časticami.

Účinky žiarenia sú ovplyvnené tým, či pacient dostal celotelové alebo čiastočné ožiarenie. K celotelovej expozícii dochádza vtedy, ak je celý povrch tela vystavený prenikajúcemu ionizujúcemu žiareniu.

Čiastočné (alebo lokálne) vystavenie žiareniu zahŕňa ožiarenie časti tela, čo vedie k lokálnemu radiačnému poškodeniu (napr. kože, pohlavných žliaz, očí).

K vnútornej kontaminácii dochádza, keď sú rádioaktívne častice začlenené do buniek, tkanív a orgánov pozitívom, vdychnutím alebo absorpciou cez otvorené rany alebo povrchy slizníc. Vnútorňú kontamináciu je ťažké odstrániť kvôli väzbe rádionuklidov na ľudské tkanivá (napr. kosti, pečeň, pľúca). Vnútorňá kontaminácia je obzvlášť nebezpečná pre deti, ktoré majú väčšie riziko vzniku rakoviny v dôsledku dlhšej dĺžky života, rýchlejšieho rastu a vyššieho obratu buniek ako dospelí.

Vonkajšia kontaminácia nastáva, keď rádioaktívne látky, ako je prach, častice alebo kvapaliny, prilnú na kožu, vlasy alebo nechty pacienta. Vonkajšiu kontamináciu alfa alebo beta časticami možno detegovať monitorovaním pomocou rôznych dozimetrických prístrojov. Vonkajšia kontaminácia zriedkavo spôsobuje významné klinické účinky, pokiaľ nie je sprevádzaná bodnou ranou alebo ťažkým popálením, cez ktoré môžu byť rádionuklidy internalizované, ale pre poskytovateľov zdravotnej starostlivosti predstavuje riziko, ktoré je potrebné rozpoznať a znížiť.

Vnímané radiačné poškodenie označuje strach, ktorý je neúmerne veľkým skutočnému nebezpečenstvu, je najbežnejší a je podporovaný mylnými predstavami o zdravotných účinkoch žiarenia. Úzkosť sa po expozícii zvyšuje, pretože ionizujúce žiarenie nie je možné cítiť, počuť ani vidieť, nástup symptómov je oneskorený a môže sa pripájať aj strach o deti, ktoré sú najviac náchylné na potenciálne dlhodobé účinky (malignita, mentálne postihnutie, fyzické postihnutie a mutácia zárodočných buniek). Emocionálny stres a úzkosť spôsobené vnímanou radiačnou expozíciou môžu spôsobiť nevoľnosť, vracanie a hnačku, ktoré môžu sťažiť odlíšenie vnímanej expozície od ožiarenia alebo kontaminácie.

### 5.5 Identifikácia ožiarenia

Poškodenie ožiarením sa s najväčšou pravdepodobnosťou rozpozná z dôvodu blízkosti jednotlivca k známemu incidentu ožiarenia. Ožiarenie môže, ale nemusí byť sprevádzané verejným oznámením, indikáciou ožiarenia z monitorovacieho zariadenia, klinickými príznakmi alebo laboratórnymi nálezmi krátko po udalosti. Vystavenie žiareniu a kontaminácia je najbežnejšia u jednotlivcov, ktorí pracujú s rádioaktívnym materiálom, ako sú rádiologické zariadenia alebo likvidácia medicínskeho odpadu. Žiareniu s kontamináciou alebo bez nej však môže byť vystavený aj okoloidúci alebo jednotlivec, ktorý s takýmto zdrojom neúmyselne manipuluje. V iných prípadoch môže dôjsť k radiačnému poškodeniu v dôsledku blízkosti známej radiačnej udalosti, napr. uvoľnenie rádioaktívneho materiálu z jadrovej elektrárne a jeho šírenie sa v smere vetra, roztavenie reaktora alebo jadrový výbuch.

Rozpoznanie radiačnej udalosti môže byť tiež podmienené nevysvetliteľnými klinickými alebo aj laboratórnymi nálezmi u jednotlivca alebo skupiny ľudí, ktoré sú v súlade s akútnym radiačným poškodením alebo multiorgánovou dysfunkciou. Rozpoznanie radiačného poškodenia za týchto



okolností vyžaduje vysoký stupeň podozrenia a uvedomenia si klinických príznakov radiačného poškodenia.

V prípade, ak je radiačná udalosť verejne ohlásená alebo sa do zariadenia dostane pacient s podozrením na radiačné poškodenie, nemocničný personál aktivuje pohotovostný plán zdravotníckej reakcie zariadenia a zabezpečí odborný personál, prednostne pracovníkov nukleárnej medicíny, radiačnej onkológie, rádiológie a nemocničnej hygieny.

Aktuálny zoznam subjektov a kontaktné údaje sú uvedené v odbornom usmernení Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky na poskytovanie zdravotnej starostlivosti osobám postihnutým radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou, ktorý je uvedený vo Vestníku MZ SR a uverejnený na webovom sídle Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky.

## **5.6 Klinické prejavy ožiarenia**

Syndróm akútneho ožiarenia (ARS – acute radiation syndrome) alebo podľa staršieho označenia „choroba z ožiarenia“ sa vyskytuje niekoľko hodín, dní alebo týždňov po vystavení celého tela (alebo veľkej časti tela) dostatočne prenikavému ionizujúcemu žiareniu, ktoré spôsobuje klinicky zjavné poškodenie. Počiatočné klinické príznaky sú nešpecifické (Tabuľka 1) a líšia sa podľa stupňa a typu radiačnej expozície. Najčastejšie sa ARS prejavuje ako kožný, gastrointestinálny, hematologický alebo aj neurologický nález.

Pri absencii známej expozície si rozpoznanie akútneho radiačného poškodenia vyžaduje vysoký stupeň podozrenia na základe klinických nálezov alebo aj laboratórneho hodnotenia.

Príznaky a symptómy ARS súvisia s rozsahom expozície, závislej od typu žiarenia a absorbovanej dávky.

Prahová celotelová dávka pre ARS u dospelých je približne 1 Gy (100 rad); neočakáva sa, že nižšie dávky spôsobia klinicky zjavný ARS. Celotelová dávka 4,5 Gy je smrteľná pre 50 percent exponovaných osôb (LD50) a dávka  $\geq 10$  Gy je typicky spojená so 100-percentnou mortalitou. Všetky formy ionizujúceho žiarenia môžu spôsobiť vnútorné poškodenie tkaniva po požití, vdýchnutí alebo prenose cez ranu. Röntgenové lúče, gama lúče a neutróny prenikajú kožou a môžu spôsobiť hlboké poškodenie tkaniva po vonkajšom vystavení alebo kontaminácii. Naproti tomu vonkajšia expozícia vysokoenergetickými beta časticami (bez požitia alebo vdýchnutia) môže spôsobiť vážne poškodenie kože, ale nespôsobí poškodenie hlbokého tkaniva, pokiaľ nemajú vysokú energiu a dávka nebola vysoká. Častice alfa sú blokované oblečením a neporušenou pokožkou a sú zvyčajne škodlivé iba vtedy, keď sú internalizované ranou, odreninou, požitím po prenose z rúk do potravín alebo vdýchnutím. Prahová dávka pre radiačné poškodenie je u detí nižšia.

ARS postupuje cez tri fázy, pričom nástup, trvanie fáz a dominantné prejavy syndrómu závisia od dávky žiarenia (Tabuľka 1):

Prodromálna fáza (0 až 2 dni po expozícii) sa týka skorých symptómov alebo príznakov, ktoré sú vo všeobecnosti nešpecifické. Pri dávkach medzi 1 a 2 Gy sa prejavia prodromy, ktoré môžu zahŕňať anorexiu, nauzeu, vracanie, únavu, tachykardiu, horúčku a bolesť hlavy. Skorý nástup ( $< 2$  hodiny po expozícii) a pretrvávanie nevoľnosti, vracania a hnačky naznačuje závažnú radiačnú záťaž.

Latentná fáza (2 až 20 dní po expozícii) je obdobie zlepšenia prodromálnych symptómov. Trvanie latentnej fázy je nepriamo úmerné dávke absorbovaného žiarenia a pacienti so závažnou, smrteľnou, expozíciou môžu prejsť priamo z prodromálnej fázy do manifestnej choroby.

Rozvinutý ARS (21 až 60 dní po expozícii) má predvídateľný priebeh, ktorý sa vo všeobecnosti začína infekciou, anémiou a krvácaním; nasleduje nekontrolovateľná hnačka, hypovolémia a poruchy elektrolytov a napokon zhoršujúci sa mentálny stav, mozgový edém a nekontrolovateľné kardiovaskulárne zlyhanie.

Fáza zotavenia sa vzťahuje na obdobie po zjavnom ARS, kedy sa pacient zotavuje z akútnej expozície. Časový priebeh zotavenia závisí od závažnosti poranenia a postihnutého orgánového systému (systémov).

Po vyliečení akútneho radiačného poškodenia zostáva pacientovi riziko neskorých následkov a dlhodobých komplikácií ako je myelodysplastický syndróm, rôzne leukémie, solídne nádory (napr. rakovina štítnej žľazy, prsníka a mozgu) a ochorenia štítnej žľazy. Dlhodobé účinky sú podobné ako po terapeutickom ožarovaní.

Štyri výrazné typy ARS (označované aj ako syndrómy ART alebo subsyndrómy ARS), ktoré sa môžu vyskytovať jednotlivo alebo v kombinácii, sú kožný (Tabuľka 2), hematopoetický (Tabuľka 3), gastrointestinálny (Tabuľka 4) a neurovaskulárny (Tabuľka 5). Hoci existujú charakteristické poškodenia pre každý typ, závažnosť a časový priebeh sa môžu u daného jedinca líšiť v závislosti od konkrétnej expozície.

Kožný syndróm; kožné prejavy ARS sa líšia v závislosti od povahy expozície (typu ionizujúcich častíc alebo lúčov), dávky a intervalu od expozície.

Účinky ionizujúceho žiarenia na kožu sú závislé od dávky:

≥ 3 Gy – vypadávanie vlasov

≥ 6 Gy – erytém

> 10 Gy – suchá deskvamácia

> 15 Gy – vlhká deskvamácia

> 20 Gy – nekróza.

Čas medzi expozíciou a klinickými prejavmi sa mení nepriamo úmerne s dávkou žiarenia (t. j. kožné nálezy sú viditeľné skôr pri vyššej dávke) (Tabuľka 2). Kožné účinky zvyčajne začínajú prodrómom prechodného erytému v priebehu niekoľkých hodín po expozícii, ktorý môže prejsť do intenzívneho pálenia alebo brnenia až bolesti, po ktorom nasleduje interval dní až týždňov bez príznakov. Sekundárny erytém sa zvyčajne vyvinie za 5 až 21 dní, ale pri výraznejšej expozícii sa môže objaviť aj skôr. Pri závažnej expozícii môže po počiatočnom erytému nasledovať intenzívne začervenanie, pľuzgiere a ulcerácia, ktoré môžu viesť k nekróze exponovanej oblasti. Veľmi veľké kožné dávky môžu spôsobiť trvalú stratu vlasov, poškodenie mazových a potných žliaz, atrofiu, fibrózu, keloidy, zmeny v pigmentácii kože a progresívnu fibrózu cievneho zásobenia, pričom môže trvať mesiace alebo roky, kým sa úplne rozvinie.

Účinky sa tiež líšia v závislosti od typu žiarenia. Vysokoenergetické beta častice (ako pri černobyľskej udalosti) spôsobujú skoré vlhké odlupovanie s následným hojením, avšak do dvoch mesiacov môže dôjsť k úplnej strate hrúbky exponovanej kože v dôsledku kolapsu dermálneho cievneho systému. Liečba mnohých ľudí, ktorí dlhodobo prežili nehodu v Černobyle, si vyžiadala amputáciu pre pretrvávajúce vredy a významnú fibrózu.

Hematopoetický syndróm; ionizujúce žiarenie má predvídateľné, od dávky a času závislé účinky na krvotvorbu, ktoré sa prejavujú ako pancytopenia (neutropénia, lymfopénia, anémia a trombocytopenia) s výslednými klinickými následkami vrátane infekcií, slabosti a krvácania

(Tabuľka 3). Pokles počtu lymfocytov je závislý od dávky a sekvenčné počty lymfocytov možno použiť na určenie približnej dávky žiarenia (Tabuľka 6) a odhad prognózy.

Klinické prejavy hematopoetickej toxicity vyvolanej žiarením sa prejavujú pri dávkach  $> 2 - 4$  Gy. Ak kmeňové a progenitorové bunky kostnej drene neboli úplne zničené, môže dôjsť k jej zotaveniu. Najskorším hematologickým účinkom je pokles absolútneho počtu lymfocytov, ktorý začína v prvých hodinách po expozícii a pokračuje niekoľko týždňov pred návratom na východiskovú hodnotu. Neutrofily, krvné doštičky a červené krvinky sú ovplyvnené následne:

- Neutropénia dosiahne najnižšiu hodnotu po dvoch až štyroch týždňoch, kedy sa môžu vyskytnúť život ohrozujúce infekcie.
- V takomto čase sa vyskytuje aj trombocytopenia, ktorá môže pretrvávajúť niekoľko mesiacov.
- Anémia sa vyvíja zo straty krvi v tráviacom trakte, krvácania do orgánov a tkanív a aplázie kostnej drene.
- Žiarenie môže mať aj dlhodobé následky na funkciu imunity a je spojené so vznikom rôznych myeloidných malignít (napr. myelodysplastických syndrómov, chronickej myeloidnej leukémie alebo akútnej myeloidnej leukémie).

Gastrointestinálny syndróm; gastrointestinálne (GI) prejavy (Tabuľka 4) ARS sa líšia v závislosti od dávky a času a od vystavenia žiareniu. Výskyt a načasovanie zvracania sa spolu s absolútnym počtom lymfocytov môžeme použiť na určenie dávky ožiarovania (Tabuľka 6). GI trakt je citlivý na radiačné poškodenie v dôsledku poškodenia slizničnej bariéry, straty proliferujúcich epiteliálnych buniek v črevných kryptách a účinkov na vaskulatúru.

Už pri nízkych dávkach okolo 1,5 Gy môžeme pozorovať prodromálne symptómy vrátane nauzey, vracania a anorexie. Expozícia vyšším dávkam vedie k závažnejším a pretrvávajúcim GI prejavom do piatich dní od počiatkovej expozície. Pri dávkach  $> 5$  Gy dochádza k nevoľnosti, vracaniu a krvavým hnačkám sprevádzaným malabsorpciou, masívnymi stratami tekutín, hypovolémiou a kardiovaskulárnym kolapsom. Riziko úmrtia na sepsu sa zvyšuje porušením slizničnej bariéry spojenej s vyčerpaným imunitným systémom a GI krvácanie zhoršuje trombocytopenia.

Neurovaskulárny syndróm; prejavy ionizujúceho žiarenia na centrálnom nervovom systéme (CNS), nazývané neurovaskulárny syndróm, sa menia v závislosti od dávky a času od expozície a siahajú od nešpecifických nálezov až po závažné kognitívne a neurologické účinky (Tabuľka 5).

Účinky žiarenia na CNS môžu začať ako nevoľnosť, vracanie a letargia v priebehu niekoľkých minút po expozícii. Pri smrteľnej dávke žiarenia  $> 10$  Gy po latentnej perióde trvajúcej niekoľko hodín nasleduje výrazné zhoršenie výkonnostného stavu s progresiou do kómy a smrť v priebehu 24 až 48 hodín. Dezorientácia, ataxia, vyčerpanie, záchvaty, horúčka a hypotenzia vyskytujúce sa v priebehu 24 až 48 hodín tiež predpovedajú smrteľnú expozíciu. Pitva môže odhaliť, že títo pacienti majú fokálne krvácanie s nekrozou, edém bielej hmoty, demyelinizáciu a významné mikrovaskulárne poškodenie.

Čiastočná expozícia sa týka predovšetkým kože, pohlavných žliaz a očí, ktoré sú vystavené najväčšiemu riziku radiačného poškodenia u pacienta s čiastočnou expozíciou.

Čiastočná expozícia tela spôsobuje kožné účinky v exponovaných oblastiach kože. U pacienta s čiastočným kožným radiačným poranením sa môže objaviť pľuzgierovitá kožná lézia, ale bez anamnézy chemického alebo tepelného popálenia, uhryznutia hmyzom alebo známeho kožného ochorenia alebo alergie. Podporná anamnéza môže zahŕňať aj zamestnanie v oblasti, kde sa používa ožarovanie, manipuláciu s neznámym kovovým predmetom, vystavenie neznámemu prášku alebo

kvapaline alebo blízkosť skupiny pacientov s podobnými kožnými nálezmi. Čiastočné vystavenie žiareniu často zahŕňa ruku alebo kožu pri vrecku oblečenia (napr. stehno).

Gonády sú mimoriadne citlivé na vystavenie žiareniu. Zníženie počtu spermatogónií v závislosti od dávky nastáva so zvyšujúcou sa dávkou ožiarovania. U dospelých môžu už dávky 0,015 Gy vyvolať miernu depresiu spermatogenézy a dávky > 6 Gy pravdepodobne spôsobujú trvalú sterilitu. Vplyv žiarenia na plodnosť u žien sa mení s vekom, s vyšším vekom citlivosť na ožiarovanie stúpa.

Ak sú oči odkryté, tak rádioaktívne častice ľahko vniknú do netenenej rohovky. Dávky žiarenia, ktoré by inak boli bezvýznamné, môžu týmto spôsobom spôsobiť značné poranenia. Vystavenie dávkam už tak nízkym ako 0,2 Gy môže vyvolať kataraktu, hoci účinky môžu byť oneskorené až o päť rokov alebo dlhšie. Význam nosenia ochrany očí pri práci s potenciálne nebezpečným rádioaktívnym materiálom je potrebné zdôrazňovať.

### **5.7 Vyšetrenia pri podozrení na expozíciu alebo pri expozícii ionizujúceho žiarenia**

Hodnotenie by malo zahŕňať informácie o povahe udalosti, pri ktorej došlo k vystaveniu žiareniu (ak je k dispozícii), anamnézu príznakov, ktoré môžu súvisieť s vystavením žiareniu, fyzikálne vyšetrenie a laboratórne štúdie. Načasovanie a závažnosť klinických nálezov a laboratórnych štúdií pomáhajú odhadnúť radiačnú „biodózu“.

Pred samotným hodnotením je nevyhnutná stabilizácia pacienta. Pacienti s akútnym vystavením žiareniu mohli tiež zažiť akútne poranenia v dôsledku pôsobenia inej fyzikálnej sily, výbuchu, popálenín alebo iných okolností sprevádzajúcich udalosť vedúcu k ožiarovaniu. Títo pacienti by mali podstúpiť stabilizáciu život ohrozujúcich zranení pred riešením ich expozície žiareniu.

Anamnéza a fyzikálne vyšetrenie: skoré nálezy súvisiace s akútnym radiačným syndrómom sú vo všeobecnosti nešpecifické, ale v závislosti od dávky môžu zahŕňať nevoľnosť, vracanie, hnačku, kŕče v bruchu, krvácanie, únavu, horúčku a zmeny duševného stavu v priebehu hodín až dní po ožiarení (Tabuľka 1). ARS vo všeobecnosti prebieha predvídateľne v čase a je dôležité zdokumentovať čas nástupu zistení. Anamnéza by mala identifikovať príznaky súvisiace s kožou (napr. erytém, pruritus, pocit pálenia, pľuzgiere, ulcerácia) a hematologickým (napr. krvácanie, infekcie, slabosť), gastrointestinálnym (napr. nevoľnosť, vracanie, hnačka, krvácanie) a neurologickým (napr. letargia, ataxia, záchvaty, zmenené vedomie) systémom.

