Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.
140 00 Praha 4, Bartoškova 28

Odbor lékařských expozic

Metodika pro stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie

Vypracoval:

Funkce	Jméno	Datum	Podpis
Výzkumný a vývojový pracovník	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.		

Přezkoumal a schválil:

Funkce	Jméno	Datum	Podpis
Vedoucí odboru lékařských expozic	Ing. Ivana Horáková, CSc.		
Oponent (zástupce státní správy)			
Oponent (odborník z oboru)			

Archivní označení	SOP 27	Číslo revize	0
Výtisk číslo	1	Rok uplatnění metodiky	2016

Rozdělovník:

Výtisk	Převzal	Datum	Podpis
	vedoucí odboru lékařských expozic		

Vztah k výzkumnému záměru nebo projektu	TB02SUJB037

Změnový list

Číslo změny	Vypracoval	Důvod změny		Schválil	Účinnost od
	Jméno, podpis	Nové listy:	Zrušené listy:	Jméno, podpis	
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					

Přehled revizí

Číslo revize	Důvod revize	Účinnost revize od
0	Původní dokument	15.1.2016
1		
2		
3		
4		
5		

Obsah

A Cíl metodiky 5

B Vlastní popis metodiky 5

1 Názvosloví a zkratky 5

2 Podstata zkoušky 5

3 Specifikace zkušebního postupu 6

4 Validace a verifikace 7

5 Bezpečnost práce 7

6 Pracovníci, prostory a prostředí 7

6.1 Pracovníci 7

6.2 Prostory a prostředí 8

7 Zkušební zařízení 9

8 Postup stanovení dávek 9

8.1 Princip stanovení dávek 9

8.1.1 TLD systém 9

8.1.2 Rando fantom 10

8.1.3 Stanovení absorbovaných dávek pomocí TLD 12

8.1.4 Stanovení orgánových dávek 12

8.1.5 Stanovení efektivní dávky 15

8.1.6 Kalibrace TLD 17

8.1.7 Výpočet korekčních faktorů TLD na individuální citlivost K_{cit} 17

8.1.8 Referenční ozáření TLD v SÚRO 18

8.2 Pracovní postup stanovení dávek 18

8.2.1 Annealing TLD 18

8.2.2 Ozáření TLD pro získání korekčních faktorů na individuální citlivost 19

8.2.3 Ozáření TLD při kalibraci 20

8.2.4 Stanovení absorbované dávky ionizační komorou při kalibraci 22

8.2.5 Referenční ozáření TLD 23

8.2.6 Umístění TLD v Rando fantomu 24

8.2.7 Umístění a terapeutické ozáření Rando fantomu 25

8.2.8 Vyhodnocení odezvy TLD 28

8.2.9 Výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost TLD 29

8.2.10 Výpočet průměrných odezev TLD ozářených při kalibraci 29

8.2.11 Výpočet kalibračního faktoru K_{cal} 29

8.2.12 Stanovení orgánových dávek 30

8.2.13 Stanovení efektivní dávky 30

8.2.14 Zaznamenání dat do databáze výsledků 31

9 Vyjadřování výsledků a tolerance 31

10 Zpracování výsledků a vyhotovení protokolu 31

11 Odhad nejistot 31

12 Mez stanovitelnosti 32

13 Řízení kvality 32

13.1 Vnitřní kontrola 32

13.2 Vnější kontrola 33

14 Protokol o zkoušce 33

15 Záznamy 33

16 Seznam příloh 37

C Srovnání „novosti postupů“ oproti původní metodice 37

D Popis uplatnění Certifikované metodiky 37

E Seznam použité související literatury 38

F Seznam publikací 39

Přílohy 40

Příloha 1: Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek 40
Excelovský list umístění TLD 40
Excelovský list výpočet korigovaných odezev 44
Excelovský list výpočet orgánových dávek 48

Příloha 2: Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji 58

Příloha 3: Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD 59
Excelovský list výpočet TL odezev 61
Excelovský list kalibrace 64

Příloha 4: Záznamový formulář podmínek ozáření 65

Příloha 5: Záznamový a výpočetní formulář pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost 66

Příloha 6: Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP 60 70

Příloha 7: Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP 103 72

Příloha 8: Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (ozáření na terapeutickém rentgenu) 74

Příloha 9: Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (brachyradiumterapie) 77

A Cíl metodiky

Cílem metodiky je popsat postup stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie. Konkrétně je v metodice popsán postup stanovení orgánových dávek a efektivní dávky.

