

Ionizující záření  
Ochranné faktory  
Legislativa

Petr Nádeníček

FN Brno

Přednosta: prof. V. Válek

# Rtg záření

---

- elektromagnetické záření, krátké až velmi krátké vlnové délky
- 10 – 0,001 nm
- fotony
- vzniká v elektronových obalech atomů
- energie závisí na vlnové délce – čím kratší vln. délka tím větší energie
- ionizuje nepřímo, prostřednictvím sekundárních el.
- záření - charakteristické, brzdné

# Rentgenka

---

- katoda – wolframové vlákno, žhavicí proud, T až 2000 °C
- katoda emituje  $e^-$ , el. pole mezi k. a a. urychluje  $e^-$ .
- stejnosměrné napětí 10 – 500 kV
- anoda – studená, měděný blok, terčík (Wofram, Molybden)
- emise fotonů
- nízkenergetické záření – měkká složka
- vysokoenergetické záření – tvrdá složka

# Interakce rtg záření s látkou

---

- rtg záření, gama záření
- fotoelektrický jev – fotoefekt
- Comptonův rozptyl
- tvorba elektron–pozitronových párů

# Interakce IZ s látkou

---

nabité částice



elektrické interakce



ionizace



chemické změny



biologické účinky

# Biologické účinky IZ

---

- deterministické
- stochastické

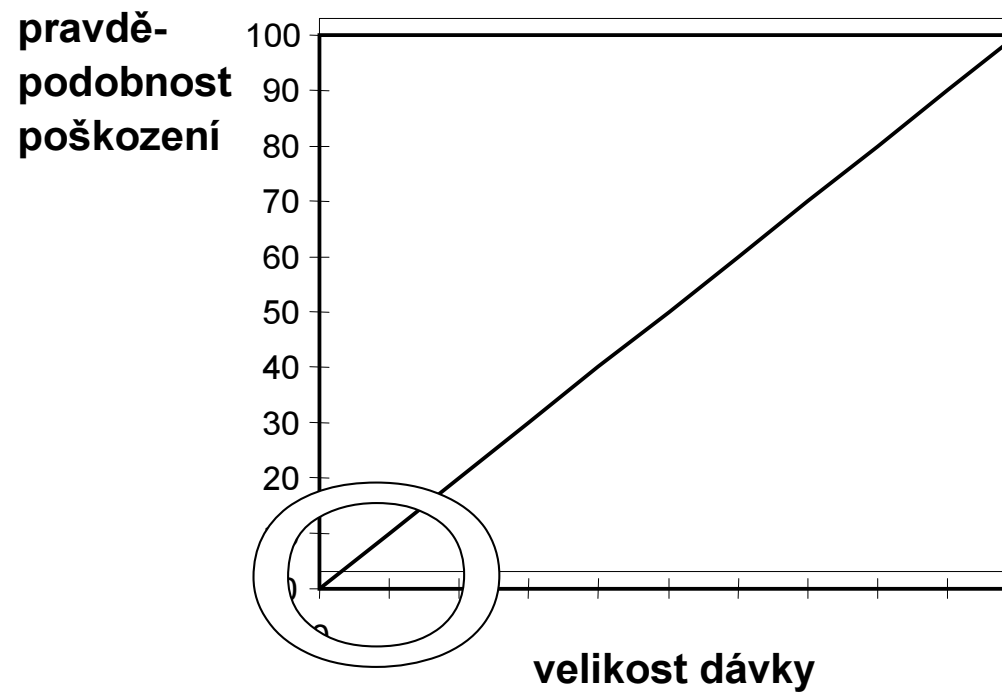
# Stochastické účinky

---

- bezprahové
- s rostoucí  $D_{ef}$  roste jejich **pravděpodobnost**
- velikost účinku nezávisí na velikosti dávky
- nikdy nevznikají bezprostředně po ozáření (až po několika letech)
- kancerogenní + genetické úč.
- ke vzniku léze nemusí dojít v ozářeném místě
- $D_{ef}$  (Sv)