Fyzikálne vyšetrenie by malo zahŕňať hodnotenie vitálnych funkcií (telesná teplota, krvný tlak, koordinácia chôdze) a hodnotenie kožných (erytém, pľuzgiere, edém, deskvamácia), neurologických (úroveň vedomia, ataxia, motorické/senzorické deficity, reflexy, edém papily), gastrointestinálnych (citlivosť brucha, gastrointestinálne krvácanie) a hematologických (ekchymózy, petechie) príznakov. Povaha a rozsah nálezov by sa mali starostlivo zdokumentovať vo sprievodnom dokumentačnom liste pacienta. Stanovená by mala byť kontaminácia pacienta pomocou dozimetrického prístroja, napr. Geigerov-Müllerovho počítača, dozimetrickou analýzou tampónov z nosa a úst a vzoriek moču a stolice (minimálne 24-hodinový odber moču a stolice)

V niektorých prípadoch bude zdroj a stupeň radiačnej záťaže známy už v čase hodnotenia na základe poskytnutia (napr. pracovník jadrovej elektrárne alebo radiačný technik) údajov z radiačného monitorovania alebo vyšetovania udalosti. Môže byť ťažké rozlíšiť symptómy spojené s emocionálnou traumou u neexponovaných pacientov (napr. u svedka udalosti vystavenia žiareniu) od klinických nálezov vystavenia žiareniu.

**5.8 Vstupné laboratórne testy** sa odporúča vykonať u všetkých osôb so známou alebo potenciálnou expozíciou (napr. v smere vetra od miesta úniku rádioaktívneho materiálu, ktorý môže mať za následok hromadné straty na živoťoch).

Vstupné laboratórne testy by mali zahŕňať:

- Kompletný krvný obraz (KO) s diferenciálnym KO; čas odberu CBC sa musí starostlivo zaznamenať z dôvodu dôležitých zmien v počte lymfocytov súvisiacich s časom (Tabuľka 3). Sériové krvné obrázky by sa mali odberať každých 6 až 12 hodín v slede najmenej tri vzorky a potom raz denne.
- Biochémia (napr. elektrolyty, renálne a pečeneové funkčné testy) sa majú monitorovať denne, pokiaľ si klinický stav pacienta nevyžaduje častejšie sledovanie.
- Východiskový protrombínový čas (PT) s medzinárodným normalizovaným pomerom (INR), parciálnym trombotoplastínovým časom (PTT) a analýza moču.
- Dvadsaťštyri hodín po akejkoľvek významnej expozícii by sa mala vzorka krvi odobrať do skúmavky s lítiom heparínom a odoslaná do príslušného referenčného laboratória na analýzu chromozomálnych aberácií (výskyt dicentrických lymfocytov) na posúdenie prognózy.
- U niektorých pacientov s dôkazom značnej radiačnej záťaže (napr. skorý nástup zmien duševného stavu, vracanie alebo popáleniny kože) by sa mala odobrať krv na typizáciu ľudského leukocytového antigénu (HLA) pred poklesom počtu lymfocytov, v prípade, že pre záchranu krvotvorby môže byť potrebná transplantácia kmeňových buniek.

Laboratórne vzorky od pacientov, ktorí môžu byť kontaminovaní rádioaktívnym materiálom, by sa mali umiestniť do samostatných nádob označených názvom, dátumom, časom a miestom odberu vzoriek.

### **5.9 Stanovenie diagnózy akútneho radiačného syndrómu**

Podozrenie na akútne poškodenie ožiarením by malo byť vyslovené u osoby, ktorá bola potenciálne vystavená žiareniu (napr. v dôsledku lekárskeho ožiarenia, priemyselnej nehody alebo radiačnej udalosti) a nálezov, ktoré sú v súlade s ožiarením (Tabuľka 1).

Radiačné poškodenie sa môže vyskytnúť aj u asymptomatického jedinca niekoľko dní až týždňov po známej expozícii a máme naňho myslieť u osôb bez známej expozičnej udalosti, u ktorých sú pozorované inak nevysvetliteľné nálezy naznačujúce radiačné poškodenie (napr. nevysvetliteľná erythrodermia, gastrointestinálne symptómy, cytopénie alebo aj neurologické zmeny).

Diagnóza radiačného poškodenia je založená na prítomnosti klinických nálezov, ktoré sú v súlade s typom, množstvom a načasovaním vystavenia žiareniu (Tabuľka 1) a laboratórnych testoch (napr. sériové hodnoty lymfocytov a analýza chromozomálnych aberácií).

Rádiologický prieskum pomocou detekčného zariadenia (napr. Geiger-Müllerov počítač) môže identifikovať asymptomatických pacientov s radiačnou kontamináciou, ktorí sú tiež vystavení riziku radiačného poškodenia.

### **5.10 Odhad radiačnej expozície**

Hodnotenie rozsahu radiačnej záťaže je nepretržitý proces, ktorý si často vyžaduje niekoľko dní na presné určenie odhadovanej dávky radiačnej záťaže. Preto musí liečba pacienta nastať skôr, ako je známa odhadovaná dávka žiarenia.

### 5.11 Diferenciálna diagnostika

Skoré klinické prejavy radiačného poškodenia (prodromálna fáza) sú vo všeobecnosti nešpecifické a môžu zahŕňať anorexiu, nauzeu, vracanie a únavu (Tabuľka 1). Pri absencii známeho incidentu vystavenia žiareniu je diferenciálna diagnostika široká a môže zahŕňať gastroenteritídu, úpal, vírusové infekcie, lieky, autoimunitné poruchy, expozíciu toxínom a nutričné nedostatky.

U pacientov s klinickými nálezmi akútneho radiačného syndrómu (ARS) je diferenciálna diagnóza ovplyvnená povahou nálezov, ale môže zahŕňať nasledujúce poruchy:

- Autoimunitná/idiopatická aplastická anémia (IAA), paroxyzmálna nočná hemoglobínúria (PNH) alebo aplastická anémia spôsobená liekmi, chemikáliami alebo infekciami môžu byť klinicky nerozoznateľné od hematopoetického ARS. IAA/PNH aj ARS sa môžu prejavovať cytopéniou; krvácanie, infekcie a únava; a aplastická alebo hypoplastická kostná dreň. Anamnéza by mala odlišiť radiačnú expozíciu od iných príčin aplastickej anémie a prietoková cytometria môže preukázať klonálnu populáciu CD59-pozitívnych PNH buniek v periférnej krvi alebo cytogenetických alebo molekulových testoch kostnej drene u väčšiny pacientov s IAA/PNH.
- Sepsa a syndróm systémovej zápalovej odpovede (SIRS) môžu spôsobiť horúčku, vyrážku, krvácanie, hypotenziu, cytopéniu, zmätenosť a ďalšie nálezy, ktoré sa podobajú ARS. Okrem toho môžu infekčné choroby vyplynúť z účinkov radiačného poškodenia kostnej drene, gastrointestinálneho traktu a centrálného nervového systému (CNS).
- Reakcia na liek s eozinofiliou a systémovými symptómami (DRESS) je zriedkavá hypersenzitívna reakcia vyvolaná liekom, ktorá zahŕňa horúčku, kožnú erupciu, hematologické abnormality, lymfadenopatiu a dysfunkciu pečene, obličiek a pľúc, ktorá sa podobá manifestnej ARS. DRESS má latenciu dva až osem týždňov, čo je časový rámec, ktorý sa môže zamieňať s radiačným poškodením. DRESS je diagnostikovaný prítomnosťou vyrážky, horúčky, edému tváre, lymfadenopatie a eozinofílie a lymfocytózy periférnej krvi u pacienta, ktorý bol vystavený novému lieku počas predchádzajúcich šiestich týždňov. Anamnéza expozície lieku a prítomnosť lymfadenopatie, eozinofília periférnej krvi a lymfocytóza by mali odlišovať DRESS od ARS.
- Ulcerózna kolitída a iné formy zápalového ochorenia čriev (IBD) sa môžu prejavovať bolesťou brucha, hnačkou, gastrointestinálnym krvácaním, horúčkou, únavou a anémiou, ktorá sa podobá ARS. Diagnóza kolitídy je založená na chronickej hnačke, dôkaze aktívneho zápalu pri endoskopii a charakteristických zmenách pri biopsii, ktoré odlišujú IBD od ARS. Okrem toho, pacienti s ďalšími ARS nálezmi kožných lézií, zlyhaním kostnej drene alebo abnormalitami CNS sa dajú relatívne ľahko odlišiť od pacientov s IBD.
- Expozícia táliu alebo iným toxínom môže pripomínať klinické prejavy ARS. Toxicita tália sa môže prejavovať bolesťou brucha, nevoľnosťou, vracaním, hnačkou, únavou, bolesťou hlavy, erytémom a kožnou vyrážkou; vypadávanie vlasov môže prejsť do rozšírenej alopecie počas dvoch až troch týždňov. Charakteristické črty expozície tália zahŕňajú výskyt priečných bielych línií na nechtoch (Meesove línie), bolestivú glositídu, šupinaté lézie na dlaniach a chodidlách, akneiformné erupcie tváre, parestézie, demenciu a psychózu. Diagnóza toxicity tália sa robí dokumentovaním zvýšenej hladiny tália v krvi.

### 5.12 Pediatrické aspekty

U detí, najmä u dojčiat a detí predškolského veku je pravdepodobnejšie ako u dospelých, že sa u nich vyvinie akútne radiačné poškodenie a to z dôvodu ich rýchleho rastu a teda väčšej citlivosti na biologické účinky žiarenia, podobne ako pri rýchlo sa deliacich tkanivách. Vystavenie plodu žiareniu môže mať fatálne následky. Dávka v gravidnej maternici je približne 65 až 70 percent dávky na povrchu tela, čo poskytuje určitú ochranu plodu pred vonkajším ožiarovaním. Ak je však prítomná vnútorná radiačná

kontaminácia, plod môže dostať vysokú dávku v dôsledku jeho blízkosti pri močovom mechúre matky. Štítna žľaza začne prijímať jód po 12 týždňoch vývoja plodu, čo zvyšuje riziko jej poškodenia. Účinky ionizujúceho žiarenia na plod zahŕňajú spomalenie rastu, vrodené malformácie, embryonálnu, fetálnu alebo neonatálnu smrť a karcinogézu.


Väčšie riziko vystavenia žiareniu u detí súvisí s niekoľkými faktormi:

- Deti sa s väčšou pravdepodobnosťou stretnú s rádioaktívnym materiálom z atmosférického spadu v blízkosti zeme a keďže majú väčšiu minútovú ventiláciu, je u nich väčšie riziko vystavenia rádioaktívnym plynom.
- V dôsledku menšieho telesného objemu a veľkosti orgánov je u mladších detí väčšia pravdepodobnosť ožiarenia väčšej časti tela bez ohľadu na typ žiarenia.
- Strkanie rúk do úst a plazenie predstavuje pre dojčatá a malé deti väčšie riziko vystavenia kontaminovanej pôde.
- Typická strava dojčiat a malých detí ich vystavuje väčšiemu riziku požitia kontaminovaného kravského mlieka v dôsledku kontaminácie pastvín alebo kravského krmiva alebo kontaminovaného ľudského materského mlieka v dôsledku vnútornej rádioaktívnej kontaminácie matky.

Deti sú tiež vystavené vyššiemu riziku dlhodobých následkov ožiarenia (napr. leukémia, rakovina štítnej žľazy, sivý zákal, spomalenie rastu alebo neplodnosť) aj pri dávkach, ktoré nespôsobia bezprostredné zranenie, pretože majú dlhšie očakávané dožitie a tým aj čas na rozvoj týchto komplikácií.


Aktuálny zoznam subjektov a kontaktné údaje sú uvedené v odbornom usmernení Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky na poskytovanie zdravotnej starostlivosti osobám postihnutým radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou, ktorý je uvedený vo Vestníku MZ SR a uverejnený na webovom sídle Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky.

**Tabuľka 1**

 <b>Klinické príznaky akútneho radiačného syndrómu</b>		
<b>Prodromálne (0 - 2 dni)*</b>	<b>Latentné (2 - 20 dni)*</b>	<b>Manifestné (21 - 60 dni)*</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nevoľnosť</li> <li>• Zvracanie</li> <li>• Bolesť hlavy</li> <li>• Závrate</li> <li>• Letargia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• asymptomatické</li> <li>• <b>alebo</b></li> <li>• minimálne symptomatické</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krvácanie</li> <li>• Infekcia</li> <li>• Hnačka</li> <li>• Únava</li> </ul>


\* Klinické príznaky akútneho radiačného syndrómu (ARS) sú nešpecifické. Závažnosť symptómov a vývoj ARS závisia od typu a dávky žiarenia, typu expozície, stupňa tienenia a dostupnosti zdravotníckej starostlivosti.

**Tabuľka 2**

 <b>Kožná radiačná toxicita, kožný akútny radiačný syndróm</b>				
Príznak	Stupeň 1	Stupeň 2	Stupeň 3	Stupeň 4
<b>Erytém</b>	Minimálny prechodný	Mierny	Výrazný 10 – 40 % BSA	Ťažký > 40 % BSA
<b>Podráždenie/svrbenie</b>	Pruritus	Mierna intermitentná bolesť	Výrazná trvalá bolesť	Silná trvalá bolesť
<b>Tvorba pľuzgierov</b>	Sporadicky	Sporadicky s krvácaním	Splývanie, buly	Buly s krvácaním
<b>Deskvamácia</b>	Neprítomná	Ostrovčekovitá, suchá	Ostrovčekovitá vlhká	Splývajúca, vlhká
<b>Ulcerácia/nekróza</b>	Len epidermis	Dermis	Podkožná	Svaly a kosti
<b>Onycholýza</b>	Neprítomná	Čiastočná	Čiastočná	Kompletná

BSA: povrch tela (body surface area)


**Tabuľka 3**

 <b>Hematologická radiačná toxicita, hematologický akútny radiačný syndróm</b>				
Stupeň	LYMPH (10 <sup>9</sup> /l)	NEUT (10 <sup>9</sup> /l)	PLT (10 <sup>9</sup> /l)	Krvácanie a anémia
<b>0*</b>	1,4 – 3,5	4,0 – 9,0	140 – 400	Neprítomné
<b>1</b>	≥1,5	≥2,0	≥100	Petéchie, tvorba modrín Normálna hodnota Hb
<b>2</b>	1,0 – 1,5	1,0 – 2,0	50 – 100	Mierna strata krvi < 10 % pokles Hb
<b>3</b>	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	20 – 50	Masívna strata krvi 10 – 20 % pokles Hb
<b>4</b>	<0,5	<0,5	<20	Spontánne krvácanie > 20 % pokles Hb

LYMPH: absolútny počet lymfocytov, NEUT: absolútny počet neutrofilov; PLT: počet krvných doštičiek; Hb: koncentrácia hemoglobínu.

\* Stupeň 0 predstavuje normálne referenčné hodnoty.


**Tabuľka 4**

 <b>Gastrointestinálna radiačná toxicita, gastrointestinálny akútny radiačný syndróm</b>				
Príznak	Stupeň 1	Stupeň 2	Stupeň 3	Stupeň 4
<b>Počet stolíc za deň</b>	2 - 3	4 - 6	7 - 9	≥10
<b>Konzistencia stolice</b>	Tuhá	Riedka	Riedka	Vodnatá
<b>GI krvácanie</b>	Okultné	Intermitentné	Trvalé	Trvalé, masívne
<b>Kŕče alebo bolesť v bruchu</b>	Minimálne	Mierne silné	Intenzívne	Neznesiteľné

GI: gastrointestinálne.



Tabuľka 5


 <b>Cerebrovaskulárna radiačná toxicita, cerebrovaskulárny akútny radiačný syndróm</b>				
Príznak	Stupeň 1	Stupeň 2	Stupeň 3	Stupeň 4
<b>Nevoľnosť</b>	Mierna	Mierne silná	Intenzívna	Neznesiteľná
<b>Zvracanie</b>	Raz denne	2 - 5/deň	6 - 10/deň	> 10/deň
<b>Nechutenstvo</b>	Zachovaný príjem	Znížený príjem	Minimálny príjem	Nutnosť parenteranej výživy
<b>Únava</b>	Môže pracovať	Znížená pracovná schopnosť	Pomoc pri niektorej každodennej činnosti	Úplná neschopnosť starostlivosti o seba
<b>Horúčka (°C)</b>	< 38	38 - 40	> 40 v trvaní < 24 hodín	> 40 v trvaní > 24 hodín
<b>Bolesť hlavy</b>	Minimálna	Mierne silná	Intenzívna	Neznesiteľná
<b>TK (mmHg)</b>	> 100/70	< 100/70	< 90/60	< 80 systolický
<b>Neurologický deficit*</b>	Jemne naznačený	Ľahko identifikovateľný	Výrazný	Život ohrozujúca strata vedomia
<b>Kognitívny deficit</b>	Malý	Mierne výrazný	Veľké zhoršenie	Úplné zhoršenie, strata

TK: tak krvi.

\* Reflexy (vrátanie korneálneho), edému papíl, záchvaty, ataxia a ďalšie motorické a senzorické príznaky.

Zhoršenie pamäte, myslenia a úsudku.

Tabuľka 6

 <b>Radiačná biodozimetria</b>					
Dávka (Gy)	Zvracanie %	Čas do zvracania (hodiny)	LYMPH deň 1 (10 <sup>9</sup> /l)*	Konštanta poklesu lymfocytov (k) <sup>¶</sup>	Dicentrické lymfocyty (na 1000) <sup>Δ</sup>
0	0	-	2,45	-	1-2
1	19	-	2,16	0.126	88
2	35	4,6	1,90	0.252	234
3	54	2,6	1,68	0.378	439
4	72	1,7	1,48	0.504	703
5	86	1,3	1,31	0.63	1000
6	94	1	1,15	0.756	
7	98	0,8	1,01	0.881	
8	99	0,7	0,89	1.01	
9	100	0,6	0,79	1.13	
10	100	0,5	0,70	1.26	

Gy: absorbovaná celotelová dávka v jednotkách Gy.

\* LYMPH deň 1: absolútny počet lymfocytov deň 1 po expozícii.

Konštanta poklesu lymfocytov je odvodená zo semilogaritmického diagramu absolútného počtu lymfocytov (na  $\mu$ l) v závislosti od času v dňoch podľa vzorca  $2450 \times e^{-kt}$ . Čas v dňoch, kedy hodnota LYMPH poklesne na polovicu pôvodnej hodnoty [polčas poklesu, T(1/2)] môžeme vypočítať podľa vzorca:  $T(1/2) = 0,693/k$ .

$\Delta$  Dicentrické chromozómy obsahujú dve oddelené centroméry, ktorých vznik je spôsobený end-to-end rekombináciou dvoch poškodených chromozómov.

### 5.13 Syndróm akútneho ožiarenia

Manažment syndrómu akútneho ožiarenia najlepšie zabezpečí multidisciplinárny tím. V závislosti od výsledkov klinického hodnotenia a skriningových laboratórnych štúdií sa na starostlivosti môže podieľať úrazový chirurg, odborník na popáleniny, dermatológ, gastroenterológ, neurológ a hematológ. Informáciu o úrovni rizika zdravotníckym pracovníkom poskytne pracovník radiačnej ochrany. Odporúča sa konzultácia s pracovníkmi úradov verejného zdravotníctva v oblasti radiačnej ochrany, klinickými fyzikmi a s ďalšími odborníkmi na riadenie radiačných mimoriadnych udalostí aj zo zahraničia.

Symptómy akútneho radiačného syndrómu (ARS) sú uvedené v časti 5.6. V priebehu času by mal byť každý pacient stratifikovaný podľa závažnosti klinických nálezov (Tabuľka 2, Tabuľka 3, Tabuľka 4 a Tabuľka 5) a odhadovanej expozície ionizujúcemu žiareniu.

### 5.14 Hematopoetický syndróm

Manažment hematopoetického poškodenia po ožiarení si môže vyžadovať multidisciplinárny tím vrátane hematológov, onkológov, radiačných onkológov, lekárov so skúsenosťami v oblasti transplantácie hematopoetických buniek a iných lekárskech špecialistov. Umiestnenie pacienta do ambulantnej starostlivosti, hospitalizácia alebo umiestnenie do špecializovaného centra (transplantačná jednotka) závisí od závažnosti poškodenia.

