

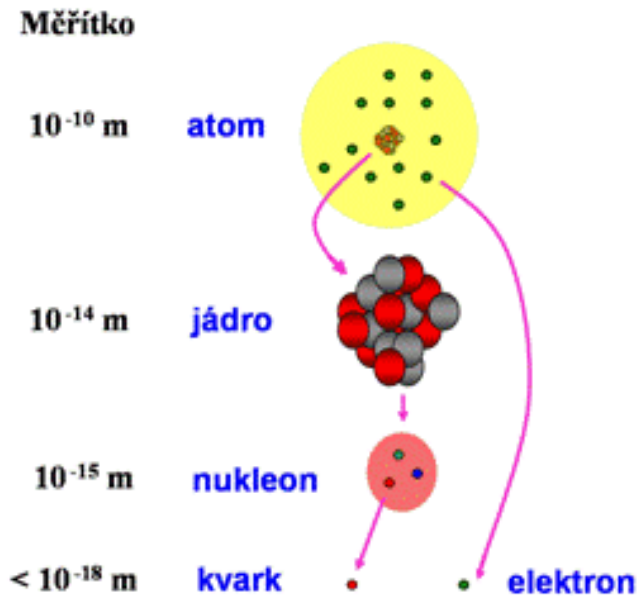


Ionizující záření

Katarína Kuricová

Jaro 2014

Terminologie



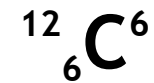
Symbolika:



A = nukleonové číslo ($A = Z + N$)

Z = protonové číslo

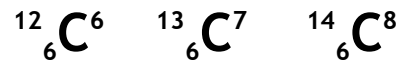
N = neutronové číslo



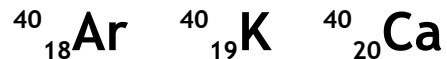
Terminologie

Nuklidy = soubor identických atomů jejichž jádra mají identické složení = stejné A i Z

Isotopy = soubor atomů, které mají stejné Z ale různé N (a tím pádem i A)



Isobary = nuklidy které mají stejné A ale různé Z



Radio - značí, že jádro je nestabilní a samovolně se rozpadá

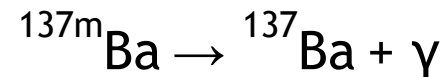
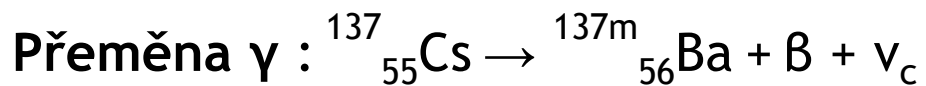
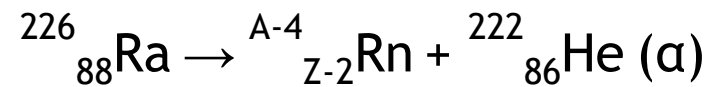
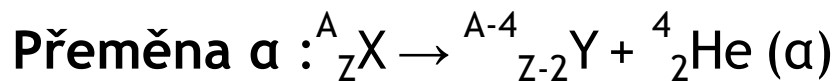
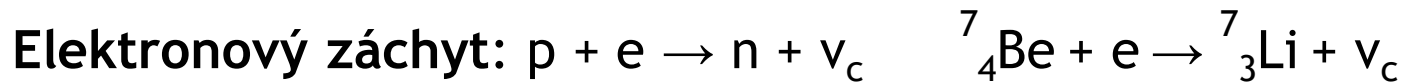
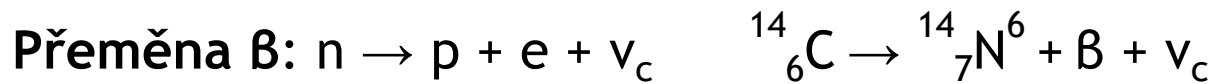
Dávka záření - energie sdělená ionizujícím zářením (E získaná od všech ionizujících částic)