B Vlastní popis metodiky

1 Názvosloví a zkratky

V tomto dokumentu jsou použity následující termíny, definice a zkratky:

CT	Výpočetní tomografie
IAEA	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
ICRP	Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu
kV	Kilovoltážní
LiF	Fluorid litný
OBI	Kilovoltážní zobrazovací systém, výrobce Varian Mediacal Systems (On Board Imager)
PMMA	Polymetylmetakrylát
Rtg	Rentgenový
SOP	Standardizovaný operační postup
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany, veřejná výzkumná instituce
TL	Termoluminiscenční
TLD	Termoluminiscenční dozimetr/y
TRS	Technical Report Series
XVI	Kilovoltážní zobrazovací systém, výrobce Elekta (X-ray Volume Imaging)

2 Podstata zkoušky

Pomocí této metodiky je možné pro diagnózy nenádorové radioterapie stanovit orgánové a efektivní dávky.

Orgánové dávky mohou být použity pro hodnocení radiační zátěže pacientů podstupujících nenádorovou radioterapii. Efektivní dávku lze použít pro porovnání radiační zátěže pacienta z nenádorové radioterapie s jinými způsoby lékařského ozáření.

Orgánové dávky jsou stanoveny na základě měření se zhruba 120 termoluminiscenčními dozimetry (TLD) rozmístěnými v předpokládaných pozicích orgánů v antropomorfním mužském Rando fantomu. Přímo měřenou veličinou je termoluminiscenční (TL) odezva TLD představující množství vyzářeného světla. TL odezva je úměrná absorbované dávce deponované v TLD. Z TL odezev se pomocí dávkového kalibračního faktoru a sady korekčních faktorů vypočítají absorbované dávky v různých bodech antropomorfního fantomu. Z absorbovaných dávek se vypočítají orgánové dávky, jež představují střední absorbované dávky v příslušných orgánech. Orgánové dávky se stanovují ve 27 orgánech. Nakonec se z orgánových dávek vypočítá efektivní dávka, a to jednak podle doporučení ICRP

103 [1], jednak podle doporučení ICRP 60 [2]. Stanovená efektivní dávka se vztahuje pouze k referenčnímu muži (reference man effective dose), neboť k měření je použit mužský fantom.

Dle této metodiky je možné v rámci nenádorové radioterapie stanovit dávku pacienta jak pro terapeutické ozáření na terapeutickém rentgenovém ozařovači, tak pro aplikace brachyterapeutického ozáření pomocí „rádiových krabiček“. Brachyterapeutická ozáření využívající „rádiové krabičky“ (aplikátory se zdroji Ra-226) se provádějí v Léčebných lázních Jáchymov.

Dle této metodiky je možné stanovit dávku pacienta (orgánové a efektivní dávky) i pro jiné lékařské aplikace ionizujícího záření, než jsou zde uvedeny. V takovém případě je pak nutné zohlednit druh a energii záření, provést vhodný výběr TLD a v případě potřeby upravit metodiku kalibrace TLD. Rovněž je třeba zohlednit způsob provedení ozáření pacienta, např. verifikaci polohy před vlastním ozářením.

3 Specifikace zkušebního postupu

Proces vedoucí ke stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie zahrnuje laboratorní přípravu termoluminiscenčních dozimetrů v SÚRO před terapeutickým ozářením (např. annealing TLD), procedury prováděné na radioterapeutickém pracovišti (např. kalibrace TLD, terapeutické ozáření) a procedury prováděné v SÚRO po terapeutickém ozáření (např. vyhodnocení TL odezev, stanovení dávek).

