

## 17. Biologické účinky ionizujícího záření

- jsou studovány od počátku 20. století dob, kdy bylo zjištěno, že záření (i rtg) poškozují kůži
- obecně lze konstatovat, že účinky jsou nepříznivé, v některých případech je však i pozitivní
- vliv záření je rozdílný podle druhu organismu

**Druhy působení ionizujícího záření na buňku:** (buňka je chápána jako vodný roztok solí a nízkomolekulárních látek, v němž jsou dispergovány látky makromolekulární

### A) Přímý účinek

- je dán přímým zásahem makromolekuly ionizující částicí nebo sekundárním elektronem při ozařování  $\gamma$  nebo rtg zářením
- zvláště nebezpečný je zásah nukleových kyselin v jádře, kde dochází k jejich degradaci

### B) Nepřímý účinek

- je dán především radiolýzou vody a chápou se tak účinky produktů této radiolýzy na obsah buňky

### Účinek záření na molekulární úrovni

- projevuje se především ve změně struktury DNA

- negativně to ovlivňuje tvorbu enzymů včetně těch, které řídí tvorbu samotné DNA
- chybně syntetizované enzymy nemohou správně vykonávat svou funkci, jsou pro buňku cizí a působí toxicky
- vyšší dávky způsobují změny v propustnosti membrán
- vliv záření se tedy projeví jako poruchy dělení buňky, poruchy ve struktuře chromozomů, příp. dojde po několika děleních ke smrti buňky
- vliv ionizujícího záření je tím výraznější, čím větší schopnost má buňka rozmnožovat se a čím je méně diferencovaná
- organismy jsou proto nejcitlivější vůči záření v raném stadiu svého vývoje (dělení vajíčka)
- buňky, které se nerozmnožují, vydrží podstatně vyšší dávky
- extrémně vysoké dávky záření ( $> 10^3$  Gy) vedou již během ozařování ke štěpení vnitrobuněčných bílkovin (molekulární smrt)

### Biologické účinky ovlivňuje:

- **dávka záření** (celková energie sdělená organismu) – buňky však mají schopnost poškození enzymaticky opravit. Tyto opravné mechanismy se však mohou uplatnit tehdy, není-li přísun energie do organismu příliš rychlý  $\Rightarrow$  rozhoduje
- **dávkový příkon**  
prakticky to znamená, že při určité dávce je poškození organismu menší, je-li tato dávka rozdělena rovnoměrně na delší dobu nebo je

rozdělena do několika menších dávek s časovými prodlevami (frakcionace dávky – využívá se při terapeutickém ozařování)

- druh ionizujícího záření (rozdílná lineární ionizace)

poškození je tím závažnější, čím je větší lineární ionizace.

- dávkový ekvivalent

$$H = Q \cdot D$$

$$J \cdot kg^{-1} = Sv \text{ (Sievert)}$$

je definován jako součin jakostního faktoru Q (souvisí s lineárním přenosem energie a zpravidla tato hodnota není známa) a dávky v uvažovaném bodě tkáně

- pro praktické hodnocení vlivu druhu záření se používá ekvivalentní dávka

$$H_T = w_R D_T$$

$$J \cdot kg^{-1} = Sv \text{ (Sievert)}$$

$D_T$  je dávka záření v orgánu nebo tkáni  
 $w_R$  je radiační váhový faktor

druh záření	$w_R$
fotony a elektrony všech energií	1
neutrony o energii 10 keV	5
neutrony o energii 10–100 keV	10
neutrony o energii 0,1–2 MeV	20
neutrony o energii 2–20 MeV	10
záření $\alpha$	20

- příkon dávkového ekvivalentu, resp. ekvivalentní dávky ( $Sv \cdot s^{-1}$ )
- dávkový úvazek (resp. úvazek ekvivalentní dávky) se definuje jako celková dávka, kterou člověk obdrží za delší časové období (zpravidla 50 let u dospělých, za 70 let u dětí)
- pravděpodobnost poškození orgánů při stejné dávce je různá  $\Rightarrow$  zavádí se proto tkáňový váhový faktor  $w_T$