### 5.15 Stratifikácia starostlivosti

Manažment hematopoetickej toxicity je stratifikovaný podľa stupňa myelosupresie, určenej kompletným krvným obrazom s diferenciálnym krvným obrazom a príznakmi krvácania (Tabuľka 3). Liečba hematopoetického syndrómu vyvolaného žiarením by mala brať do úvahy závažnosť (stupeň) poškodenia krvotvorby, vek a zdravotnú spôsobilosť, inú orgánovú toxicitu vyvolanú žiarením, prítomnosť kombinovaného poškodenia (popáleniny alebo trauma) a zdroje zdravotníckeho zariadenia:

- Stupeň 0 a 1 bez inej toxicity alebo nepriaznivých faktorov (odhadovaná expozícia  $\leq 3$  Gy, bez inej orgánovej toxicity, tepelných popálenín alebo traumy): pacient môže byť liečený ambulantne, nie je potrebná žiadna špecifická hematologická intervencia.
- Stupeň 0 a 1 s inými príznakmi toxicity alebo s nepriaznivými faktormi (kombinované poranenie napr. popáleniny alebo trauma, vek  $\leq 12$  rokov alebo vek  $\geq 60$  rokov): hospitalizácia je potrebná kvôli zvýšenému riziku hematologickej toxicity. Ak dôjde k myelosupresii, zvyčajne je zvládnuteľná cytokínovou terapiou a podpornou starostlivosťou.
- Stupeň 2 (odhadovaná expozícia 3 až 7 Gy): pacient by mal byť hospitalizovaný a toxicita zvyčajne zvládnuteľná rýchlym podaním hematopoetických rastových faktorov (cytokínov) a agresívnou podpornou starostlivosťou.
- Stupeň 3 alebo 4 (odhadovaná expozícia 7 až 10 Gy): pacient by mal byť hospitalizovaný ideálne na transplantačnom alebo inom špecializovanom oddelení kvôli podaniu agresívnej podpornej starostlivosti vrátane alogénnej transplantácie krvotvorných buniek (HCT).
- Stupeň 4 (odhadovaná expozícia  $> 10$  Gy) je radiačné poškodenie pravdepodobne smrteľné v dôsledku multiorgánového zlyhania, ktoré je výsledkom cerebrovaskulárnej a gastrointestinálnej toxicity a starostlivosť by sa mala zamerať na zmiernenie symptómov.

Uvedené usmernenie je v súlade s odporúčaniami Svetovej zdravotníckej organizácie a amerických a európskych expertných panelov.

### 5.16 Podporná starostlivosť pri hematopoetickom ARS

Ošetrojúci lekár by mal konzultovať špecialistov, ktorí majú skúsenosti s hodnotením a manažmentom hematopoetického ARS (napr. hematológovia, radiační onkológovia alebo onkológovia). U pacientov,

ktorí boli vystavení žiareniu < 7 Gy, je pravdepodobné, že hematopoetický ARS zvládneme podpornou starostlivosťou vrátane transfúzií, rastových faktorov (cytokínov) a liečbou infekcií.

Hematopoetické zlyhanie u ožiarených obetí sa riadi rovnakými princípmi, ako pri liečbe dospelých pacientov s pancytopeniou, pričom platí, že symptómy vyžadujúce si liečbu (napr. krvácanie, anémia) sa môžu rozvinúť až 21 - 30 dní po expozícii.

Podpora transfúziou krvných derivátov môže byť potrebná na zvládnutie cytopénie v dôsledku útlu kostnej drene vyvolaného ožiarením alebo v dôsledku krvácania. Indikácie transfúzie červených krviniek a krvných doštičiek by sa mali riadiť odporúčaniami pre pacientov liečených chemoterapiou. Ak to čas a zdroje dovoľia, všetky krvné produkty určené pre transfúziu by mali byť upravované. Leukoredukcia môže znížiť febrilné nehemolytické transfúzne reakcie a imunosupresívne účinky krvných transfúzií. Ožarovanie krvných derivátov dávkou 25 Gy alebo technológie na redukciu patogénov zabráňujú ochoreniu v dôsledku reakcie štetu proti hostiteľovi súvisiacemu s transfúziou (ta- GVHD), ktoré môže byť život ohrozujúce u pacientov so zníženou imunitou. Ta-GVHD je takmer nevyhnutne smrteľné, pričom horúčka, pancytopenia, kožná vyrážka, hnačka a abnormálna funkcia pečene môže byť ťažko odlišiteľná od iných orgánových toxicít pozorovaných u obetí radiačného poškodenia.

Podpora rastovými faktormi (cytokínmi) u pacientov, u ktorých došlo k významnej radiačnej expozícii alebo k hematologickej toxicite, by sa mala začať čo najskôr po suspektnej alebo potvrdennej expozícii (najlepšie do 24 hodín).

U pacientov s hematologicou toxicitou  $\geq 3$  stupňa alebo s podozrením na radiačnú expozíciu alebo jej potvrdením v dávke  $\geq 2$  Gy odporúčame liečbu rastovým faktorom leukocytov (myeloidným cytokínom), napr. faktorom stimulujúcim kolónie granulocytov (G-CSF, pegfilgrastim a rôzne biosimilárne lieky) alebo faktorom stimulujúcim kolónie granulocytov a makrofágov (GM-CSF). Toto odporúčanie je založené na preukázanej rýchlejšej obnove neutrofilov a možnom zlepšení prežívania preukázanom v kohortových prípadových štúdiách a individuálnych kazuistikách obetí radiačných nehôd.

Podrobnosti o dávkovaní a podávaní cytokínov sú dostupné napr. na [Pegfilgrastim: Uses, Dosage, Side Effects, Warnings - Drugs.com](#). Cytokínová terapia môže mať vyšší výskyt nežiaducich účinkov u pacientov s kosáčikovitou anémiou, významným ochorením koronárnych artérií a syndrómom akútnej respiračnej tiesne.

K rastovému faktoru leukocytov je odporúčané pridanie romiplostimu ([Romiplostim: Uses, Dosage, Side Effects, Warning - Drugs.com](#)) pri hematologickej toxicite  $\geq 3$  stupňa alebo expozícii  $\geq 2$  Gy. Predpokladá sa, že zvyšuje regeneráciu hematopoetických kmeňových a progenitorových buniek. Tento liek nebol hodnotený u ľudí s radiačným poškodením, je však účinný v liečbe aplastickej anémie a refraktérnej imunitnej trombocytopenie. U primátov (okrem človeka) vystavených toxickým úrovňam žiarenia bola liečba samotným romiplostimom, samotným pegfilgrastimom alebo romiplostimom s pegfilgrastimom spojená s lepším celkovým prežitím (100 % oproti 45 % na 45. deň) a zlepšenými hematologickými parametrami v porovnaní s neliečenými kontrolami. Prežívanie na 60. deň bolo 73 % pre samotný romiplostim, 88 % romiplostim plus pegfilgrastim a 33 % pre kontroly. Dávky romiplostimu  $\geq 10$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  boli spojené s hepatotoxicitou 3. stupňa, miernou bolesťou hlavy a svalovými kŕčmi. Romiplostim (Nplate) je schválený European Medicines Agency (EMA) na liečbu idiopatickej trombocytopenickej purpury a v Spojených štátoch Food and Drug Administration (FDA) aj na liečbu dospelých a detí (vrátane novorodencov), ktorí sú akútne vystavení myelosupresívnym dávkam žiarenia.

Cytokínová terapia by mala začať okamžite na základe úrovne toxicity a expozície a nemala by sa odkladať, ak nie je okamžite k dispozícii kompletný krvný obraz. Liečba má pokračovať, kým absolútny počet neutrofilov (NEUT) nie je  $\geq 1 \times 10^9/l$ . Cytokíny sú podané najefektívnejšie pacientom s absorbovanou dávkou  $< 5$  Gy. V závislosti od dávky žiarenia môže počet neutrofilov plynule stúpať alebo zlepšiť sa len prechodne, nastane tzv. „abortívny nárast“ počtu neutrofilov.

Transfúzie krvi a jej derivátov sú primárnou liečbou anémie spôsobenej akútnym radiačným syndrómom. V tejto situácii prínos rekombinantných erytropoézu stimulujúcich látok (ESA), napr. erythropoetín alfa, darbepoetín nebol nepreukázaný. Odporúčania odborníkov Svetovej zdravotníckej organizácie pre používanie ESA uvádzajú len nízky stupeň odporúčania.

Poškodenie žiarením zvyšuje náchylnosť na lokálnu a systémovú infekciu v dôsledku imunitnej supresie, neutropénie a porušení kožných a slizničných bariér. Bakteriálne infekcie sú najčastejšou príčinou infekcií v tomto prostredí, ale jednotlivci sú tiež ohrození plesňovými a vírusovými infekciami. Citlivosť na infekcie stúpa s  $NEUT < 0,5 \times 10^9/l$  a dlhším trvaním neutropénie.

Pacienti s horúčkou (telesná teplota  $\geq 38,0$  °C) alebo inými dôkazmi infekcie a neutropénie ( $NEUT < 0,5 \times 10^9/l$ ) by mali dostať empirické širokospektrálne intravenózne antibiotiká do 60 minút po triedení a v plných dávkach, upravených podľa funkcie obličiek a pečene. Diagnostické vyšetrenia, hoci urýchlené, by nemali oddialiť podanie empirickej antibiotickej liečby. Manažment, vrátane voľby antibiotík, by mal byť podobný ako pri febrilnej neutropénii pri chemoterapii.

U afebrilných a asymptomatických jedincov s  $NEUT < 0,5 \times 10^9/l$  má byť podávaná profylaktická širokospektrálna antibiotická liečba (napr. fluorochinolónmi), kým sa u pacienta nevyvinie horúčka (alebo inak zlyhá liečba), nevyvinie sa toxicita alebo kým sa neutrofilý nezvýšia na  $NEUT > 0,5 \times 10^9/l$ . Profylaktické opatrenia sa riadia odporúčaniami pre profylaxiu infekcie počas chemoterapiou indukovanej neutropénie u vysokorizikových dospelých a pre profylaxiu invazívnych mykotických infekcií u dospelých s hematologickými malignitami.

Transplantácia krvotvorných buniek (HCT) vo všeobecnosti nie je odporúčaná v liečbe hematopoetického syndrómu; mala by byť zvážená len v situácii, ak nenastalo hematologické zlepšenie po  $\geq 2$  týždňoch podpornej hematologickej starostlivosti (napr. cytokínová terapia a transfúzie) a súčasne nebolo zistené žiadne vážne poškodenie iných orgánových systémov (napr. gastrointestinálny a neurovaskulárny systém a koža) a bol nájdený vhodný darca. Neexistuje konsenzus týkajúci sa špecifických usmernení pre použitie HCT v tejto situácii a rozhodnutie o pokračovaní v transplantácii musí byť individualizované na základe závažnosti poranení, sprievodných ochorení, dostupnosti štepu, primeranej lekárskej infraštruktúry, inštitucionálnej praxe a preferencií pacienta. Toto rozhodnutie by malo zväziť prínos obnovy krvotvorby a imunitnej rekonštitúcie oproti rizikám reakcie štepu proti hostiteľovi (GVHD) a inej toxicity súvisiacej s transplantáciou, ktorá je silne ovplyvnená úrovňou radiačnej záťaže. Pacienti vystavení dávke 7 - 10 Gy môžu mať s najväčšou pravdepodobnosťou prospech z alogénnej HCT. Pre pacientov s nižšou úrovňou expozície a toxicity môže postačovať transfúzia, cytokíny a zvládanie infekčných rizík, zatiaľ čo pacienti s expozíciou  $> 10$  Gy pravdepodobne zomrú na multiorgánové zlyhanie nezávislé od hematopoetickej toxicity (Tabuľka 8).

Preferovaným zdrojom štepu je súrodeneц s vysokou zhodou alebo nepríbuzný darca, pričom alternatívne zdroje, napr. pupočnicková krv a haploidentický darca môžu v tejto situácii rozšíriť okruh kandidátov na alogénnu HCT. Pre niektorých pacientov môže byť k dispozícii syngénny (identické dvojčľa) alebo autológny štep (napr. určitý rizikový vojenský personál, ktorý mal bunky uskladnené

na núdzové účely, pacienti s uloženými kmeňovými bunkami ako potenciálnu zálohu na liečbu predchádzajúcej malignity a jedinci s ich vlastnou pupečníkovou krvou v dlhodobom uskladnení).

Existujúce dôkazy naznačujú, že výsledky HCT v liečbe hematopoetického syndrómu sú zlé. Prehľad výsledkov HCT v súvislosti s tromi radiačnými nehodami uvádza, že u väčšiny príjemcov transplantátu sa vyvinulo zlyhanie nehematopoetického orgánu. Prehľad registrov radiačných incidentov ukázal, že z 31 pacientov, ktorí podstúpili HCT, 27 pacientov zomrelo a zvyšní štyria pacienti prežili s odmietnutým aloštepom.

Vzhľadom na podobnosti medzi pacientmi so syndrómom hematopoetického radiačného poškodenia a pacientmi, ktorí podstupujú transplantáciu krvotvorných buniek napríklad pri liečbe hematologických malignít, platia rovnaké základy podpornej starostlivosti, profylaxie, podpory krvných produktov a manažmentu infekcií.

### **5.17 Gastrointestinálny syndróm**

Prejavy gastrointestinálneho syndrómu v rámci akútneho radiačného syndrómu (GI ARS) sú ovplyvnené povahou a rozsahom expozície a môžu zahŕňať hnačku, kŕče a bolesť brucha, gastrointestinálne krvácanie, život ohrozujúce poruchy elektrolytov a infekcie (Tabuľka 5).

V liečbe je rozhodujúca agresívna tekutinová resuscitácia s častým monitorovaním sérovej biochémie a rovnováhy tekutín a elektrolytov, pretože môžu nastať ich život ohrozujúce poruchy. Ich ďalšie straty v GI trakte je potrebné zvládnuť profylaktickými antiemetikami (napr. ondansetron) a pri silnej hnačke podávať loperamid. Na podporu tkanivového anabolizmu je potrebná konzultácia s gastroenterológom a mala by sa začať parenterálna výživa. Profylaktické antibiotiká (napr. fluorochinolóny) sú indikované už počas prvých dvoch až štyroch dní po ožiarení. Následne sú potrebné ciele antibiotiká, ak sa vyvinie bakteriémia. Napriek týmto opatreniam zostáva ireverzibilný septický šok hlavnou príčinou smrti pri ťažkom priebehu GI ARS.

### **5.18 Cerebrovaskulárny syndróm**

Pacienti vystavení dávkam žiarenia, ktoré sú dostatočne vysoké na to, aby spôsobili závažný (3. až 4. stupeň) cerebrovaskulárny syndróm (v popredí sú zvyčajne poruchy vedomia a záchvaty) majú mimoriadne zlú prognózu. Manažment by sa mal zamerať na zmiernenie symptómov, najmä bolesti hlavy a inej bolesti, delíria, liečbu zvýšeného intrakraniálneho tlaku spôsobeného difúznym edémom mozgu a vyhýbanie sa faktorom, ktoré by mohli zhoršiť neurologický deficit.

### **5.19 Kožný syndróm**

Kožný ARS môžeme pozorovať od prechodného erytému a svrbenia po pľuzgiere, ulceráciu a odlupovanie kože v závislosti od povahy a rozsahu expozície (Tabuľka 2), pričom postihnuté môže byť celé telo alebo jeho niektorá časť. Rozsah kožných poranení by mal byť starostlivo zdokumentovaný aj graficky.

Manažment závisí od závažnosti a rozsahu expozície:

- Menšie poranenie kože liečime ako menšie tepelné popáleniny.
- Pacienti ožiarení dávkou < 5 Gy, majú zvyčajne poškodenie obmedzené na erytém, suchú deskvamáciu, tvorbu vezikúl a vypadávanie vlasov s ekzémovými zmenami, ktoré môžu byť trvalé. Pri väčšom rozsahu je potrebné liečiť poranenie kože v popáleninovom centre a hojenie môže trvať jeden až dva mesiace.
- U pacientov ožiarovaných dávkou  $\geq 5$  Gy, sa môže rozvinúť vlhká deskvamácia spojená s gangrénou a exulceráciou v dôsledku poškodenia krvného zásobenia kože a spojivového

tkaniva. Pacientom s ťažkým alebo rozsiahlym kožným ARS môže starostlivosť najefektívnejšie poskytovať multidisciplinárny tím so zastúpením špecialistov na popáleniny, dermatológov, plastických chirurgov, ortopédov, fyzioterapeutov a psychológov) na špecializovanom oddelení popálenín.

### **5.20 Sledovanie pacientov po ožiarení s radiačným poškodením**

Neexistuje optimálny plán sledovania pre všetkých pacientov po radiačnom poškodení a monitorovanie by malo byť individualizované na základe prejavov a komplikácií radiačného poškodenia a malo by reagovať na obavy jednotlivca. Zatiaľ čo ARS sa zvyčajne vyrieši počas prvých dvoch mesiacov, malo by sa zaviesť monitorovanie dlhodobých následkov vrátane sledovania vzniku malignít.


Obete radiačných nehôd zažívajú veľký psychický stres súvisiaci s vnímaným radiačným poškodením a obavami z budúceho rizika vzniku zhubných nádorov. Všetky obeť, bez ohľadu na stupeň expozície, by mali mať zabezpečenú následnú kontrolu s poskytovateľmi zdravotnej starostlivosti, ktorí môžu riešiť tieto problémy, vrátane psychologickéj podpory a skriningových programov. Deti, ktoré boli vystavené ožiareniu štítnej žľazy, by mali mať pravidelne kontrolovanú štítnu žľazu. Frekvencia a spôsob sledovania ožiarených pacientov závisí od ich odhadovaného rizika a klinických nálezov pri úvodnom hodnotení. Pacienti s expozíciou očí, najmä neutrónovým žiarením, by sa mali pravidelne podrobovať vyšetreniu na rozvoj katarakty.

### **5.21 Pediatrické aspekty**

Prístup k počiatočnému a priebežnému manažmentu detí s radiačným poškodením je podobný ako u dospelých, s niekoľkými významnými výnimkami:

- Vždy, keď je to možné, deti by mali byť počas lekárskej starostlivosti v blízkosti svojho opatrovateľa alebo blízkeho príbuzného, aby im poskytovali istotu a znížili psychický stres.
- Počas dekontaminácie sú deti, najmä dojčatá a deti predškolského veku, náchylné na podchladenie a vyžadujú si časté sledovanie telesnej teploty.
- Na blokovanie inkorporácie rádioaktívneho jódu do štítnej žľazy u novorodencov, dojčiat, starších dojčiat a detí je potrebné špeciálne dávkovanie.
- Vnútorňú dekontamináciu môže byť ťažšie zdokumentovať u dojčiat a detí, pretože je ťažké získať presné 24-hodinové vzorky moču a stolice a pretože zariadenie na detekciu žiarenia musí byť prekalibrované pre menšie telesné rozmery.
- V závislosti od veku môže byť potrebné odobrať dupačky alebo plienky a zmerať ich radiačnú kontamináciu. Môže byť potrebné zavedenie nazogastrickej sondy na výplach čreva, pretože deti pravdepodobne nebudú tolerovať potrebné množstvá roztoku.
- Hodnoty pre klinické rozhodovanie pre použitie blokujúcich alebo chelatačných činidiel iných ako jodid draselný by mali byť znížené na 20 % z hodnôt pre dospelých kvôli zvýšenej rádiosenzitivite dojčiat a detí.


**Tabuľka 7**

 <b>Triedenie ranených pri radiačnej nehode alebo radiačnej havárii</b>			
Skupiny konvenčného triedenia zranených bez radiačnej expozície*	Skupiny triedenia ožiarených pacientov, ktorí utrpeli zranenia (popáleniny úrazy) podľa dávky.		
	< 1,5 Gy	1,5 - 4,5 Gy	4,5 - 10 Gy
Súrny odsun	Súrny odsun	Rôzne	Neodsúva sa
Urgentný odsun	Urgentný odsun	Urgentný odsun	Neodsúva sa
Neurgentný odsun	Neurgentný odsun	Neurgentný odsun	Neurgentný odsun
Neodsúva sa	Neodsúva sa	Neodsúva sa	Neodsúva sa
Chýba určenie	Ambulantne <sup>†</sup>	Podľa potreby <sup>†</sup>	Podľa potreby <sup>†</sup>

\* V tomto stĺpci sú uvedené skupiny konvenčného triedenia zranených pri hromadných haváriách. Kategórie sú definované následne: Súrny odsun (odložená liečba): stabilizované vitálne funkcie pri závažných poraneniach, prežitie je možné pokiaľ nebude poskytnuté celkové ošetrovanie. Urgentný odsun (okamžitá liečba): vysoká pravdepodobnosť prežitia pri závažných zraneniach, len ak je poskytnutá okamžitá liečba a ošetrovanie. Neurgentný odsun (minimálna liečba) stabilizované vitálne funkcie s malými poraneniami. Neodsúva sa (expektácia) závažné poranenia s nízkou pravdepodobnosťou prežitia.