# Stochastické účinky

---





# Deterministické účinky

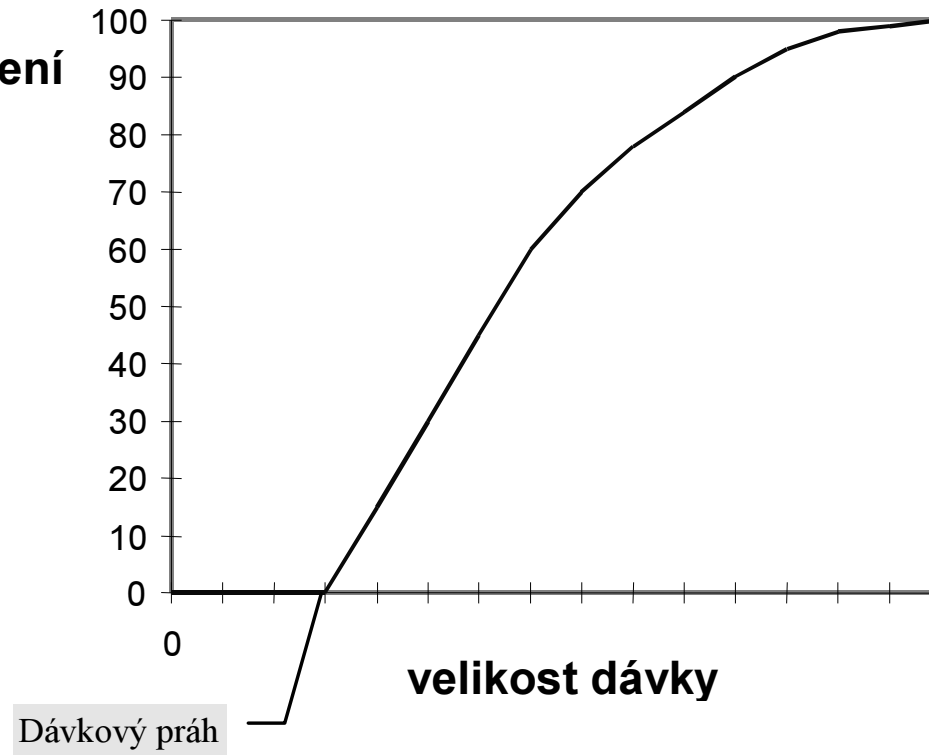
---

- prahové
- po překročení prahové  $D$  vzrůstá míra poškození s velikostí  $D$  v daném orgánu
- v důsledku poškození části ozářených buněk
- lokální účinky
- klinicky lze prokázat, bylo-li poškození způsobeno IZ
- akutní nemoc z ozáření, poškození kůže, poškození oční čočky
- $D_{ekv} (Sv)$

# Deterministické účinky

---

**míra  
poškození**



# Radiosenzitivita

---

- aktivní kostní dřeň, lymfoidní orgány, gonády, git
- kůže, epit. výstelky (jícen, žaludek, m.m.), oční čočka
- cévy, rostoucí chrupavka, rostoucí kost
- zralá chrupavka, zralá kost, dýchací ústrojí, endokrinní systém
- svaly, CNS

# Plod

---

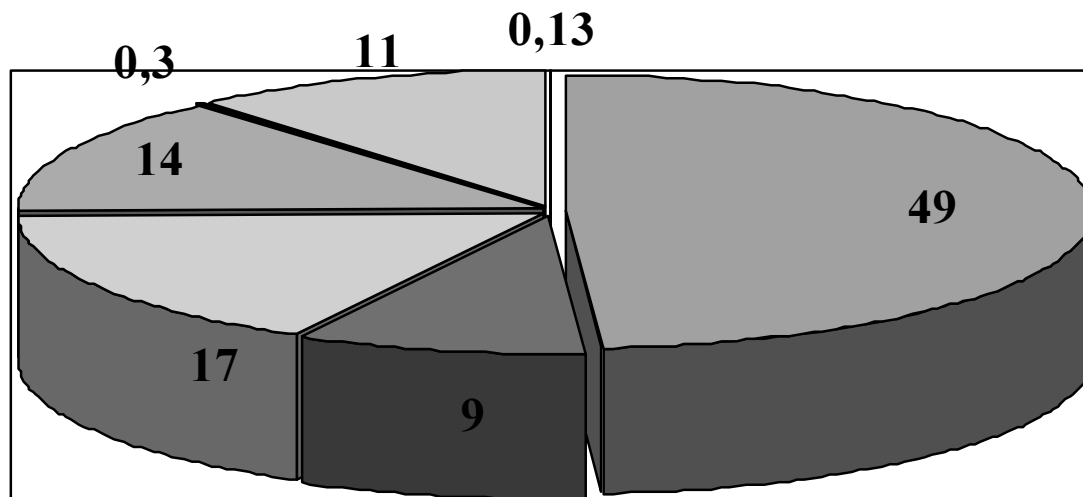
- **do 2 T** – „vše nebo nic“, prah. D 250 mGy
- **3.–8. T** – období organogeneze, nebezpečí vzniku malformací, prah. D 100 mGy
- **8.–15. T** – mentální retardace, prah. D 100 mGy
- **od 15. T** – relativní odolnost, stejná jako narozené dítě
- **Největší radiosenzitivita v 1. třetině gravidity!**