Dílčí procedury prováděné v SÚRO v rámci laboratorní přípravy termoluminiscenčních dozimetrů jsou:

1. annealing TLD
2. ozáření TLD pro získání korekčních faktorů na individuální citlivost TLD
3. referenční ozáření TLD
4. odvoz antropomorfního fantomu na radioterapeutické pracoviště vozidlem SÚRO

Dílčí procedury prováděné na radioterapeutickém pracovišti jsou:

5. kalibrace TLD (kalibrační ozáření TLD, stanovení kalibračních dávek)
6. rozmístění TLD v antropomorfním fantomu
7. nastavení polohy fantomu a nastavení ozařovací geometrie
8. terapeutické ozáření fantomu s TLD požadovaným způsobem
9. odebrání TLD z fantomu
10. odvoz antropomorfního fantomu z pracoviště na SÚRO

Dílčí procedury prováděné v SÚRO po terapeutickém ozáření TLD jsou:

11. vyhodnocení termoluminiscenčních odezev TLD ve čtečce TLD
12. stanovení absorbovaných dávek v antropomorfním fantomu pro dané terapeutické ozáření
13. stanovení orgánových dávek pro dané terapeutické ozáření
14. stanovení efektivní dávky pro dané terapeutické ozáření
15. zpracování výsledků a vyhotovení protokolu o stanovení dávky pacienta
16. kontrola a podpis protokolu
17. archivace záznamů

Jednotlivé výše uvedené procedury jsou podrobně popsány v kapitole 8.2 - Pracovní postup stanovení dávek.

4 Validace a verifikace

Metodika pro stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie je v souladu s dokumenty TRS 457 [3], TRS 398 [4], ICRP 103 [1], ICRP 60 [2] a VDS 009 [5].

Verifikace správnosti výsledků je prováděna na základě vnitřních a vnějších kontrol shrnutých v kapitole 13 - Řízení kvality.

5 Bezpečnost práce

Zásady bezpečné práce, ochrany zdraví při práci a ochrany životního prostředí jsou stanoveny v Provozním řádu odboru lékařských expozic [6].

6 Pracovníci, prostory a prostředí

6.1 Pracovníci

Provedení stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie zajišťují pracovníci SÚRO:

činnost	oprávnění k vykonávání činnosti
annealing TLD	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Viera Brozáková Martina Vtelenská
ozáření TLD pro získání korekčních faktorů na individuální citlivost TLD	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Jarmila Pilgerová
referenční ozáření TLD	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Viera Brozáková
odvoz antropomorfního fantomu na pracoviště	Řidič SÚRO Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.

kalibrace TLD	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
rozmístění TLD v antropomorfním fantomu	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
nastavení polohy fantomu a nastavení ozařovací geometrie	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
terapeutické ozáření fantomu s TLD požadovaným způsobem	radiologický fyzik příslušného radioterapeutického pracoviště Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
odebrání TLD z fantomu	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
odvoz antropomorfního fantomu z pracoviště na SÚRO	Řidič SÚRO Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
vyhodnocení TL odezev pomocí čtečky TLD	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Jarmila Pilgerová
stanovení absorbovaných dávek, orgánových dávek a efektivní dávky pro dané terapeutické ozáření	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
zpracování výsledků a vyhotovení protokolu o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Ivana Horáková, CSc.
kontrola a podpis protokolu	Ing. Ivana Horáková, CSc. Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
archivace záznamů o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie	Ing. Vladimír Dufek, Ph.D. Ing. Ivana Horáková, CSc. Jarmila Pilgerová

Jednotlivé zkušební úkony vykonávají pracovníci uvedení na prvním místě. V případě nepřítomnosti je zastupují pracovníci uvedení na dalších místech.

Činnosti, k nimž má oprávnění Ing. Dufek, může po příslušném zaškolení vykonávat i jiný pracovník Odboru lékařských expozic.