Osoby exponované ožiareniu < 1,5 Gy bez zranení majú byť monitorované ambulantne. Pri expozícii > 1,5 Gy má byť poskytnutá rutinná starostlivosť (cytokíny, antimikrobiálne prípravky, transfúzie, a laboratorné monitorovanie prostredníctvom laboratórnej diagnostiky) a hospitalizácia.

**Tabuľka 8**

 <b>Odporúčania pre liečbu radiačnej expozície</b>			
Faktor	Cytokíny	Antibiotiká	HCT
<b>Menej ako 100 exponovaných obetí</b>			
Zdraví, bez iných zranení	3 - 10*	2 - 10	alog: 7 - 10
			auto: 4 - 10
Viacpočetné zranenia alebo popáleniny	2 - 6	2 - 6	nie
<b>Viac ako 100 exponovaných obetí</b>			
Zdraví, bez iných zranení	3 - 7	2 - 7	alog: 7 to 10
			auto: 4 to 10
Viacpočetné zranenia alebo popáleniny	2 - 6	2 - 6	nie

HCT: transplantácia krvotvorných buniek; alog: alogénna HCT; auto: autológna HCT

\* Tabuľka poskytuje konsenzuálne odporúčanie pre liečbu cytokínmi a antibiotikami a pre zváženie transplantácie krvotvorných buniek podľa expozičnej celotelovej dávky alebo dávky vo významnej časti tela v Gy.

### Literatúra (kapitola 5)

- 5.1 Reeves GI. Radiation injuries. Crit Care Clin 1999; 15:457.
- 5.2 Bentzen SM. Preventing or reducing late side effects of radiation therapy: radiobiology meets molecular pathology. Nat Rev Cancer 2006; 6:702.
- 5.3 Barnett GC, West CM, Dunning AM, et al. Normal tissue reactions to radiotherapy: towards tailoring treatment dose by genotype. Nat Rev Cancer 2009; 9:134.

- 5.4 Mole RH. The LD50 for uniform low LET irradiation of man. Br J Radiol 1984; 57:355.
- 5.5 Rutherford, MW, Seward, JP. Radiation injuries and illnesses in pediatric emergency medicine. Clin Pediatr Emerg Med 2001; 2:141.
- 5.6 Mettler FA, Upton AC. Deterministic effects of ionizing radiation. In: Medical effects of radiation, 3rd edition, Mettler FA, Upton AC (Eds), Saunders Elsevier, Philadelphia 2008.
- 5.7 Dainiak N. Medical management of acute radiation syndrome and associated infections in a high-casualty incident. J Radiat Res 2018; 59:ii54.
- 5.8 Saenger EL. Radiation accidents. Ann Emerg Med 1986; 15:1061.
- 5.9 Singh VK, Seed TM. A review of radiation countermeasures focusing on injury-specific medicinals and regulatory approval status: part I. Radiation sub-syndromes, animal models and FDA-approved countermeasures. Int J Radiat Biol 2017; 93:851.
- 5.10 Vyas DR, Dick RM, Crawford J. Management of radiation accidents and exposures. Pediatr Emerg Care 1994; 10:232.
- 5.11 Mettler FA, Royal HD, Drum DE. Radiation accidents. In: Textbook of Pediatric Emergency Medicine, 5th ed, Fleisher GR, Ludwig S, Henretig FM (Eds), Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2006. p.1033.
- 5.12 Sugarman SL, Findley WM, Toohey RE, Dainiak N. Rapid Response, Dose Assessment, and Clinical Management of a Plutonium-contaminated Puncture Wound. Health Phys 2018; 115:57.
- 5.13 Shannon BE, Jenkins JL, Braen GR. Radiation Injury. In: Manual of Emergency Medicine, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2000. p.435.
- 5.14 Mettler FA Jr, Voelz GL. Major radiation exposure--what to expect and how to respond. N Engl J Med 2002; 346:1554.
- 5.15 Becker SM. Psychosocial assistance after environmental accidents: a policy perspective. Environ Health Perspect 1997; 105 Suppl 6:1557.
- 5.16 Asch SM. Radiation exposure. In: Pediatric Emergency Medicine: Concepts and Clinical Practice, Barkin RM, Caputo GL, Jaffe DM et al (Eds), Mosby, St. Louis 1997. p.522.
- 5.17 Darte JM, Little WM. Management of the acute radiation syndrome. Can Med Assoc J 1967; 96:196.
- 5.18 Linet MS, Kazzi Z, Paulson JA, Pediatric Considerations Before, During, and After Radiological or Nuclear Emergencies. Pediatrics 2018; 142.
- 5.19 Finch SC. Landmark perspective: Acute radiation syndrome. JAMA 1987; 258:664.
- 5.20 Dainiak N, Gent RN, Carr Z, et al. Literature review and global consensus on management of acute radiation syndrome affecting nonhematopoietic organ systems. Disaster Med Public Health Prep 2011; 5:183.
- 5.21 Coeytaux K, Bey E, Christensen D, et al. Reported radiation overexposure accidents worldwide, 1980-2013: a systematic review. PLoS One 2015; 10:e0118709.
- 5.22 Gale RP. Immediate medical consequences of nuclear accidents. Lessons from Chernobyl. JAMA 1987; 258:625.

## **6 Rádioaktívna kontaminácia osôb**

Rádioaktívna kontaminácia osôb je neželaná prítomnosť rádioaktívnych látok emitujúcich ionizujúce žiarenie na povrchu alebo vo vnútri ľudského tela. Rádioaktívna kontaminácia osôb môže byť vonkajšia alebo vnútorná alebo kombinácia týchto dvoch foriem.

K rádioaktívnej kontaminácii osôb dochádza iba prostredníctvom otvorených rádioaktívnych žiaričov. Uzavretý rádioaktívny žiarič, hoci aj pri priamom kontakte s ľudským telom, nespôsobuje rádioaktívnu kontamináciu osoby, iba jej ožiarenie ionizujúcim žiarením (okrem prípadov, kedy je porušená tesnosť uzavretého žiariča a tým sa stáva otvoreným žiaričom).

### **6.1. Vonkajšia rádioaktívna kontaminácia osôb**

O vonkajšej rádioaktívnej kontaminácii osôb hovoríme, ak sa na povrchu ľudského tela alebo na jeho oblečení nachádza rádioaktívny materiál (otvorený rádioaktívny žiarič alebo uzavretý rádioaktívny žiarič, ktorého tesnosť bola porušená – napr. úlomky uzavretého žiariča). Prítomnosť a mieru vonkajšej rádioaktívnej kontaminácie je možné stanoviť priamym meraním pomocou vhodných dozimetrických prístrojov na meranie povrchovej kontaminácie.

Pri poskytovaní zdravotnej starostlivosti osobám s rádioaktívnou kontamináciou je potrebné postupovať tak, aby nedošlo k rozšíreniu rádioaktívnej kontaminácie do okolia. Pri manipulácii s rádioaktívne kontaminovanou osobou a pri jej dekontaminácii je potrebné dodržiavať zásady radiačnej ochrany a používať primerané osobné ochranné prostriedky, aby nedošlo ku kontaminácii kože ošetrojúceho zdravotníckeho personálu, alebo k jeho vnútornej rádioaktívnej kontaminácii.

**Poskytovanie zdravotnej starostlivosti rádioaktívne kontaminovaným pacientom v život ohrozujúcom stave musí byť bezodkladné a je prednejšie ako dekontaminácia týchto pacientov.**



### **6.1.1. Manažment poskytovania zdravotnej starostlivosti rádioaktívne kontaminovaným osobám**

Pri mimoriadnych radičných udalostiach, hlavne v prípadoch, kde bol zasiahnutý veľký počet osôb, je dôležité správne triedenie týchto osôb. Pri prvotnom triedení (na mieste vzniku mimoriadnej radičnej udalosti) platia rovnaké pravidlá ako pri iných mimoriadnych udalostiach ohrozujúcich zdravie a život osôb bez prítomnosti ionizujúceho žiarenia alebo rádioaktívnej kontaminácie. Prvoradé je poskytnutie zdravotnej starostlivosti osobám v kritickom, život ohrozujúcom stave alebo v stave, ktorý vyžaduje ich bezodkladný transport do zdravotníckeho zariadenia. K dekontaminácii týchto pacientov a k zisťovaniu nožnej vnútornej rádioaktívnej kontaminácie pristupujeme až vtedy, keď je ich zdravotný stav stabilizovaný. Dozimetrická kontrola a triedenie ostatných osôb, ktorých zdravotný stav to dovoľuje, musí tiež prebiehať v spolupráci so zdravotníckym personálom.

Osoby zasiahnuté rádioaktívnou kontamináciou sa zo zdravotného hľadiska triedia na tri skupiny:

- **osoby bez zranenia a bez akýchkoľvek zdravotných príznakov,**
- **osoby bez zranenia, ale so zdravotnými príznakmi** (v dôsledku možného vonkajšieho ožiarenia celého tela alebo časti tela týchto osôb alebo v dôsledku vnútornej rádioaktívnej kontaminácie),
- **osoby so zranením a bez zdravotných príznakov alebo so zdravotnými príznakmi** (v dôsledku možného vonkajšieho ožiarenia celého tela alebo časti tela týchto osôb alebo v dôsledku vnútornej rádioaktívnej kontaminácie).

Na základe dozimetrickej kontroly a úrovne rádioaktívnej kontaminácie sa vyššie uvedené skupiny osôb triedia na osoby:

- osoby bez vonkajšej rádioaktívnej kontaminácie,
- osoby s vonkajšou rádioaktívnou kontamináciou s možnosťou vylúčenia vnútornej rádioaktívnej kontaminácie,
- osoby s vonkajšou rádioaktívnou kontamináciou a s pravdepodobnou vnútornou kontamináciou alebo bez možnosti vylúčenia vnútornej rádioaktívnej kontaminácie.

Pri rádioaktívnej kontaminácii tváre osôb alebo otvorených rán je potrebné vždy uvažovať o možnosti vnútornej rádioaktívnej kontaminácie týchto osôb, až kým sa nepreukáže opak.

V prípade zistenia rádioaktívnej kontaminácie osôb je potrebné čo najskôr zbaviť tieto osoby oblečenia a v prípade vysokej miery rádioaktívnej kontaminácie kože je potrebné ich aj dekontaminovať a osprchovať. Spôsob vyzliekania rádioaktívne kontaminovaných osôb a odborný postup dekontaminácie kože sú detailne popísané v častiach 6.1.2., 6.1.3., 6.1.7. a 6.1.8.

Zbavenie kontaminovanej osoby odevu správnym spôsobom zníži kontamináciu až o 90 %. Platí zásada, že je potrebné najprv vyzliekať najviac kontaminované časti odevu (napr. topánky, rukavice) a potom menej kontaminované časti.

Pri zbavení kontaminovaných osôb odevu je potrebné vždy (ak je to možné) odložiť kontaminované oblečenie do samostatného igelitového vreca zvlášť od každej kontaminovanej osoby a následne vrece uzavrieť a označiť menom osoby. Rovnako je potrebné postupovať aj v prípade tampónov a utierok, ktoré použijeme pri dekontaminácii týchto osôb. Uvedený postup je dôležitý z dôvodu následných dozimetrických meraní, pri ktorých fyzik stanoví mieru celkového ožiarenia rádioaktívne kontaminovaných a ožiarovaných osôb. Fyzik tiež zisťuje konkrétne rádionuklidy, ktoré spôsobili rádioaktívnu kontamináciu.

Ak zdravotný stav pacienta s podozrením na vnútornú kontamináciu dovoľuje odoberanie biologických vzoriek (krv, moč, stolica, hlieny z ústnej dutiny, atď.), vzorky sa odoberú spôsobom bližšie popisovaným v časti 6.2.4. Uvedené biologické vzorky sa využijú na diagnostiku vnútornej kontaminácie pacientov.

Dekontamináciu časti tela pacienta vykonáme v nasledovnom poradí:

- rany,
- telesné otvory,
- oblasti pokožky s vysokou úrovňou kontaminácie,
- oblasti pokožky s nižšou úrovňou kontaminácie.

### **6.1.2. Postup pri vyzliekaní rádioaktívne kontaminovaných osôb**

Pri vyzliekaní rádioaktívne kontaminovaných osôb je potrebné dávať pozor, aby kontaminovaná strana oblečenia neprišla do kontaktu s kožou pacienta. Osoby, ktoré nie sú zranené, je vhodnejšie vyzliekať po stojačky. Pri vyzliekaní rádioaktívne kontaminovanej osoby je vždy potrebné voliť optimálne riešenie v danej situácii, v závislosti od typu oblečenia. Je nutné zvážiť, kedy je vyššia miera rizika kontaminácie kože pacienta – či v prípade, ak sa oblečenie vyzlieka alebo ak sa strihá;. V prípade raneného a ležiaceho pacienta sa oblečenie odstraňuje vždy strihaním (od tváre smerom k nohám). Pod ležiacim pacientom sú vždy dve plachty; vrchná – skontaminovaná od oblečenia pacienta sa odstráni spolu s oblečením, spodná – čistá ostáva pod vyzlečeným pacientom.

Pri zbavení kontaminovaných osôb odevu je potrebné vždy zakryť dýchacie cesty pacienta respirátorom a tvárovým štítom podľa obrázku č. 4 v kapitole č. 6.1.3. Takýmto spôsobom znižujeme riziko a mieru vnútornej rádioaktívnej kontaminácie pacienta.

Odstránené kontaminované oblečenie pacienta vložíme do igelitového vreca označeného menom konkrétneho pacienta, vrece uzavrieme a odložíme pre potreby následných dozimetrických meraní. Osobné veci pacienta môžu byť tiež skontaminované.

### 6.1.3. Postup zbavenia sa kontaminovaných častí odevu u postihnutých osôb



**Obrázok 1**  
*Anamnéza a kontrola kontaminácie pacienta*



**Obrázok 2**  
*Spôsob zábrany vnútornej kontaminácie u pacienta*



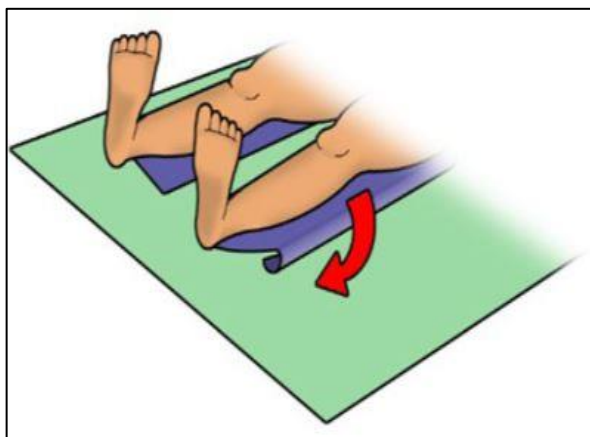
**Obrázok 3**  
*Odstránenie kontaminovanej obuvi*



**Obrázok 4**  
*Strihanie oblečenia od tváre smerom nadol*



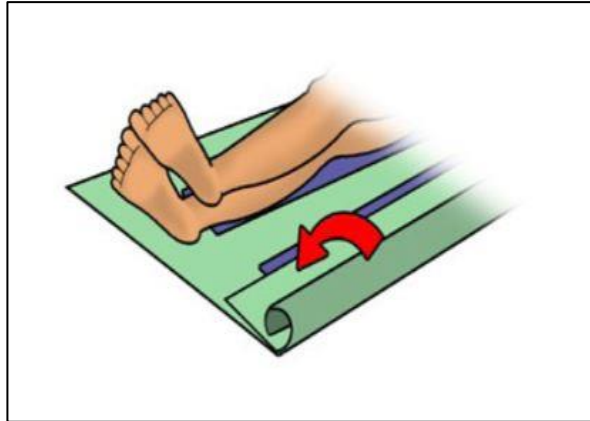
**Obrázok 5**  
*Pozor na kontamináciu kože od oblečenia*



**Obrázok 6**  
*Rolovanie kontaminovaného odevu k vrchnej plachte*



**Obrázok 7**  
*Odstránenie vrchnej plachty  
 Spodná plachta ostáva čistá*



**Obrázok 8**  
*Pozor na kontamináciu kože od vrchnej plachty  
 Rolovanie plachty pri pootočení pacienta*



**Obrázok 9**  
*Kontrola rádioaktívnej kontaminácie pacienta*



**Obrázok 10**  
*Vloženie vyzlečených vecí od pacienta do  
 označeného vreca*

#### **6.1.4. Dekontaminácia rán**

Pri mimoriadnych radiačných udalostiach, kedy došlo k vonkajšej rádioaktívnej kontaminácii osôb, je potrebné každú otvorenú ranu považovať za rádioaktívne kontaminovanú, kým sa nepreukáže opak. Kontaminovanú ranu je potrebné dekontaminovať, ak je to možné. Dekontaminácia rany sa uskutoční ešte pred dekontamináciou ostatných častí tela, s cieľom znížiť riziko a mieru vnútornej kontaminácie pacienta cez otvorenú ranu. Pri každej rádioaktívne skontaminovanej otvorenej rane musíme počítať s možnou vnútornou kontamináciou pacienta, až kým sa nepreukáže opak a postupujeme v zmysle kapitoly č. 6.2. Pri dekontaminácii rany postupujeme nasledovne (viď aj obrazovo dokumentovaný postup v kapitole č. 6.1.5.):

- Z rany odstránime kontaminované obvazy a vykonáme dozimetrické meranie rany.
- Ranu dekontaminujeme jemným výplachom vodou alebo fyziologickým roztokom. Zvyčajne je potrebných niekoľko výplachov. Po každom výplachu ranu starostlivo sledujeme.
- Ak sa v rane nájdu kusy kovu alebo úlomky obsahujúce rádioaktívne materiály, je potrebné ich odstrániť pomocou klieští a uchovať pre potreby dozimetrickej analýzy.
- Ak opakovaná dekontaminácia rany je neúspešná a pretrváva rádioaktívna kontaminácia rany rádionuklidmi s dlhým polčasom premeny a s vysokou rádiotoxicitou je potrebné zvážiť excíziu rany. Pred excíziou rany je potrebné sa poradiť s klinickým fyzikom. Odstránené tkanivo sa ponechá pre potreby dozimetrickej analýzy.



### 6.1.5. Postup dekontaminácie otvorenej rany



**Obrázok 11**  
*Odstránenie kontaminovaného obväzu z rany*



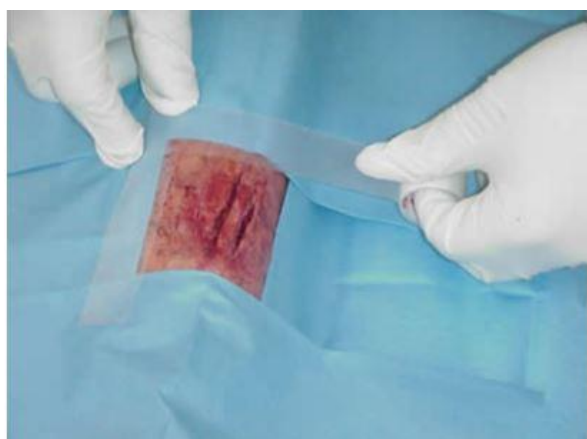
**Obrázok 12**  
*Uloženie obväzov pre dozimetrickú analýzu do vreca*



**Obrázok 13**  
*Kontrola kontaminácie rany*



**Obrázok 14**  
*Prekrytie kože okolo rany*



**Obrázok 15**  
*Fixácia prekrytia rany*



**Obrázok 16**  
*Priprava zbernej nádoby na záchyt vody pri výplachu rany*



**Obrázok 17**  
*Výplach rany fyziologickým roztokom*



**Obrázok 18**  
*Jemné osušenie rany*



**Obrázok 19**  
*Kontrola kontaminácie rany*




**Obrázok 20**  
*Prekrytie rany čistým obväzom*

### 6.1.6. Dekontaminácia otvorov na tvári

Rádioaktívna kontaminácia otvorov na tvári pacienta, ako sú ústa, nos, oči a uši, si vyžaduje osobitnú pozornosť, nakoľko v tomto prípade je veľmi vysoká pravdepodobnosť vnútornej kontaminácie.