# Podíl ZIZ

---

- přírodní : umělé = 5:1
- 54 % Radon
- 16 % kosmické záření
- 19 % gama záření
- 11 % vnitřní ozáření, radionuklid  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$
- 93 % lékařské ozáření
- 1 % jaderná energetika
- 2 % profesionální ozáření
- 2 % jaderný spad

# Podíl ZIZ



- Radon v budovách
- Přírodní radionukl. v těle čl.
- Gama z. zemsk. povrchu
- Kosm. z.
- Spad ze zk. jad. zbraní, Černobyl
- Lékařské ozáření
- Ostatní

# Lékařské ozáření

---

- zákon č. 18/97 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření - atomový zákon
- vystavení pacientů IZ, které je součástí lékařské diagnostiky nebo léčení
- novela rozšiřuje pojem podle požadavků Směrnice rady EU 97/43/Euroatom
- ozáření pacientů v rámci jejich lékařského vyšetření nebo léčby
- ozáření fyzických osob v rámci léčebně preventivní péče, či ozáření fyzických osob dobrovolně se účastnících ozařování v rámci ověřování nových medicínských nebo biomedicínských poznatků, anebo při použití metod, které dosud nebyly v klinické praxi zavedeny
- ozáření fyzických osob pro právní účely stanovené zvláštním právním předpisem (trestní řád) nebo pro pojišťovací účely

# Jednotky

---

- absorbovaná D gray (Gy)
- $D_{\text{ekv}}$  sievert (Sv)
- $D_{\text{ef}}$  sievert
- Kolektivní  $D_{\text{ef}}$  manSv



# Limity

---

➤ Pro radiační pracovníky

➤  $D_{ef}$  za 5 let **100** mSv

➤  $D_{ef}$  za rok **50** mSv

➤  $D_{ekv}$  v oční čočce za rok **150** mSv

➤  $D_{ekv}$  v 1 cm<sup>2</sup> kůže za rok **500** mSv

➤  $D_{ekv}$  na končetiny za rok **500** mSv

➤ Pro učně a studenty

➤ **6** mSv

➤ **50** mSv

➤ **150** mSv

➤ **150** mSv

Těhotné ženy po celou dobu gravidity **1** mSv

# Pravděpodobnost úmrtí – 50 mSv

---

- celotělové dávky **50 mSv**
- roční práce v „**bezpečném průmyslovém odvětví**“
- vykouření **10 balíčků cigaret**
- 15 let prožitých s **kuřákem**
- vypití **50 lahví** dobrého vína
- výletu na **kole** o délce 1500 km
- procestování 45 000 km **autem**
- v celém výčtu platí pravděpodobnost úmrtí  
1:10000



Ing. Dana Drábová,  
předsedkyně Státního úřadu  
pro jadernou bezpečnost

# $D_{ef} - 1 \text{ mSv}$

---

- několik let – zevní ozáření z přírod. zdrojů
- několik let – vnitř. oz. z K v těle
- < 1 rok – vnitř. oz. z Ra v budovách
- několik měsíců – zev. oz. ve velkých nadmořských výškách
- stovky hodin – zev. oz při dálkových letech
- dvojnásobek průměrného oz. při vyš. na rtg

1 mSv - roční limit ozáření pro jednotlivce z obyvatelstva!

