

UNIVERSITAS CAROLINA PRAGENSIS

Univerzita Karlova v Praze - 1. Lékařská fakulta



Biologické účinky ionizujícího záření a radiační ochrana

Ústav nukleární medicíny
Univerzity Karlovy



Ing. Daniela Skibová, Ph.D.
2021/2022



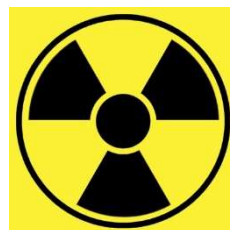
ZUBNÍ RENTGEN



podobně jako

- lineární urychlovač v radioterapii
- CT
- jaderná elektrárna

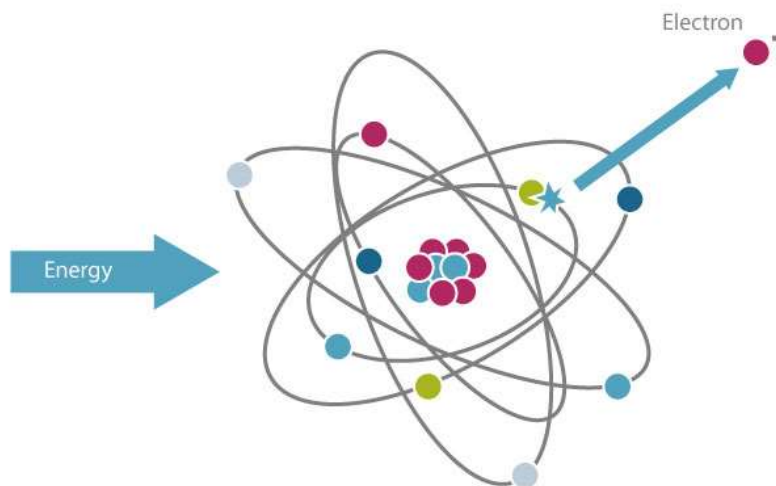
je **ZDROJEM IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ (ZIZ)**



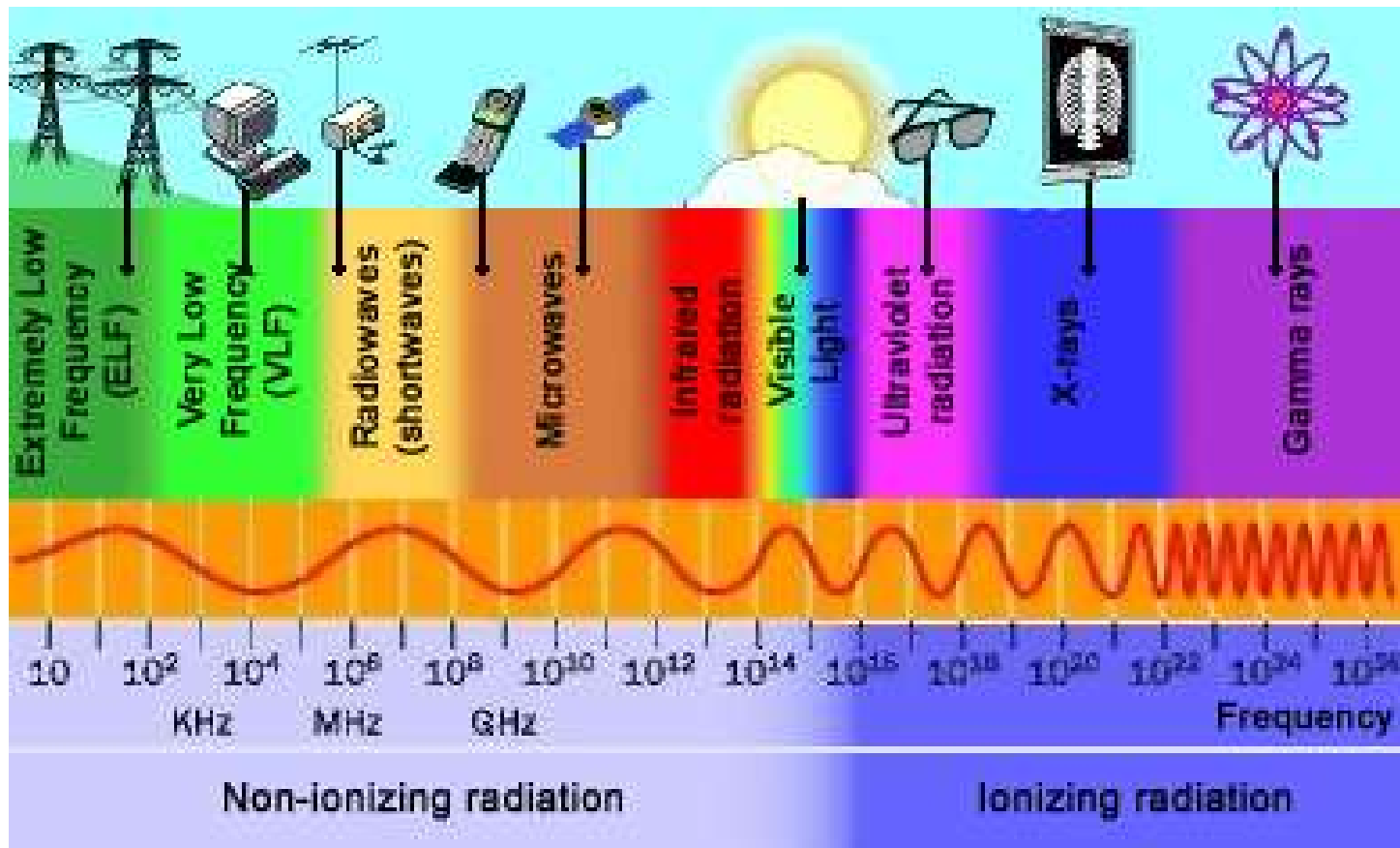
IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

= záření schopné ionizovat látku

- **Ionizace = proces, při kterém se z elektricky neutrálního atomu nebo molekuly stává iont**
 - ionizovat může částice či záření s dostatečnou kinetickou energií
 - nemůže ionizovat např. viditelné světlo



SPEKTRUM ZÁŘENÍ



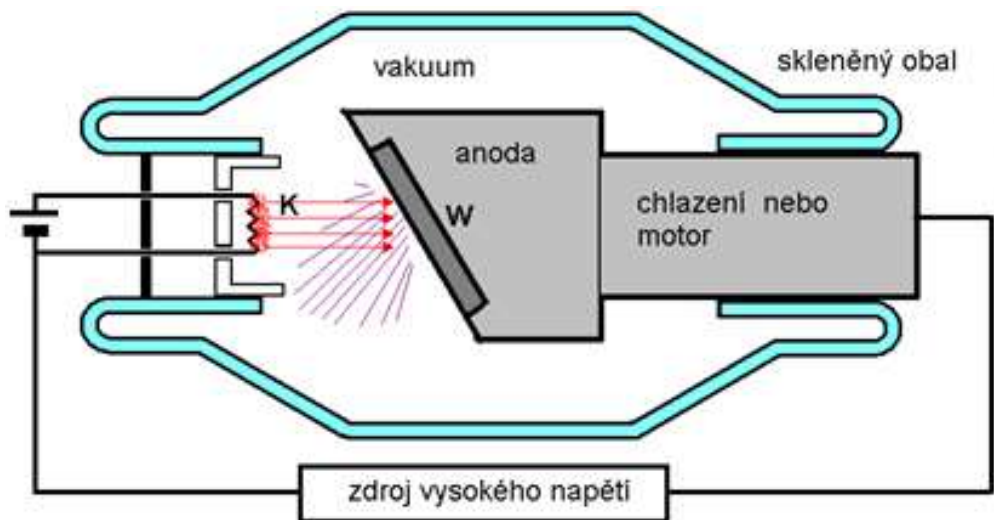
záření je charakterizováno energií E , frekvencí (f) a vlnovou délkou (λ) dle vztahu: $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$

h = Planckova konstanta, c = rychlost světla

RTG (CT) x Nukleární medicína

zdroj ionizujícího záření

RENTGENKA



RADIONUKLID



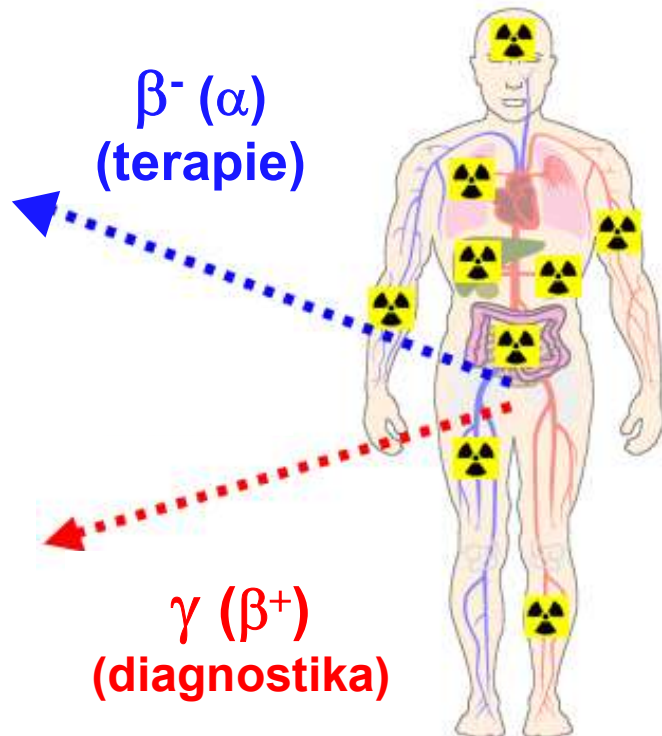
RADIOFARMAKUM

^{99m}Tc – MDP (metylendifosfonát)
 ^{99m}Tc – DMSA (dimerkaptosukcinát)
 ^{111}In – pentetrotid (OCTREOSCAN)