Pri dekontaminácii otvorov na tvári pacienta postupujeme v zmysle Tabuľky 9.

Tabuľka 9

 <b>Postup dekontaminácie otvorov na tvári pacienta [2]</b>			
<b>Kontaminovaná oblasť</b>	<b>Spôsob dekontaminácie</b>	<b>Postup pri dekontaminácii</b>	<b>Poznámky</b>
Oči	Vyplachovanie vodou alebo fyziologickým roztokom	Spodný okraj dolného viečka odtiahnuť prstom nadol, pohľad pacienta smeruje nahor, vyplachovať oko nasmerovaním prúdu vody smerom od vnútorného kútika oka k vonkajšiemu kútiku (vyhýbať sa kontaminácii nazolakrimálneho vývodu pri vnútornom kútiku oka).	V ideálnom prípade vykonáva vyškolený personál.
Uši	Vyplachovanie	Opláchnuť vonkajšiu časť ucha, vyčistiť otvor ušného kanálika vatovými tampónmi. Na vypláchnutie zvukovodu použiť ušnú striekačku.	Dávať pozor, aby sa nepoškodil ušný bubienok.
Ústa	Vyplachovanie	Vyčistiť zuby zubnou pastou a opakovane vyplachovať ústa vodou.	Ak je kontaminovaná aj oblasť hltanu, klokať s 3 % roztokom peroxidu vodíka; neprehĺtať.
Nos	Vyplachovanie	Pacient sa vysmrká, následne nos vytrieť papierovou vreckovkou. V prípade potreby nos aj vypláchnuť vodou.	Pri vyplachovaní dávať pozor, aby sa voda nedostala do úst.

### 6.1.7. Dekontaminácia neporušenej kože

Pri dekontaminácii kože sa používa vlažná až mierne teplá voda, nikdy nie studená alebo horúca. Studená voda má tendenciu uzatvárať póry a tým zachytávať rádioaktívnu kontamináciu v koži. Naopak, horúca voda spôsobuje vazodilatáciu, otvára póry a zvyšuje šancu na vstrebávanie rádioaktívneho materiálu cez kožu.

#### Postup dekontaminácie rádioaktívne skontaminovanej kože:

- ak je kontaminácia kože spôsobená malou bodovou vysokoaktívnou mechanickou časticou môže byť potrebné odstránenie chirurgickým zákrokom,
- ak je skontaminovaná len malá časť kože, vyznačiť miesto kontaminácie na koži, okolie zasiahnutej kože zakryť a pomocou navlhčených tampónov dekontaminovať len kontaminovanú časť kože (tampóny uchovať pre dozimetrickú kontrolu); kožu umývať

od okrajov kontaminácie smerom k stredu a nerozširovať kontamináciu na okolité čisté časti kože (viď obrazovú dokumentáciu v kapitole 6.1.8),

- pri kontaminácii väčšej plochy kože, navlhčiť kožu a použiť mydlo (s neutrálnym pH alebo chirurgické peelingové mydlo), dobre namydliť a udržiavať vlhkú penu, preniesť penu na kontaminované miesto a v priebehu 3 – 4 minút jemne trieť, vyhnúť sa agresívnemu treniu kože,
- 2 až 3 krát opláchnuť miesto vlažnou vodou,
- zasiahnuté miesto jemne utrieť,
- opakovať postup viackrát, ak je to potrebné, až kým rádioaktívna kontaminácia nepoklesne na hodnotu prírodného radiačného pozadia (prírodné radiačné pozadie na konkrétnom dozimetrickom prístroji zistíme zmeraním plošnej aktivity neskontaminovaného povrchu akéhokoľvek predmetu) alebo dovtedy, kedy opakovaná dekontaminácia už nevedie k poklesu miery rádioaktívnej kontaminácie kože,
- po každom cykle dekontaminácie skontrolovať kontamináciu kože vhodným dozimetrickým prístrojom,
- prerušiť dekontamináciu, keď sa na koži objaví podráždenie,
- ak je zasiahnutá koža popraskaná, po dekontaminácii ošetriť vhodným prostriedkom (krém, dezinfekčný prostriedok).

Rádioaktívne skontaminovanú kožu nie je vždy možné dekontaminovať na úroveň prírodného radiačného pozadia; v určitých prípadoch rádioaktívna kontaminácia môže byť fixovaná na povrchu kože. V takýchto prípadoch je vhodné skontaminovanú časť kože zakryť napr. obväzom alebo na ruky natiahnuť gumené rukavice (ak sa jedná o kontamináciu rúk) a po spotení kože hore popisovaný dekontaminačný proces zopakovať.

V prípade, ak je rádioaktívna kontaminácia kože pacientov vysoká alebo je zasiahnutá veľká časť kože a pacienti nie sú zranení alebo ich zranenie umožňuje sprchovanie, je potrebné týchto pacientov osprchovať alebo im poskytnúť inštrukcie k správne sprchovaniu a asistovať im tak, aby dekontaminácia ich kože a vlasatej časti hlavy bola čo najúčinnějšía a nevedla k vnútornej kontaminácii týchto pacientov – voda sa nesmie dostať do ústnej a nosovej dutiny, do očí a uší pacienta.

#### **Postup pri sprchovaní pacienta s rádioaktívnou kontamináciou kože:**

- opláchnuť najviac zamorené časti tela (väčšinou ruky a predlaktia) vlažnou až s mierne teplou vodou s použitím jemného saponátu, šampónu alebo mydla (s neutrálnym pH),
- kožu nedrhnuť, použiť tampóny (následne ich uchovať pre dozimetrickú kontrolu), prekrvenie kože môže zvýšiť prestup rádioaktívnych látok do tela,
- utrieť kožu jednorazovým uterákom alebo osušiť teplým vzduchom, vykonať dozimetrickú kontrolu,
- celý postup opakovať viackrát, ak je to potrebné,
- vlasatú časť hlavy (ak sú vlasy skontaminované) umyť šampónom, ostrihať vlasy iba v nevyhnutných prípadoch, skontaminovanú bradu oholiť,
- nechty (v prípade kontaminácie) šetrne ostrihať, resp. povrch nechtov oškrabať,
- v prípade fixovanej rádioaktívnej kontaminácie môžeme opatrne obrúsiť zhrubnutú kožu na dlaniach a chodidlách,
- pri lokálnej kontaminácii kože môžeme kožu zbavenú ochlpenia prelepiť leukoplastom a po niekoľkých hodinách leukoplast odlepiť, tým sa odstráni aj časť zvyškovej kontaminácie.



### 6.1.8. Postup dekontaminácie izolovaného miesta kože



**Obrázok 21**  
*Kontrola kontaminácie kože*



**Obrázok 22**  
*Vyznačenie kontaminovaného miesta*



**Obrázok 23**  
*Zakrytie kože okolo kontaminovaného miesta*



**Obrázok 24**  
*Smer dekontaminácie*



**Obrázok 25**  
*Dekontaminácia kože zvlhčenými tampónmi*

## 6.2. Vnútorná rádioaktívna kontaminácia

O vnútornej rádioaktívnej kontaminácii hovoríme, ak sa do tela človeka rôznymi cestami dostane neželaná rádioaktívna látka. Existuje niekoľko rôznych ciest vnútornej kontaminácie osôb, ktoré sú nasledovné:

- inhalácia rádioaktívnych častíc alebo plynov,
- ingescia (požitie) rádioaktívnych látok – rádioaktívneho prachu, skontaminovanej vody alebo inej tekutiny a potravín,
- absorpcia rádioaktívnych látok cez otvorené rany,
- absorpcia rádioaktívnych látok cez neporušenú kožu,
- aplikácia rádioaktívnych látok do tela injekciou.

Rádioaktívny materiál v tele kontaminovanej osoby prechádza radom rôznych fyziologických procesov, zadržáva sa v jednotlivých orgánoch a tkanivách, čiastočne alebo úplne sa z nich uvoľňuje, pričom spôsobuje ožiarenie zasiahnutých orgánov a tkanív. Miera ožiarenia orgánov a tkanív je tým vyššia, čím dlhšie sa rádionuklidy nachádzajú v tele kontaminovanej osoby. Rýchlosť uvoľnenia rádioaktívnych látok z tela zasiahnutej osoby závisí od efektívneho polčasu premeny konkrétneho rádionuklidu, ktorý je kombináciou fyzikálneho a biologického polčasu premeny. Fyzikálny polčas premeny je fixný a charakteristický pre konkrétny rádionuklid, nie je možné ho ničím ovplyvniť. Biologický polčas premeny závisí od rôznych faktorov, napr. od fyzikálnej a chemickej formy rádioaktívneho kontaminantu, od cesty jeho príjmu, atď.; a je možné ho skrátiť spôsobmi popisovanými v časti 6.2.4. Liečbu vnútornej kontaminácie pacientov je potrebné zahájiť bezodkladne, aby bola čo najúčinnjšia. Platí však rovnaké pravidlo, ako v prípade vonkajšej rádioaktívnej kontaminácie osôb, t. j. poskytnutie urgentnej zdravotnej starostlivosti pacientom v život ohrozujúcom stave má prednosť pred diagnostikou a liečbou vnútornej rádioaktívnej kontaminácie.

Vnútorná kontaminácia rádionuklidmi obvykle nespôsobuje bezprostredné klinické príznaky u pacienta, diagnostikovanie vnútornej kontaminácie je komplikovanejšie ako zistenie prítomnosti vonkajšej rádioaktívnej kontaminácie osôb. Na zistenie a stanovenie miery vnútornej kontaminácie sa vykoná meranie povrchovej kontaminácie tampónov a vreckoviek, ktorými bola vytretá ústna a nosná dutina a odoberajú sa biologické vzorky pacienta (krv, moč, stolica), ktoré sú dozimetricky analyzované. Pacienti s vnútornou kontamináciou väčšinou nepredstavujú priame nebezpečenstvo pre iné osoby, pokiaľ sa nejedná o vnútornú kontamináciu s rádionuklidmi emitujúcimi gama žiarenie s vysokou aktivitou. V takom prípade zdravotnícky personál a iné osoby v okolí pacienta môžu byť vystavení vonkajšiemu ožiareniu v dôsledku vnútornej kontaminácie pacienta. Pri vnútornej kontaminácii však treba pamätať na to, že biologické výlučky pacienta môžu byť a väčšinou aj sú rádioaktívne skontaminované a je potrebné zabrániť priamemu kontaktu zdravotníckeho personálu s týmito výlučkami.

Na zistenie a stanovenie miery vnútornej kontaminácie sa vykonávajú merania aktivity rádionuklidov v tele pacienta pomocou celotelového počítača alebo merania aktivity vo vybraných orgánoch, napr. štítnej žľazy alebo pľúcach. Na zistenie vnútornej kontaminácie osôb sa môže použiť aj gamakamera (SPECT zariadenie) používaná na pracoviskách nukleárnej medicíny.

### 6.2.1. Fázy vnútornej rádioaktívnej kontaminácie

Vnútorná kontaminácia má štyri fázy [6.3]:

1. Vstup rádionuklidov do organizmu - proces vniknutia rádionuklidov do ľudského organizmu inhaláciou, ingesciou, cez otvorené rany alebo cez neporušenú kožu.
2. Resorpcia rádionuklidov do systémového obehu -

proces, ktorým sa rádionuklidy resorbujú do telesných tekutín z dýchacieho alebo gastrointestinálneho traktu alebo priamo cez kožu a otvorené rany.

3. Internalizácia rádionuklidov do buniek cieľového tkaniva alebo orgánu - proces vniknutia rádionuklidov do buniek cieľového orgánu alebo tkaniva a ich nahromadenia v týchto orgánoch a tkanivách; napr. akumulácia rádiojódu v štítnej žľaze.
4. Vylučovanie rádioaktívnych látok z tela - proces uvoľnenia rádioaktívnych látok z tela pacienta prirodzenou cestou alebo pomocou liečby rôznymi rádioprotektívnymi látkami špecifikovanými v časti 6.2.4.

### **6.2.2. Zdravotné riziká vnútornej rádioaktívnej kontaminácie osôb**

Zdravotné riziká vyplývajúce z vnútornej rádioaktívnej kontaminácie závisia od nasledujúcich faktorov [6.3]:

- množstvo rádioaktívneho materiálu (aktivita rádionuklidov), ktorý vstupuje do tela,
- chemická forma rádioaktívneho materiálu (ovplyvňuje rozpustnosť a tým príjem),
- druh ionizujúceho žiarenia emitovaného rádionuklidom a polčas premeny predmetného rádionuklidu (alfa žiariče majú väčšiu rádiotoxicitu pri vnútornej kontaminácii),
- rádiosenzitivita cieľového orgánu alebo tkaniva, v ktorom sa rádionuklid ukladá,
- vek pacienta (mladšie osoby sú citlivejšie na ožiarenie z dôvodu fyziologicky vyššej proliferácie buniek), a zároveň je očakávaná dĺžka ich života dlhšia ako v prípade starších osôb, a tým je v ich prípade aj vyššia pravdepodobnosť vzniku nádorových ochorení),
- prítomnosť rôznych patofyziologických faktorov, ktoré sťažujú vylučovanie (ako napr. zlyhanie obličiek),
- cesta kontaminácie (kontaminácia rozpustnými látkami cez otvorené rany môže viesť k vstupovaniu rádioaktívnych látok priamo do systémového obehu).

Vnútoraná rádioaktívna kontaminácia môže viesť hlavne k vzniku stochastických (náhodných neskorých) biologických účinkov ionizujúceho žiarenia, ako sú napr. nádorové ochorenia.


V ojedinelých prípadoch vnútoraná rádioaktívna kontaminácia môže spôsobiť akútnu chorobu z ožiarenia (ak nastane kontaminácia veľkým množstvom rádionuklidov s vysokou rádiotoxicitou, napr.  $^{210}\text{Po}$ ).

### **6.2.3. Diagnostika a hodnotenie vnútornej rádioaktívnej kontaminácie osôb**

Po prvotnom triedení zasiahnutých osôb pri mimoriadnych radiačných udalostiach u nasledovných osôb je možné predpokladať vnútornú rádioaktívnu kontamináciu:

- osoby, ktoré sa bez zakrytia dýchacích ciest nachádzali na mieste alebo v blízkosti miesta, kde došlo k mimoriadnej radiačnej udalosti, pri ktorej unikli rôzne rádionuklidy do ovzdušia,
- osoby, u ktorých bola zistená rádioaktívna kontaminácia v oblasti tváre, hlavne v okolí ústnej a nosovej dutiny alebo v okolí uší, pričom výtery z nosovej a ústnej dutiny alebo z uší boli skontaminované,
- rádioaktívne skontaminované osoby s otvorenou ranou,
- osoby, u ktorých po vonkajšej dekontaminácii je stále merateľná kontaminácia aj v oblasti podpazušia – v prípade rádionuklidov emitujúcich gama žiarenie je ťažké odlíšiť vonkajšiu kontamináciu od vnútornej kontaminácie; v prípade merateľnej kontaminácie v oblasti podpazušia osôb je potrebné počítať aj s vnútornou kontamináciou., Ak je dávkový príkon v podpazuší vyšší ako prírodné radiačné pozadie, pravdepodobne ide o vnútornú kontamináciu! (Pozor na možnú povrchovú kontamináciu). Vzťah medzi nameraným dávkovým príkonom v podpazuší a veľkosťou vnútornej kontaminácie a prijatými opatreniami uvádzame v tab. č. 10.

Tabuľka 10

 <b>Vzťah medzi nameraným dávkovým príkonom v podpazuší a veľkosťou vnútornej kontaminácie a prijatými opatreniami (od rádionuklidu <math>^{137}\text{Cs}</math>) [6.1]</b>		
Dávkový príkon v podpazuší ( $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ )	Aktivita v organizme (MBq)	Násobky ročného limitu príjmu (ALI)
1	0,370	0,2*ALI
2	0,740	0,4*ALI
3	1,110	0,6*ALI
4	1,480	0,8*ALI
5	1,850	0,9*ALI
10	3,700	2,0*ALI

Osobám, u ktorých je predpoklad vnútornej rádioaktívnej kontaminácie sa poskytuje zdravotná starostlivosť v ideálnom prípade na pracoviskách nukleárnej medicíny. Nukleárna medicína je špecializovaný lekársky odbor, ktorý využíva na diagnostiku a liečbu otvorené rádioaktívne žiariče vo forme rádiofarmák, ktoré sa podávajú pacientom obvykle vnútrožilne. Na týchto pracoviskách má zdravotnícky personál skúsenosti nielen s aplikáciou otvorených rádioaktívnych žiaričov pacientom, ale je vyškolený aj na prácu a kontakt s rádioaktívne kontaminovanými pacientmi, na manipuláciu s kontaminovanými biologickými výlučkami a s rádioaktívnym odpadom.

Kontrolu vnútornej kontaminácie pacientov a stanovenie miery kontaminácie je možné uskutočniť:

- meraním pacientov pomocou celotelového počítacza,
- vyšetrením pacientov na gamakamere (pracovisko nukleárnej medicíny),
- vyšetrením akumulácie rádiojódu v štítnej žľaze pacienta pomocou detekčného zariadenia používaného na pracoviskách nukleárnej medicíny,
- spektrometrickou analýzou biologických vzoriek od pacientov.

#### 6.2.4. Spôsob odberu biologických vzoriek od pacienta

V prípade mimoriadnych radiačných udalostí, pri ktorých mohlo dôjsť k vnútornej kontaminácii osôb, je dôležitý odber biologických vzoriek na potvrdenie a stanovenie miery vnútornej kontaminácie týchto pacientov. Pri odbere biologických vzoriek je potrebné postupovať nižšie popisovaným spôsobom a odobraté vzorky označiť menom pacienta, dátumom a presným časom odberu.

Pokyny na odber krvi:

- prvú vzorku krvi štandardným spôsobom odobrať čo najskôr po mimoriadnej radiačnej udalosti,
- pozor na druhotnú kontamináciu vzorky krvi od kože pacienta,
- odber krvi zopakovať v intervaloch denne, prípadne podľa potreby
- vzorky krvi odložiť pre potreby dozimetrickej analýzy.

Pokyny na výter z nosovej a ústnej dutiny pacienta:

- výtery z nosovej a ústnej dutiny pacienta uskutočniť ešte pred dekontamináciou dutín,
- pacient sa vysmrká alebo sa vykoná výter z nosa (z každej nosovej dierky zvlášť),

- odoberú sa vykašľané hlieny alebo sa uskutoční výter z ústnej dutiny,
- pozor na druhotnú kontamináciu odobratej vzorky od kože pacienta,
- prvotná rýchla kontrola vnútornej kontaminácie pacienta sa uskutoční zmeraním kontaminácie odobratých vzoriek pomocou meradla povrchovej kontaminácie; nezistenie zvýšených hodnôt príkonu dávkového ekvivalentu nad vzorkou alebo povrchovej kontaminácie tampónu so vzorkou nevyklučuje vnútornú kontamináciu pacienta,
- odobraté vzorky sú odložené pre potreby ďalšej dozimetrickej analýzy,
- celkový príjem rádionuklidov pacientom predstavuje približne 5 až 10 násobok aktivity vzorky sekréty z nosa.

#### Pokyny na zber moču:

- prvá vzorka sa odoberie čo najrýchlejšie po mimoriadnej radiačnej udalosti tak, aby nedošlo k druhotnej kontaminácii vzorky – napr. použiť gumené rukavice pri vymočení, množstvo vzorky moču je minimálne 100 ml,
- moč sa zbiera do polyetylénových nádob,
- do každej nádoby najprv naliať 10 ml HCl v koncentrácii 1 mol.l<sup>-1</sup>, aby nedošlo k sorpcii kontaminantov na stenu nádoby,
- každá nádoba sa označí zreteľne menom pacienta, dátumom a hodinou odberu,
- v zbere sa pokračuje minimálne prvých 24 hodín po nehode,
- vzorky moču sa odložia pre potreby dozimetrickej analýzy.