- rozměr je J/kg, jednotkou je Gy (gray)
- 1Gy = energie 1J absorbovaná v 1 kg látky

Terminologie

Skupiny radioaktivních přeměn:

1. mění se Z při konstantním A (β , β^+ , EZ)
2. mění se Z i A (α)
3. deexcitace jádra (γ)



Terminologie

Mechanismus ztráty energie záření:

α - těžké nabité částice, krátký dosah (ve vzduchu několik cm, v kapalinách desítky μm)

β - menší náboj jako α , při stejné energii větší rychlost, větší pronikavost a dosah (v plynech metry, v kapalinách mm)

γ - ionizuje nepřímo účinkem sekundárních elektronů, lineární ionizace je malá, dosah proto velký

Metody ochrany - vzdáleností, odstíněním (β cm sklo, plexisklo; γ olovo, železobeton)

Vyhláška

Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (2002) o radiační ochraně

Generátor záření - záření nebo přístroj vysílající ionizující záření, jehož součásti pracují při rozdílu potenciálu vyšším než 5 kV (rentgenová zařízení, urychlovač částic)

Radioaktivní kontaminace - znečištění jakéhokoli materiálu či jeho povrchu, prostředí nebo osoby radioaktivní látkou

Radionuklid - druh atomů, které mají stejný počet neutronů, stejný energetický stav a které podléhají samovolné změně ve složení nebo stavu atomových jader

Zneškodňování radioaktivních odpadů - umístění radioaktivních odpadů na úložiště bez úmyslu je znovu použít

Vyhláška

Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (2002) o radiační ochraně

Osobní dávka - souhrnné označení pro veličiny charakterizující míru zevního i vnitřního ozáření jednotlivé osoby, zejména efektivní dávku a ekvivalentní dávku v jednotlivých orgánech nebo tkáních

Ekvivalentní dávka H_T - součin radiačního váhového faktoru W_R a střední absorbované dávky D_{TR} v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření R [Sv]

$$H_T = W_R \times D_{TR}$$

Druh záření	W_R	Druh záření	W_R
Fotony a elektrony	1	Neutrony o energii 0,1-2 MeV	20
Neutrony o energii do 10 keV	5	Neutrony o energii 2-20 MeV	10
Neutrony o energii 10-100 keV	10	Záření alfa	20

Vyhláška

Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (2002) o radiační ochraně

Osobní dávka - souhrnné označení pro veličiny charakterizující míru zevního i vnitřního ozáření jednotlivé osoby, zejména efektivní dávku a ekvivalentní dávku v jednotlivých orgánech nebo tkáních

Ekvivalentní dávka H_T - součin radiačního váhového faktoru W_R a střední absorbované dávky D_{TR} v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření R

$$H_T = W_R \times D_{TR}$$

Efektivní dávka E - součet součinů tkáňových váhových faktorů W_T a ekvivalentní dávky H_T v orgánech nebo tkáních T (je to veličina, která zahrnuje pravděpodobnost škodlivých účinků způsobených určitou ekvivalentní dávkou pro různé tělesné orgány a tkáně).

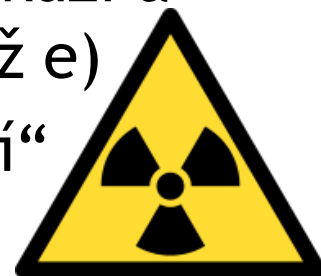
Vyhláška

Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (2002) o radiační ochraně

Pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti, se kategorizují vzestupně podle ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením na pracoviště I., II., III. a IV. kategorie.