RADIONUKLID



NOSIČ



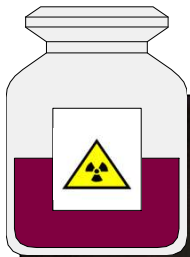
- chemická molekula, která určuje chování RF v těle
- doprava RN do cíleného orgánu



NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA

= zabývá se diagnostikou i terapií

APLIKACE RADIOFARMAKA



nejčastěji:

- **intravenózní**

méně často:

- inhalační (^{81m}Kr)
- perorální (^{131}I – roztok, kapsle)



RADIONUKLIDY V NM

DIAGNOSTIKA		TERAPIE
SPECT	PET	
^{99m}Tc ^{111}In , ^{123}I , ^{81m}Kr , ^{131}I ...	^{18}F ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O ^{64}Cu , ^{82}Rb , ^{86}Y , ^{124}I	^{131}I ^{90}Y , ^{177}Lu , ^{89}Sr , ^{153}Sm , ^{223}Ra

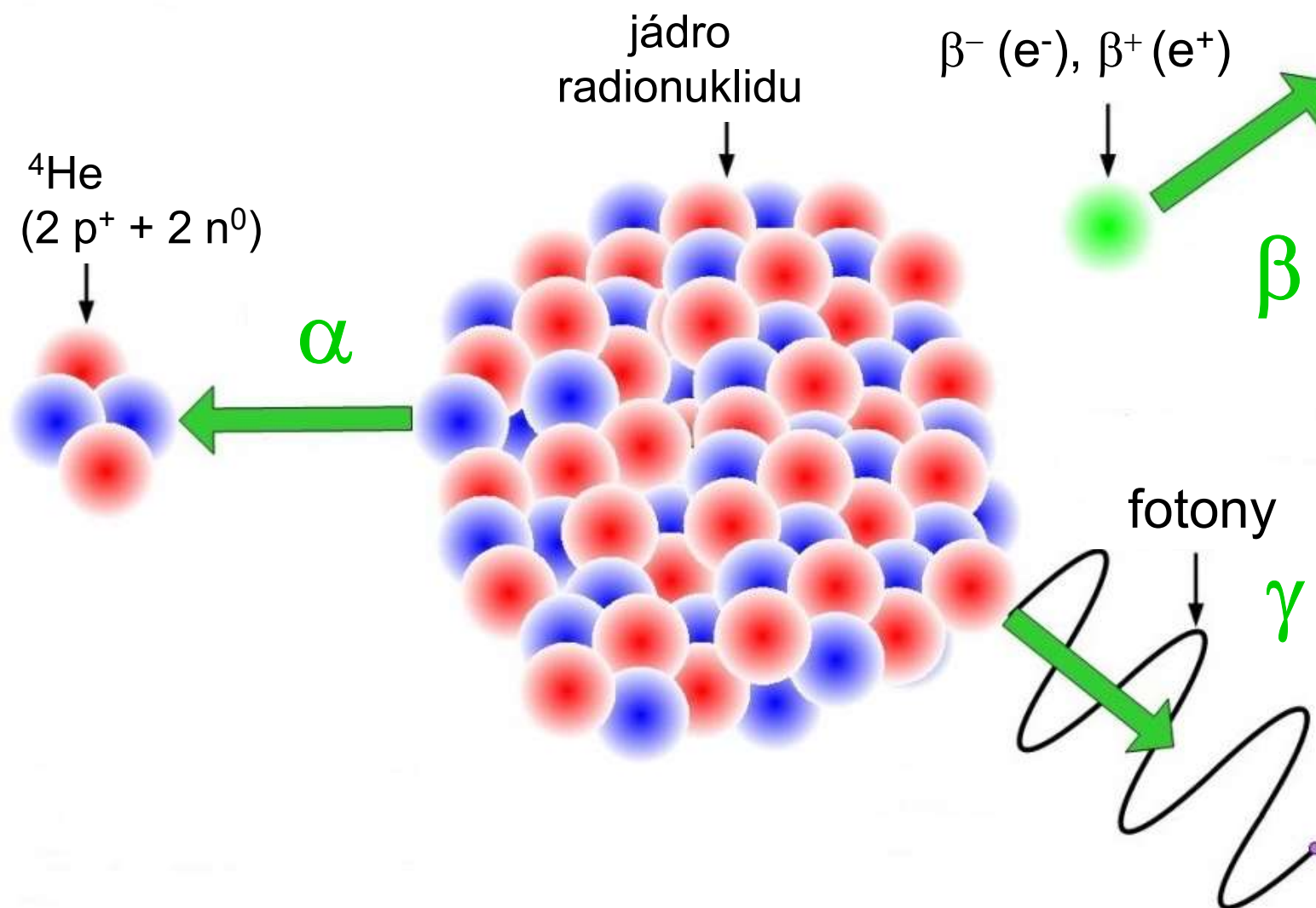


RADIONUKLIDY V NM

Důležité parametry radionuklidu:

- Typ radioaktivní přeměny (druh záření a energie)
- Aktivita
- Fyzikální poločas přeměny
- *Biologický poločas přeměny radiofarmaka*

RADIONUKLID – RADIOAKTIVNÍ PŘEMĚNY



RADIONUKLID – RADIOAKTIVNÍ PŘEMĚNY

- $\alpha \Rightarrow {}^4\text{He}$ (${}^{223}\text{Ra}$)

- β

- $\beta^- \Rightarrow \mathbf{e^-}$ (${}^{131}\text{I}$)

- $\beta^+ \Rightarrow \mathbf{e^+}$ (${}^{18}\text{F}$)

PET

- $\gamma \Rightarrow \mathbf{\text{fotony}}$ (${}^{99\text{m}}\text{Tc}$)

SPECT

TERAPIE

DIAGNOSTIKA



RADIONUKLID – AKTIVITA

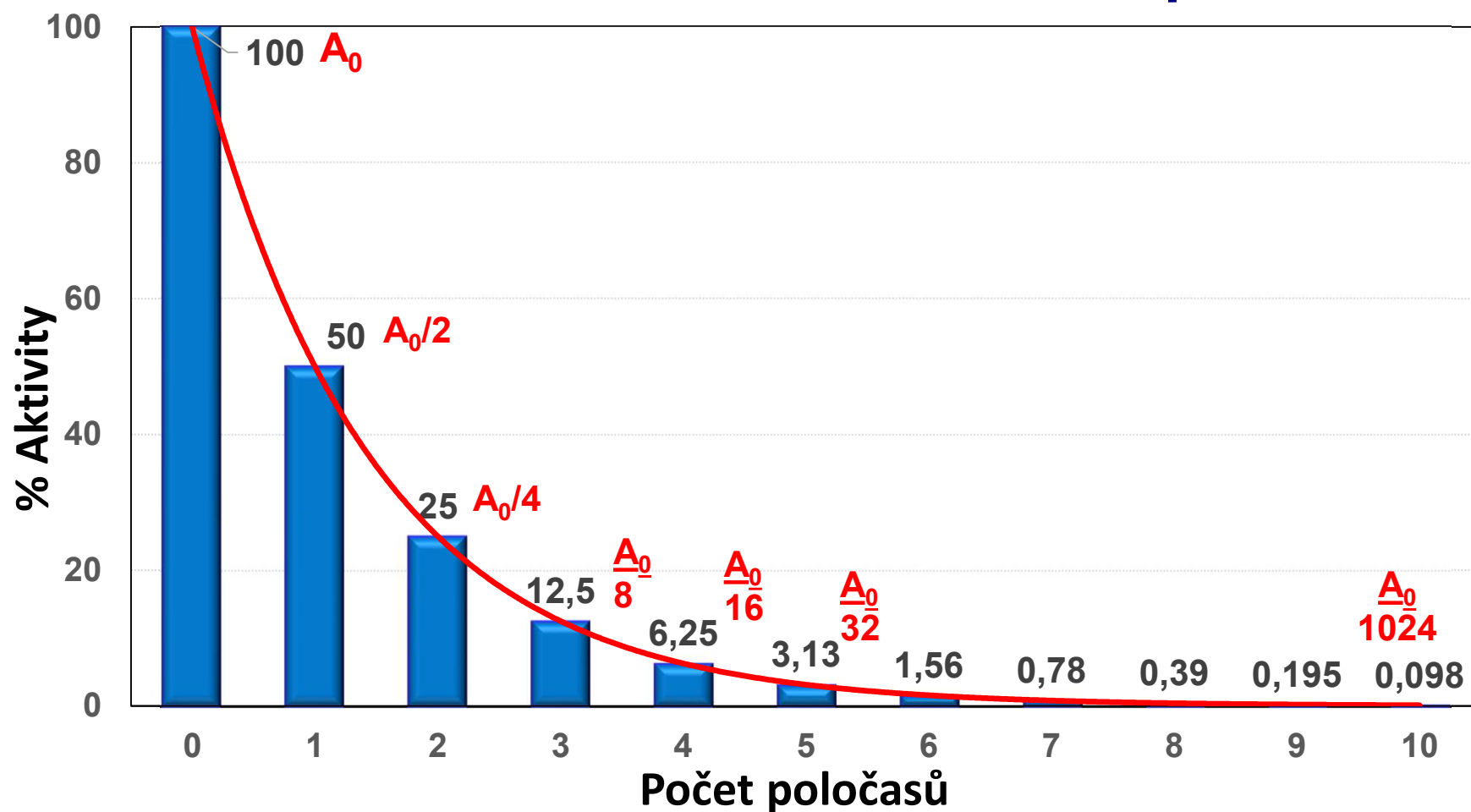
= udává počet samovolných přeměn za 1 sekundu