#### Pokyny na zber stolice:

- zber stolice je v prípade kontaminácie nerozpustných rádionuklidov emitujúcich  $\alpha$  častice jediným zdrojom informácie o závažnosti vnútornej kontaminácie,
- preto je potrebný zber stolice 72 až 96 hodín po nehode,
- je dôležitý úplný zber stolice,
- nádoby so stolicou (každá dávka zvlášť) sa označia menom pacienta, dátumom a hodinou vyprázdenia,
- vzorky stolice sa odložia pre potreby dozimetrickej analýzy.

Analýzu a hodnotenie biologických vzoriek vykoná pracovník radiačnej ochrany alebo fyzik. Ošetrojúci lekár (ideálne lekár nukleárnej medicíny) následne rozhoduje o spôsobe a dĺžke trvania liečby pacienta s vnútornou rádioaktívnou kontamináciou. Liečba je tým účinnejšia, čím skôr sa zahájí.

### **6.2.5. Liečba vnútornej rádioaktívnej kontaminácie osôb**

O zahájení liečby pacientov s potvrdenou alebo pravdepodobnou vnútornou rádioaktívnou kontamináciou rozhoduje lekár (v ideálnom prípade lekár nukleárnej medicíny) po konzultácii s fyzikmi, prípadne inými odborníkmi. Liečbu vnútornej kontaminácie je potrebné začať čo najskôr, aby bola účinná. Nie vždy sú však k dispozícii okamžité výsledky dozimetrickej analýzy biologických vzoriek, preto pri rozhodovaní o začatí liečby a jej spôsobe vychádza lekár z nasledovných informácií:

- popis mimoriadnej radiačnej udalosti, čas jej vzniku, možné rádionuklidy, ktoré mohli viesť k vnútornej kontaminácii, predbežný odhad dávky pacienta,
- cesta vnútornej kontaminácie (najhorší prípad je kontaminácia cez otvorenú ranu),
- rozpustnosť kontaminantu (ak je známy),
- rádiotoxicita kontaminantu (ak je známy),
- vek pacienta a jeho klinický stav (napr. funkcia obličiek, pečene, možné tehotenstvo),
- toxicita rádioprotektívnych látok, ktoré by sa v danom prípade mali použiť,
- prvotná dozimetrická analýza biologických vzoriek (výter z nosovej a ústnej dutiny),
- miera kontaminácie otvorenej rany.

U každého pacienta, u ktorého sa prejavili deterministické (prahové) biologické účinky ionizujúceho žiarenia v dôsledku vnútornej kontaminácie alebo sa potvrdil vyšší úväzok efektívnej dávky u pacienta, je výrazne vyššia pravdepodobnosť vzniku stochastických (náhodných, neskorých) biologických účinkov ionizujúceho žiarenia. Je preto potrebné včas začať primeranú špecializovanú liečbu vnútornej kontaminácie. Určití pacienti s nízkou hodnotou úväzku efektívnej dávky nemusia vyžadovať žiadnu liečbu vnútornej kontaminácie. Sú však prípady, kedy aj nízky príjem určitých rádionuklidov predstavuje vážne zdravotné riziká, napr. príjem rádionuklidov s vysokou rádiotoxicitou, ako sú napr.  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{210}\text{Po}$ , atď. V takýchto prípadoch bezodkladná liečba vnútornej kontaminácie je veľmi dôležitá a potrebná. Keďže každá liečba môže mať vedľajšie účinky, pred začatím liečby vnútornej kontaminácie je potrebné analyzovať prínos a riziká danej liečby.

V prípade požitia (ingescie) rádionuklidov trvá určitú dobu kým sa rádionuklidy z gastrointestinálneho traktu dostanú do krvného obehu. Podaním liekov ako napr. alginátov, síranu bárnateho a zlúčenín obsahujúcich hliník, ktoré majú schopnosť viazať určité chemické prvky (napr. stroncium), môžeme výrazne znížiť úväzok efektívnej dávky vnútorne skontaminovaného pacienta.


Ciele liečby vnútornej rádioaktívnej kontaminácie sú nasledovné:

- úplne zabrániť alebo znížiť pravdepodobnosť prechodu rádionuklidov do krvného obehu a ich uloženia v cieľových orgánoch a tkanivách,
- maximálne možne urýchliť vylučovanie rádionuklidov z tela pacienta,
- minimalizovať absorbovanú dávku pacienta čo najúčinnejšou metódou.

Primárnym cieľom liečby vnútornej rádioaktívnej kontaminácie pacientov je znížiť riziko stochastických biologických účinkov ionizujúceho žiarenia (ako sú napr. nádorové ochorenia).

Postupy a metódy vnútornej rádioaktívnej kontaminácie vo všeobecnosti zaraďujeme do kategórií uvedených v Tabuľke 11.

**Tabuľka 11**


 <b>Liečebné postupy a metódy vnútornej rádioaktívnej kontaminácie [2]</b>	
<b>Nešpecifické liečebné postupy</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• sú orientované na redukcii alebo zabránenie príjmu rádionuklidu z gastrointestinálneho traktu, napr. žalúdočné výplachy, podávanie emetík a laxatív, alkalizácia žalúdka a výplach rán</li> <li>• liečba je najúčinnejšia, ak sa začne počas prvej hodiny po požití rádionuklidu</li> <li>• v mnohých prípadoch výplach žalúdka a použitie laxatív alebo emetík nie je možné alebo môžu byť dokonca kontraindikované z klinických alebo toxikologických dôvodov</li> </ul>	
<b>Špecifické liečebné postupy</b>	
Blokovanie orgánov	<ul style="list-style-type: none"> <li>• určité lieky znižujú príjem konkrétneho rádionuklidu v tele saturáciou tkanív a orgánov a metabolických procesov pomocou stabilných izotop daného prvku (identický nerádioaktívny prvok)</li> <li>• najznámejším blokujúcim liekom je jodid draselný (KI), ktorý sa používa na prevenciu alebo liečbu kontaminácie rádioaktívnym jódom</li> <li>• ak sa podáva okamžite po vzniku mimoriadnej radiačnej udalosti, KI nasýti štítnu žľazu nerádioaktívnym jódom, takže vdychnutý alebo požitý izotop rádioaktívneho jódu sa vylúči z tela miesto toho, aby sa zachytil v štítnej žľaze</li> <li>• KI je najúčinnejší ak sa podá 1 až 6 hodín pred vznikom vnútornej kontaminácie (účinnosť skoro 100 %), ak sa KI podá už po príjmu rádioaktívneho jódu, účinnosť profylaxie sa znižuje a klesne na cca 50 % pri podaní profylaxie 6 hodín od príjmu kontaminantov</li> </ul>



Izotopové riedenie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• izotopové riedenie pozostáva z podávania veľkého množstva stabilného izotopu na urýchlenie procesu eliminácie rádionuklidu</li> <li>• napr. kontamináciu trícium možno liečiť núteným príjmom tekutín; zvyšovaním príjmu tekutín (napr. voda, čaj, mlieko) sa zvyšuje vylučovanie a skrúti sa čas zotrvania trícia v tele</li> </ul>
Vytlačenie rádionuklidu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vytlačenie rádionuklidu funguje na podobnom princípe ako blokovanie orgánov alebo izotopové riedenie, ale v tomto prípade sa používa nerádioaktívny prvok s iným atómovým číslom, ktorý súťaží o miesta vychytávania a vytláča rádioizotop z receptora</li> <li>• príkladom je glukonát vápenatý, ktorý vytlačí rádioaktívne stroncium, a následne sa ukladá v kostiach</li> </ul>
Výmena iónov	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rádioaktívne cézium nasleduje enterohepatálnu cirkuláciu</li> <li>• na zachytávanie recyklovaného cézia prostredníctvom iónovej výmeny sa používa Berlínska modrá (hexakynoželesitan železitý)</li> <li>• tento mechanizmus je účinný aj dlho po vzniku vnútornej kontaminácie</li> </ul>
Mobilizácia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jedná sa o urýchlenie prirodzeného uvoľňovania rádionuklidov z tkanív a orgánov, zvýši sa tým rýchlosť eliminácie</li> <li>• napr. perorálne podávanie chloridu amónneho vedie k okysličeniu krvi a zvyšuje vylučovanie zabudovaného rádiostroncia</li> <li>• ďalším príkladom je použitie diuretík</li> </ul>
Chelácia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• chelatačné činidlá sú organické alebo anorganické zlúčeniny schopné viazať ióny kovov za vzniku zložitých kruhových štruktúr nazývaných „cheláty“</li> <li>• chelatačné činidlá majú „ligandové“ väzbové atómy, ktoré tvoria dve kovalentné väzby, jednu kovalentnú a jednu koordinačnú väzbu, alebo dve koordinačné väzby v prípade bidentátnych chelátov, a môžu sa ľahko vylučovať obličkami alebo inými orgánmi</li> <li>• chelatačné činidlá sa pevne viažu na kovy (vrátane rádioaktívnych kovov) a eliminujú ich z organizmu</li> <li>• tvorba rádionuklidových komplexov, ktorá vedie k väčšiemu vylučovaniu cez obličky a/alebo črevá, sa ukázala ako účinná pre aktinidy a lantanidy, ako je plutónium a amerícium</li> <li>• najčastejšie používané chelatačné činidlo je DTPA,</li> <li>• DTPA sa zvyčajne podáva intravenózne, ale v niektorých krajinách je k dispozícii aj aerosólová forma</li> <li>• DTPA sa môže bežne používať len pod lekárskej dohľadom v špecializovaných centrách</li> <li>• indikuje sa napr. pri vnútornej kontaminácii <math>^{241}\text{Am}</math> alebo plutóniom</li> <li>• používa sa vo forme Ca-DTPA alebo Zn-DTPA</li> <li>• Zn-DTPA je výhodný na dlhodobé podávanie</li> <li>• ďalšie dôležité chelatačné činidlá sú dimerkaprol, kyselina dimerkaptojantárová a deferoxamín</li> </ul>
Excízia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• v určitých prípadoch môže byť potrebná excízia rany na odstránenie fixovanej kontaminácie</li> <li>• to si vyžaduje dôsledné zváženie prínosov a rizík chirurgického zákroku.</li> </ul>
Výplach pľúc	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ide o invazívny zákrok</li> <li>• je indikovaný v ojedinelých prípadoch</li> <li>• používa sa na liečbu vnútornej kontaminácie nerozpustným rádioaktívnym materiálom usadeným v pľúcach</li> <li>• k indikácii tejto liečby je potrebné dôkladné lekárske vyhodnotenie klinického stavu pacienta, existencie komorbidít, veku pacienta, rádiotoxicity kontaminantu a tiež dozimetrické hodnotenie dávky ionizujúceho žiarenia pacienta</li> <li>• u niektorých pacientov, u ktorých sa očakáva dávka v pľúcach vyššia ako 6 Gy v priebehu 30 dní sa môže vykonať výplach pľúc, aby sa predišlo deterministickým účinkom (reakciám tkaniva)</li> </ul>

V prípade známych kontaminantov, úvodnú liečbu vnútornej kontaminácie zahajujeme v zmysle Tabuľky 12.

**Tabuľka 12**

 <b>Úvodná liečba pre vybrané známe rádionuklidy</b>		
Rádionuklid	Používaný liek	Dávkovanie
Am, Co, In, Ir, Pu	DTPA	<ul style="list-style-type: none"> <li>0,5 – 1 g,</li> <li>podáva sa pomalou intravenóznou injekciou počas 3–4 minút alebo intravenóznou infúziou zriedenou v 100 – 250 ml 5 % dextrózy vo vode (D5W), Ringerovom roztoku alebo fyziologickom roztoku</li> <li>odporúča sa len jedna úvodná dávka Ca-DTPA.</li> </ul>
Cs	Berlínska modrá	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 – 3 g trikrát za deň</li> <li>perorálne v troche vody</li> <li>trvanie liečby po expozícii je určené úrovňou kontaminácie a klinickým úsudkom na základe dozimetrickej analýzy vzoriek moču a stolice</li> </ul>
Ga	Penicilamin	<ul style="list-style-type: none"> <li>dospelí 1 – 3 kapsuly, 250 mg,</li> <li>trikrát denne</li> </ul>
I	KI, Lugol	<ul style="list-style-type: none"> <li>dospelí vo veku 18 – 40 rokov: 130 mg/deň, perorálne</li> <li>tehotné a dojčiace ženy, deti vo veku 12 – 18 rokov s hmotnosťou &lt; 70 kg a deti vo veku 3 – 12 rokov: 65 mg/d, perorálne</li> <li>deti vo veku 1 mesiac – 3 roky: 32 mg/deň, perorálne</li> <li>novorodenci do 1 mesiaca: 16 mg/deň, perorálne</li> </ul>
Po	Dimercaprol	<ul style="list-style-type: none"> <li>dospelí: 2 – 3 mg/kg telesnej hmotnosti,</li> <li>podávané intramuskulárnou injekciou</li> <li>každé 4 hodiny</li> <li>prvá injekcia obmedzená na 50 mg</li> <li>injekcie by sa ideálne nemali podávať dlhšie ako 3 dni a v nemocničných podmienkach</li> <li>individuálna citlivosť sa má otestovať v čase podania prvej injekcie (štvrtina ampulky)</li> </ul>
Rádionuklid	Používaný liek	Dávkovanie
Tc	Chloristan draselný	<ul style="list-style-type: none"> <li>dospelí: 200 – 400 mg, perorálne</li> <li>maximálna dávka nemôže presiahnuť 1 g</li> <li>podáva sa s čo najväčším množstvom vody, aby sa predišlo podráždeniu žalúdka</li> </ul>
Trícium	veľa tekutín	<ul style="list-style-type: none"> <li>orálne alebo intravenózne</li> </ul>
U	Hydrogénuhličitan sodný	<ul style="list-style-type: none"> <li>na alkalizáciu moču (pH 8 - 9)</li> <li>vodný izotonický roztok s koncentráciou 14 g/l (1,4 %)</li> <li>monitorovať pH krvi a elektrolyty</li> <li>hydrogénuhličitan sodný môže spôsobiť alebo zhoršiť hypokaliémiu, tomu sa dá predísť suplementáciou draslíka</li> <li>kontraindikácie: alkalóza, respiračná acidóza a retencia sodíka</li> <li>riziko predávkovania: v prípade metabolickej alkalózy s útlmom dýchania, v prípade hypokaliémie, akútneho pľúcneho edému a srdcového zlyhania</li> </ul>



### **6.2.6. Lekárske sledovanie pacientov s vnútornou rádioaktívnou kontamináciou**

Sledovanie pacientov po verifikovanej vnútornej rádioaktívnej kontaminácii je v zásade zamerané na včasnú detekciu možných neskorých stochastických biologických účinkov ionizujúceho žiarenia, hlavne rôznych malignít v dôsledku vnútornej kontaminácie týchto pacientov. Dĺžka sledovaného obdobia je individuálna u jednotlivých pacientov v závislosti napr. od miery ich vnútornej kontaminácie, od typu rádionuklidu a ionizujúceho žiarenia, od dĺžky trvania vnútornej kontaminácie, od účinnosti vylúčenia rádionuklidov z tela pacientov, od veku pacienta, atď.

### **6.3. Radiačná ochrana zdravotníckych pracovníkov a ochranné opatrenia na zabránenie šíreniu rádioaktívnej kontaminácie**


Pri poskytovaní zdravotnej starostlivosti osobám zasiahnutých rádioaktívnou kontamináciou môže dôjsť ku kontaminácii napr. vozidiel prepravujúcich týchto pacientov, nemocničných izieb a iných priestorov, ako aj zdravotníckeho personálu a iných osôb.

Na zabránenie rozšírenia rádioaktívnej kontaminácie a na zabezpečenie radiačnej ochrany zdravotníckeho personálu je potrebné používať osobné ochranné prostriedky a prijať opatrenia, ktoré sú uvedené v Tabuľke 13. Špecifikácia osobných dozimetrov pre personál a dozimetrických prístrojov na kontrolu príkonu dávkového ekvivalentu a rádioaktívnej kontaminácie povrchov, predmetov a osôb je uvedené v Tabuľke 13. V niektorých prípadoch je potrebné personál vybaviť aj priamo odčítateľnými elektronickými dozimetrami (ak sa očakáva vysoká radiačná záťaž personálu na úrovni limitov, ktoré sú stanovené v aktuálnych právnych predpisoch v oblasti radiačnej ochrany).[6.2]

Spôsob používania osobných ochranných prostriedkov, resp. správne odborné oblečenie OOP, je detailne aj obrazovo popísaný v kapitole č. 6.3.3. Na zabránenie rádioaktívnej kontaminácie pracovníkov je dôležité nie len správne používanie osobných ochranných prostriedkov, ale aj ich správne vyzliekanie, aby pri ich odstránení nedošlo ku kontaminácii kože pracovníkov. Správny spôsob vyzliekania osobných ochranných prostriedkov je názorne popísaný v kapitole č. 6.3.4.

Pri preprave rádioaktívne skontaminovaných pacientov a pri poskytovaní zdravotnej starostlivosti týmto pacientom v zdravotníckych zariadeniach je potrebné postupovať spôsobom dokumentovaným na obrázkoch v kapitolách č. 6.3.1. a 6.3.2.

Tabuľka 13

 <b>Požiadavky na zabezpečenie radiačnej ochrany zdravotníckych pracovníkov, osobné ochranné prostriedky, prístrojové vybavenie a opatrenia na zabránenie rozšírenia rádioaktívnej kontaminácie</b>	
Oblasť, ktorej sa opatrenie týka	Opatrenia a požiadavky
<u>Osobné ochranné prostriedky a ďalšie vybavenie pre zdravotnícky personál</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ochranné plášte, kombinézy (tyveky) ideálne s kapucňou,</li> <li>• chirurgické čiapky,</li> <li>• jednorazové rukavice (vrchné a vnútorné),</li> <li>• návleky na obuv,</li> <li>• respirátory,</li> <li>• tvárové štíty alebo ochranné okuliare,</li> <li>• lepiaca páska na oblečenie,</li> <li>• písacie potreby, atď.</li> </ul>
<u>Osobné dozimetre pre zdravotnícky personál</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• priamo odčítateľné elektronické osobné dozimetre (ak očakávame vysokú radiačnú záťaž personálu na úrovni zákonne stanovených limitov ožiarenia a medzných dávok podľa [1]).</li> </ul>
<u>Dozimetrické prístroje a spôsob ich používania</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dozimetrické prístroje na meranie príkonu dávkového ekvivalentu a povrchovej rádioaktívnej kontaminácie alfa, beta a gama žiarenia,</li> <li>• rádioaktívna kontaminácia sa meria vo vzdialenosti cca 2,5 cm od tela osoby, pričom s detektorom pohybujeme rýchlosťou maximálne 5 cm/s,</li> <li>• detektor sa nesmie dotknúť meraného kontaminovaného povrchu,</li> <li>• dozimetrické merania v ideálnom prípade vykonáva fyzik alebo vyškolená osoba, ideálne so skúsenosťami s dozimetrickými meraniami</li> </ul>
<u>Ďalšie požiadavky a opatrenia</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• miestnosť na ošetrovanie kontaminovaného pacienta so zakrytou podlahou ľahko odnímateľnou nepremokavou pokrývkou na podlahu, prípadne iných predmetov,</li> <li>• nádoby s jednorazovými zaťahovacími vrecami s označením rádioaktívny odpad,</li> <li>• jednorazová netkaná plachta na lôžko,</li> <li>• do vyšetrovne by mal vstupovať len nevyhnutný personál v ochrannom oblečení, miestnosť v ochrannom oblečení neopúšťať, aby sa kontaminácia nerozšírila na okolité priestory</li> </ul>

Po odložení osobných ochranných prostriedkov a pomôcok sa vykoná kontrolné monitorovanie povrchovej kontaminácie osôb a namerané hodnoty sa zaznamenajú. Zároveň sa vykoná monitorovanie povrchovej kontaminácie plôch v ambulancii a prístupovej cesty od ambulancie záchranej zdravotnej služby do ambulancie ústavného zdravotníckeho zariadenia určenej na príjem kontaminovaného pacienta. Namerané hodnoty sa bezodkladne oznámia hygienikovi zdravotníckeho zariadenia.

