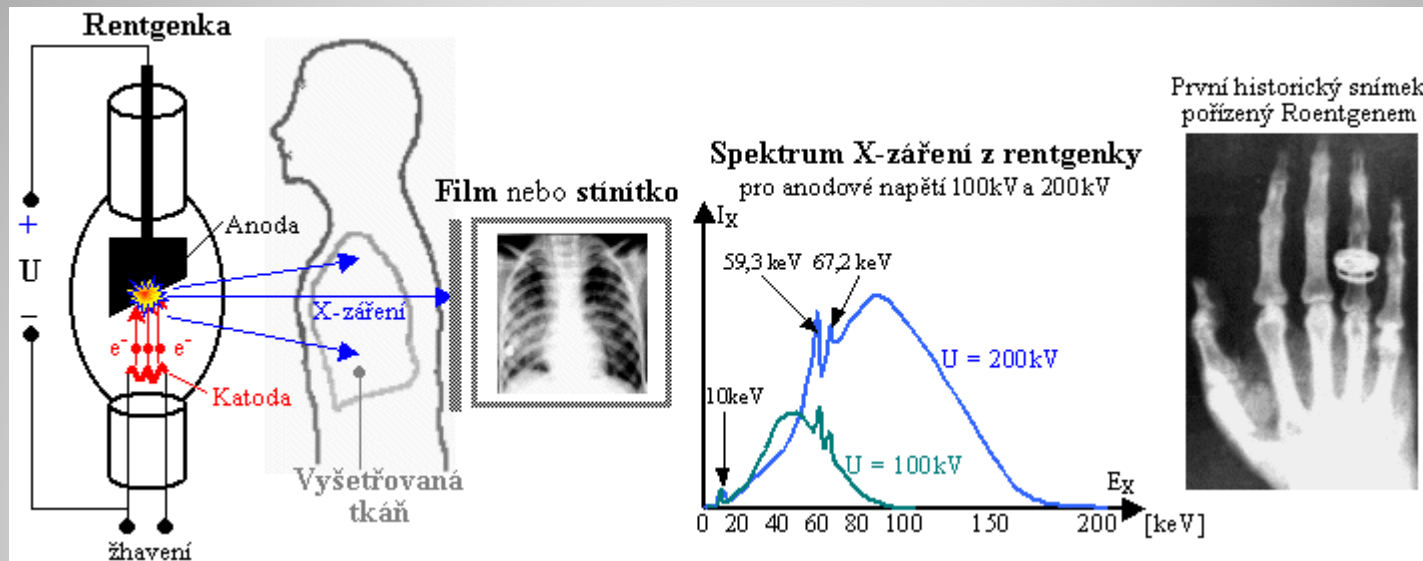




Biologické účinky ionizujícího záření



Účinky záření

znalosti o účincích záření rozsáhlé, ale ne úplné
 klinická pozorování, experimentální a skupinová šetření nezbytná pro průkaz
 zvýšené frekvence onemocnění, která jsou klinicky neodlišitelná od
 spontánních (rakovina)

- **dermatitidy radiologů** (1. zdokumentovaný případ)
- **horníci uranových dolů** (epidemiologické studie)
- **studie a poznatky o následcích havárií JE** (Černobyl, Fukušima,...)
- **studie pacientů léčených zářením** (radioterapie)
- **mimořádné události, radiologické události**
u profesního ozáření (RP)
u lékařského ozáření (pacienti)

Zdroje informací o biologických účincích

- **stanovení principů a kritérií RO (limits...)**
- **poskytování zdravotní péče: pro preventivní pracovnělékařské služby péče o ozářené**
- **posouzení příčinné souvislosti onemocnění s prací v riziku i.z. (uznání NzP)**

Znalost biologických účinků

2 skupiny

- smrt buňky (buněčná deplece) – neprojeví se okamžitě, buňka není schopna se dále dělit, smrtící účinek se nejnáze projeví ve tkáních s rychlým buněčným dělením – krvetvorné orgány, výstelka střev, vyvíjející se zárodek
- změna cytogenetické informace – změny bezprostředně nenarušují buněčné dělení, ale změna v genetické informaci buňky
IZ vyvolá změny – mutace – vztah ke vzniku karcinomů