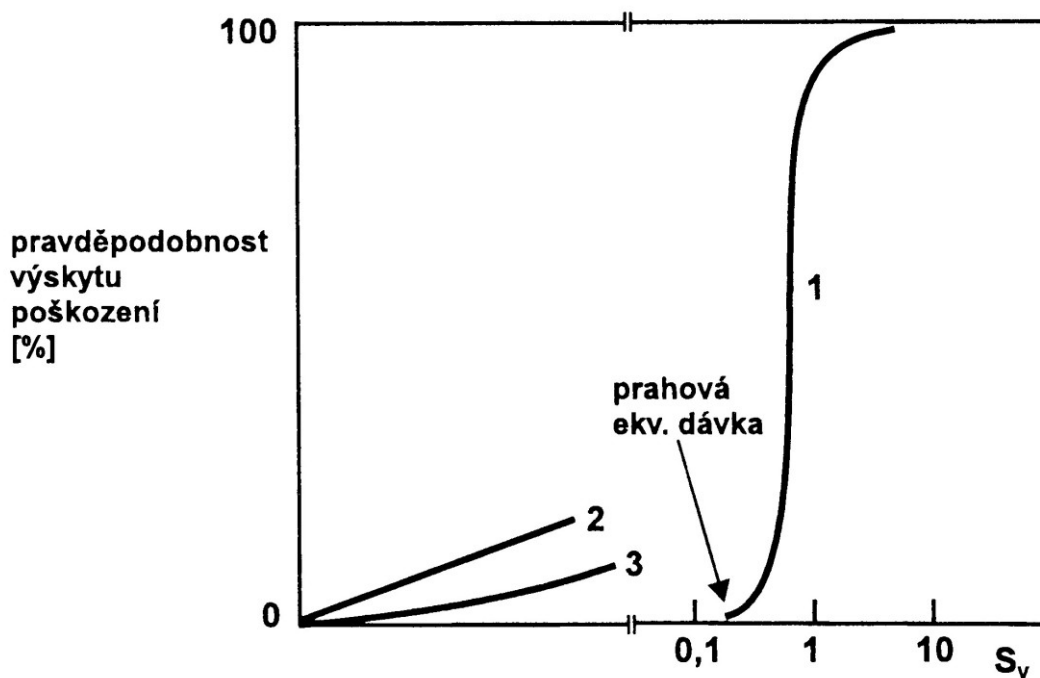
Orgán	$w_T$
gonády	0,20
žaludek, červená kostní dřeň, tlusté střevo	0,12
štítná žláza, játra	0,05
kůže	0,01

- součet ekvivalentních dávek vážených s ohledem na radiační citlivost orgánů pro všechny ozářené orgány a tkáně se nazývá **efektivní dávka**

## 18. Účinky ionizujícího záření na lidský organismus

### A) Nestochastické účinky

- Projeví se po ozáření zpravidla celého těla (jednorázově) takovou ekvivalentní dávkou, která vyvolá v zasaženém jedinci během krátké doby klinicky pozorovatelné účinky
- Klinicky pozorovatelný účinek se objeví proto, že se nestačí uplatnit opravné mechanismy
- Existuje jistá **prahová dávka** pro vznik poškození, které se zjistí při jednorázovém ozáření skupiny osob z 1-5%



Mezi nestochastické účinky patří:

- **Akutní nemoc z ozáření** při celotělovém ozáření vysokými dávkami (poruchy krvetvorby, trávicího ústrojí nebo CNS)

Nemoc se projevuje při ozáření ekvivalentní dávkou cca **2 Sv**, prahová hodnota je **1 Sv**

Projevy:

- **1. fáze:** nevolnost, skleslost, bolesti hlavy, změny v krevním obraze
- **2. fáze:** období latence
- **3. fáze:** rozvinutí počátečních příznaků, padání vlasů, vnitřní krvácení, náchylnost k infekcím.

Při ozáření dávkou >6 Sv: (4-6 dní)

- převládá **hematologická forma nemoci** (poškození kostní dřeně a krvetvorby)
- při vyšších dávkách i **forma střevní** (odumírání střevní výstelky)
- pravděpodobnost úmrtí je 80 %, při dávkách >10 Sv je 100 %

Ozáření dávkou vyšší než 50 Sv – **neurologická forma nemoci** (psychická dezorientovanost, zmatenost, křeče, bezvědomí, smrt během několika hodin či dní)

➤ **lokální akutní poškození kůže** (radiační dermatitida)  
(prahová dávka 3 Sv, nejčastější typ při nehodách se zdroji záření)

- zarudnutí kůže
- hlubší poškození kožní tkáně
- vznik vředů

➤ **poškození plodu** (prahová dávka 0,05 Sv)

➤ **poruchy plodnosti**

- u mužů je prahová dávka 0,1 – 1 Sv
- u žen min. 1,5 Sv

➤ **zákal oční čočky** (prahová dávka 1,5-2 Sv)

## B) Stochastické účinky (náhodné)

- Jsou důsledkem poškození malého počtu buněk (stačí jen jediné)
- Mohou se projevit při jednorázovém ozáření podprahovou dávkou z hlediska nestochastických účinků nebo při chronickém ozařování určité tkáně nebo celého těla malými dávkami
- Podprahové dávky nevyvolávají v krátké době po ozáření žádné klinicky pozorovatelné poškození, ale mohou způsobit s jistou pravděpodobností poškození za delší dobu
- Stochastické účinky ozáření se projevují za delší dobu po léčbě nádorů ozařováním

### Projevy:

- **nádorová onemocnění** (latentní období 10-40 let)
- **leukémie** (latentní období 5-20 let)
- **genetické poškození další generace**
- Na základě stochastických účinků se definuje **absolutní roční riziko** jako pravděpodobnost výskytu určitého onemocnění u jedné osoby během jednoho roku při ozáření ekvivalentní dávkou 1 Sv.
- při ozáření malými dávkami se předpokládá tzv. **konzervativní přístup**, který předpokládá že stochastické účinky mohou být způsobeny i mutací jediné buňky (tj. bezprahový přístup)
- při odhadování rizika malých dávek se počet případů poškození stanovuje lineární extrapolací podle absolutního ročního rizika