# Ozáření z umělých ZIZ

---

Zdroj	Základ srovnání	Období ozáření z přírodních zdrojů
Lék. ozáření	rok praxe	90 dní
Zk. jad. zbraní	dosud vše	2,3 roku
Jad. energetika	rok provozu	1 den
Závažné havárie	dosud vše	20 dní
Ozáření při práci	za rok	8 h
Ozáření z přírodních zdrojů		1 rok

# $D_{ef}$ – rtg vyšetření

Wyšetřovací metoda	Typické efektivní dávky (mSv)	Ekvivalentní počet snímků při rtg vyšetření plic	Přibližná doba, za kterou by člověk obdržel ekvivalentní dávku ozáření z přírodních zdrojů <sup>2)</sup>
<b>rentgenologická vyšetření</b>			
Končetiny a klouby (kromě kyčlí)	< 0.01	< 0.5	< 1.5 dne
Zuby <sup>3)</sup>	0.02	1	3 dny
Plíce (jeden PA snímek)	0.02	1	3 dny
Lebka	0.07	3.5	11 dní
Mamografie (screening) <sup>4)</sup>	0.1	5	15 dnů
Kyčel	0.3	15	7 týdnů
Pánev	0.7	35	4 měsíce
Hrudní páteř	0.7	35	4 měsíce
Břicho	1.0	50	6 měsíců
Bederní páteř	1.3	65	7 měsíců
Polykací akt	1.5	75	8 měsíců
CT hlavy	2.3	115	1 rok
IVU	2.5	125	14 měsíců
Vyšetření žaludku	3	150	16 měsíců
Střevní pasáž	3	150	16 měsíců
Irigoskopie	7	350	3.2 roku
CT hrudníku	8	400	3.6 roku
CT břicha nabo pánve	10	500	4.5 roku

# $D_{ef}$ – nukl. med.

Wyšetřovací metoda	Typické efektivní dávky (mSv)	Ekvivalentní počet snímků při rtg wyšetřeni plic	Přibližná doba, za kterou by člověk obdržel ekvivalentní dávku ozáření z přírodních zdrojů <sup>2)</sup>
<b><i>nukleárně - medicínská wyšetřeni</i></b>			
Plicní ventilace (Xe-133)	0.3	15	7 týdnů
Plicní perfuse (Tc-99m)	1	50	6 měsíců
Ledviny (Tc-99m)	1	50	6 měsíců
Štítná žláza (Tc-99m)	1	50	6 měsíců
Kosti (Tc-99m)	4	200	1.8 roku
PET hlavy (F-18 FDG)	5	250	2.3 roku
Dynamické scintigrafie myokardu (Tc-99m)	6	300	2.7 roku

# Ochranné faktory/pomůcky

---

- vzdálenost
- čas
- stínění (alfa, beta, rtg)
  - ✓ zástěry, límce,
  - ✓ clony, krytí gonád, štítnice
- děti - fixační zařízení

# Lékařská expozice IZ

---

- radiační zátěž pacientů léčených n. vyšetřovaných pomocí IZ ve zdrav. zařízeních
- záznam
- princip zdůvodnění a optimalizace



# Optimalizace

---

## **1. Bylo to už vyšetřeno?**

Lékař by měl vyvinout veškeré úsilí k získání dřívějších snímků, aby se omezilo opakování již provedených vyšetření (např. v jiné nemocnici, v ambulantní části zdravotnického zařízení, nebo na úseku traumatologie či naléhavých příjmů). V budoucích letech může v tomto ohledu pomoci přenos digitálních dat elektronickým spojením.

## **2. Potřebuji to skutečně?**

Lékař by neměl zbytečně indikovat vyšetření, o němž lze předpokládat, že jeho výsledky neovlivní léčbu pacienta - například při degenerativním onemocnění páteře (které je tak „normální“ jako šediny od středního věku).

## **3. Potřebuji to nyní?**

Lékař by neměl vyžadovat zbytečně často dané vyšetření - to je například dříve než se nemoc mohla dále rozvinout nebo ustoupit, nebo dříve než výsledky mohly mít vliv na léčbu.