- Jednotka: **Bq = Becquerel [s⁻¹]**
- Používají se násobky jednotky Bq:
 - 1 **kBq** = 10³ Bq
 - 1 **MBq** = 10⁶ Bq
 - 1 **GBq** = 10⁹ Bq
- Aktivita aplikovaných radiofarmak:
 - Diagnostika – stovky (desítky) MBq
 - Terapie – jednotky GBq

RADIONUKLID

FYZIKÁLNÍ POLOČAS PŘEMĚNY (T_f)

= doba, za kterou **aktivita** vzorku **klesá na polovinu**.



RADIONUKLID

FYZIKÁLNÍ POLOČAS PŘEMĚNY (T_f)

- nelze ovlivnit žádnými fyzikálními a chemickými podmínkami

DIAGNOSTIKA				TERAPIE	
SPECT		PET			
^{99m}Tc	6 h	^{18}F	110 min	^{131}I	8 d
^{67}Ga	78,3 h	^{68}Ga	68 min	^{90}Y	64 h
^{123}I	13,2 h	^{11}C	20 min	^{177}Lu	6,6 d
^{111}In	2,8 d	^{13}N	10 min	^{186}Ru	3,7 d
^{81m}Kr	13 s	^{15}O	122 s	^{223}Ra	11,4 d

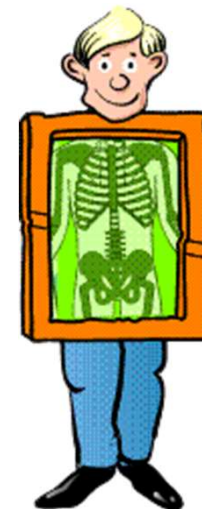
VELIČINY RADIČNÍ OCHRANY

fyzikální veličina:

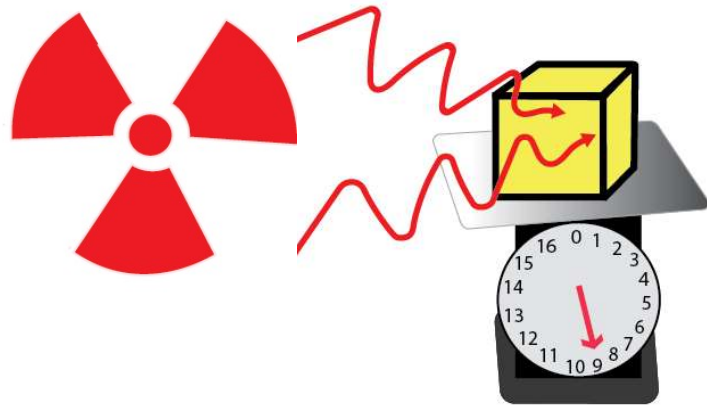
- **ABSORBOVANÁ DÁVKA (D), [Gy]**

odvozené veličiny RO:

- **EKVIVALENTNÍ DÁVKA (H_T), [Sv]**
- **EFEKTIVNÍ DÁVKA (E), [Sv]**



VELIČINY RO - ABSORBOVANÁ DÁVKA (D)



Energie absorbovaná v hmotě

$$D = \Delta E / \Delta m$$

Jednotka: 1 Gy (gray) = 1 J/kg

Biologická reakce nezávisí jen na absorbované energii (D), ale také na jejím rozložení uvnitř biologického objektu.

RŮZNÉ DRUHY ZÁŘENÍ:

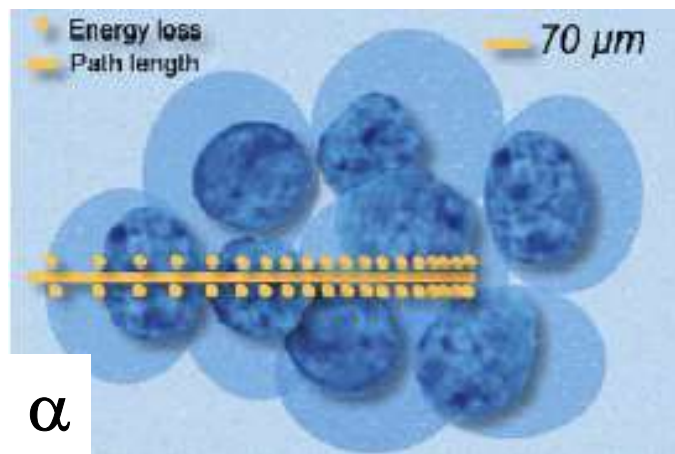
Při stejné hodnotě D → biologická účinnost NENÍ STEJNÁ.

Z hlediska biologických účinků se IZ rozděluje:

záření hustě ionizující

= záření α , n^0 , p^+

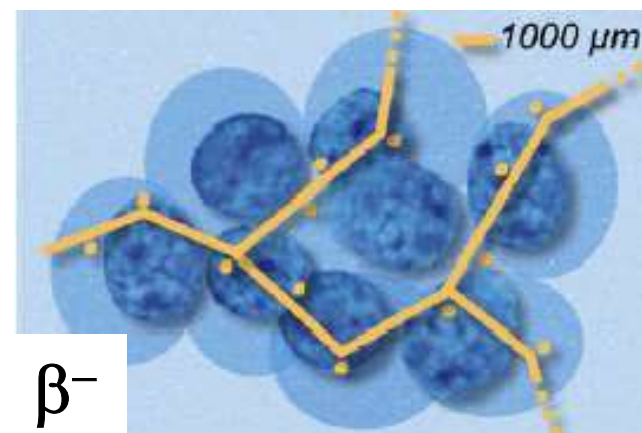
(vytváří až 2000 iontových párů/ $1\mu\text{m}$)



záření řídky ionizující

= záření X , γ , e^-

(vytváří až 100 iontových párů/ $1\mu\text{m}$)



Při stejné hodnotě D:

biologická účinnost α , n^0 , p^+ záření

JE VĚTŠÍ než záření X , γ , e^- .

VELIČINY RO – EKVIVALENTNÍ DÁVKA (H_T)

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

Jednotka: 1 Sv (Sievert)

- $D_{T,R}$... průměrná absorbovaná dávka ve tkáni (orgánu) T způsobená ionizujícím zářením R
- w_R **radiační váhový faktor**
- v praxi se používá mSv
(1 Sv = 1000 mSv)

Záření	w_R
fotonové (γ , X)	1
elektronové (všechny E)	1
p^+	5
α , štěpné produkty	20

VELIČINY RO – EFEKTIVNÍ DÁVKA (E)

$$E = \sum(D_{T,R} \cdot w_R \cdot w_T)$$

$$E = \sum H_T \cdot w_T$$

Jednotka: 1 Sv (Sievert)

- H_T ekvivalentní dávka
- w_T **tkáňový váhový faktor**
 - závisí na citlivosti tkání na záření
- v praxi se používá mSv (1 Sv = 1000 mSv)
- Používá se k popisu biologické odpovědi na ozáření, kdy různé tkáně nebo orgány obdržely různé dávky

Tkáň/orgán	w_T ICRP 103 (2007)
červená kostní dřeň	0,12
tlusté střevo	0,12
plíce	0,12
žaludek	0,12
mléčná žláza	0,12
gonády	0,08
močový měchýř	0,04
jícen	0,04
játra	0,04
štítná žláza	0,04
kůže	0,01
povrchy kostí	0,01
mozek	0,01
slinné žlázy	0,01
ostatní orgány, tkáně	0,12 (#)
CELKEM	1,00



Tkáňový váhový faktor (w_T)

Tkáň/orgán	w_T (ICRP 60) 1991	w_T (ICRP 103) 2007
červená kostní dřeň	0,12	0,12
tlusté střevo	0,12	0,12
plíce	0,12	0,12
žaludek	0,12	0,12
mléčná žláza	0,05	0,12
gonády	0,20	0,08
močový měchýř	0,05	0,04
jícen	0,05	0,04
játra	0,05	0,04
štítná žláza	0,05	0,04
kůže	0,01	0,01
povrchy kostí	0,01	0,01
mozek	-	0,01
ostatní orgány a tkáně	0,05 (*)	0,12 (#)
CELKEM	1,00	1,00

velká
radiosenzitivita



malá
radiosenzitivita

Ostatní tkáně #: nadledvinky, horní cesty dýchací, žlučník, srdce, ledviny, lymfatické uzliny, svalstvo, sliznice dutiny ústní, slinivka, prostata (♂), tenké střevo, slezina, brzlík, děloha/hrdlo (♀).