6.2 Prostory a prostředí

Kalibrace TLD, rozmístění TLD ve fantomu, nastavení polohy fantomu a nastavení ozařovací geometrie, terapeutické ozáření fantomu s TLD a odebrání TLD z fantomu se provádí na vybraném radioterapeutickém pracovišti. Další činnosti se provádí na SÚRO:

Budova E, místnost č. 8: annealing TLD, referenční ozáření TLD

Budova E, místnost č. 6: annealing TLD

Budova F1, místnost č. 10: ozáření TLD pro korekci na individuální citlivost

Budova E, místnost č. 7: vyhodnocení TL odezev

Budova F1, místnost č. 2: stanovení absorbovaných dávek, orgánových dávek a efektivní dávky, zpracování výsledků a vyhotovení protokolu, archivace záznamů o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie

Budova F1, místnost č. 3: kontrola a podpis protokolu

Pozn. Místnost pro činnosti prováděné na SÚRO je dána tím, který pracovník SÚRO je provádí. Viz Provozní řád Odboru lékařských expozic [6].

7 Zkušební zařízení

Ověřování a kalibrace měřidel jsou zajišťovány v požadovaných intervalech na pracovišti Českého metrologického institutu. Kalibrace měřidel může být prováděna také akreditovanými kalibračními laboratořemi, které jsou uvedeny v seznamu hlavních dodavatelů Odboru lékařských expozic.

- Annealingová pec PTW – TLDO
- TLD ozařovač RADOS DOSACUS
- Terapeutický rentgenový ozařovač Wolf T-200
- Mužský antropomorfní Aldersonův Rando fantom i. č. 159
- Kit na Rando fantom s nosnou konstrukcí i. č. 12429
- Kovová schránka (pro annealing TLD)
- 2 ks plastových schránek (pro uložení TLD)
- Termoluminiscenční dozimetry TLD MCP-N
- Čtečka TLD HARSHAW 4500
- Intraorální rentgenový přístroj Planmeca Intra
- Cylindrická ionizační komora Farmer + prodlužovací kabel
- Malý vodní fantom
- Stojánek pro umístění TLD při kalibraci
- Elektrometr Unidos
- Digitální teploměr
- Barometr
- 15 ks PMMA fólií s vyvrtanými otvory pro umístění TLD
- Kontrolní zdroj pro cylindrickou ionizační komoru Farmer
- Notebook
- Pinzeta
- Vakuová pinzeta
- Polyetylenové fólie
- Potravinářská fólie

8 Postup stanovení dávek

8.1 Princip stanovení dávek

8.1.1 TLD systém

Pro stanovení orgánových dávek se používají TL dozimetry MCP-N (TLD Poland). Tyto dozimetry představují kruhové čipy o průměru 4,5 mm a výšce 0,9 mm a obsahují termoluminiscenční materiál LiF s příměsí hořčíku, mědi a fosforu (LiF: Mg, Cu, P). Před

ozářením dozimetrů se v pícce PTW – TLDO provádí jejich annealing, který spočívá v desetiminutovém vyhřátí dozimetrů při teplotě 240 °C a jejich následném prudkém zchlazení. Po ozáření se dozimetry vyhodnotí ve čtečce TL dozimetrů Harshaw 4500 v SÚRO, kde se nejdříve provede předohřev dozimetrů při 130 °C, který trvá 8 sekund. Poté následuje lineární vzrůst teploty o 10 °C za sekundu ze 130 °C na teplotu 240 °C. Při teplotě 240 °C se dozimetry vyhřívají 13 s. Poté následuje ochlazení dozimetrů.