Účinky záření na buňku a tkáň

působení na živou hmotu se řídí nejprve obecnými zákony platnými i pro látky neživé – ionizace, excitace – absorpce energie

množství energie IZ potřebné k např. usmrcení jedince - neobyčejně malé v porovnání s jinými druhy energie

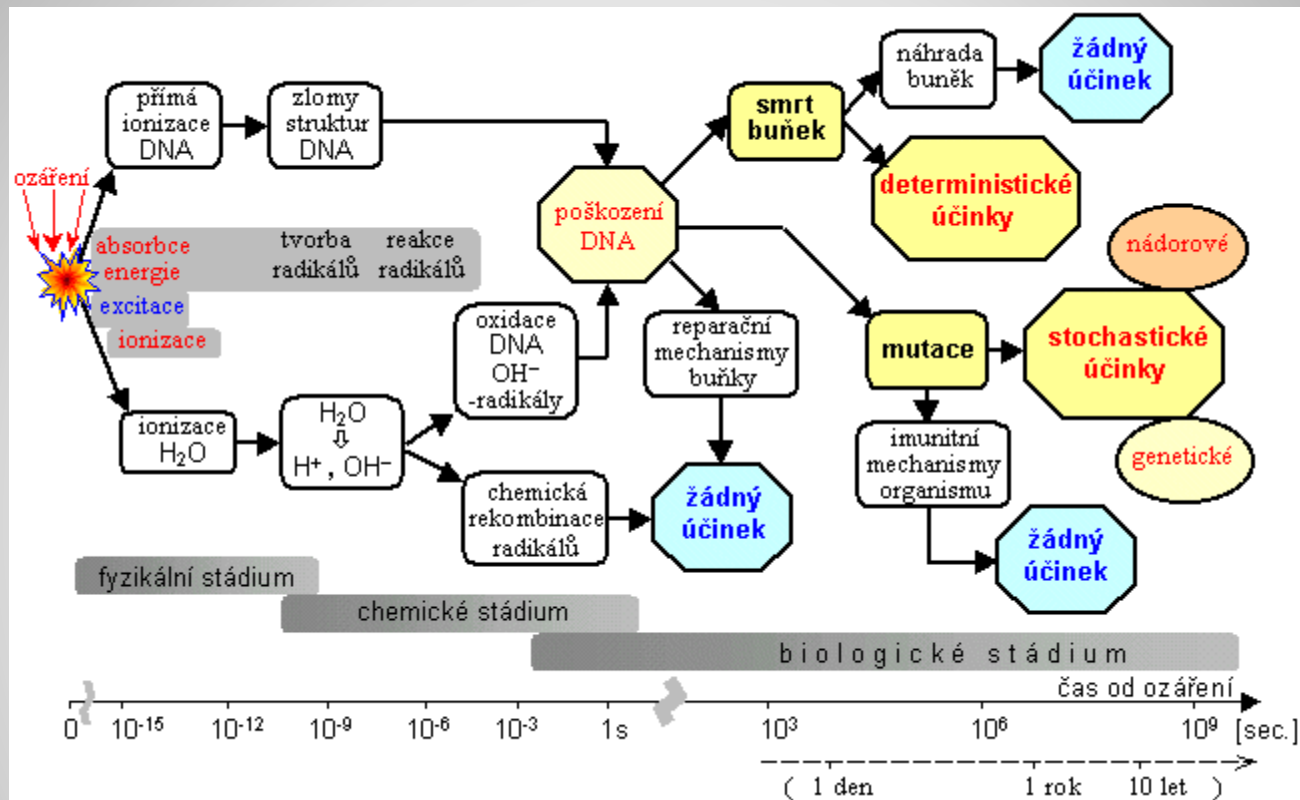


různé teorie o účincích IZ na živou hmotu

Účinky záření na živou hmotu

- fyzikální fáze – bezprostředně po vyvolání ionizace atomů molekul DNA (10^{-13} s)
- fyzikálně chemická fáze – mezimolekulární interakce v zasažené buňce (do 10^{-10} s)
- biochemická fáze – tvorba radikálů (10^{-6} s)
- biologická fáze – zasažení struktury molekul, tkání, orgánů (desítky minut až desítky let)

