

# Stanovení dávky pacienta při nenádorové radioterapii v ČR

**Vladimír Dufek**  
**Helena Žáčková**  
**Ivana Horáková**

Státní ústav radiační ochrany, v.v.i., Praha

*Konference ČSFM*

*Bystřice pod Pernštejnem, 14.-15.4.2016*

**T A**  
**Č R**

Technologická  
agentura  
České republiky

Program **Beta**

Práce je řešena s podporou projektu TA ČR (TB02SUJB037).

# Cíl práce

- Pro vybrané diagnózy nenádorové radioterapie stanovit orgánové dávky, které budou následně použity pro hodnocení radiační zátěže pacientů podstupujících tento způsob lékařského ozáření.
- Na základě orgánových dávek stanovit efektivní dávku pro možnost porovnání radiační zátěže pacienta z nenádorové radioterapie s jinými způsoby lékařského ozáření.

# Nenádorová radioterapie

**Nenádorová radioterapie** = lékařské ozáření, jež se provádí u nezhoubných onemocněních s cílem:

- ulevit od obtíží způsobených nezhoubným onemocněním
- eventuálně zabránit zhoršení funkce postiženého orgánu

## **Nenádorová radioterapie v ČR:**

- ČR patří mezi země s největším podílem pacientů léčených nenádorovou RT.
- Dle zprávy UNSCEAR (2008) bylo v letech 2000 - 2006 v ČR ročně léčeno **21 845 pacientů**.
- V rámci projektu TA ČR bylo pro rok 2012 na 28 pracovištích (z 31 pracovišť, kde se nenádorová RT provádí) zjištěno **22 871** léčených **pacientů**.

## **Používané zdroje záření v nenádorové radioterapii v ČR:**

- Terapeutické rentgenové ozařovače (24 pracovišť)
- Cesiové ozařovače (3 pracoviště)
- „Rádiové krabičky“ (1 pracoviště)

# Antropomorfní fantom a TLD systém

Orgánové dávky měřeny ve 27 orgánech pomocí 120 TLD

## Antropomorfní Rando fantom

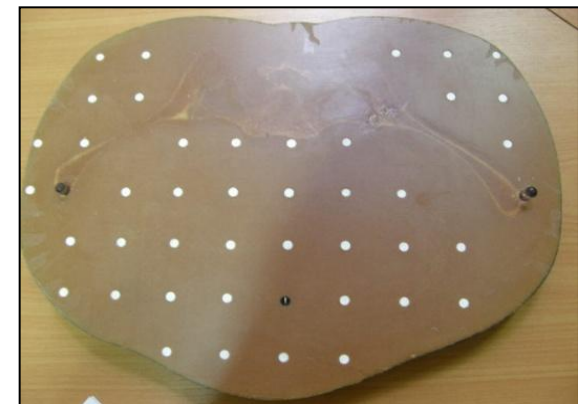
- Simuluje muže vysokého 175 cm a vážícího 73,5 kg
- Složení: lidské kosti + tkáňově ekvivalentní plastové materiály:
  - měkká tkáň:  $Z_{\text{ef}} = 7,30$ ,  $\rho = 0,985 \text{ g.cm}^{-3}$
  - plíce:  $Z_{\text{ef}} = 7,30$ ,  $\rho = 0,32 \text{ g.cm}^{-3}$
- Vymezení orgánů na základě CT atlasu a literatury



Antropomorfní Rando fantom

## Termoluminiscenční dozimetry (TLD)

- MCP-N - LiF: Mg, Cu, P (TLD Poland)
- Kruhové čipy (průměr 4,5 mm, výška 0,9 mm)
- $Z_{\text{eff}}: 8,2$



Transverzální díl Rando fantomu

# Postup stanovení orgánových a efektivních dávek

## Výpočet absorbovaných dávek $D_{abs}$

$$D_{abs} = (R - R_{BG}) \cdot K_{cal} \cdot K_{cit} \cdot K_{en} \cdot K_{lin} \cdot K_{fad}$$