Sledované pásmo - vymezuje se všude tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 1mSv ročně nebo ekvivalentní dávka by mohla být vyšší než jedna desetina limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny stanoveného v § 20 odst 1 písm c) až e)

„Sledované pásmo se zdroji ionizujícího záření“



Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (2002) o radiační ochraně

Omezování ozáření osob je zajišťováno pomocí limitů ozáření (do čerpání limitů se nepočítá ozáření z přírodních zdrojů kromě těch, které jsou vědomě a záměrně využívány)

	Obecné limity	Radiač. pracovníci	Učni a studenti
Součet efektivních dávek ze zevního i vnitřního prostř.	1 mSv / rok 5mSv / 5roků	50 mSv /rok 100mSv / 5roků	6 mSv /rok
Ekviv.dávka v oční čočce	15 mSv /rok	150 mSv /rok	50 mSv /rok
Ekviv.dávka v 1cm ² kůže	50 mSv /rok	500 mSv /rok	150 mSv /rok

Mechanismy účinku IZ na živou tkáň

□ fyzikální stádium

- při interakci kvanta ionizujícího záření s hmotou je energie záření předávána elektronům v atomech za vzniku ionizace a excitace

□ fyzikálně-chemické stádium

- sekundární fyzikálně-chemické procesy interakce iontů s molekulami - disociace molekul a vznik volných radikálů

□ chemické stádium

- vzniklé ionty, radikály, excitované atomy a další produkty reagují s biologicky důležitými organickými molekulami a mění jejich složení a funkci.

□ biologické stádium

- molekulární změny v biologicky důležitých látkách (v DNA, enzymech, proteinech) - funkční a morfologické změny v buňkách, orgánech i v organismu jako celku.

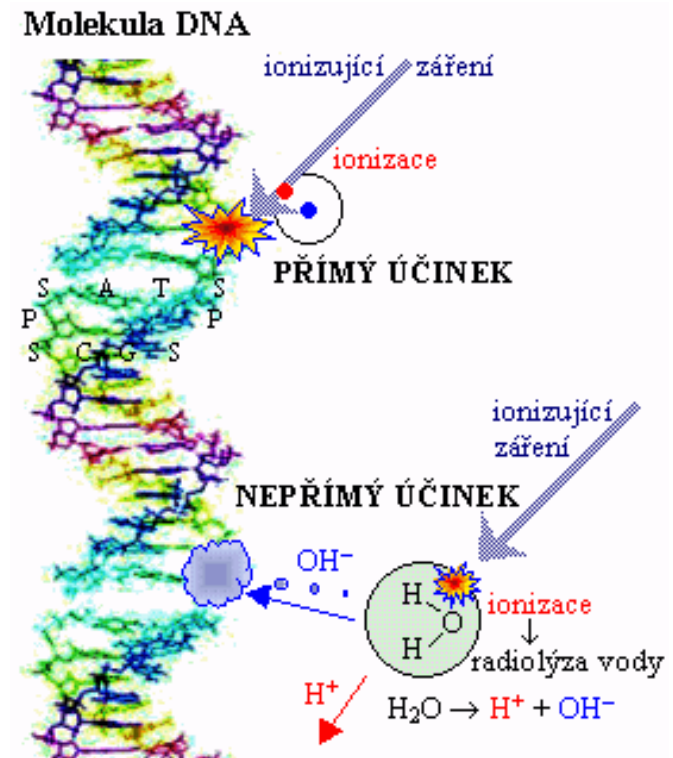
Biologické účinky IZ

□ přímý účinek

- přímý zásah makromolekuly
- závažný hl. u nukleových kyselin
- druhořadý význam
 - pravděpodobnost takových "přímých zásahů" je poměrně nízká

□ nepřímý účinek

- radiolýza vody
 - změny způsobené především radikály (superoxid, H_2O_2)
- vysvětlení tzv. kyslíkového efektu
 - účinek záření větší, je-li v buněčné tekutině rozpuštěn kyslík