### 6.3.1. Názorný postup prepravy kontaminovaných pacientov



**Obrázok 26**  
*Používať dve plachty – zabaliť pacienta*



**Obrázok 27**  
*Spôsob prepravy kontaminovaného pacienta*



**Obrázok 28**  
*Vybavenie a použitie OOP zdravotníckych pracovníkov*

### 6.3.2. Postup prípravy priestorov zdravotníckeho zariadenia na príjem rádioaktívne kontaminovaných pacientov



**Obrázok 29**  
*Zakryť podlahu na trase transportu pacienta ľahko odnímateľnou nepremokavou pokrývkou na podlahou*



**Obrázok 30**  
*Zakryť podlahu izby ľahko odnímateľnou nepremokavou pokrývkou na podlahou*



**Obrázok 31**  
*Fixácia prekrytia podlahy páskou*



**Obrázok 32**  
*Všetky pomôcky pripraviť na izbu*



**Obrázok 33**  
*Používať dve plachty na lôžku, pripraviť koše s vrecami na odpad*



### 6.3.3. Postup správneho obliekania osobných ochranných prostriedkov (OOP) zdravotníckych pracovníkov (odporúčanie: plášť nahradit' Tyvekom)



**Obrázok 34**  
*Igelitové návleky na nohách fixovať páskou (zabrániť kontaminácii kože na nohách)*



**Obrázok 35**  
*Používať plášť alebo ochranný overal*



**Obrázok 36**  
*Zalepiť možné vstupné miesta kontaminácie*



**Obrázok 37**  
*Používať rukavice*



**Obrázok 38**  
*Spoje na rukách fixovať páskou*



**Obrázok 39**  
*Používať 2 páry rukavíc*



**Obrázok 40**  
*Dozimeter upevniť pod plášť*



**Obrázok 41**  
*Používať respirátor, tvárový štít, čiapku*

**6.3.4. Postup správneho spôsobu vyzliekania osobných ochranných prostriedkov (napr. Tyvek), kontrola rádioaktívnej kontaminácie zdravotníckych pracovníkov**



**Obrázok 42**  
*Odstrániť vrchný pár rukavíc*



**Obrázok 43**  
*Dozimeter neskontaminovať*



**Obrázok 44**  
*Vyzliekaný odev sa nedotýka kože*



**Obrázok 45**  
*Respirátor a tvárový štít zatiaľ ponechať*



**Obrázok 46**  
*Spodný pár rukavíc zatiaľ ponechať*





**Obrázok 47**  
*Odstrániť návleky na obuv v rukaviciach*



**Obrázok 48**  
*Kontrola kontaminácie nôh*



**Obrázok 49**  
*Odstrániť rukavice (pracovník stojí už v čistých priestoroch)*



**Obrázok 50**  
*Kontrola kontaminácie celého tela pracovníka*

## Literatúra (kapitola 6)

- 6.1 TECDOC 1009 Dosimetric and medical aspects of the radiological accident in Goiania in 1987, str. 22.
- 6.2 Zákon č. 87/2018 Z. z. o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
- 6.3 Medical Management of Radiation Injuries; Safety Reports Series No. 101; IAEA; Vienna, 2020

## 7. Núdzová komunikácia a aspekty duševného zdravia osôb, ak nastane radiačná nehoda alebo radiačná havária

Táto časť poskytuje úvod do dôležitosti komunikačných a psychických aspektov radiačnej nehody alebo radiačnej havárie a ponúka niekoľko odporúčaní týkajúcich sa intervencií, ktoré by mohli byť iniciované zdravotníckym personálom. Komunita. Je dôležité poznamenať, že lekárska komunita nemusí byť nevyhnutne zodpovedná za núdzovú komunikáciu a že počas núdzovej situácie sú za túto úlohu zodpovední rôzni odborníci.

Skúsenosti z minulých radiačných udalostí potvrdzujú, že komunikácia s verejnosťou je jedným z najdôležitejších prvkov riadenia núdzových situácií. Niekedy sa môže stať, že odborníci alebo záchranári nepovažujú udalosť za mimoriadnu udalosť, ale verejnosť ju vníma úplne inak. Rozdiely vo vnímaní rizík medzi odborníkmi, respondentmi a verejnosťou možno zmierniť účinnou komunikáciou o rizikách, ktorá následne môže znížiť psychosociálne účinky súvisiace s mimoriadnymi udalosťami (komunikačná stratégia) [7.1; 7.2].

Účinná komunikácia s verejnosťou o radiačných mimoriadnych udalostiach pomôže verejnosti pochopiť riziko a rozlišovať medzi skutočným a vnímaným rizikom, čo podporí vykonávanie ochranných opatrení a prispeje k zmierneniu negatívnych psychologických vplyvov [7.2]. Účinná komunikácia o rizikách zahŕňa dve časti:

- a) **Proces výmeny:** Proces výmeny podporuje dialóg medzi tými, ktorých sa riziko môže týkať, a tými, ktorí sú zodpovední za jeho kontrolu.
- b) **Aktuálne informácie o riziku:** Vnímanie rizika zohľadňuje rozdiel medzi tým, ako riziko vníma verejnosť, a tým, ako sa riziko hodnotí a meria. Cieľom komunikácie o riziku nie je vynútiť si zmenu medzi rozdielnymi názormi odborníkov a verejnosti, ale skôr rozvíjať pochopenie týchto faktorov, aby sa mohli zohľadniť a riešiť. To si vyžaduje pochopenie základných faktorov, na ktorých je založené vnímanie rizika verejnosťou [7.2].

Psychologické účinky na postihnutú populáciu a na osoby, ktoré reagujú, patria k najdôležitejším nerádiologickým následkom pre verejné zdravie spôsobeným mimoriadnou udalosťou a zodpovedajúcimi opatreniami [7.3].

Na zmiernenie týchto účinkov sú potrebné okamžité, krátkodobé a dlhodobé opatrenia. Medzi okamžité a krátkodobé opatrenia patria tieto opatrenia:

- a) Poskytovanie poradenstva zásahovým tímom v otázkach strachu, smútku, dezorientácie a aktívnej účasti a opatrenia na podporu psychosociálnej pohody zdravotníckych a humanitárnych pracovníkov;
- b) Vytvorenie komunikačných systémov a obnovenie kontaktov s rodinou a sociálnou podporou;
- c) Poskytovanie psychologickej "prvej pomoci" vo všeobecných zdravotníckych zariadeniach a evakuačných centrách/informačných miestach;
- d) Obnovenie voľnočasových aktivít, školského vzdelávania a náboženských aktivít s cieľom uľahčiť podporné štruktúry komunity;
- e) Poskytovanie odbornej prípravy v oblasti pripravenosti a komplexnej škály potrebných reakcií.

Komunikácia, vnímanie rizika a vplyv radiačnej havárie na duševné zdravie sú vzájomne prepojené faktory. Dlhodobé opatrenia budú zahŕňať následné lekárske a psychologické opatrenia a pomoc obyvateľstvu ako súčasť opatrení v oblasti verejného zdravia. Dlhodobé zásahy môžu byť dôležité, pretože strednodobé a dlhodobé účinky vystavenia chemickým, biologickým, rádioaktívnym látkam je často veľmi ťažké predvídať. Je potrebné zaviesť program dohľadu a monitorovania postihnutého obyvateľstva. Potrebne sú aj informačné aktivity v komunitách na šírenie jasných informácií a podporu pozitívnych spôsobov zvládania. Vplyv na duševné zdravie, rizikové správanie a dopyt po zdravotníckych službách sa môže v priebehu času výrazne meniť. Dlhodobé sledovanie verejného zdravia je potrebné z niekoľkých dôvodov: na poskytovanie informácií o závažnosti zdravotných problémov; na skoršie zistenie zdravotných účinkov vyvolaných ionizujúcim žiarením; a na zníženie neistoty v súvislosti s dlhodobými účinkami kontaminácie, ktorá vyvoláva strach a obavy obyvateľstva. Po rozsiahlej radiačnej havárii sú bežné fámy a skreslené informácie zveličujúce následky. Pre postihnuté obyvateľstvo je potrebná sociálna pomoc (opatrenia na sociálnu adaptáciu, materiálna podpora zo strany úradov, dlhodobé rehabilitačné programy), najmä pre evakuovaných alebo presídlených obyvateľov. Primeraná sociálna pomoc môže zabrániť vzniku ďalšieho stresu alebo obnoviť sebadôveru ľudí. Môže tiež obnoviť dôveru v činnosť zodpovedných inštitúcií.

### **7.1. Núdzová komunikácia počas radiačnej nehody alebo radiačnej havárie**

Havarijná komunikácia pozostáva zo správ, ktoré obsahujú pocit naliehavosti súvisiaci s krízovými situáciami. Hlavným cieľom núdzovej komunikácie je poskytnúť verejnosti informácie, ktoré jej



pomôžu prijať čo najlepšie rozhodnutie, pričom sa zohľadňuje existencia náročných obmedzení počas radiačných mimoriadnych udalostí.

Cieľom núdzovej komunikácie je zároveň:

- a) riadiť reakciu verejnosti
- b) stanoviť zodpovednú organizáciu (organizácie) ako hlavný zdroj (zdroje) informácií.

Komunikácia v núdzových situáciách má tieto jedinečné charakteristiky [7.4; 7.5]:

- Úloha komunikácie pri riadení ľudského správania je významnou zložkou celkového riadenia mimoriadnych udalostí.
- Potreba neustálej komunikácie je vysoká.
- Potreba monitorovať ostatné komunikačné kanály je vysoká.
- Stres z krízových okolností súvisiacich s faktormi vnímania rizika (napr. neisté znalosti o radiácii u obyvateľstva) je vysoký.

Včasné správy a opatrenia v rámci reakcie na núdzovú situáciu budú mať významný vplyv na to, ako budú ľudia reagovať, ako budú vnímať riziko a aký postoj zaujmú k organizácii reakcie na núdzovú situáciu. Tie budú tvoriť počiatočné základy ich vnímania celej udalosti. Tieto základné momenty sú rozhodujúce pre celkovú reakciu na mimoriadnu udalosť a jej schopnosť riadiť správanie verejnosti. V tejto fáze je kľúčovým nástrojom komunikácia.

Obyvateľstvo bude požadovať informácie a rôzne zdroje ich budú neustále poskytovať. Je dôležité udržiavať neustály tok informácií zo zodpovednej organizácie a poskytovať aktuálne informácie o núdzovej situácii, aj keď nedošlo k žiadnej zmene [7.4]. Je tiež dôležité, aby sa informácie poskytovali takým spôsobom, aby im ľudia v núdzi dobre rozumeli. To znamená, že všetky zodpovedné zainteresované strany musia preukázať potrebný rešpekt a empatiu k danej situácii.

Lekári musia mať vždy na pamäti, že vysvetlenia počas núdzovej situácie musia byť jednoduché a jasné. Jednoduché rady založené na medzinárodne schválených usmerneniach znížia psychologické účinky na obyvateľstvo [7.2].

## **7.2 Aspekty duševného zdravia, ak nastane radiačná nehoda alebo radiačná havária**

Psychosociálne účinky môžu byť rozsiahle a dlhotrvajúce a môžu predstavovať jedny z najvýznamnejších a najnáročnejších následkov ožiarenia núdzovej situácie. Zohľadnenie psychosociálnych faktorov musí byť neoddeliteľnou súčasťou odbornej prípravy, pripravenosti a reakcie na radiačnú haváriu. Závažné udalosti môžu mať hlboké psychosociálne účinky. Vnímanie rizika zohráva kľúčovú úlohu pri reakciách obyvateľstva na predpokladané/očakávané dôsledky akejkoľvek mimoriadnej udalosti, aj keď sa ešte neprejavili.

Psychosociálne účinky počas radiačných mimoriadnych udalostí boli často podceňované alebo dokonca ignorované. Skúsenosti však ukazujú, že strach môže byť dôležitou hnacou silou ľudského konania počas nebezpečných situácií a môže mať silné dôsledky pre verejné zdravie [7.6]. Ako príklad môžu slúžiť štúdie o nehode v jadrovej elektrárni Fukušima Daiči [7.7; 7.8]. Po havárii v Černobyle boli psychosociálne účinky spôsobené haváriou hlavným problémom verejného zdravia, a zostávajú dôležitým problémom aj v súčasnosti [7.9]. Z tohto dôvodu je dôležité pre lekárov, aby mali dobré všeobecné znalosti o psychosociálnych aspektoch radiačných mimoriadnych udalostí [7.10].


Emocionálne reakcie zohrávajú úlohu v tom, ako sa ľudia cítia a vnímajú (tabuľka 14, [7.11]). Jasná a priama komunikácia pomôže znížiť úroveň stresu a obmedziť vnímanie rizika v populácii. Pochopenie emocionálnych faktorov, ktoré prispievajú k tomuto vnímaniu, je základnou súčasťou každého rizika komunikačného programu [7.12]. Dlhodobé obdobie psychického stresu môže vyústiť do fyziologických zmien, psychosomatických a duševných zdravotných problémov a kognitívne účinky

[7.3]. Tabuľka 14 obsahuje rôzne prvky, ktoré majú pomôcť zdravotnej starostlivosti zdravotníckym pracovníkom rozpoznať emocionálne reakcie osôb vystavených stresu.

### 7.2.1. Psychosociálne aspekty, ktoré sa týkajú postihnutého obyvateľstva

Pomoc v oblasti duševného zdravia si vyžaduje zapojenie nielen psychológov a psychiatrov, ale aj všeobecných lekárov a iných odborníkov. Psychologická podpora môže byť potrebná počas celého obdobia mimoriadnej udalosti a možno bude potrebné v nej pokračovať aj po jej skončení. Niektorí jednotlivci môžu potrebovať duševnú poradenstvo v oblasti duševného zdravia počas dlhého obdobia. Po nehode je potrebné prijať niekoľko opatrení k dispozícii na zníženie psychologických následkov pre postihnuté obyvateľstvo [7.12; 7.13].

**Tabuľka 14**

 <b>Emocionálne reakcie u jednotlivcov pod stresom [7.11]</b>	
<b>Typy stresu</b>	<b>Reakcia na stres</b>
Kognitívne	Zhoršená koncentrácia, dezorganizácia, zabúdanie, ťažkosti s rozhodovaním, znížená pozornosť
Emocionálne	Šok, strach, úzkosť a obavy, podráždenosť, hnev, popieranie, beznádej, bezmocnosť, pocit preťaženia
Behaviorálne	Poruchy spánku, poruchy chuti do jedla, izolácia od ostatných, ťažkosti byť sám, nepokoj, zvýšené užívanie návykových látok (napr. drog alebo alkoholu)
Fyzické	Potenie, nadmerná nervozita, zvýšená srdcová frekvencia, závraty, zvýšená hladina krvného tlaku, únava, bolesti hlavy, žalúdočné a črevné ťažkosti, nevoľnosť, lekárske nevysvetliteľné telesné príznaky
Duchovné	Pocity neistoty, pocit opustenosti, znížená alebo stratená viera v spravodlivý svet a dobrotu druhých, boj s predstavou zla, narušené predpoklady o bezpečnosti

Lekári musia pochopiť úlohu, ktorú môžu zohrávať nielen pri riešení fyzických, ale aj psychologických účinkov a dopadov radiačných mimoriadnych udalostí na duševné zdravie postihnutých osôb, pracovníkov a verejnosti vo všeobecnosti. Získané poznatky tiež naznačujú, že psychologický vplyv liečby radiačných poškodení je potrebné minimalizovať, a preto je potrebné liečba bude poskytovaná čo najbližšie k domovu jednotlivca alebo v regióne s rovnakým jazykom a kultúrou. Je potrebné prijať opatrenia pre rodinu členov, ktorí budú pacienta sprevádzať, ak je liečba v inej krajine [7.14].

### 7.2.2. Psychosociálne aspekty, ktoré sa týkajú záchranárov

Stres ovplyvňuje aj záchranárov (hasičov, policajtov, monitorovacie tímy, záchranári) počas radiačnej havárie. Očakáva sa, že budú vykonávať svoje bežné povinnosti okrem povinností, ktoré nie sú bežnou súčasťou ich práce (t. j. monitorovanie, dekontaminácia, evakuácia).

Faktory ktoré musia respondenti zohľadniť, patria tieto:

- Zamestnanci a dobrovoľníci sú postihnutí a majú obavy o svoje rodiny a príbuzných.
- Nosenie osobných ochranných prostriedkov môže spôsobiť úzkosť v dôsledku obmedzení zmyslov, dýchania, pohybu a komunikácie.
- Záchranári čelia smrti, strachu, chaosu a neistote a občas nejasnými úlohami a povinnosťami.
- Záchranári potrebujú podporu, aby mohli pomôcť iným.

Pravidelné zdravotné prehliadky respondentov, ktoré vykonávajú lekári a psychológovia, sú vhodné. Respondentov treba povzbudzovať, aby sa stretávali v skupinách a diskutovali o problémoch, ktorým čelia, a o všetkých ťažkostiach, ktoré mohli zažiť. Je potrebné pravidelne poskytovať informácie o skutočnom riziku pre respondentov v núdzových situáciách a diskutovať o nich ako o ústrednom prvku správneho psychologického riadenia.

## Literatúra (kapitola 7)

- 7.1 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Public Communications, IAEA, Vienna (2012).
- 7.2 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency: Training Materials, EPR-Public Communications/T, IAEA, Vienna (2012).
- 7.3 [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Procedures for Medical Response During a Nuclear or Radiological Emergency, EPR-Medical, IAEA, Vienna (2005)
- 7.4 [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Method for Developing a Communication Strategy and Plan for a Nuclear or Radiological Emergency, EPR Public Communication Plan, IAEA, Vienna (2015).
- 7.5 [5] REYNOLDS, B., SEEGER, M., Crisis and Emergency Risk Communication: 2014 Edition, Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA (2014).
- 7.6 [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Fukushima Daiichi Accident, Technical Volume 3: Emergency Preparedness and Response, IAEA, Vienna (2015).
- 7.7 [7] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Based on a Preliminary Dose Estimation, WHO, Geneva (2013).
- 7.8 [8] UNITED NATIONS, Levels and Effects of Radiation Exposure due to the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami (Report to the General Assembly), UN, New York (2013).
- 7.9 [9] INTERNATIONAL FEDERATION OF RED CROSS AND RED CRESCENT SOCIETIES, "Psychosocial interventions", Nuclear and Radiological Emergency Guidelines: Preparedness, Response and Recovery, IFRC, Geneva (2015).
- 7.10 [10] NEW YORK STATE DEPARTMENT OF HEALTH, Disaster Mental Health: Assisting People Exposed to Radiation, SUNY New Paltz (2015), [www.ct.gov/dmhas/lib/dmhas/publications/DMH-RadiationXposure.pdf](http://www.ct.gov/dmhas/lib/dmhas/publications/DMH-RadiationXposure.pdf)
- 7.11 [11] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Psychological First Aid: Guide for Field Workers, WHO, Geneva (2011).
- 7.12 [12] AUSTRALIAN PSYCHOLOGICAL SOCIETY, Psychological First Aid: An Australian Guide to Supporting People Affected by Disaster, APS, Melbourne (2013).
- 7.13 [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from the Response to Radiation Emergencies (1945–2010), EPR-Lessons Learned, IAEA, Vienna (2012)
- 7.14 [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY AND WORLD HEALTH ORGANIZATION, Planning the Medical Response to Radiological Accidents, Safety Reports Series No. 4, IAEA, Vienna (1998).