## **4. Je to nejlepší vyšetření?**

Lékař by měl ještě před odesláním pacienta zvážit projednání způsobu vyšetření s příslušným specialistou z oboru klinické radiologie (radiodiagnostika, nukleární medicína), protože zobrazovací techniky se rychle vyvíjejí.

## **5. Vysvětlil jsem problém?**

Lékař by si měl opatřit všechny příslušné klinické informace a stanovit si otázky, na které má zobrazovací vyšetření přinést odpověď. Toto opomenutí může vést k následné chybné volbě techniky (např. k vynechání některé zásadní projekce).

## **6. Neprovádí se příliš mnoho vyšetření?**

Někteří klinici mají sklon spoléhat se na rentgenové vyšetření více než ti druzí. Někteří pacienti toto vyšetřování rádi podstupují.

# Kategorizace pracovišť

---

- I. kat. – drobné zdr., denzitometrie, **zubní rtg**
- II. k. – radiodiagnostika/terapie
- III. k. – urychl. částic, uzavřený radionuklidový zářič (radioter., brachyt.)
- IV. k. – jaderné zařízení, uložště radioakt. odpadů

# Rozdělení ZIZ

---

- nevýznamné (ion. hlásič požárů)
- drobné
- jednoduché (**zubní** rtg, denzitometrie)
- významné (radiodiagnostika/terapie, urychlovače)
- velmi významné (jad. reaktor)

# Detekce IZ

---

- ionizační
- scintilační
- polovodičové
- luminiscenční
- filmové – vysoká citlivost
  - ✓ trvalost záznamu
  - ✓ info o energii, směru, druhu z.
  - ✓ nízká cena
  - ✓ automatizace vyhodnocení

# Otázky a odpovědi

---

***Moje žena nedávno podstoupila zubní rentgenové vyšetření a zjistili jsme, že v této době byla ve třetím týdnu těhotenství. Jak velké riziko je spojeno s tímto vyšetřením?***

Při kompletním rentgenovém vyšetření zubů těhotné pacientky obdrží embryo dávku kolem 0,001 mGy. Ve srovnání s průměrnou hodnotou od přírodního pozadí činící 3 mGy je zátěž při takovém vyšetření menší, než zátěž od přírodního ozáření za jeden den. Nebyly prokázány případy, že by tak malé dávky představovaly nějaké riziko. To samozřejmě není přesvědčivý důkaz naprosté bezpečnosti, ale poskytuje ujištění, že pokud nějaké riziko vzniká, tak nesmírně malé.

***Již tři měsíce pracuji s panoramatickým a intraorálním rentgenem na zubním pracovišti. Zmeškala jsem jeden menstruační cyklus a věřím, že jsem těhotná - přibližně pět až šest týdnů. Ráda bych věděla, jestli mému dítěti hrozí nějaké nebezpečí z ozáření, kterému jsem při práci vystavena.***

Je velmi nepravděpodobné, že jste při svém profesionálním ozáření utrpěla nějakou újmu nebo se a své nenarozené dítě vystavila významnému riziku. Dostupná data ukazují, že typické dávky z profesionálního ozáření na zubním pracovišti činí kolem 0,7 mSv za rok. Pro srovnání - průměrná hodnota z přírodního ozáření, kterému je vystaven každý z nás, činí 3,5 mSv za rok. Limity pro pracovníky se zářením jsou 100 mSv v pěti po sobě následujících letech, přičemž v jednom roce nesmí být překročena hodnota 50 mSv. U těhotných žen se upravují podmínky práce natolik, aby plod v průběhu těhotenství neobdržel dávku větší než 1 mSv. Limity jsou voleny tak, aby vyloučily deterministické účinky a nevedly k významnému zvýšení pravděpodobnosti pozdních následků, jako je rakovina a genetické změny.