R...TL odezva ozářených TLD

$R_{BG}$ ...TL odezva pozadových TLD

$K_{cal}$ ... dávkový kalibrační faktor

$K_{cit}$ ...korekční faktor na individuální citlivost TLD

$K_{en}$ ...korekční faktor pro energetickou závislost TLD

$K_{lin}$ ...korekční faktor na nelinearitu TL odezvy

$K_{fad}$ ...korekční faktor na fading TLD

## Výpočet orgánových dávek $D_T$

$$D_T = \sum_i f_i \cdot D_i$$

$f_i$  ...frakce celkové hmotnosti orgánu nebo tkáně v i-tém řezu Rando fantomu

$D_i$  ...průměrná absorbovaná dávka v orgánu nebo v tkáni v i-tém řezu

## Výpočet efektivní dávky $E$

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_{T,R} w_T w_R D_{T,R}$$

$w_T$ ...tkáňový váhový faktor

$w_R$ ...radiační váhový faktor

$D_T$ ... orgánová dávka

$H_T$ ... ekvivalentní dávka

$E$  vypočtena s využitím tkáňových váhových faktorů podle doporučení ICRP 103 a ICRP 60.

$E$  se vztahuje pouze k referenčnímu muži („reference man effective dose“), neboť k měření byl použit mužský fantom.

# Rozsah měření

1. Terapeutické rentgenové **ozáření ostruhy patní kosti** na rtg ozařovači Wolf T-200
2. Terapeutické rentgenové **ozáření kyčle** na rtg ozařovači Wolf T-200
3. Brachyterapeutické **ozáření pomocí „Jáchymovských krabiček“** v Léčebných lázních Jáchymov

*Měření na rtg ozařovači byla provedena pro typické podmínky ozáření (geometrie svazků, napětí rentgenky, předepsaná dávka do cílového objemu, ...). Tyto údaje získalo SÚRO z dotazníků z jednotlivých RT pracovišť.*



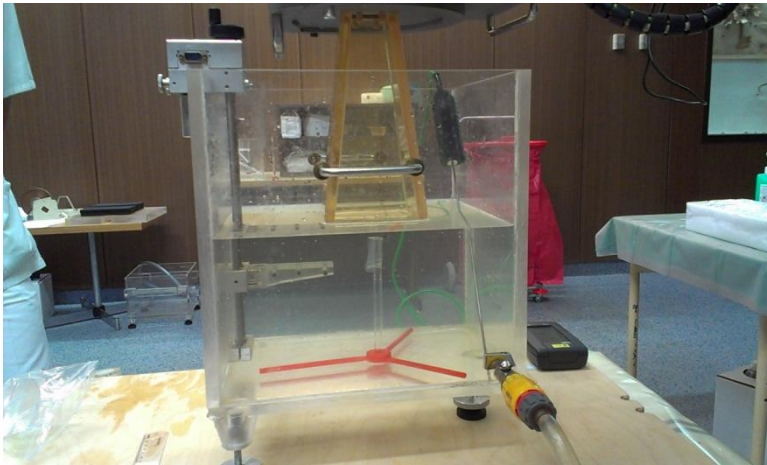
Terapeutický rentgenový ozařovač Wolf T-200



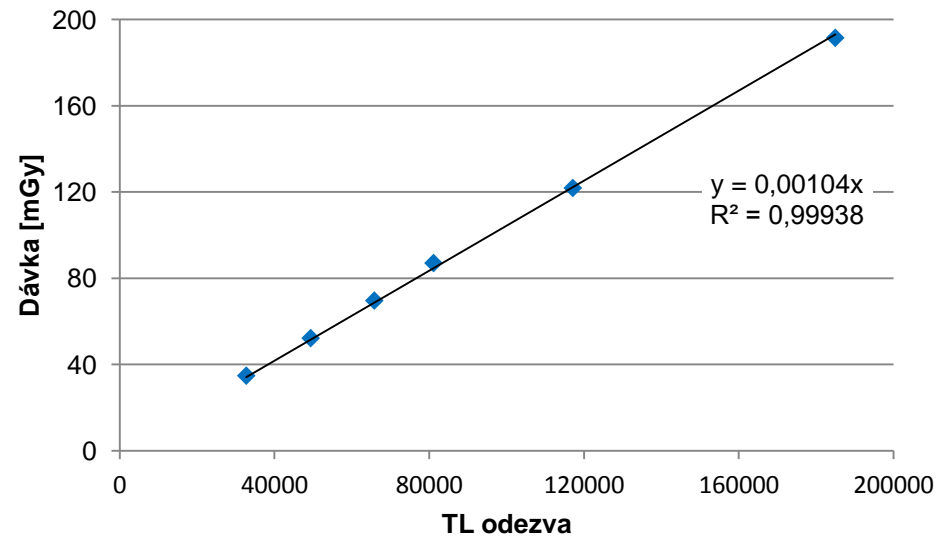
„Jáchymovská krabička“ přilepená na povrchu fantomu