## **ZHRNUTIE**

1. Rádioaktívna kontaminácia osôb je neželaná prítomnosť rádioaktívnych látok emitujúcich ionizujúce žiarenie na povrchu alebo vo vnútri ľudského tela.
2. Zbavenie kontaminovanej osoby odevu správnym spôsobom zníži kontamináciu až o 90 %. Platí zásada, že je potrebné najprv vyzliekať najviac kontaminované časti odevu (napr. topánky, rukavice), a potom menej kontaminované časti odevu.
3. Pri vyzliekaní kontaminovaných osôb z odevu je potrebné vždy zakryť dýchacie cesty pacienta.
4. Dekontamináciu častí tela pacienta vykonávame v nasledovnom poradí: rany, telesné otvory, oblasti pokožky s vysokou úrovňou kontaminácie, oblasti pokožky s nižšou úrovňou kontaminácie.
5. Odstránené kontaminované oblečenie pacienta a tampóny používané pri dekontaminácii vložíme do igelitového vreca označeného menom konkrétneho pacienta, dátumom a časom a odložíme pre potreby dozimetrickej analýzy.
6. Pri sprchovaní kontaminovanej osoby sa voda nesmie dostať do ústnej a nosovej dutiny, do očí a uší pacienta; pri dekontaminácii sa používa vlažná voda.
7. Pri rádioaktívnej kontaminácii tváre osôb alebo otvorených rán je potrebné vždy uvažovať o možnosti vnútornej kontaminácie, až kým sa nepreukáže opak; každú otvorenú ranu je preto potrebné považovať za rádioaktívne skontaminovanú, kým sa nepreukáže opak.
8. Poskytnutie urgentnej zdravotnej starostlivosti pacientom v život ohrozujúcom stave má prednosť pred diagnostikou a liečbou vnútornej rádioaktívnej kontaminácie.

### **Poznámka:**

*Ak klinický stav a osobitné okolnosti vyžadujú iný prístup k prevencii, diagnostike alebo liečbe ako uvádza tento štandardný postup, je možný aj alternatívny postup, ak sa vezmú do úvahy ďalšie vyšetrenia, komorbidity alebo liečba, teda prístup založený na dôkazoch alebo na základe klinickej konzultácie alebo klinického konzília.*

*Takýto klinický postup má byť jasne zaznamenaný v zdravotnej dokumentácii pacienta.*

### **Účinnosť**

Tento štandardný postup nadobúda účinnosť od 15. novembra 2023.

**Zuzana Dolinková**  
ministerka zdravotníctva

### **Prílohy:**

**Základné materiálo technické vybavenie príjmových ambulancií poskytovateľov ZS, vzorové záznamy**

## **Príloha č. 1: Odporúčané minimálne vybavenie pre poskytovateľov zdravotnej starostlivosti**

- (1) Ambulancia záchranej zdravotnej služby
  - a) osobný elektronický dozimeter - 1 ks,
  - b) meradlo na meranie príkonu priestorového dávkového ekvivalentu - 1 ks,
  - c) meradlo na monitorovanie povrchovej rádioaktívnej kontaminácie – 1 ks,
  - d) profylaxia - jodid draselný – 3 balenia,
  - e) jednorazová netkaná plachta s rozmerom 200 cm x 200 cm na 1 zranenú osobu alebo transportný izolačný vak - 2 ks,
  - f) ochranný odev určený na zabránenie povrchovej kontaminácie - 2 ks,
  - g) návleky na obuv - 2 páry,
  - h) rukavice chirurgické nesterilné - 4 páry,
  - i) ochranné okuliare alebo ochranný tvárový štít - 2 ks,
  - j) ochranné rúško alebo respirátor - 2 ks,
  - k) jednorazové zaťahovacie igelitové vrece s objemom 120 litrov – 10 ks,
  - l) dekontaminačná súprava - 1 balenie,
  - m) dekontaminačný roztok - 10 litrov,
  - n) písacie potreby a štítky na označenie vriec.
- (2) Ambulancia poskytovateľa ústavnej pohotovostnej služby na účel príjmu jednej zranenej osoby s vonkajšou kontamináciou
  - a) osobný elektronický dozimeter pre zdravotníckych pracovníkov - 3 ks (pre 3 tímy; 1 ks pre 1 tím),
  - b) meradlo na meranie príkonu priestorového dávkového ekvivalentu - 1 ks,
  - c) meradlo na monitorovanie povrchovej rádioaktívnej kontaminácie – 1 ks,
  - d) profylaxia - jodid draselný – 9 balení,
  - e) rukavice chirurgické nesterilné,
  - f) ochranné rúško alebo respirátor - 2 ks,
  - g) ľahko odnímateľná pokrývka na podlahu v ambulancii s rozmerom 20 m<sup>2</sup> (plachta, fólia, papier),
  - h) ľahko odnímateľná pokrývka na pokrytie prístupovej cesty od ambulancie záchranej zdravotnej služby do ambulancie ústavného zdravotníckeho zariadenia určenej na príjem kontaminovaného pacienta na plochu podľa konkrétnych podmienok (plachta, fólia, papier),
  - i) lepiaca páska na zalepenie spojov pokrývky podlahy v ambulancii, minimálna šírka 10 cm, dĺžka minimálne 100 m
  - j) jednorazové zaťahovacie igelitové vrece s objemom 120 litrov – 1 ks/1 pacient,
  - k) jednorazové zaťahovacie igelitové vrece s objemom 60 litrov – 1 ks/1 pacient,
  - l) nádoba s objemom minimálne 500 litrov s uzatvárateľným vekom a s označením rádioaktívny odpad na účel uloženia kontaminovaného odpadu,
  - m) priestor na odkladanie nádob s kontaminovaným odpadom,
  - n) dekontaminačná súprava - 1 balenie,
  - o) dekontaminačný roztok - 10 litrov,
  - p) písacie potreby a štítky na označenie vriec,
  - q) označenie ambulancie so zákazom vstupu do ambulancie.
- (3) Pracovisko nukleárnej medicíny  
Výnos Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky z 10. septembra 2008 č. 09812/2008-OL o minimálnych požiadavkách na personálne zabezpečenie a materiálno - technické vybavenie jednotlivých druhov zdravotníckych zariadení v znení neskorších predpisov.
- (4) Odporúčané minimálne personálne zabezpečenie na vykonanie príjmu pracovníkmi poskytovateľa ústavnej pohotovostnej služby na neodkladné ošetrenie 1 pacienta:
  - a) 1 lekár,
  - b) 2 sestry,
  - c) 1 sanitár.

## **Príloha č. 2: Odporúčané zásady na poskytovanie neodkladnej zdravotnej starostlivosti osobe postihnutej radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou pre záchrannú zdravotnú službu**

- (1) Poskytovanie zdravotnej starostlivosti rádioaktívne kontaminovaným osobám v život ohrozujúcom stave musí byť bezodkladné a prioritné pred dekontamináciou týchto osôb.
- (2) Vybavenie ambulancie záchranej zdravotnej služby, prístroje a ďalšie zariadenia sa uloží do skriniek. Prístroje sa pred použitím obalia igelitovou fóliou alebo sa vložia do označeného igelitového vreca a uzavru sa lepiacou páskou.
- (3) Zranenú osobu s vonkajšou kontamináciou posádka ambulancie záchranej zdravotnej služby preberie v bezpečnej zóne od miesta udalosti od príslušníkov hasičského záchranného zboru alebo inej zložky integrovaného záchranného systému.
- (4) Na miesto zásahu vstupuje posádka ambulancie záchranej zdravotnej služby v ochrannom oblečení. Jeden člen posádky je vybavený osobným elektronickým dozimetrom.
- (5) Člen posádky rozvinie plachtu, na ktorú sa uloží zranená osoba. Ambulancia záchranej zdravotnej služby poskytne život zachraňujúce úkony. Vykoná meranie rádioaktívnej kontaminácie povrchu tela zranenej osoby a namerané hodnoty zaznamená. Zavinie zranenú osobu do plachty.
- (6) Člen posádky pripraví prepravné nosidlá, na ktoré rozvinie druhú ochrannú plachtu. Ambulancia záchranej zdravotnej služby položí zranenú osobu na prepravné nosidlá. Poskytne život zachraňujúce úkony. Zabezpečí sa prístup k otvoreným a krvácajúcim poraneniám a prístup k dýchaciemu systému zraneného. Naloží zraneného do ambulancie.
- (7) Ambulancia záchranej zdravotnej služby odloží použité ochranné rukavice do označeného igelitového vreca, ktoré zatiahne. Vykoná transport zranenej osoby do vybraného zdravotníckeho zariadenia.
- (8) V priebehu transportu zdravotnícky záchranár vybavený prostriedkami na ochranu tváre, dýchacích ciest a rúk sleduje zdravotný stav zraneného a poskytuje život zachraňujúce úkony.
- (9) Po odovzdaní zraneného poskytovateľovi poskytujúcemu ústavnú pohotovostnú službu sa vykoná meranie povrchovej kontaminácie vo vnútri ambulancie a na vonkajšom povrchu ambulancie. Odčíta namerané hodnoty, zaznamená a oznámi operačnému stredisku záchranej zdravotnej služby.
- (10) Ďalšiu činnosť vykonáva podľa pokynov operačného strediska záchranej zdravotnej služby.
- (11) Stredisko záchranej zdravotnej služby v spolupráci s ambulanciou záchranej zdravotnej služby určí miesto na vykonanie povrchovej dekontaminácie vnútorného priestoru ambulancie, použitých prístrojov, spôsob odovzdania a likvidácie kontaminovaného odpadu.

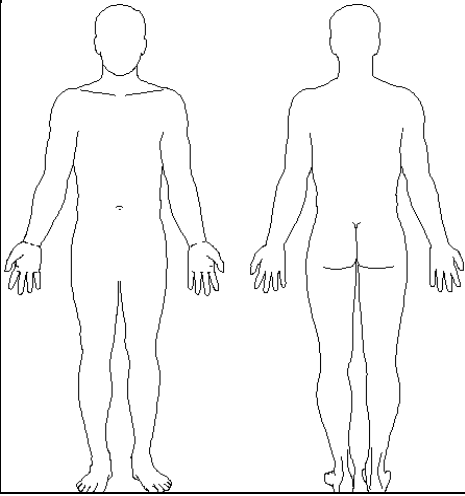
**Príloha č. 3: Odporúčané zásady na poskytovanie neodkladnej zdravotnej starostlivosti osobe postihnutej radiačnou nehodou alebo radiačnou haváriou pre poskytovateľov ústavnej zdravotnej starostlivosti, ktorí poskytujú pohotovostnú službu**

- (1) Poskytovanie zdravotnej starostlivosti rádioaktívne kontaminovaným osobám v život ohrozujúcom stave musí byť bezodkladné a prioritné pred dekontamináciou týchto osôb.
- (2) Poskytovateľ ústavnej zdravotnej starostlivosti, ktorý poskytuje pohotovostnú službu, pripraví a označí priestory (chodbu a ambulanciu) na príjem pacienta s vonkajšou kontamináciou.
- (3) Pred príchodom ambulancie záchranej zdravotnej služby sa zdravotnícki pracovníci poskytovateľa ústavnej zdravotnej starostlivosti, ktorí poskytujú pohotovostnú službu oblečú do ochranných odevov, vedúci tímu je vybavený osobným elektronickým dozimetrom.
- (4) Zranenú osobu zabalenú v plachte zdravotnícki pracovníci uložia na vyšetrovacie lôžko a vybalia z vrchnej transportnej plachty, ktorú pomaly zrolujú a vložia do označeného igelitového vreca, ktoré uzavru (uviesť: meno a priezvisko pacienta, dátum a čas).
- (5) Zdravotnícki pracovníci preložia zraneného na ďalšie vyšetrovacie lôžko a postupne ho vybalia z druhej transportnej plachty, ktorú odstránia spod zraneného, pomaly zrolujú a uložia do označeného igelitového vreca, ktoré uzavru.
- (6) Zdravotnícki pracovníci postupne odstránia odev zranenej osoby. Odstránením odevu zraneného sa zlikviduje približne 90 % povrchovej kontaminácie na povrchu zraneného. Postup odstraňovania odevu zraneného
  - odev rozstrihovať nie odopínať,
  - chrániť dýchacie cesty pacienta pred vdychovaním rozptýlených rádioaktívnych častíc pomocou respirátora alebo rúška,
  - vyzúvanie - na obuv navliecť vrecko a potom vyzuť,
  - po rozstrihnutí odev nevyberať, zrolovať po natočení pacienta na boky do podloženej jednorazovej plachty,
  - odstránený odev, obuv a transportné plachty vkladať do označených igelitových vriec.
- (7) Po odstránení odevu zranenej osoby si zdravotnícki pracovníci poskytovateľa ústavnej zdravotnej starostlivosti vyzlečú vrchné rukavice, uložia do označeného igelitového vreca, použijú nové rukavice. Poverený zdravotnícky pracovník odmeria úroveň povrchovej rádioaktívnej kontaminácie zraneného a namerané hodnoty zaznamená.
- (8) Zdravotnícky pracovník vykoná dekontamináciu povrchu tela postihnutej a zranenej osoby tak, aby nedošlo k rozptylu rádioaktívnych látok do ovzdušia a k druhotnej kontaminácii nekontaminovaných častí tela a k vnútornej kontaminácii zranenej osoby.
- (9) Zdravotnícky pracovník umyje kontaminované časti tela zranenej osoby vlažnou vodou s použitím bežných saponátov, šampónu alebo mydla bez použitia mechanických pomôcok, aby sa zabránilo vyššiemu prekrveniu kože a zabránilo sa prestupu rádioaktívnych látok do organizmu prechodom cez kožu.
- (10) Zdravotnícky pracovník dekontaminované časti tela vysuší jednorazovým uterákom alebo osuší teplým vzduchom, po vysušení vykoná kontrolné meranie kontaminácie povrchu tela a namerané hodnoty zaznamená.
- (11) Ak je známy kontaminant, teda je známy rádionuklid, ktorý spôsobuje povrchovú kontamináciu, na dekontamináciu sa použije roztok. Ak je kontaminácia spôsobená
  - a) rádionuklidom stroncia-90 použije sa roztok chloridu strontnatého,
  - b) rádionuklidmi stroncia použije sa roztok rhodizonátu draselného alebo rhodizonátu sodného,
  - c) rádionuklidom jódu-131 použije sa roztok jodidu draselného,
  - d) rádionuklidmi plutónia, transuránmi alebo štiepnymi produktmi premeny použije sa 1 % roztok dietyltriainopentaoctovej s pH 3 až 5,
  - e) rádionuklidmi uránu sa použije roztok hydrogénuhličitanu sodného,

- f) zlúčeninami ťažkých kovov použije sa 1 % roztok kyseliny etylendiamintetraoctovej s pH 7 až 8 a 1 % roztok kyseliny citrónovej.
- (12) Zdravotnícky pracovník vlasatú časť hlavy umyje šampónom, ostrihanie vlasov vykoná, ak je to nevyhnutné.
- (13) Zdravotnícky pracovník šetrne ostrihá nechty alebo povrch nechtov oškrabe.
- (14) Zdravotnícky pracovník šetrne obrúsi zhrubnutú kožu na dlaniach a na chodidlách.
- (15) Pri lokálnej kontaminácii kože na neporušenú kontaminovanú časť kože nalepí leukoplast a po niekoľkých hodinách leukoplast odlepí. Uvedeným úkonom sa odstráni aj časť zvyškovej kontaminácie.
- (16) Ak je pravdepodobná vnútorná kontaminácia organizmu rádioaktívnou látkou, na zníženie ožiarenia sa postihnutej osobe podá rádioprotektívna látka v určenom množstve v závislosti od hmotnosti postihnutej osoby. Pri vnútornej kontaminácii
- a) rádioaktívnym jódom sa podá 0,13 až 0,30 g jodidu draselného,
  - b) rádioaktívnym céziom sa podá 1 g Berlínskej modrej,
  - c) rádioaktívnym stronciom sa podá zmes Gasterin gelu s jednou lyžicou síranu horečnatého na lekárske účely,
  - d) zmesou štiepných produktov premeny sa podá jodid draselný, potom Gasterin gel a po uplynutí troch hodín sa podá 1 g Berlínskej modrej.
- (17) Na prevenciu pri vnútornej rádioaktívnej kontaminácii rádioaktívnym jódom-131 sa podá
- a) 50 - 300 mg stabilného jódu jednu hodinu pred vnútornou rádioaktívnou kontamináciou rádioaktívnym jódom, ktorý zabezpečí takmer 100 % ochranu štítnej žľazy,
  - b) stabilný jód po vnútornej rádioaktívnej kontaminácii rádioaktívnym jódom-131, ktorý zabezpečí ochranu štítnej žľazy približne s 50 % účinnosťou, ak je stabilný jód podaný do 6 hodín po rádioaktívnej kontaminácii.
- (18) Po vykonaní povrchovej dekontaminácie sa pokračuje v poskytovaní neodkladnej zdravotnej starostlivosti podľa zdravotného stavu a charakteru poranenia pacienta.



**Príloha č. 4: Sprievodný list kontaminovanej osoby, ktorej zdravotný stav si vyžaduje poskytnutie zdravotnej starostlivosti**

<b>SPRIEVODNÝ LIST</b>					
kontaminovanej osoby, ktorej zdravotný stav si vyžaduje poskytnutie zdravotnej starostlivosti					
<i>A. časť – DOZIMETRICKÉ HODNOTENIE</i> vyplní personál Odboru radiačnej ochrany					
1. MENO a PRIEZVISKO osoby					
2. Rodné číslo osoby		3. Zamestnávateľ			
4. Externé ožiarenie	5. Podozrenie na vnútornú kontamináciu	6. Povrchová kontaminácia (vyplň hodnotu v pásmach)		<b>Lokalizácia kontaminácie – zakrúžkuj na obrázku</b>  	
<input type="checkbox"/> ÁNO <input type="checkbox"/> NIE	<input type="checkbox"/> ÁNO <input type="checkbox"/> NIE	<input type="checkbox"/> ÁNO <input type="checkbox"/> NIE			
Hodnota a typ povrchovej kontaminácie (Bq/cm <sup>2</sup> )					
1. pásmo 0,4-10 Bq/cm <sup>2</sup>	2. pásmo 10-100 Bq/cm <sup>2</sup>	3. pásmo 100-1000 Bq/cm <sup>2</sup>	4. pásmo 1000-10000 Bq/cm <sup>2</sup>		5. pásmo nad 10000 Bq/cm <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Beta/Gama <input type="checkbox"/> Alfa	<input type="checkbox"/> Beta/Gama <input type="checkbox"/> Alfa	<input type="checkbox"/> Beta/Gama <input type="checkbox"/> Alfa	<input type="checkbox"/> Beta/Gama <input type="checkbox"/> Alfa		<input type="checkbox"/> Beta/Gama <input type="checkbox"/> Alfa
Meraný RÁDIONUKLID:					
7. Dátum a čas:			8. Meno a podpis personálu Odboru RO:		

PÁSMO pre povrchovú kontamináciu Beta/Gama:	Ochrana ošetrojúceho personálu:	Dekontaminácia pacienta:
1. pásmo ( 0,4-10 Bq/cm <sup>2</sup> )	ochranné rukavice, respirátor, pracovný odev	nie je potrebné
2. pásmo ( 10-100 Bq/cm <sup>2</sup> )	ochranné rukavice, respirátor, pracovný odev s dlhým rukávom	nie je potrebné
3. pásmo ( 100-1 000 Bq/cm <sup>2</sup> )	ochranné rukavice, respirátor, tyvek	voliteľné
4. pásmo ( 1000-10 000 Bq/cm <sup>2</sup> )	ochranné rukavice, respirátor, tyvek	doporučuje sa
5. pásmo ( nad 10 000 Bq/cm <sup>2</sup> )	ochranné rukavice, respirátor/ ochranná maska s filtrom , tyvek	vyžaduje sa
Pre povrchovú kontamináciu Alfa pre pásma 3 - 5:	ochranné rukavice, respirátor/ ochranná maska s filtrom , tyvek	vyžaduje sa

- **VŽDY JE PRIORITOU ZÁCHRANA ŽIVOTA A ZDRAVIE PACIENTA pred dekontamináciou !**
- Akútne účinky ionizujúceho žiarenia na ľudský organizmus ako akútna choroba z ožiarenia, chronický zápal kože, zákal očnej šošovky sú vylúčené.
- Zabránenie prístupu nepovolaným osobám pri ošetrovaní kontaminovaného pacienta.

Vysvetlivky :  označ čo je platné.