Efektivní dávka $H_f = W_T \times H_T$

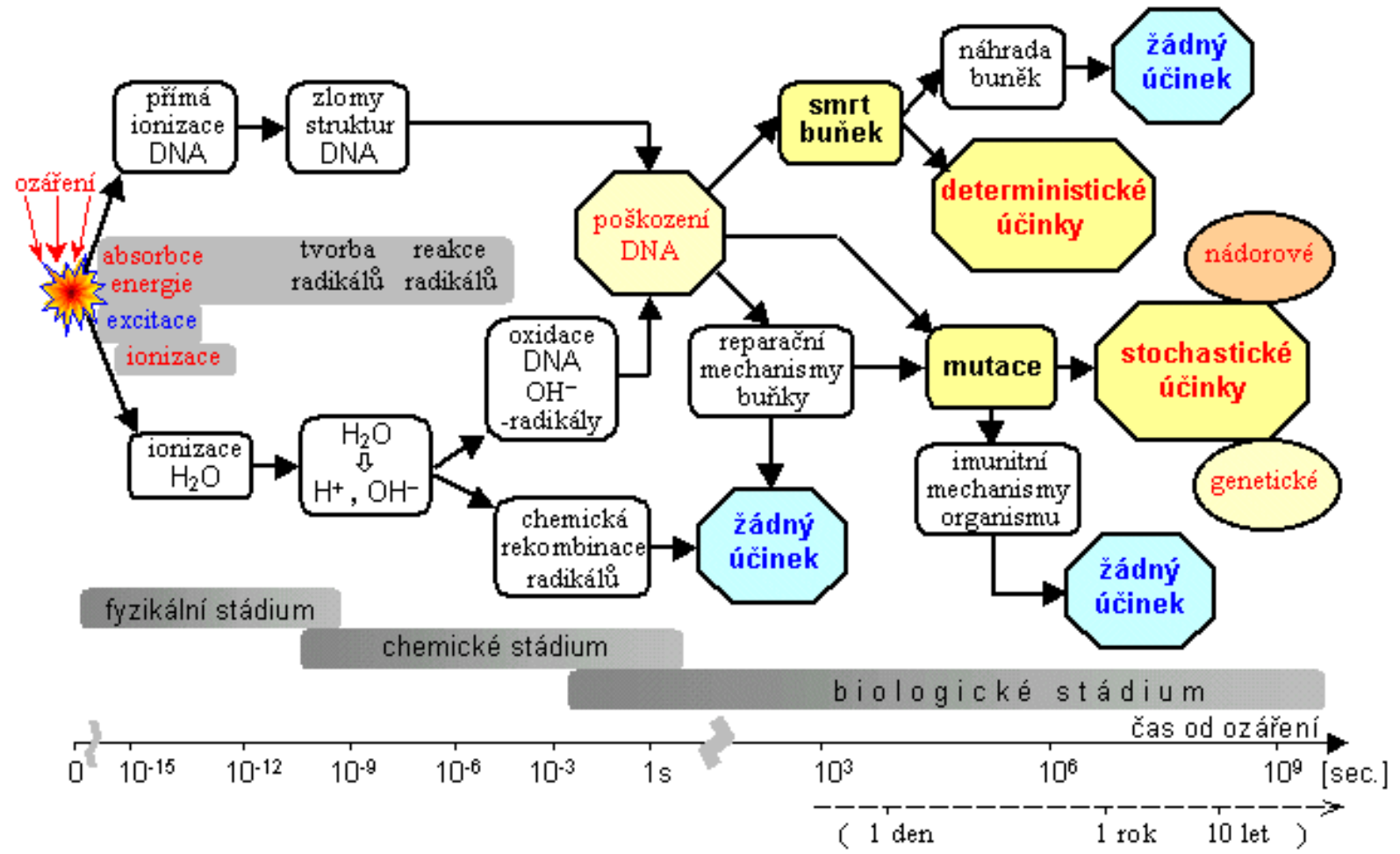
jednotlivé orgány reagují na stejné záření jinak:

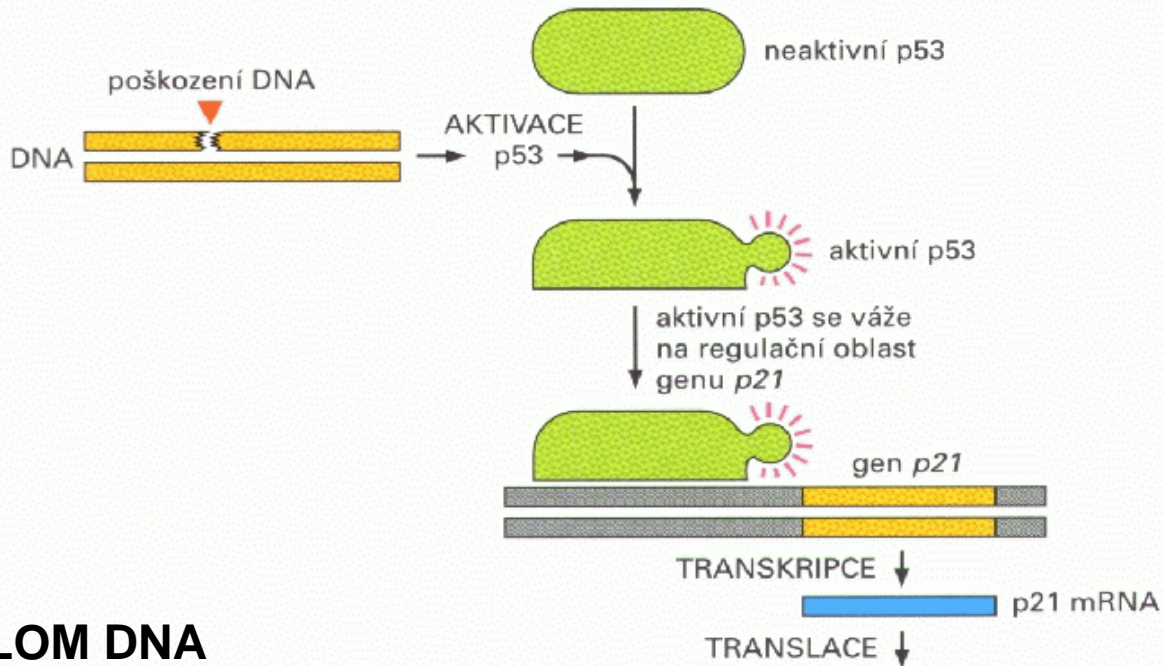
	W_T
Gonády (nejcitlivější)	0,2
žaludek	0,12
játra	0,05
kůže	0,01
Povrchy kostí (nejméně citlivé)	0,01

Postradiační změny na molekulární úrovni

- cílem radikálového poškození jsou:
 - lipidy
 - součást membrán - poruchy transportu a změny odolnosti
 - membrána nepůsobí jako překážka pro makromolekuly
 - př. $\text{OH}\cdot$ reaguje s lecitinem
 - proteiny
 - modifikace AK zbytků - změna konformace a funkce
 - změny konformace př. porušení oxidativní fosforylace
 - chybná syntéza enzymů
 - DNA
 - puriny, pyrimidiny, deoxyribóza
 - zlomy (jednoduchý vs. dvojitý)