Jednotlivé fáze působení



Jednotlivé fáze působení

Účinek záření záleží na :

- *fyzikálních faktorech*

druh a energie záření, ev. poločas rozpadu u radionuklidů

- *biologických a radiobiologických faktorech*

radiosenzitivita buněk, tkání, orgánů různá
vysokou radiosenzitivitu mají tkáně s rychlým
buněčným dělením, vysvětluje se to tím, že
mitotická smrt buňky je převládajícím typem
buněčné smrti v důsledku IZ

Reparační mechanismy

Biologické účinky

- v posledních cca 20 letech – rozsáhlé výzkumy v oblasti působení nízkých dávek
- molekulární, buněčná a tkáňová reakce jiná než při ozáření vysokými dávkami
- molekulární a buněčné procesy po ozáření nízkými dávkami – ochranné reakce
- stimulace chromozomových reparací v oblasti velmi nízkých D – pozitivní účinek
- vysoké dávky – poškození (smrt buňky, narušení tkáně, zánětlivá onemocnění)

Možnost tolerance nízkých dávek vzhledem k převažujícím přínosům – nejsou důkazy dle ICRP

Hormeze – raritní stimulace nízkou dávkou

Biologické účinky

- pozorováno při studiu záření na buňku
- buňky, které nebyly přímo ozářeny, se chovaly jako by byly ozářeny – smrt buňky nebo jiné abnormality
- buňky sousedící nebo do určité vzdálenosti od ozářené buňky

Existuje mezibuněčná komunikace - přenáší informace z ozářené buňky?

Nutno přehodnotit pohled na riziko způsobené ozářením

Adaptace na nízké dávky – buňky nejsou připraveny na reparační procesy

Bystander efekt

lidský organismus:
z orgánů a tkání různě citlivých
k ozáření

sensitivní: **lymfoidní orgány, červená
kostní dřeň, výstelka střeva,
pohlavní tkáň, kůže a epiteliální
výstelky, oční čočka**

rezistentní: **nervová tkáň, svaly**

Radiosensitivita

**deterministické = nepříznivé tkáňové
reakce/stochastické** z hlediska vztahu dávka -
účinek

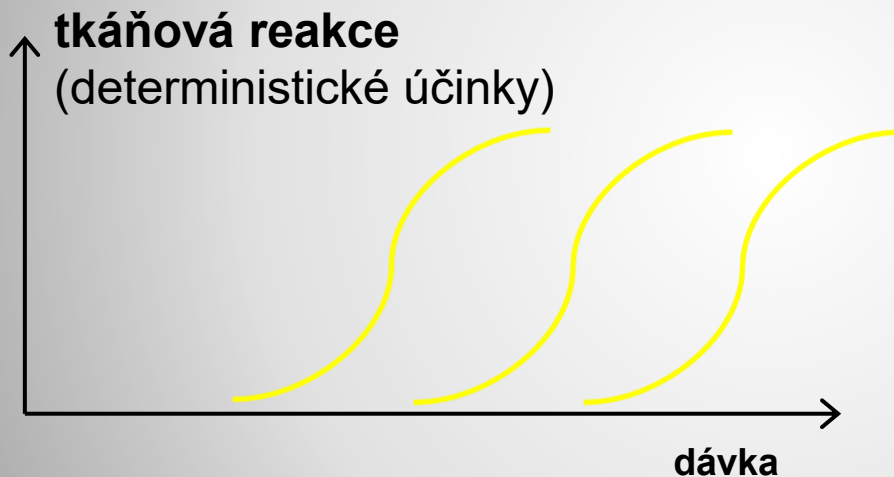
**somatické/genetické postižený/další
generace**