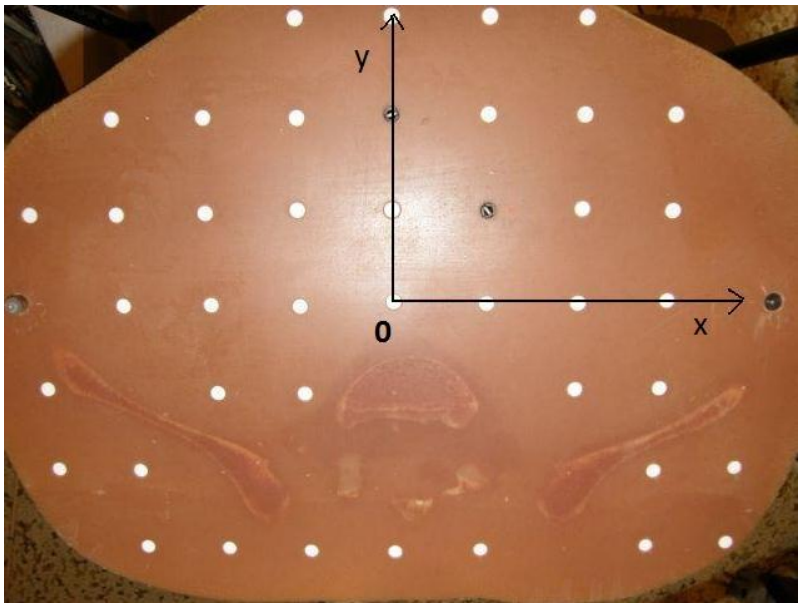
8.1.2 Rando fantom

Při měření orgánových dávek se TLD umisťují do mužského antropomorfního Rando fantomu (Obr. 1). Tento fantom simuluje muže vysokého 175 cm a vážícího 73,5 kg. Fantom se skládá z třiceti šesti axiálních řezů. Kromě jednoho řezu je tloušťka všech řezů 2,5 cm. V řezech fantomu jsou vyvrtané otvory, které tvoří mřížku se vzdáleností sousedních děr zpravidla 3 cm. Do těchto otvorů se vkládají TLD. Fantom vyplňují plastové materiály, které jsou tkáňově ekvivalentní měkké a plicní tkáni. Fantom obsahuje i lidské anatomii odpovídající kostěné struktury.

Konkrétní řez Rando fantomu je spolu se souřadným systémem zobrazen na Obr. 2. Jednotlivé orgány v Rando fantomu jsou vymezeny na základě anatomického CT atlasu [7] a údajů v literatuře [8-11]. Celkově se orgánové dávky stanovovaly ve 27 orgánech, v nichž bylo umístěno 120 dozimetrů. Distribuce orgánů v Rando fantomu je znázorněna v Tab. 1.

V případě potřeby (např. pro stanovení dávky pacienta při ozáření ostruhy patní kosti) se za účelem správného nastavení geometrie ozáření Rando fantom doplní o vhodné končetiny. Končetiny mohou být odebrány z jiného antropomorfního fantomu nebo mohou být simulovány např. vodě-ekvivalentními deskami (viz Obr. 13).

Obr. 1: Antropomorfní Rando fantom upevněný ve speciální nosné konstrukci



Obr. 2: Řez číslo 29 Rando fantomu se znázorněným souřadnicovým systémem

Tab. 1: Distribuce orgánů v Rando fantomu

orgán	počet TLD	řezy fantomu
prostata	2	34
močový měchýř	4	29-32
tenké střevo	6	24-29
tlusté střevo	4	24-27
žlučník	3	23-24
ledviny	4	21-24
žaludek	4	20-23
slinivka břišní	2	22-23
játra	6	19-23
slezina	3	20-22
nadledviny	2	21-22
plíce	11	10-20
srdce	3	16-18
prsa	2	16-17
jícen	3	12,14,16
brzlík	2	12
štítná žláza	2	8-9
slinné žlázy	4	6-7
sliznice dutiny ústní	4	6-7
mozek	4	2-4
oční čočka	2	3
varlata	2	34
kostní dřeň (povrch kostí)*	24	1,7,9,12,13,15,18,21, 23,25,27,29,31-33
kůže (pánev)	6	25,27,29,31,32,35
kůže (hrudník)	6	12,14,18,21,22,24
kůže (hlava a krk)	5	1,2,4,6,10

Dozimetry jsou stejně umístěné pro výpočet orgánové dávky v kostní dřeni i na povrchu kostí.