Př. skupina  $10^6$  ozářených osob:

dávka (Sv)	počet případů (nad přirozený výskyt po uplynutí doby latence)
1	57
0,01	0,57

### C) Hormeze

Projevuje se jako stimulující účinky malých dávek záření

- Zvýšená fixace dusíku bakteriemi
- Urychlení klíčení semen
- Rychlejší vzcházení rostlin a rychlejší růst
- U lidí pak jde o léčivé účinky radioaktivních koupelí v lázních (zmírnění revmatických onemocnění, zpomalení degenerativních změn obratlů, vliv na metabolismus atd.)

### D) Léčebné účinky ionizujícího záření

- **teleterapie** (dálkové ozařování)
  - kobaltové zářiče ( $^{60}\text{Co}$ ,  $\sim 10^{13}$ - $10^{15}$  Bq)
  - brzdné záření z betatronu 4-25 MeV
  - cesiové zářiče (pro nádory do 5 cm pod povrchem )
  - lineární urychlovač (elektrony 7-20 MeV, pro nádory v malých hloubkách)
- **kontaktní terapie**  
na povrch těla nebo těsně pod něj se přikládá plošný  $\beta$ -zářič
- **brachyterapie** (vnitřní ozařování)



zářič (ve formě drátků, perliček apod.) se zavádí tělesnými dutinami do těsného kontaktu s nádorovým ložiskem

➤ **endoterapie**

metoda je založená na vpravování nuklidu do tkáně (injekčně např. do kloubních pouzder, nebo metabolickými pochody – jod od štítné žlázy)

➤ **radioimunoterapie**

radionuklid se naváže na monoklonální protilátku nebo receptorový ligand, který se selektivně v těle váže na specifický antigen nebo receptor v nádorových buňkách. Vysoká specifita cílové tkáně pro značenou protilátku je nadějná pro léčení disseminovaných metastáz

➤ ozařování se zpravidla provádí frakcionovaně po 2 Gy, max. celková dávka bývá 50-60 Gy

➤ **bórová terapie**

pacientovi se podá sloučenina obsahující bor (např.  $\text{Na}_2\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{SH}$ ), která se metabolickými procesy selektivně koncentruje v nádorové tkáni. Nádor se pak ozáří pomalými neutrony  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ .

Částice  $\alpha$  i ionty  $^7\text{Li}$  pak ničí okolní nádorovou tkáň díky vysoké lineární ionizaci.

## E) Účinky ionizujícího záření na hmyz

- hmyz je vůči působení ionizujícího záření více než 100x odolnější než obratlovci
- ozáření hmyzu

Potemník (při ochraně skladovaného obilí)	100 Gy	sterilizace
	$5 \cdot 10^3$ Gy	usmrcení
Dřevokazný hmyz (červotoči, tesaříci)	500 Gy	usmrcení

- hubení hmyzu v přírodě spočívá ve vypěstování a vypouštění sterilních samečků v množství, které převyšuje jejich přirozený výskyt

## F) Účinky ionizujícího záření na mikroorganismy

- **radiační sterilizace**

zdravotnický materiál  
desinfekce kalů z odpadních vod  
radiační ošetření potravin (prodloužení doby jejich trvanlivosti – potraviny se ozařují zmražené)

## G) Účinky ionizujícího záření na rostliny

- Ozařování semen vede k užitečným mutacím (**radiační šlechtění**)
- ozáření vede k omezení klíčivosti (např. u brambor)

## 19. Ostatní účinky a použití ionizujícího záření

- **Odstraňování statické elektřiny** při pásové výrobě plošných materiálů (papír, plastové fólie, textil apod.). Vzduch se v části výrobního prostoru ionizuje **zářením**  $\alpha$  ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{210}\text{Po}$ )
- **Ionizační hlásiče kouře**  
Kouř ovlivňuje chemické složení vzduchu, který je ionizován malým zdrojem  $\alpha$ -záření – pozorují se změny ionizačního proudu v detektoru
- **Radionuklidové baterie**  
Tepelná energie uvolněná při absorpci záření se přeměňuje na energii elektrickou (např. pomocí termočlánků)
- **Radionuklidové světelné zdroje**  
Jsou založeny na emisi viditelného světla při absorpci ionizujícího záření (viz scintilační detektory).  
Obsahují luminofor a příměs radioaktivního nuklidu (dříve např. svítící ciferníky hodinek obsahovaly  $^{226}\text{Ra}$ , dnes se užívají  $\beta$ -zářiče –  $^3\text{H}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ )
  - signalizační lampy,
  - stupnice hodinek a měřicích přístrojů
  - zhotovování orientačních světelných ukazatelů