**akutní/chronické dermatitida
časný/pozdní katarakta**

zevní ozáření/vnitřní kontaminace

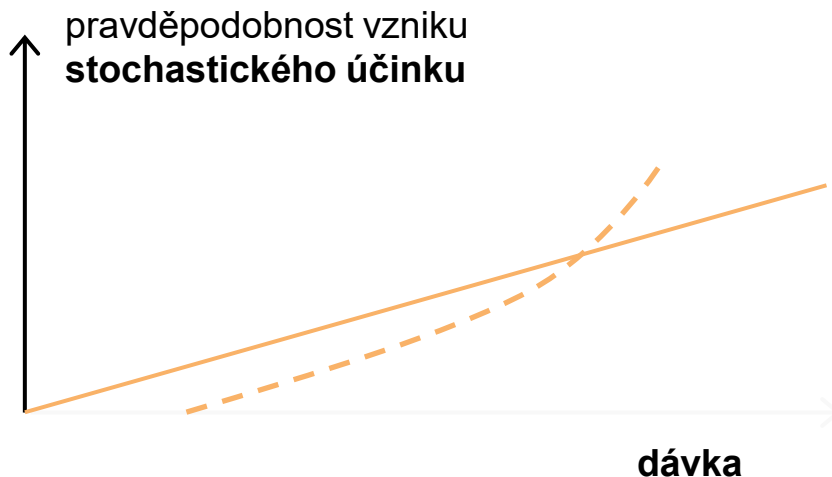
Biologické účinky

Účinky ionizujícího záření na člověka se liší vztahem dávky a účinku



Prahové dávky:

0,5 Sv – zákal oční čočky
3 Sv – radiační popáleniny
~ 2 Sv na celé tělo – akutní nemoc z ozáření



Přestože v epidemiologických studiích je pozorován účinek až od cca 0,1 Sv, je z důvodu opatrnosti předpokládána bezprahová lineární závislost na dávce.

- ❑ **smrt části ozářené buněčné populace**
- ❑ **existence dávkového prahu**
- ❑ **projevy zjistitelné zevním pozorováním**
- ❑ **typické klinické příznaky**

Deterministické účinky

- ❑ **akutní radiační syndrom**
- ❑ **radiační zánět kůže - dermatitida**
- ❑ **snížení plodnosti (fertility)**
- ❑ **zákal oční čočky**
- ❑ **poškození zárodku/plodu**
- ❑ **radiační zánět plic**
- ❑ **radiační zánět nosohltanu**

...

Příklady deterministických účinků

rozsah příznaků záleží na:

dávce, druhu záření, lokalizaci a velikosti ozářené plochy

práh: cca 3 Gy (pro záření X a gama)

časný erytém: několik hodin po ozáření; mizí do 24 hod

pozdní erytém: latence: 2 – 3 týdny

popálenina 1., 2., 3. stupeň

podobná termické; špatně se hojící vřed, rozpadá se i po letech

může dojít i k přechodné nebo trvalé ztrátě ochlupení = epilaci = biologický dozimetr, pak atrofii, pigmentaci, apod.

Radiační „popálenina“ (dermatitida)

kožní změny u profesního ozáření

důsledek MU, nehody
defektoskopie, karotáž, opravy ZIZ v radioterapii,..
zdravotnický personál - (NM, příprava RDN pro PET)

důsledek lékařského ozáření
zdravotnický personál - aplikující odborníci

kožní změny u pacientů - důsledek lékařského ozáření
(neplatí limity)

intervenční výkony (dlouhotrvající, život zachraňující)
radioterapie (správná i chybná léčba - stranová záměna,
přezáření)

Kožní změny
příklady z praxe

práh: cca 1 Gy (0,5 – 2 Gy) jednorázově
nově nižší práh – nový, nižší limit v AZ
5,0 Gy protrahovaně
doba latence: minimálně 6 měsíců

patogeneze:

poškození cév - porucha výživy (málo nitroočního moku);
poškození tvorby vláken čočky, typické v zadním pólu

důsledek lékařského ozáření: u pacientů (radioterapie)
důsledek profesního ozáření: kardiochirurgové