Vzhledem k vašemu těhotenství by jste měla dodržovat všechna opatření k minimalizaci vlastního ozáření. Při snímkování byste měla být od rentgenu oddělena stínicí vrstvou, nejlépe zdi. Není-li to na vašem pracovišti možné, stůjte při snímkování co nejdále od přístroje. Prodiskutujte se zaměstnavatelem používání osobního dozimetru s měsíčním odečtem obdržené dávky. Je třeba zdůraznit, že nemáte žádný důvod k panice. Nikdo nemůže stoprocentně říci, že své dítě nevystavíte naprosto žádnému riziku, nicméně neexistují data, tvrdící opak.

# **Věc: zhodnocení ozáření**

**V Praze 7.3.2005**

**Na základě Vašeho dotazu e- mailem ze dne 7.3. 2005 jsme provedli odhad dávky na plod u paní XY.**

**Bylo provedeno vyšetření plic PA projekce na velký formát 35x35 cm.**

**Parametry vyšetření 110kV/1,2 mAs, celková filtrace 2,5 mm Al, OK 150.**

**Stáří gravidity 3 měsíc.**

**Program NRPB-SR262 uvádí při zadaných parametrech, že ekvivalentní dávka v děloze je pod hranicí rozlišitelnosti programu.**

**Dle protokolu ZDS vstupní povrchová dávka pro vyšetření hrudníku je v mezích hodnot DRÚ daných přílohou vyhlášky č. 307/2002 Sb.**

## **Závěr:**

**Dávka v děloze, resp. plodu z vyšetření plic na velký formát je zanedbatelná, není důvod se obávat nepříznivého ovlivnění zárodku.**

V případě jakýchkoliv nejasností se obraťte na MUDr. Podškubková, tel. 221624741, fax. 221624710, MUDr. A. Heribanová, tel. 221624554, e-mail [hana.podskubkova@sujb.cz](mailto:hana.podskubkova@sujb.cz) nebo e-mail [alena.heribanova@sujb.cz](mailto:alena.heribanova@sujb.cz).

Těšíme se na další spolupráci

MUDr. H. Podškubková

# Literatura

---

- IPVZ – Kurz radiační ochrany při nakládání se zdroji IZ ve zdravotnictví, Praha 2005
- Jiří Filip: Radiační ochrana pro vybrané pracovníky pracovišť s diagnostickými rentgeny ve zdravotnictví, Brno 2003
- **RENTGEN bulletin** Vydal Státní ústav radiační ochrany, Šrobárova 48, 100 00 Praha 10 jako periodickou informační tiskovinu. Odpovědná redaktorka: ing. Helena Žáčková. Technická spolupráce: Alena Drábková. Povoleno Ministerstvem kultury ČR, ev. č. MK ČR E 12453 ze dne 28. 6. 2001.

## **Věc: zhodnocení ozáření**

Na základě Vašeho dotazu jsme provedli odhad dávky na plod u paní XY.

Bylo provedeno **vyšetření plic PA** projekce na velký formát **35x35 cm**.

Parametry vyšetření 110kV/1,2 mAs, celková filtrace 2,5 mm Al, OK 150.

**Stáří gravidity 3 měsíc.**

Program NRPB-SR262 uvádí při zadaných parametrech, že ekvivalentní dávka v děloze je **pod hranicí rozlišitelnosti programu.**

Dle protokolu ZDS vstupní povrchová dávka pro vyšetření hrudníku je v mezích hodnot DRÚ daných přílohou vyhlášky č. 307/2002 Sb.

**Závěr:**

**Dávka v děloze, resp. plodu z vyšetření plic na velký formát je zanedbatelná, není důvod se obávat nepříznivého ovlivnění zárodku.**

V případě jakýchkoliv nejasností se obraťte na MUDr. Podškubková, tel. 221624741, fax. 221624710, MUDr. A. Heribanová, tel. 221624554, e-mail [hana.podskubkova@sujb.cz](mailto:hana.podskubkova@sujb.cz) nebo e-mail [alena.heribanova@sujb.cz](mailto:alena.heribanova@sujb.cz).

Těšíme se na další spolupráci

MUDr. H. Podškubková



# Roční $D_{ef}$ – r. 2000

---

- z přírodních a umělých ZIZ v mSv
- přírodní pozadí 2,4
- dg vyšetření 0,4
- jaderné testy v ovzd. 0,005
- Černobyl. havárie 0,002
- jaderná energetika 0,0002

# Nemoc z ozáření

---

Mezi stochastické účinky zahrnujeme všechny možné druhy zhoubného bujení, t.j. **rakoviny, a genetické změny**. Zhoubné nádory postihují přímo ozářené osoby, genetické účinky ozáření se mohou projevit u potomků ozářených osob.