# Kalibrace TLD v rtg svazku

- Ionizační komorou Farmer FC-65G změřena pro 160 kV svazek ve vodním fantomu dávka v ref. podmínkách dle TRS 398 (hloubka 2 cm)
- V téže hloubce změřeny TL odezvy pro různé ozařovací časy (od 2 do 11 sekund)



Kalibrace TLD ve vodním fantomu



# Terapeutické ozáření ostruhy patní kosti na rtg ozařovači

- Rando fantom doplněn o dolní končetinu z fantomu člověka (fantom „František“), končetina naplněna vodou
- 2. končetina simulována vodě-ekvivalentními deskami

## Podmínky ozáření

- Plantární ozáření paty (fantom leží na břiše)
- Napětí rentgenky: 160 kV
- 1 pole: tubus 6x10 cm<sup>2</sup>
- Filtrace 0,5 mm Cu (polotloušťka 0,80 mm Cu)
- Předepsaná dávka na frakci 1 Gy (na povrchu)
- Typická celková dávka 5 Gy (na povrchu)



Geometrie ozáření ostruhy patní kosti rtg ozařovačem



# Terapeutické ozáření ostruhy patní kosti na rtg ozařovači

## Změřené orgánové dávky

orgán	orgánová dávka [mGy]
gonády	1,1
prostata	0,7
kůže (pánev)	0,4
močový měchýř	0,3
prsa	0,1
tenké střevo	0,1

Ostatní orgánové dávky jsou menší než 0,1 mGy.

Orgánové dávky se vztahují k předepsané dávce na frakci 1 Gy (na povrchu)

## Stanovená efektivní dávka E pro předepsanou dávku na frakci 1 Gy (na povrchu)

**0,2 mSv** (podle ICRP 103)

**0,3 mSv** (podle ICRP 60)

## Stanovená efektivní dávka E pro celkovou předepsanou dávku 5 Gy (na povrchu)

**1 mSv** (podle ICRP 103)

**1,5 mSv** (podle ICRP 60)

V efektivní dávce E není v tomto případě zahrnuta orgánová dávka v kostní dřeni a na povrchu kostí.

# Terapeutické ozáření kyčle na rtg ozařovači



Geometrie ozáření pravého kyčelního kloubu AP polem

Z dotazníků zjištěno velké rozpětí podmínek ozáření (předepsaná dávka, způsob specifikace dávky, geometrie svazků, ...) pro dané diagnózy na pracovištích nenádorové radioterapie v ČR.

## Podmínky ozáření

- Ozáření pravého kyčelního kloubu
- AP pole (fantom leží na zádech)
- PA pole (fantom leží na břiše)
- Napětí rentgenky: 160 kV
- Tubus 10x15 cm<sup>2</sup>
- Předepsaná dávka na frakci 1 Gy (na povrchu)
- Typická celková předepsaná dávka 5 Gy (na povrchu)



Geometrie ozáření pravého kyčelního kloubu PA polem

# Terapeutické ozáření kyčle na rtg ozařovači

## Změřené orgánové dávky

orgán	orgánová dávka [mGy]
prostata	198
močový měchýř	166
tenké střevo	31
tlusté střevo	19
žlučník	7
ledviny	6
žaludek	2
slinivka	4
játra	3
slezina	2
nadledviny	3
plíce	0,4
srdce	0,4
prsa	0,5
jícen	0,2
brzlík	0,1
štítná žláza	0,1
slinné žlázy	<0,1
sliznice dutiny ústní	<0,1
mozek	<0,1
oční čočka	0,1
varlata	454
kostní dřeň	76
povrch kostí	82
kůže (pánev)	238
kůže (hrudník)	8
kůže (hlava a krk)	0,1

Orgánové dávky se vztahují k dávce na povrchu fantomu 1 Gy pro AP pole a PA pole.

Orgánová dávka ve varlatech 454 mGy je spočtena jako průměr dávky v levém varleti (67 mGy; levé varle se nachází vně pole svazku) a v pravém varleti (842 mGy; pravé varle se nachází v poli svazku).