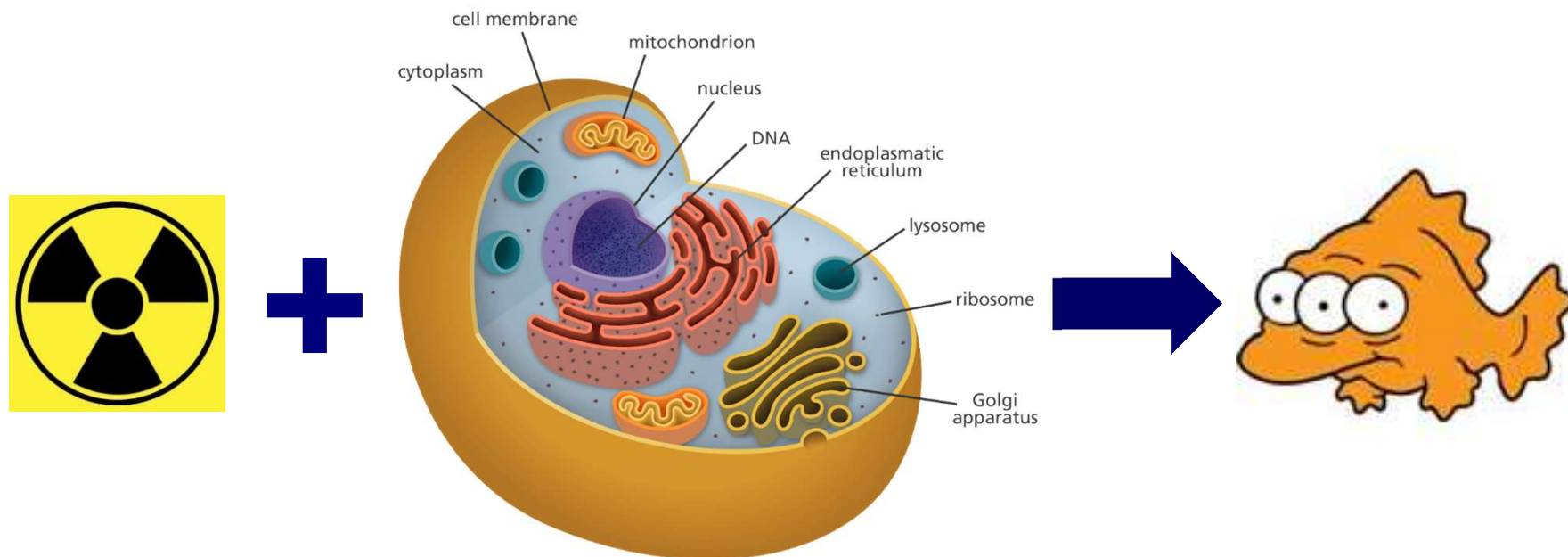
Příklad: aplikace ^{99m}Tc

Tkáň/orgán	D _T		H _T		E
Plíce	5,0 mGy	$\xrightarrow{W_R = 1}$	5,0 mSv	$\xrightarrow{w_T = 0,12}$	0,8 mSv
Žebra	1,0 mGy		1,0 mSv		
Játra	1,5 mGy		1,5 mSv		
Vaječníky	0,15 mGy		0,15 mSv		

$$E = (5 \times 0,12) + (1,0 \times 0,12) + (1,5 \times 0,4) + (0,15 \times 0,08) \cong \mathbf{0,8}$$

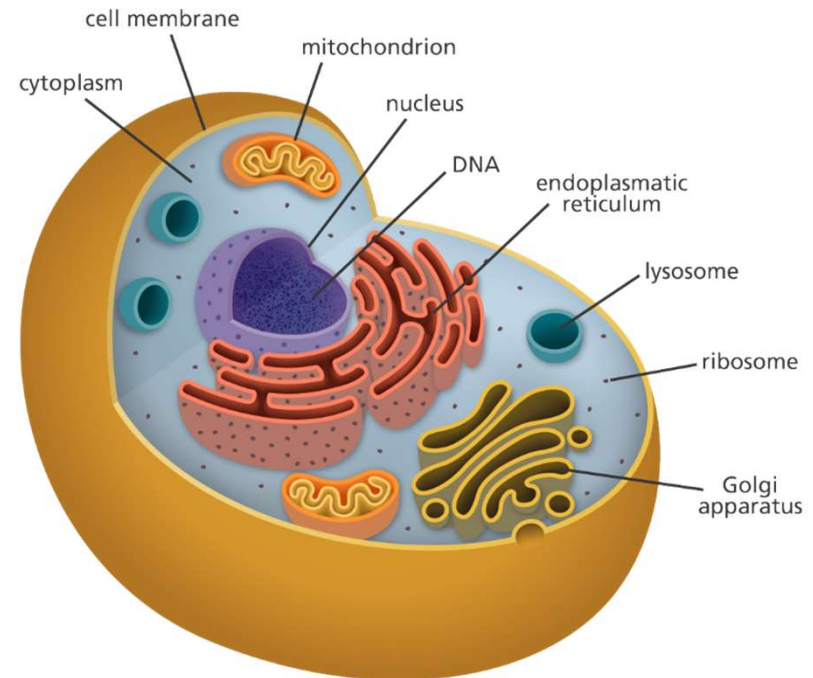
BIOLOGICKÉ ÚČINKY IZ

vznikají jako důsledek
interakce záření s atomy jednotlivých buněk

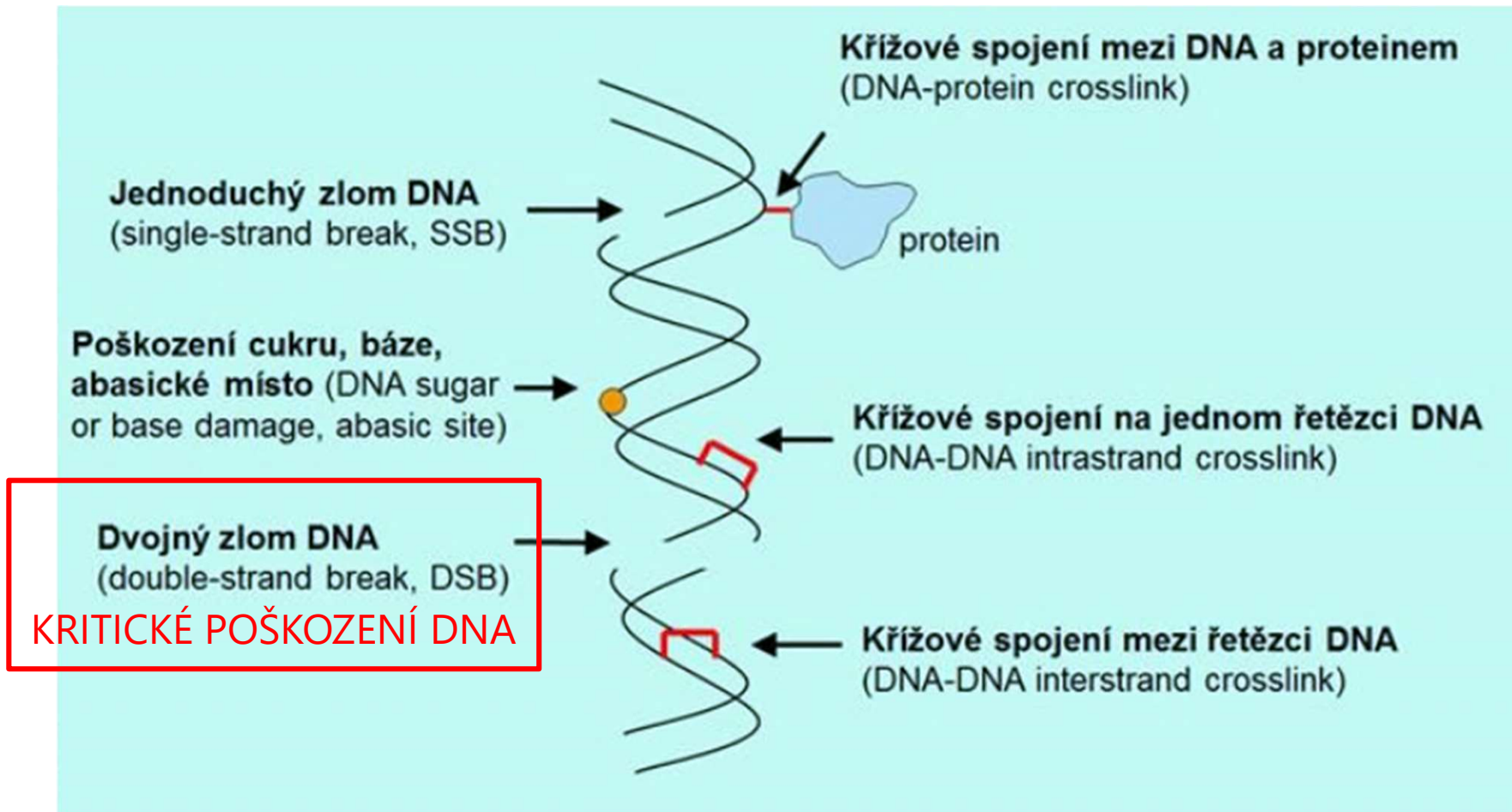


INTERAKCE IZ S BUŇKAMI

- Ionizující záření interaguje s atomy jednotlivých struktur buňky
- „Nejdůležitější“ část buňky pro účinky IZ je **DNA molekula**
 - nositelka genetické informace
 - řídí buněčné procesy (syntéza proteinů)
- Ostatní biomolekuly (RNA, bílkoviny...) lze snadno nahradit