Zákal oční čočky (katarakta)

muži citlivější

**přechodná aspermie (0.5 - 2 Gy)
trvalá (3 Gy)**

u žen dle věku:

**do 40 let frakcionovaná dávka 1.5 Gy
nevede k odezvě**

**2.5- 8 Gy frakcionovaně → sterilitě u
starších ve 100 %**

Snížení plodnosti

celotělové, akutní, jednorázové ozáření
dřeňová, střevní, nervová forma

příznaky: nauzea, zvracení, průjmy, latence
⇒ typické příznaky

dřeňová 2 Gy, latence 2-3 týdny

střevní 6-10 Gy

nervová forma > 30-50 Gy, bezprostředně

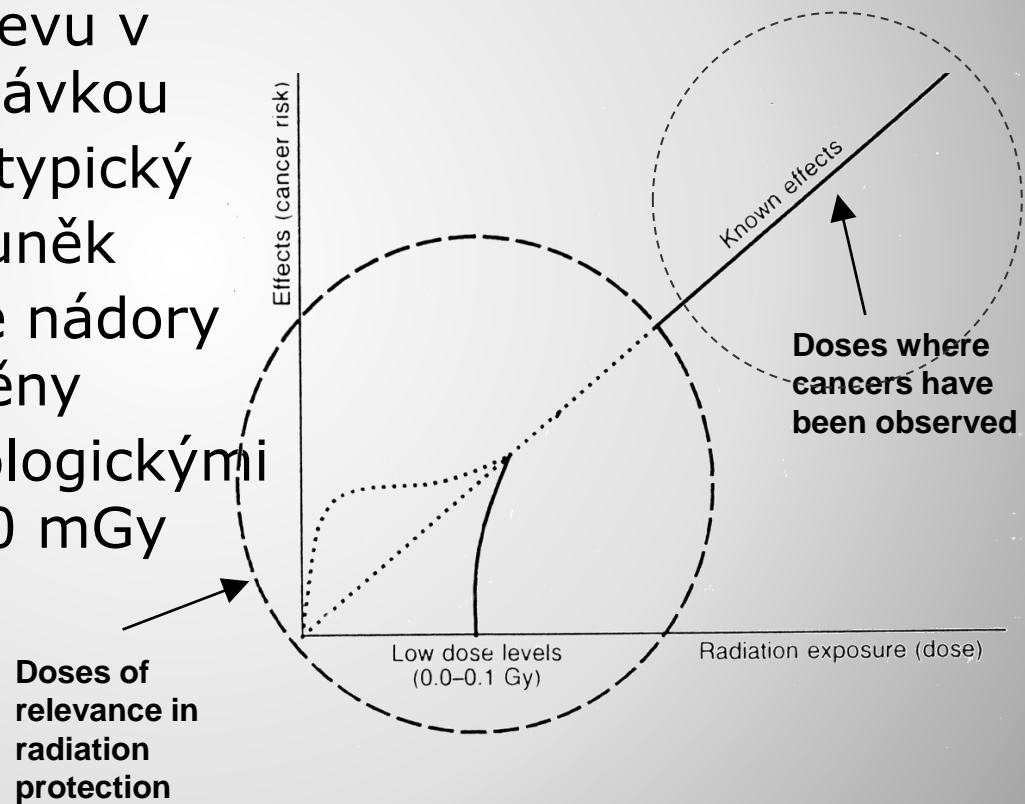
Akutní radiační syndrom (ARS)