Efekt záření na buňku / tkáň

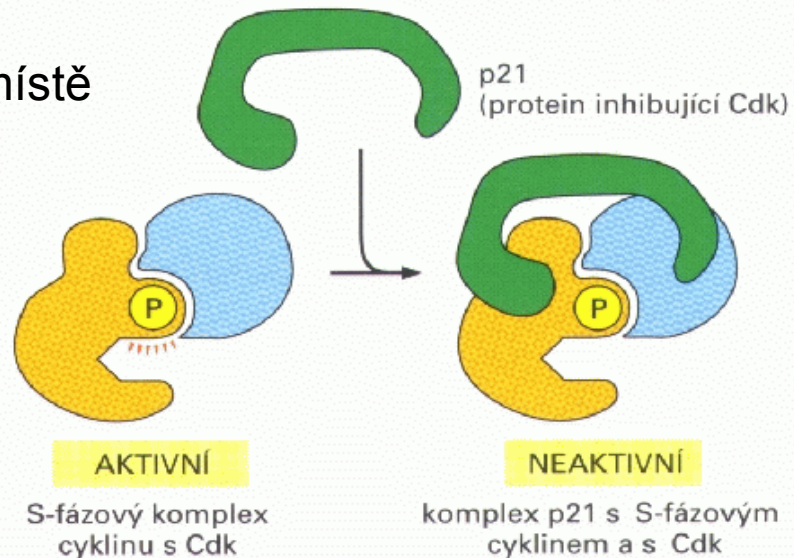




ZLOM DNA

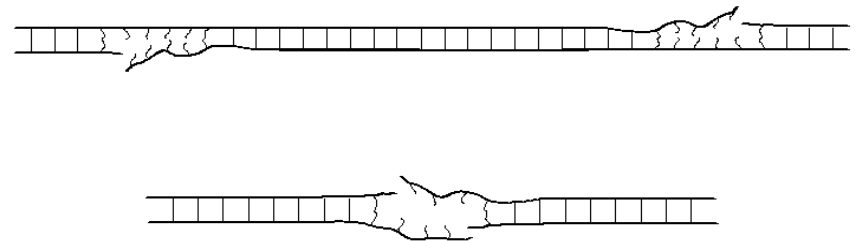
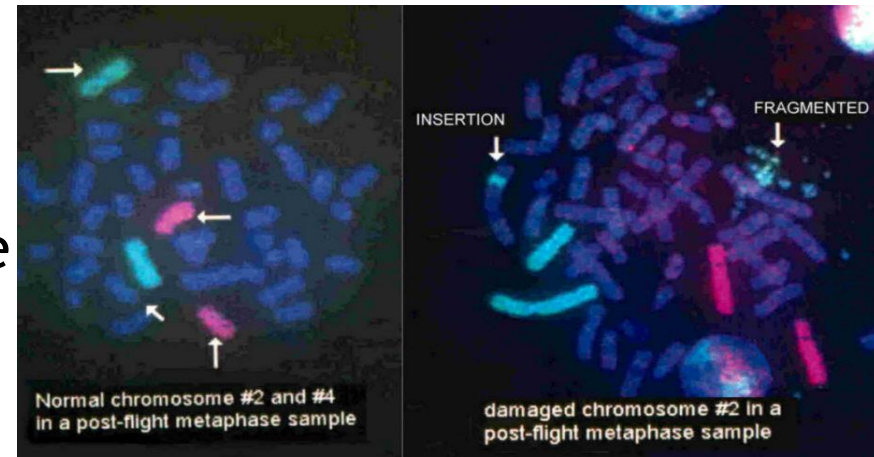
jednoduchý - kontinuita v místě
1 vlákna (reparace)

x **dvojitý** - porucha funkce



Typy a důsledky lézí DNA

- bodové mutace
- single strand breaks (SSB)
 - možná reparace
- double strand breaks (DSB)
 - letální (apoptóza)
 - homologní rekombinace
 - nehomologní připojení
 - translokace
 - inzerce



Reparace DNA

2 základní mechanismy reparace DNA:

1) na transkripci vázaná reparace, reparace chybného párování tzv. korekturní čtení, která pracuje přímo při syntéze DNA.

DNA polymeraza I má schopnost poznat a odstranit špatnou bázi a nasyntetizovat novou. Tento mechanismus je velmi účinný.