**Stanovená efektivní dávka E pro předepsanou dávku na frakci 1 Gy na povrchu (podle ICRP 103):**

**59,5 mSv** (pro varlata částečně v poli svazku)

**28,5 mSv** (pro varlata vně pole svazku)

**Stanovená efektivní dávka E pro celkovou předepsanou dávku 5 Gy na povrchu (podle ICRP 103):**

**298 mSv** (pro varlata částečně v poli svazku)

**143 mSv** (pro varlata vně pole svazku)

# Terapeutické ozáření kyčle na rtg ozařovači

- **Absorbované dávky v oblasti pravého kyčelního kloubu (v cílovém objemu) pro dávku 1 Gy na povrch pro AP a PA pole:**
  - 352 mGy** (v řezu fantomu č. 33)
  - 369 mGy** (v řezu fantomu č. 32)
  - 384 mGy** (v řezu fantomu č. 31)
- V ČR při nenádorové radioterapii převládá specifikace předepsané dávky na povrch i v případě hluboko uložených cílových objemů.
- Způsob předepisování dávky na povrch pacienta se používá také v případě ozáření pacienta více poli.

# Brachyterapeutické ozáření „Jáchymovskými krabičkami“

## Brachyradiumterapie

- Léčebná metoda nenádorové radioterapie („manuální afterloading“)
- Používá se k léčbě chronické bolesti páteře a kloubů
- „Jáchymovské krabičky“ = aplikátory, jež se dle ozařovacího protokolu aplikují na kůži pacienta
- Do „krabiček“ se v aplikační místnosti vkládají zdroje Ra-226
- „Krabička“ obsahuje 1 až 3 tuby (URZ s obsahem Ra-226  $\approx$  10 mg)
- Na jedno ozáření se obvykle aplikují 1- 4 „krabičky“
- Doba aplikace: 6 hodin jednorázově
- Typický dávkový příkon na povrchu pacienta (2 cm od středu URZ) pro 100 mg Ra-226 je 1,4 – 1,8 Gy/hod)

## Fyzikální vlastnosti Ra-226

- Poločas rozpadu 1620 let
- Střední energie 0,83 MeV (0,047 – 2,45 MeV)
- Polotloušťka (13,6 mm Cu)



Rozmístění „jáchymovských krabiček“ na antropomorfním fantomu pro vybranou aplikaci

# Brachyterapeutické ozáření „Jáchymovskými krabičkami“

## Podmínky ozáření TLD

- 3 aplikátory umístěny v oblasti pánve
- 1 aplikátor umístěn v oblasti krční páteře
- Celková aktivita Ra-226 110 mg (cca 4,1 GBq)
- Doba aplikace: 4 hod



Vložení zdrojů Ra-226 do „jáchymovské krabičky“.



Rozmístění „jáchymovských krabiček“ na antropomorfním fantomu

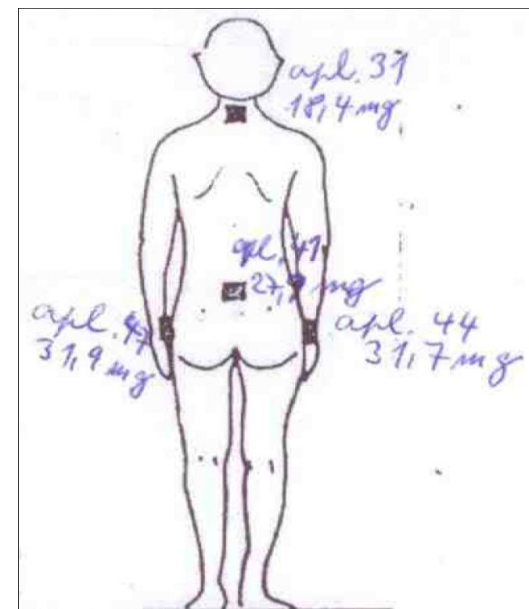
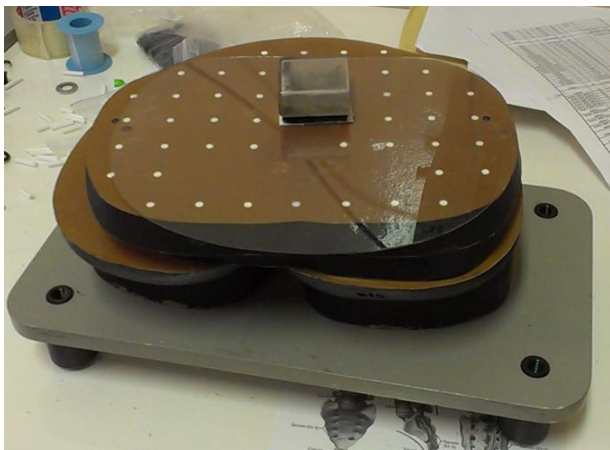