- mimořádná citlivost plodu
- poškození závisí na D a stupni vývoje plodu
- do 2 týdnů – vše nebo nic
- 3.-8. týden – vysoké riziko malformací nad 100 mGy - ovlivnění centrálního nervového systému – prahový deterministický účinek
- 8.-18. týden – větší výskyt opožděného psychického vývoje (*pokles IQ o 30 % na 1 Sv*) (Odhady z experimentálních studií z Hirošimy)
- poslední třetina – plod je dost rezistentní jeho usmrcení = smrt matky

poškození buněk- může se projevit dědičné poškození nebo nádory v dětském věku

vývoj plodu

- bezprahový, lineární vztah s dávkou
- velikost dávky nemění závažnost projevu
- mění frekvenci projevu v populaci-stoupá s dávkou
- klinický obraz není typický
- dochází k mutaci buněk
- výsledkem zhoubné nádory nebo genetické změny
- potvrzeno epidemiologickými studiiemi od cca 100 mGy



Stochastické účinky

při hodnocení stochastických účinků se vychází z koeficientů rizika objektivní zdravotní újmy

do újmy zahrnuty:
koeficienty rizika úmrtí na nádor
léčitelnost nádorů

dle ICRP 103 koeficienty rizika

pro **radiační pracovníky** $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$

(ze 100 pracovníků ozářených efektivní dávkou 1 Sv bude pravděpodobně příčinou smrti u 4 osob zhoubný nádor)

pro **populaci** $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$

(pro populaci vyšší, zahrnuje i děti – radiosenzitivnější)

Stochastické účinky

- pravděpodobnost výskytu nádorového onemocnění při nízkých dávkách malá
- spontánní výskyt cca (25 – 30)%
- ozáření $D = 6 \text{ mSv} \rightarrow$ riziko 3×10^{-4}
tj. 3 případy na 10 000 ozářených osob

Příklad

Pravděpodobnost úmrtí na rakovinu v populaci je
25%

Kdybychom jednotlivce vystavili ozáření 100 mSv,
pak pravděpodobnost úmrtí vzroste na 25.5%

Nelze však určit zda konkrétní osoba rakovinu dostane nebo ne. Toto lze vždy hodnotit pouze statisticky jako zvýšený výskyt případů v určité populaci, která byla vystavena zvýšenému ozáření. Ovšem pokud se dávky, kterým bude tato skupina vystavena budou pohybovat pod 100mSv nebude účinek **rozeznatelný** od uvedeného relativně vysokého přirozeného výskytu nádorů v neozářené populaci.

Stochastické účinky

nádory a (genetické účinky)

- vyvolané mutacemi
- bezprahovost
- linearita (s dávkou roste p. výskytu)
- typická dlouhá doba latence (5, 10 - 40 let)
- klinicky neodlišitelné od spontánních nádorů

Lineární bezprahový model se používá **pouze** pro účely regulace

Stochastické účinky

nejnebezpečnější gama – nejpronikavější

ozářený pacient neohrožuje

Zevní ozáření

**nejnebezpečnější alfa - hustě ionizuje
cesty vstupu - vdechnutí, ingesce, kůží...**

**nebát se poskytnout první pomoc
není čas ! rychlá opakovaná dekontaminace**

ANTIDOTA

vyšetření :

**celotělové měření, sběr exkretů – stolice, moči,
chromozomální analýza**

Vnitřní kontaminace

Účinky na lidský organizmus

Příklad akutních lokálních účinků



Příklad chronických lokálních účinků



Účinky na lidský organizmus

40 let starý pacient, který obdržel prodlouženou a opakovanou dávku v intervenční radiologii v krátké době.



Příklad špatné lékařské expozice

a o 18 měsíců později



Příklad špatné lékařské expozice 2

**Klinika nemocí z povolání VFN Praha
Klinika popálenin FNKV Praha
II. interní klinika FN Hradec Králové
Dermatologická klinika FN Brno**

**Střediska speciální zdravotní péče
osobám ozářeným při radiačních
nehodách**



6 dnů po ozáření

radiační nehoda při defektoskopii



15 dnů po ozáření

radiační nehoda při defektoskopii

Nemoci z povolání nádorová onemocnění

posouzení profesionality - stanovisko SÚJB - přiznává pracoviště NzP

nádory klinicky neodlišitelné od spontánních

porovnání

populační pravděpodobnosti (přírozený výskyt) x radiační
založeno na stanovení podílu příčinné souvislosti ozáření na
vzniku onemocnění

platí kritérium převažující pravděpodobnosti (PPS>0,5)

nejčastěji **rakovina plic**

útlum těžby - pokles incidence?