2) nukleotidová excisní reparace (NER) - ta pracuje v průběhu celého buněčného cyklu. Tento mechanismus opravuje široké spektrum mutací v DNA (UV, radiace chemické látky, spontánní mutace)

Tento proces spočívá v:

- rozpoznání poškozeného místa
- excizi poškozeného řetězce DNA
- nasyntetizování nového úseku DNA podle komplementárního řetězce DNA
- napojení nového úseku na původní vlákno DNA (DNA - ligáza)

3) fotoreaktivace - štěpení thyminových dimerů fotolyázou, aktivace UV světlem

4) chemická reparace - 3-methyladenin DNA glykozyláza odstraňuje spontánně methylované báze

Akutní radiační syndrom (ARS)

- jednorázové ozáření celého těla dávkou větší než 1 Gy (celé tělo nebo jeho větší část)
- časový průběh, rozsah a závažnost závisí na velikosti dávky
- postižení hematopoetického, gastrointestinálního a cerebrovaskulárního systému
- stadia ARS:
 - prodromální
 - nevolnost, zvracení, průjem, bolesti hlavy - dny
 - latentní
 - týdny
 - přechodné ustoupení příznaků
 - manifestace
 - záleží na dávce, měsíce
 - intenzivní rozvinutí počátečních příznaků + padání vlasů, vnitřní krvácení, silná vnímavost k infekcím
 - regenerace nebo smrt

Pravděpodobnost úmrtí: 6 Sv 80 %, 10 Sv 100 %

- těhotenství - poškození plodu *in utero*
(prahová dávka 0,05 Sv!)
 - <3 týdny (blastogeneze)
 - “vše nebo nic”
 - genové a chromozomové mutace zpravidla vedou k abortu
 - 3. - 8. týden (organogeneze)
 - růstová retardace
 - teratogenní - kongenitální deformity
 - mikrocefalie, mikroftalmie, spina bifida, rozštěpy, ...
 - 8. - 15. týden (časně fetální období)
 - mentální retardace
 - zvýš. náchylnost k nádorovým onem. u dětí (leukemie)
 - později
 - značná rezistence
- sterilita
 - spermatogeneze - dočasná sterilita u mužů (od 3 Sv trvalá)
 - ovaria - nutná velká dávka k vyvolání sterility u žen
- zákal oční čočky (prahová d. 1,5 Sv)

Pozdní účinky

- mohou se projevit po letech až desítkách let od ozáření
- vznikají buď jako deterministické účinky po dlouhodobé či opakované expozici menšími dávkami záření (nenádorová pozdní poškození)
nebo jako stochastické účinky (nádorová a genetická postižení)

Účinky IZ na organizmus

□ deterministický

- závažnosť poškodení je priamo úmerná dávce
- účinky se projeví pouze po dosažení prahové dávky
- poškodení vzniká jako důsledek zániku velkého množství buněk
- specifická manifestace

■ poškodení typických tkání a orgánů (předvídatelné)

- nástup příznaků brzy po expozici (krátká latence)
- typy
 - akutní radiační syndrom
 - chronický postradiační sy.
 - rad. dermatitida, sterilita, katarakta
 - oškození plodu in utero

□ stochastický

- s dávkou roste pravděpodobnost poškození
- účinky jsou bezprahové
 - závažnost postižení a průběh onemocnění nejsou závislé na výši dávky
- následky jsou náhodné, individuální a nepředvídatelné
- nespecifická manifestace
 - poškození různých tkání a orgánů
- opožděná manifestace (dlouhá latence, typicky roky)
- typy
 - somatické mutace - nádory
 - leukemie, plíce, štítná žláza, skelet
 - germinativní mutace
 - vrozený genetický defekt

Hormeze

- stimulující účinky malých dávek záření
- vyšší metabolická aktivita bakterií
- urychlení klíčení semen, růst
- prodloužení života myši (1 mGy)
- u lidí léčivé účinky radioakt. koupelí (Jáchymov) - revmatismus, inf. onemocnění nervového systému, poruchy vylučování žluči