POŠKOZENÍ DNA



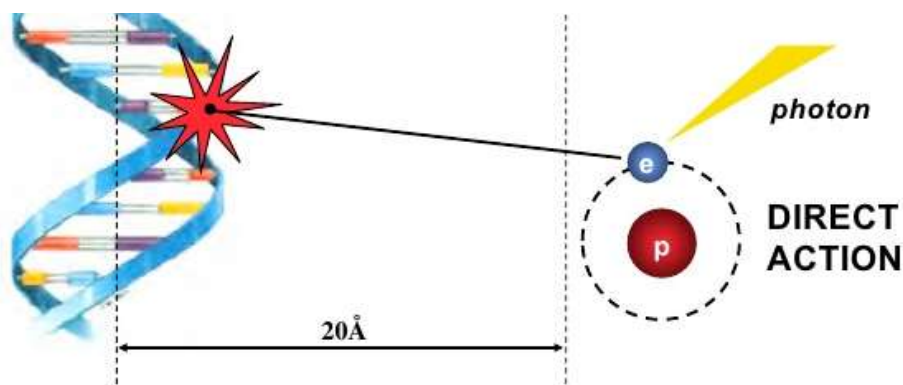
Odhad při dávce 1 Gy:

- počet DSB v jedné buňce je 15-60
- počet SSB - více než 1000

Odhad spontánní frekvence
modifikací v genomu za 24 hod:
100 000

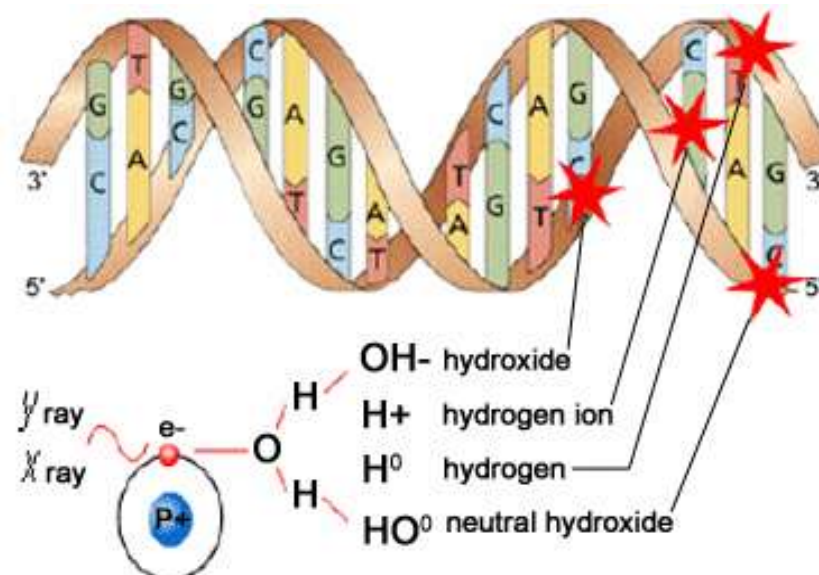
TEORIE ÚČINKU IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Přímý účinek (zásahová teorie)



- interakce IZ s atomy DNA
- převažuje u záření α , n

Nepřímý účinek (radikálová teorie)



- interakce IZ s molekulami vody
- radiolýza vody → produkty radiolýzy poškozují DNA
- převažuje u záření γ , rtg, e^-

POŠKOZENÍ DNA

SMRT BUNĚK



NÁHRADA
BUNĚK



ŽÁDNÝ
ÚČINEK

DETERMINISTICKÉ
ÚČINKY

MUTACE



STOCHASTICKÉ
ÚČINKY



IMUNITNÍ
MECHANISMY
ORGANISMU



ŽÁDNÝ
ÚČINEK

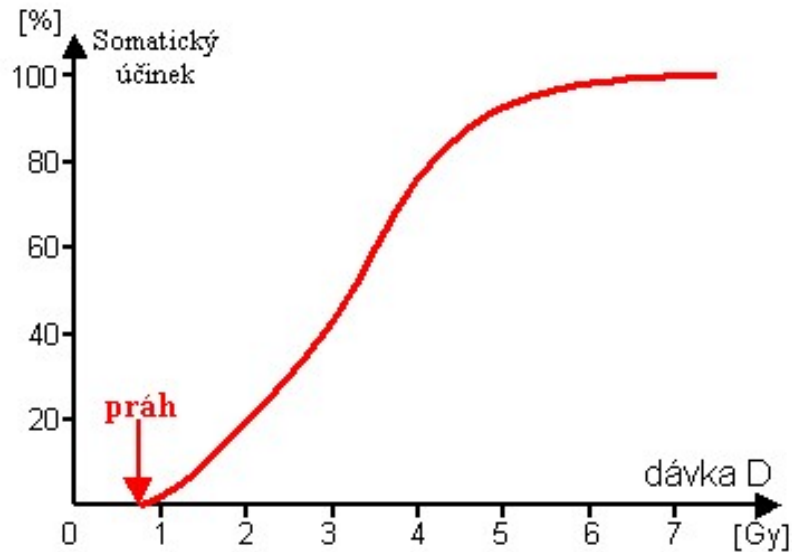
REPARAČNÍ MECH. BUŇKY



ŽÁDNÝ
ÚČINEK

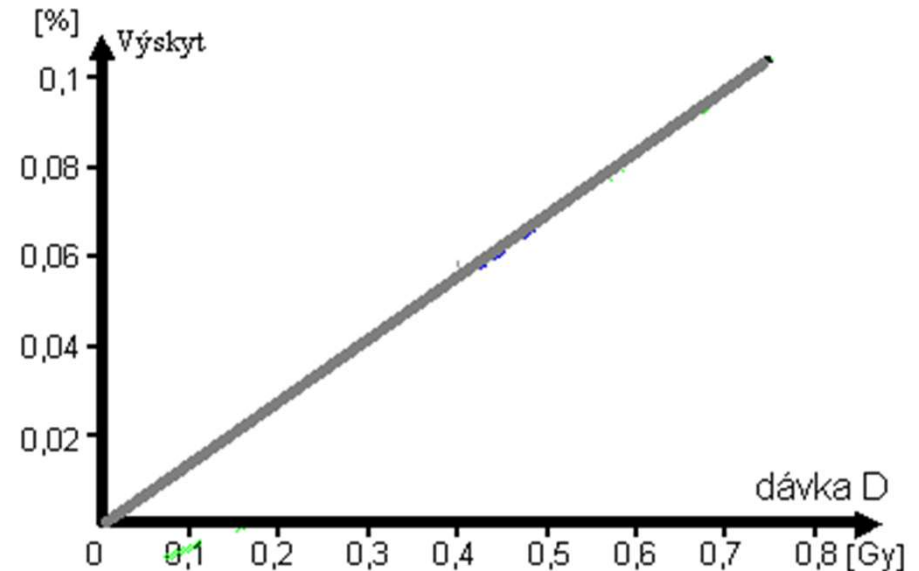
BIOLOGICKÉ ÚČINKY IZ

DETERMINISTICKÉ



- **Prahové**
(každá tkáň má jiný práh)
- **Vyšší dávka → větší poškození**
- **Účinek krátce po ozáření**
(několik dnů až týdnů)
- **Specifický klinický obraz**

STOCHASTICKÉ



- **Bezprahové – lineární model**
- **Účinek nezávisí na velikosti dávky**
(vyšší dávka → vyšší pravděpodobnost)
- **Pozdní účinky – dlouhá doba latence**
(až desítky let)
- **Nespecifický klinický obraz**
(nelze odlišit od spontánních případů)

DETERMINISTICKÉ ÚČINKY IZ

CELOTĚLOVÉ OZÁŘENÍ

AKUTNÍ NEMOC Z OZÁŘENÍ

po **jednorázovém** ozáření od $D > 1\text{Gy}$.