Schéma rozložení aktivit Ra-226 pro vybranou aplikaci „jáchymovských krabiček“

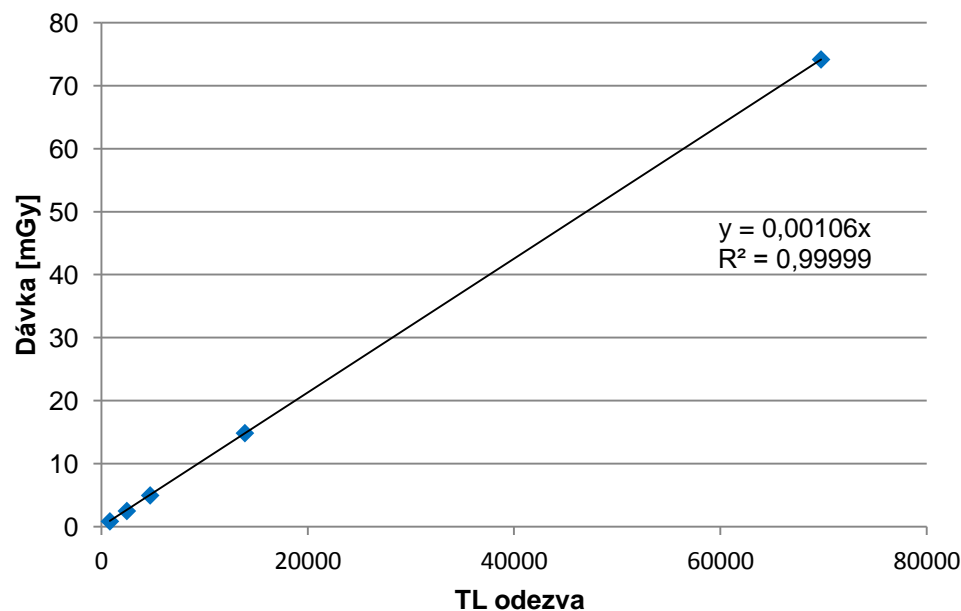
# Brachyterapeutické ozáření „Jáchymovskými krabičkami“

## Kalibrace TLD

- TLD umístěny ve vzdálenosti 2 cm od roviny středu zdrojů Ra-226 (v aplikátoru č. 31)
- Dle ozařovacího protokolu je dávka dodaná aplikátorem č. 31 za 6 hodin ve vzdálenosti 2 cm od roviny středu zdrojů 1,78 Gy.
- TLD ozářeny různými časy (od 10 sekund do 15 minut)



Uspořádání fantomu a „krabičky“ při kalibraci TLD.  
TLD je umístěn na povrchu horního dílu fantomu pod „krabičkou“.



# Brachyterapeutické ozáření „Jáchymovskými krabičkami“

## Změřené orgánové dávky

orgán	orgánová dávka [mGy]
prostata	78
močový měchýř	72
tenké střevo	67
tlusté střevo	58
žlučník	38
ledviny	67
žaludek	31
slinivka	40
játra	30
slezina	38
nadledviny	49
plíce	37
srdce	18
prsa	14
jícen	42
brzlík	47
štítná žláza	53
slinné žlázy	48
sliznice dutiny ústní	74
mozek	31
oční čočka	12
varlata	54
kostní dřeň	100
povrch kostí	62
kůže (pánev)	62
kůže (hrudník)	29
kůže (hlava a krk)	23

## Stanovená efektivní dávka pro 1 aplikaci (6 hodin)

**48,9 mSv** (podle ICRP 103)

**51,8 mSv** (podle ICRP 60)

Orgánové dávky se vztahují k době aplikace 6 hodin.



# Komentář k výsledkům

## Nejistoty při stanovení orgánových dávek:

- Kombinovaná standardní nejistota ( $u_c$ ) stanovení **absorbovaných dávek** v bodě v antropomorfním fantomu člověka pomocí TLD ( $k = 1$ ):
  - 6 % pro měření na terapeutickém rentgenovém ozařovači
  - 9 % pro měření s „jáchymovskými krabičkami“
- Nejistota stanovení **orgánových dávek** pomocí TLD nebyla vyčíslena zejména díky komplikovanému a problematickému vyjádření nejistot vztažených k neúplnému pokrytí objemu jednotlivých orgánů dozimetry.