rakovina plic hlášena i u jiných profesí (nehorníci)

ostatní typy nádorů – rakovina kůže (bazaliom)

Nemoci z povolání v r. 2016

u pracovníků UD

9 případů rakoviny plic

2 případy rakoviny kůže

ostatní doly

2 případy rakoviny plic

**u 10 horníků UD potvrzena PPS mezi onemocněním
a prací s ionizujícím zářením**

Závěr

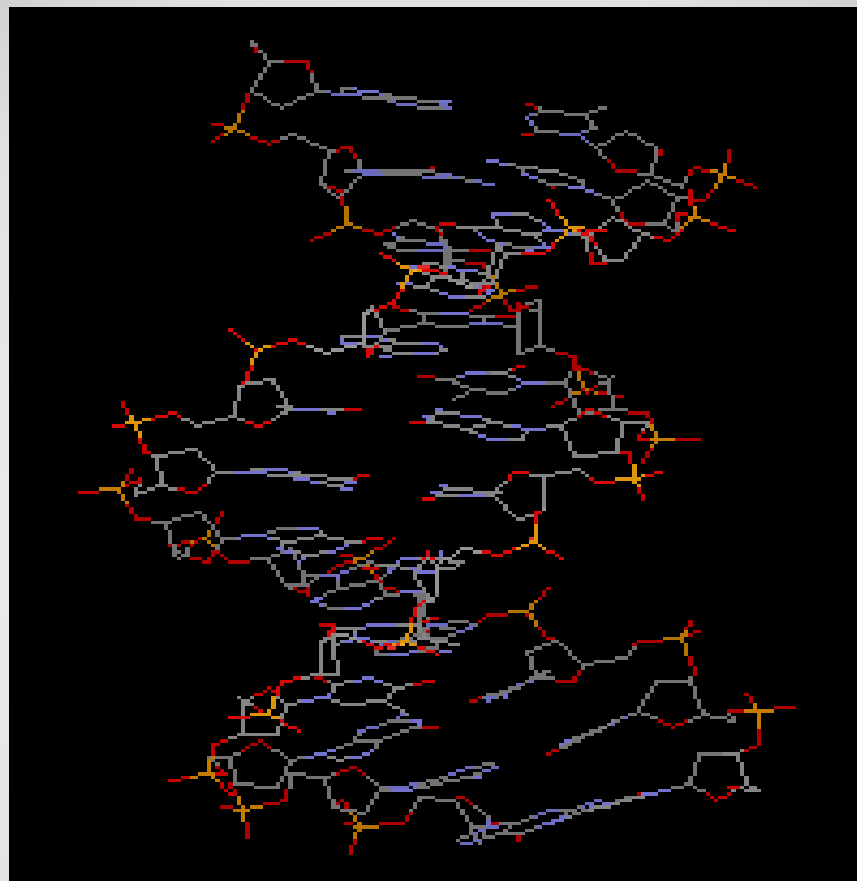
- **limity stanovené - pod prahem deterministických účinků (vyloučit)**
(vznik deterministických účinků jen hrubé porušení zásad RO nebo při nehodách)
- **pravděpodobnost vzniku stochastických účinků omezit na minimum**

radiační ochrana - ochrana před stochastickými účinky

Cíle radiační ochrany

- **0.001mSv**– 30 g para ořechů (K)
- **0.01mSv**– snímek zubů
- **0.1mSv**– RTG hrudníku
- **1.0mSv**–pracovník jaderné elektrárny
- **10.0mSv**– CT BD
- **100.0mSv**– kosmonaut 4 měsíce
- **1000.0mSv**- radioterapie od 1 Gy

Příklady zátěží



Děkuji za pozornost