- **Hematologická dřevná forma**
 $D \approx 3-8\text{ Gy}$ poškození orgánů krvetvorby (nevolnost, zvracení, únava, bolest hlavy, pokles lymfocytů apod.)
 $D \geq 10\text{ Gy}$ – buňky krvetvorby nenávratně zničeny → nutná transplantace kostní dřeně.
- **Gastrointestinální forma** $D \approx 10-20\text{ Gy}$
- **Kardiovaskulární forma** $D \approx 20-50\text{ Gy}$
- **Neuropsychická forma** $D > 50\text{ Gy}$

LOKÁLNÍ OZÁŘENÍ

TKÁŇ	ÚČINEK	PRAHOVÁ D [Gy]
kůže	erytém	3 - 5
	puchýř	10
plod (3-8.t)	malformace, abnormality CNS	0,1
plod (8-15t.)	mentální retardace	1
čočka	opacita	0,5 - 2
	katarakta	5
ovaria	sterilita	2,5 - 6
varlata	dočasná sterilita	0,15
	trvalá sterilita	3,5 - 6

DETERMINISTICKÉ ÚČINKY IZ

LOKÁLNÍ OZÁŘENÍ KŮŽE

- práh poškození: od cca $D = 3$ Gy.
- radiační nehody se zdrojem záření (^{192}Ir) při defektoskopii



- vnější radioterapie, intervenční výkonv



DETERMINISTICKÉ ÚČINKY IZ

LOKÁLNÍ OZÁŘENÍ KŮŽE

- muž, 40let
- provedeny 2 koronární angiografie, angioplastika a nakonec bypass. To vše v jednom dni ...
- absorbovaná dávka v kůži pravděpodobně překročila 20 Gy



6 týdnů



~20 týdnů



~20 měsíců



Po
transplantaci

DETERMINISTICKÉ ÚČINKY IZ

LOKÁLNÍ OZÁŘENÍ PLODU



Fetal dose 20 mGy

CT těhotné pacientky po nehodě na motorce

DETERMINISTICKÉ ÚČINKY IZ

LOKÁLNÍ OZÁŘENÍ PLODU

- Lidský zárodek a plod je k ionizujícímu záření **velice citlivý**.
- Poškození plodu může nastat od $D > 0,1 \text{ Gy}$ (= 100 mGy).
- $D = 100 \text{ mGy}$ **nelze** dosáhnout při diagn. NM nebo RDG vyšetření

Průměrná dávka na plod:

RADIOLOGIE:

- 1,2 mGy** - rtg. bederní páteř LAT
- 2,1 mGy** - rtg. pánve AP
- 6,5 mGy** - irrigoskopie
- 9,5 mGy** - vylučovací urografie
- 25 mGy** - CT pánve
- 34 mGy** - CT angiografie aorty



NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA:

- 0,8 mGy** - ledviny $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - DMSA (150 MBq)
- 3,6 mGy** - kosti $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HDP (700 MBq)
- 4,4 mGy** - štítná žláza $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (400 MBq)
- 15 mGy** - ^{18}F FDG PET/CT celotělové
- 16 mGy** - ^{111}In -pentetretid (190 MBq)



Poškození plodu závisí na dávce a na jeho stádiu vývoje



STÁŘÍ PLODU	STÁDIUM VÝVOJE	ÚČINEK ZÁŘENÍ
do 2. týdne	Preimplantace a blastogeneze	„vše nebo nic“
3. – 8. týdnů	Embryo (hlavní organogeneze)	vysoké riziko vzniku malformací (D > 100 mGy) zvláště citlivý základ CNS
8. – 15. týdnů (konec 2. trimestru)	Plod (ranně fetální období)	ohroženo vyžívání CNS, hrozí trvalá mentální retardace (práh 200 mGy)
3. trimestr	Plod (pozdně fetální období)	relativně radiorezistentní

LOKÁLNÍ OZÁŘENÍ PLODU

Poškození plodu není čistě deterministický účinek!

- Deterministické účinky (prahové)
 - $D > 0,1 \text{ Gy}$ (=100 mGy)
- Stochastické účinky (bezprahové)
 - od 4. týdne - zvýšené riziko vzniku dětské karcinogeneze

Plánované lékařské ozáření těhotných pacientek:

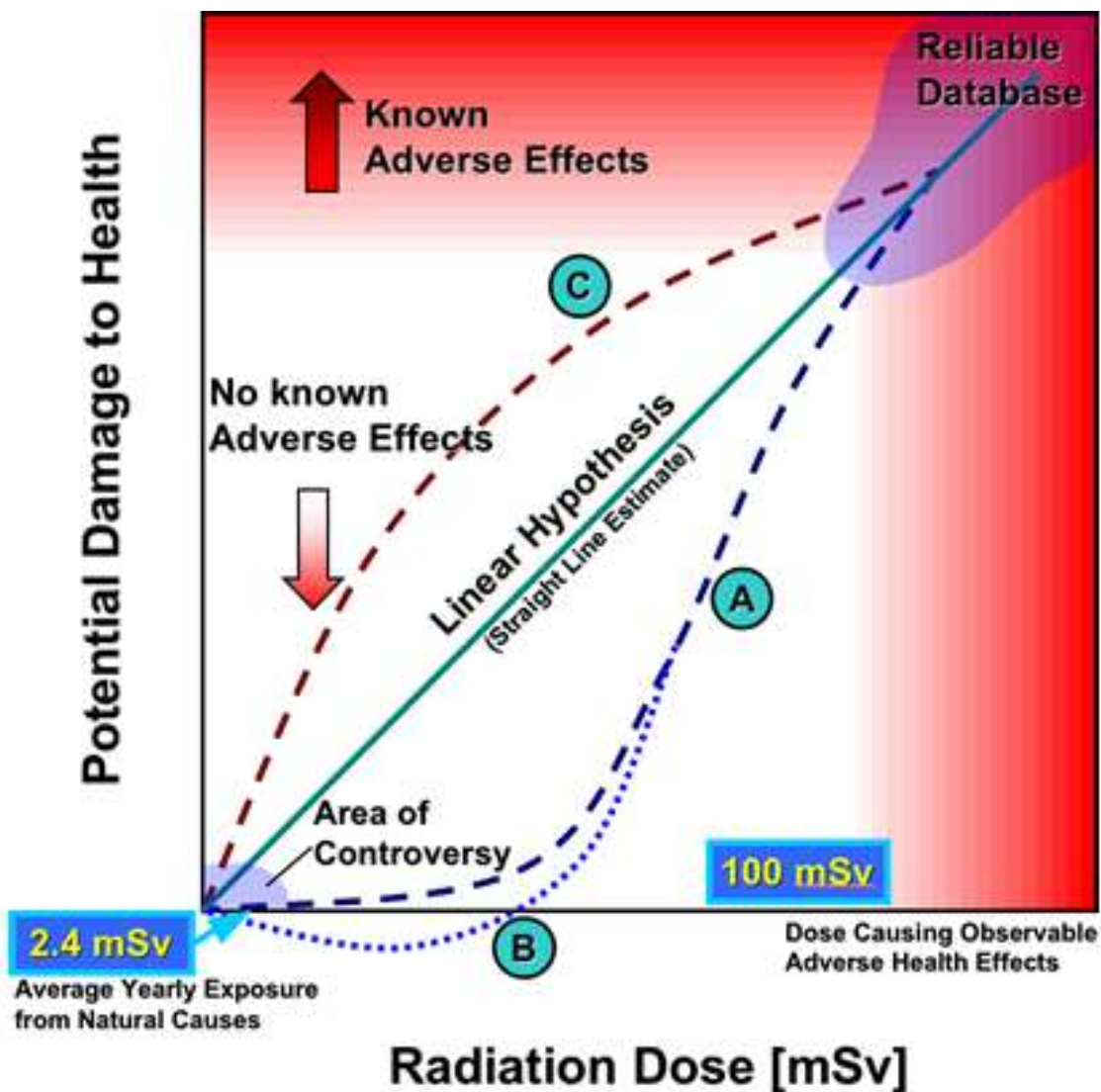
(**pouze** v NM nebo v RDG **v oblasti břicha nebo pánve**)

- v neodkladných případech (prodleva by ohrozila matku)
- z důvodu indikace pro potřeby porodu.

Při výkonu se zajistí maximální ochrana plodu.



STOCHASTICKÉ ÚČINKY IZ



Lineární model

od $D \approx 100$ mSv a výše
prokázán epidem. studiemi

Alternativní modely:

A = prahový efekt (- - -)

B = radiační hormeze (...)