## Stanovení efektivní dávky:

- Efektivní dávky byly stanoveny pro možnost porovnání s dalšími způsoby ozáření
- Stanovení efektivní dávky se provedlo podle ICRP 103 a ICRP 60
- Nejistota stanovení **efektivní dávky** pro referenčního pacienta a pro lékařské expozice udávaná v literatuře může dosahovat až 40%.

## Hodnocení radiační zátěže:

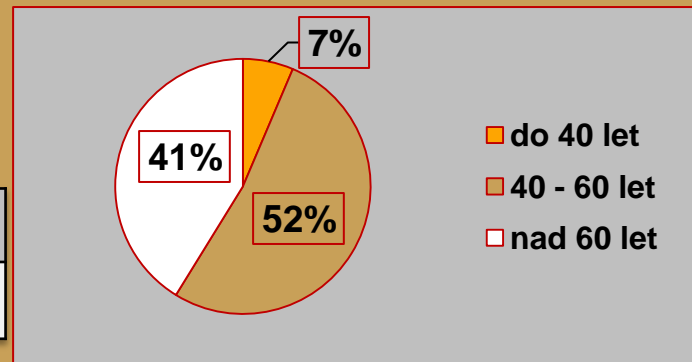
- Při hodnocení radiační zátěže pacientů z nenádorové radioterapie v ČR je vedle znalosti orgánových dávek pro jednotlivé diagnózy důležitá i znalost počtu a věkové struktury léčených pacientů.
- Při nenádorové radioterapii se většinou ozařují pacienti vyšších věkových kategorií, u nichž se riziko spojené s ozářením významně snižuje.

# Rozsah radioterapie ostruhy patní kosti (M77.3) v ČR v roce 2012

- Data o ozařování ostruhy patní kosti poskytl: **19 pracovišť (z 31)**
- Počet zde ozářených pacientů (všechny diagnózy): **15 347 pacientů**
- Z toho počet pacientů ozářených pro M77.3: **11275 (73,4%)**

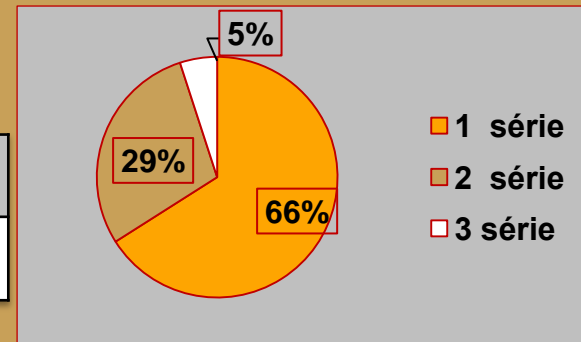
- Věková distribuce pacientů ozářených pro M77.3 (19 pracovišť, 11275 pacientů):

do 40 let	40 - 60 let	nad 60 let
<b>722</b>	<b>5909</b>	<b>4644</b>



- Opakování ozařovacích sérií (údaje z 13 pracovišť):

1 série	2 série	3 série
<b>4990</b>	<b>2176</b>	<b>352</b>



# Závěr

- Pro jednoznačně nejčastější diagnózu, která je v ČR léčena nenádorovou radioterapií - ostruhu patní kosti, byla při aplikaci předepsané celkové povrchové dávky 5 Gy stanovena efektivní dávka 1 mSv.
- Léčba ostruhy patní kosti představuje, díky lokalitě cílového objemu, nejnižší radiační zátěž pacienta, která je s nenádorovou radioterapií spojena.
- Jednu z nejvyšších radiačních zátěží představuje léčba artrózy kyčle. Efektivní dávka pro tuto diagnózu je vyšší než 100 mSv, i když jsou varlata vně svazku.
- Pro šestihodinovou aplikaci brachyradiumterapie s největší radiační zátěží – tj. aplikaci největšího množství aplikovaného rádia o celkové aktivitě 110 mg Ra-226 (cca 4,1 GBq), při které bylo použity tři „krabičky“ v oblasti pánve a jedna „krabička“ v oblasti krční páteře, byla vypočtena efektivní dávka 49 mSv.

**Děkuji za pozornost**