Nestochastické (deterministické) účinky **se projeví vždy**, jakmile je **překročena prahová dávka** v příslušném orgánu. Patří sem:

**Akutní nemoc z ozáření v případě ozáření celého těla:**

- po dávce asi **1 Gy** nastává **krevní forma** akutní nemoci z ozáření. Jsou poškozeny bílé krvinky, trávicí ústrojí a nervová soustava. Po prvních několika dnech nevolnosti a únavy následuje po dobu asi 14 dnů zlepšení stavu. Teprve potom se projeví teploty, zvýšená krvácivost a nevolnost. Po 6 až 8 týdnech se začíná zdravotní stav zlepšovat.
- při dávce asi **10 Gy** po odeznění krevní formy nastane **střevní forma** akutní nemoci z ozáření. Zničeny jsou buňky na vnitřním povrchu střeva, poškozena je aktivní kostní dřeň a nervová soustava. Během několika hodin po ozáření se projevují se průjemy a nevolnost. Stav během 3 až 4 týdnů bez poskytnutí intenzivní lékařské pomoci končí úmrtím.
- po dávce několik **desítek Gy** nastane **nervová forma**: poškozen je centrální nervový systém, za několik dnů nastává smrt v křečích

**Akutní radiační zápal kůže** - po ozáření kůže dávkou asi **3 Gy** se do 24 hodin projeví časné popálení, pak rychle zmizí. Do 14 dnů se objeví normální puchýř, který má tendenci odeznívat a opět se objevovat. Při velkém ozáření může dojít k úplnému odumření ozářené části.

**Poškození plodnosti** - po ozáření pohlavních orgánů: spermie jsou citlivější, proto ozáření dávkou už **0,25 Gy** způsobí přechodnou sterilitu; ženské vajíčka snesou ozáření až do **3 Gy**.

# X

---

- IPVZ – Kurz radiační ochrany při nakládání se zdroji IZ ve zdravotnictví, Praha 2005
- Jiří Filip: Radiační ochrana pro vybrané pracovníky pracovišť s diagnostickými rentgeny ve zdravotnictví, Brno 2003
- **RENTGEN bulletin** Vydal Státní ústav radiační ochrany, Šrobárova 48, 100 00 Praha 10 jako periodickou informační tiskovinu. Odpovědná redaktorka: ing. Helena Žáčková. Technická spolupráce: Alena Drábková. Povoleno Ministerstvem kultury ČR, ev. č. MK ČR E 12453 ze dne 28. 6. 2001.

# X

---

- IPVZ – Kurz radiační ochrany při nakládání se zdroji IZ ve zdravotnictví, Praha 2005
- Jiří Filip: Radiační ochrana pro vybrané pracovníky pracovišť s diagnostickými rentgeny ve zdravotnictví, Brno 2003
- **RENTGEN bulletin** Vydal Státní ústav radiační ochrany, Šrobárova 48, 100 00 Praha 10 jako periodickou informační tiskovinu. Odpovědná redaktorka: ing. Helena Žáčková. Technická spolupráce: Alena Drábková. Povoleno Ministerstvem kultury ČR, ev. č. MK ČR E 12453 ze dne 28. 6. 2001.

# X

---

- IPVZ – Kurz radiační ochrany při nakládání se zdroji IZ ve zdravotnictví, Praha 2005
- Jiří Filip: Radiační ochrana pro vybrané pracovníky pracovišť s diagnostickými rentgeny ve zdravotnictví, Brno 2003
- **RENTGEN bulletin** Vydal Státní ústav radiační ochrany, Šrobárova 48, 100 00 Praha 10 jako periodickou informační tiskovinu. Odpovědná redaktorka: ing. Helena Žáčková. Technická spolupráce: Alena Drábková. Povoleno Ministerstvem kultury ČR, ev. č. MK ČR E 12453 ze dne 28. 6. 2001.