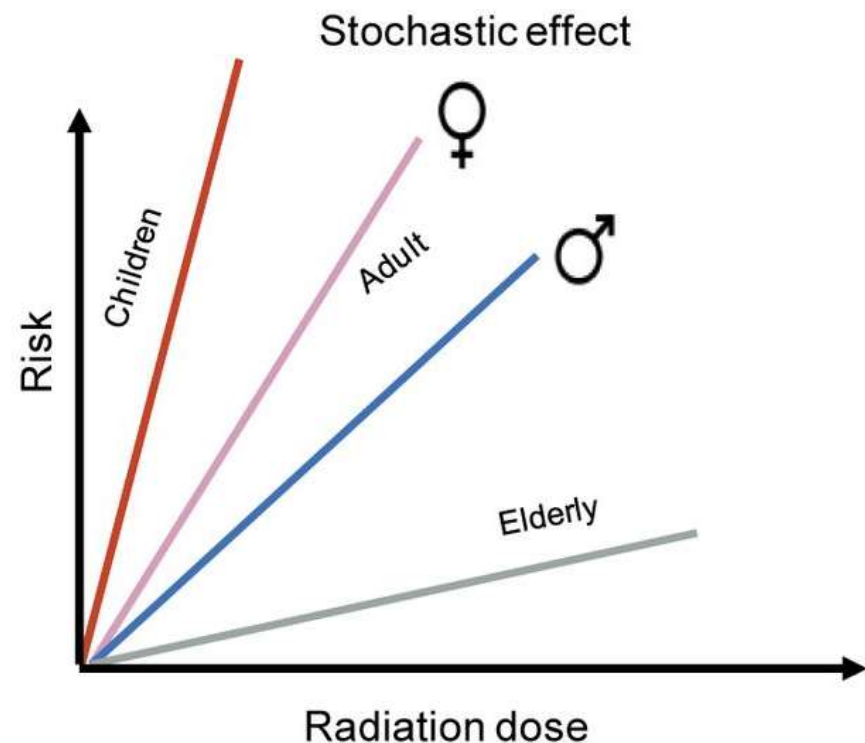
C = supralineární efekt (- - -)

Pro dávky < 100 mSv
uplatňujeme v RO
konzervativní předpoklad
linearity.

STOCHASTICKÉ ÚČINKY IZ

Riziko vzniku závisí na věku a pohlaví:

- prokázáno z epidemiologických studií ozářených osob
- 2-3x **vyšší pro malé děti**
 - větší míra dělení buněk
 - delší doba života, kdy se mohou projevit účinky záření
- **vyšší u dívek** a mladších žen než u chlapců
- 5-10x **nižší** pro dospělé **nad 50 let**



RIZIKO STOCHASTICKÝCH ÚČINKŮ IZ

Riziko fatálních zhoubných nádorů pro celou populaci (včetně dětí):

$0,05 \text{ Sv}^{-1}$ (1:20), vztaženo na **1 mSv** → **1:20 000**

(ozářením 20 000 lidí $E = 1 \text{ mSv}$ → 1 osoba zemře na zhoubný nádor)

- jde o **přídavné riziko!** → rakovina vyvolána skutečně zářením
- populační riziko smrti na rakovinu je cca 20 - 25 % (bez ozáření)

VYŠETŘENÍ	E	RIZIKO	
Rtg. hrudníku	0,25 mSv	0,0013%	1:76 923
Mamografie screening	0,44 mSv	0,0022%	1:45 455
Skelet 700 MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP	5 mSv	0,0252%	1:3 968
CT břicha	10 mSv	0,05%	1:2 000
Myokard ^{201}Tl -chlorid	23 mSv	0,12%	1:833

RADIAČNÍ ZÁTĚŽ



Radiologie

CT trupu (hrudník, břicho, pánev) - **17,2 mSv**
perkutánní koronární intervence - **15,1 mSv**

CT břicha - **10 mSv**
koronarografie - **8,2 mSv**
CT páteře - **6,6 mSv**
CT hrudníku - **5,9 mSv**

kontrastní vyš. žaludku a duodena - **2,6 mSv**
CT hlavy - **2,0 mSv**

rtg. vyšetření pánve - **0,7 mSv**
mamografie screening - **0,3 mSv**
rtg. vyšetření plic - **0,03 mSv**



30

10

1

0,1

0,01

Nukleární medicína



30 mSv - nádory ^{67}Ga -citrát (300 MBq)
24,2 mSv - myokard ^{201}Tl -chlorid (110 MBq)

9,0 mSv - myokard $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI (1000 MBq)
6,7 mSv - nádory PET ^{18}F -FDG (350 MBq)
6,5 mSv - nádory ^{111}In -pentetretotid (120 MBq)

4,6 mSv - kosti $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -fosfáty (800 MBq)

2,1 mSv - SPECT ledvin $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA (250 MBq)

1,8 mSv - ledviny $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3 (200 MBq)

1 mSv - sentinel. uzliny $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -nanokoloid (100 MBq)

0,56 mSv - žaludek $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -koloid (60 MBq)

0,18 mSv - ventilace plic $^{81\text{m}}\text{Kr}$ -plyn (6000 MBq)

ÚROVEŇ RIZIKA

Kategorie rizika

Roční
pravděpodobnost úmrtí

Příklad

Nepřípustné riziko

kromě mimořádných
situací nelze zdůvodnit

1 ze 100

Rakovina
Srdeční choroby

Připouštěné riziko

pokud nelze snížit nebo
náklady jsou neúměrné
dosaženému zlepšení

1 z 1000

Motorismus

pouze existuje-li čistý
přínos

**RIZIKO
STOCHASTICKÝH
ÚČINKŮ IZ**

1 z 10000

Bezpečné pracoviště

**Široce akceptované
riziko**

1 ze 100000

Utopení

Civilní letectví

**Zanedbatelné,
přehlížené riziko**

1 z 1000000

1 z 10000000

Úder blesku



RADIAČNÍ OCHRANA

CÍLE RADIČNÍ OCHRANY (RO)

- VYLOUČIT deterministické účinky
- SNÍŽIT riziko stochastických účinků

ZÁKLADNÍ PRINCIPY RO

Zdůvodnění
činnosti

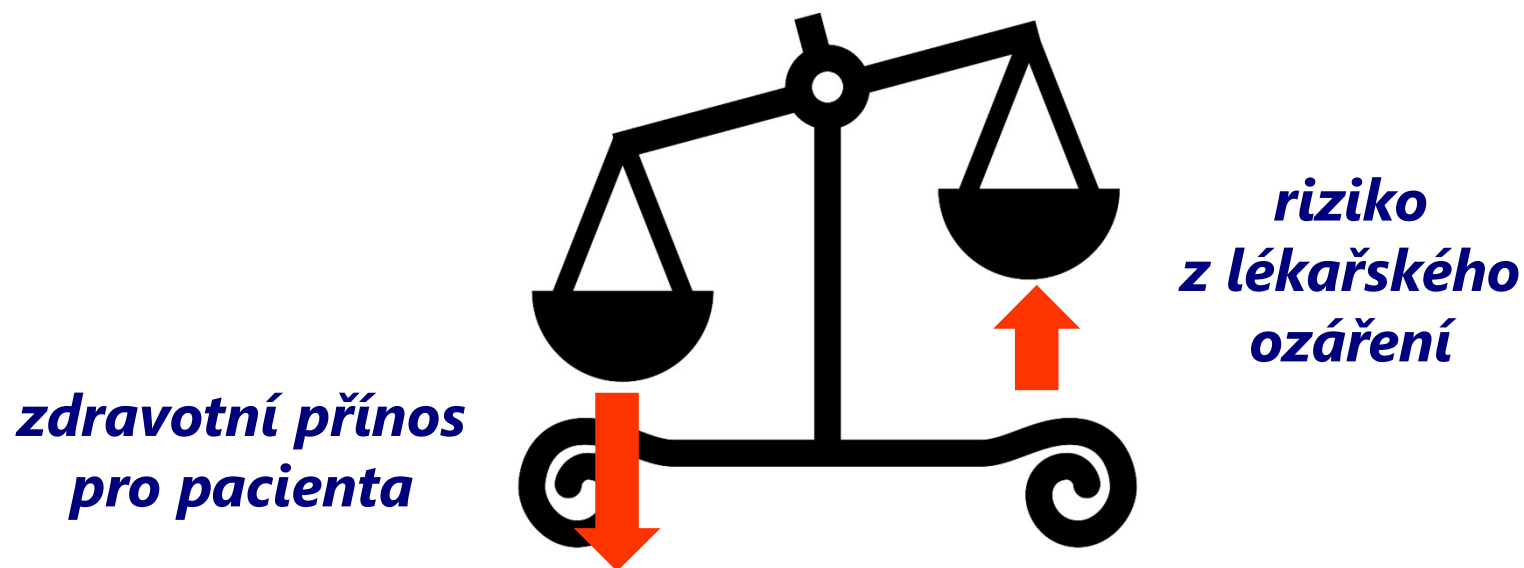
Optimalizace

Limity
dávek

Zabezpečení
zdrojů

1. ZDŮVODNĚNÍ ČINNOSTI

Riziko radiačního poškození při diagnostických nebo terapeutických výkonech **musí být převáženo** (nebo aspoň vyváženo) očekávaným zdravotním přínosem pro pacienta.



- **Indikační kritéria** - zveřejněna ve Věstníku MZ.



2. OPTIMALIZACE

Ozáření (pacienta i personálu) musí být tak nízké, jak lze jak lze rozumně dosáhnout z hlediska technických a ekonomických hledisek.

Tento princip se označuje:

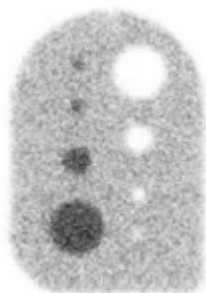
„ALARA“

As Low As Reasonably Achievable

- **Optimalizace RO – personál**
 - ochranné pomůcky pro personál
- **Optimalizace RO – pacienti**
 - volba aplikované aktivity (DRU)
 - přepočítání aktivity dle váhy pacienta, menší aktivity pro děti

OPTIMALIZACE RO PACIENTŮ

VOLBA APLIKOVANÉ AKTIVITY



APLIKOVANÁ AKTIVITA RADIOFARMAKA [MBq]



NEPŘIJATELNÁ OBLAST

zbytečně vysoká radiační zátěž
pacienta

DIAGNOSTICKÁ

REFERENČNÍ ÚROVEŇ

zaručuje dostatečnou diagnostickou
informaci při co nejnižší radiační zátěži

NEPŘIJATELNÁ OBLAST

nedostatečná diagnostická informace

OPTIMALIZACE RO PRACOVNÍKŮ – OCHRANÉ POMŮCKY



příprava RF

manuální aplikace RF



přenos RF



automatická aplikace radiofarmak

ukládání radioaktiv. odpadu



3. LIMITY DÁVEK

	EFEKTIVNÍ DÁVKA (E)	EKVIVALENTNÍ DÁVKA (H_T)		
		oční čočka	1 cm ² kůže	ruce, nohy **)
OBECNÉ LIMITY	1 mSv/rok	15 mSv	50 mSv	
RADIAČNÍ PRACOVNÍCI	20 mSv/rok	100 mSv/5let (50 mSv/rok)	500 mSv	500 mSv

- H_T zajišťuje dostatečnou ochranu před **deterministickými účinky IZ**
- E zajišťuje dostatečnou ochranu před **stochastickými účinky IZ**

**PRO LÉKAŘSKÉ OZÁŘENÍ (PACIENTŮ)
LIMITY DÁVEK NEEXISTUJÍ!**

KONTROLA LIMITŮ DÁVEK

▪ Osobní dozimetry

- odhad efektivní dávky
- měsíční monitorovací cyklus



filmové dozimetry

- okamžitý odečet



OLS dozimetry



elektronický dozimetr

▪ Prstové dozimetry

- ekvivalentní dávka na ruce
- měsíční monitorovací cyklus



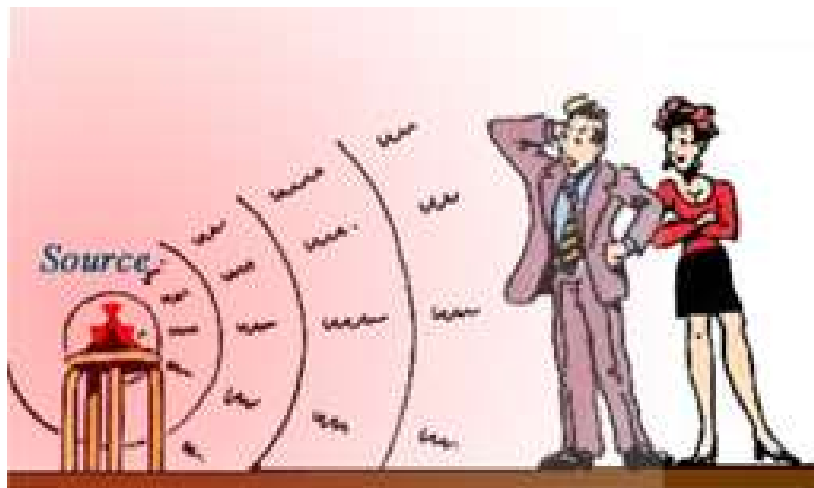
4. ZABEZPEČENÍ ZDROJŮ

- Cílem je zabezpečit zdroje o vysoké aktivitě od výroby/distribuce po likvidaci/uložení/uvolnění
- Povolení, kontrola, monitorování
- **Vymezení kontrolovaného a sledovaného pásma**
 - prostory s regulovaným přístupem
 - označeny radiačním znakem
 - nesmí vstupovat těhotné ženy
- Příklad vymezení KP:
 - laboratoř přípravy radiofarmak
 - aplikační místnosti radiofarmak
 - místnost s PET kamerou
 - prostory pracoviště pro terapii radionuklidy



RADIAČNÍ OCHRANA PRACOVNÍKŮ NM

**PŘED VNĚJŠÍM
OZÁŘENÍM**



**PŘED VNITŘNÍM
OZÁŘENÍM**



RADIAČNÍ OCHRANA PRACOVNÍKŮ NM

PŘED VNĚJŠÍM OZÁŘENÍM

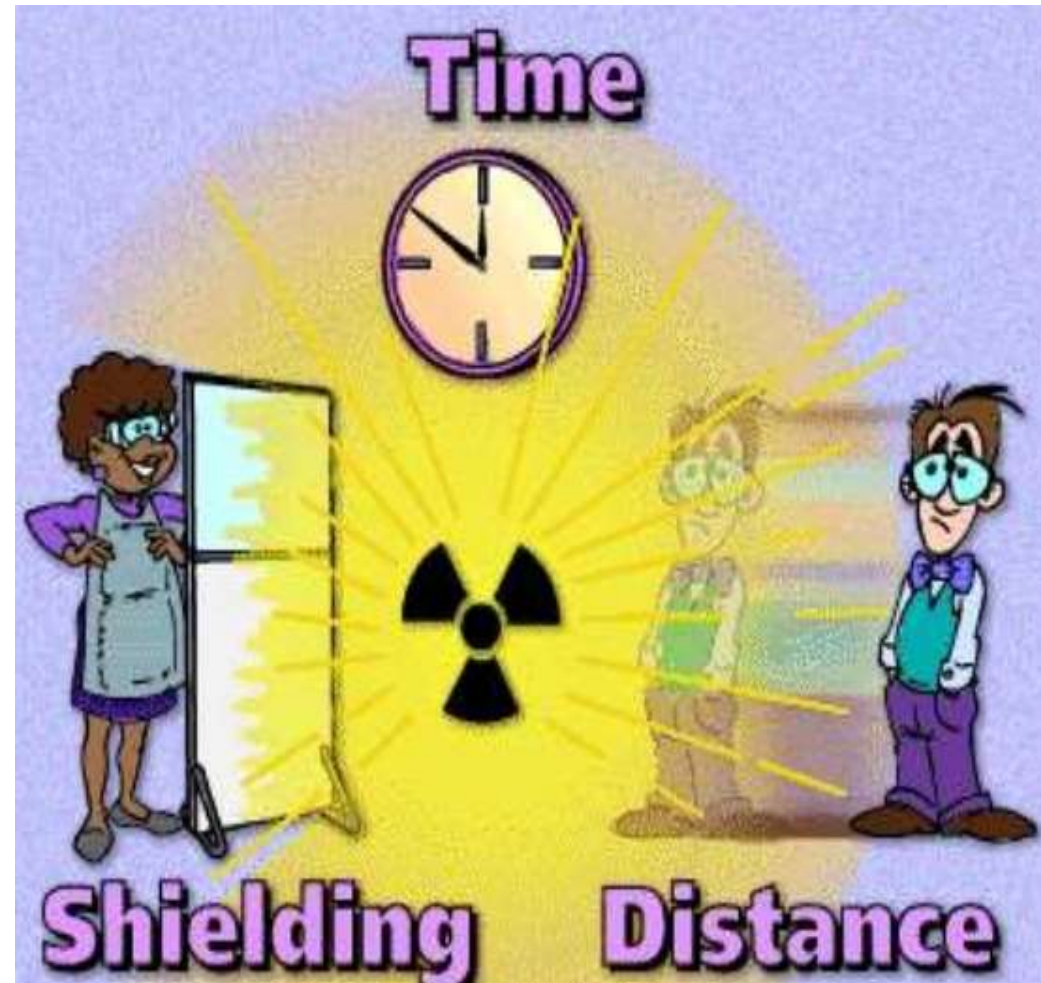
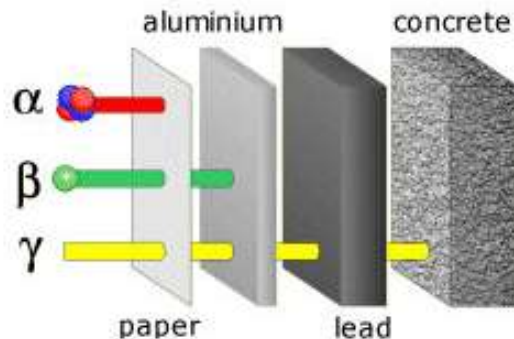
▪ ČASEM

- pobyt u pacienta po dobu nezbytně nutnou
- střídání pracovníků

▪ VZDÁLENOSTÍ (r)

- míra ozáření klesá s r^2

▪ STÍNĚNÍM



RADIAČNÍ OCHRANA PRACOVNÍKŮ NM

PŘED VNITŘNÍM OZÁŘENÍM

- nejíst, nepít a nekouřit v kontrolovaném pásmu
- nošení gumových rukavic
- příprava RF v digestoři



E

~100 mSv/misi

posádka na ISS



PŘÍKLADY PROFESNÍHO OZÁŘENÍ

20 mSv/r

Roční limit ozáření
radiačních pracovníků



9 mSv/r

Posádky letadel na pravidelné lince:
New York – Tokio (přes Severní pól)



3 mSv/r

Přírodní ozáření obyvatel v ČR

2-3 mSv/r

Personál nukleární medicíny

2 mSv/r

Posádky civilních letadel

0,7 mSv/r

Personál zubního pracoviště