8.1.3 Stanovení absorbovaných dávek pomocí TLD

Při výpočtu orgánových dávek se nejdříve z naměřených TL odezev R vypočítají absorbované dávky D podle vzorce (1).

$$D = (R - R_{BG})\, K_{cal}\, K_{cit}\, K_{en}\, K_{lin}\, K_{fad} \quad (1)$$

kde R_{BG} je TL odezva pozaďových (neozářených) TLD, K_{cal} je dávkový kalibrační faktor (získaný při kalibraci), K_{cit} je korekční faktor na individuální citlivost TLD, K_{en} je korekční faktor pro energetickou závislost, K_{lin} je korekční faktor na nelinearitu TL odezvy a K_{fad} je korekční faktor na fading TLD. Při výpočtu absorbovaných dávek podle vzorce (1) se pokládají korekční faktory K_{en}, K_{lin} a K_{fad} rovné jedné. Nejistota spojená s tímto přiřazením je zohledněna v odhadu nejistoty stanovení absorbovaných dávek v kapitole 11 - Odhad nejistot.

8.1.4 Stanovení orgánových dávek

Pro orgány, pro které jsou v literatuře tabelovány hodnoty f_i, se střední dávka v daném orgánu, která představuje orgánovou dávku, vypočítá podle vzorce (2)

$$D = \sum_i f_i\, D_{abs,i} \quad (2)$$

kde D je střední absorbovaná dávka v orgánu nebo tkáni, f_i je frakce celkové hmotnosti orgánu nebo tkáně v i-tém řezu Rando fantomu, $D_{abs,i}$ je průměrná absorbovaná dávka v orgánu nebo v tkáni v i-tém řezu Rando fantomu, i je index jdoucí přes všechny řezy Rando fantomu.

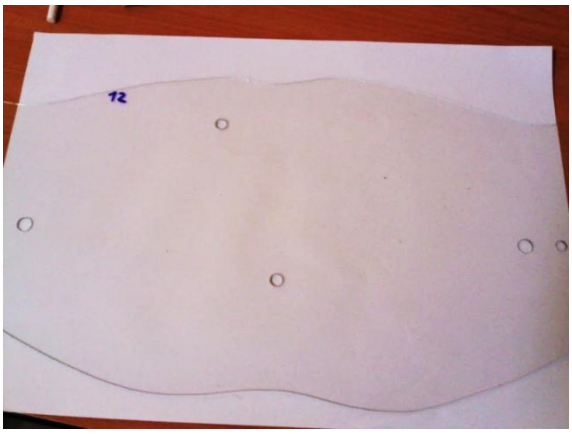
Pro játra, žaludek, slinivku, nadledviny, ledviny, slezinu, žlučník, tenké střevo a tlusté střevo jsou hodnoty f_i převzaty z [8]. Hodnoty f_i pro plíce, močový měchýř a štítnou žlázu jsou převzaty z [9]. Hodnoty faktorů f_i jsou uvedeny v *Záznamovém formuláři pro stanovení orgánových dávek* (Příloha 1).

Orgánová dávka na kůži se vypočítá jako aritmetický průměr orgánových dávek na kůži v oblasti pánve, hrudníku a hlavy a krku.

Orgánová dávka v následujících orgánech: oční čočka, srdce, varlata, prsa, prostata, brzlík, jícen, slinné žlázy, sliznice dutiny ústní a mozek se vypočítá alternativně jako aritmetický průměr jednotlivých absorbovaných dávek v daném orgánu, neboť pro tyto orgány nejsou tabelovány hodnoty f_i.

Výpočet orgánové dávky v kostní dřeni a na povrchu kostí je podrobněji specifikován níže.

V Rando fantomu nelze umístit TLD přímo do kostěných struktur. Proto, za účelem stanovení orgánové dávky v kostní dřeni a na povrchu kostí, byly navrženy a vyrobeny speciální PMMA fólie (15 kusů) o tloušťce 1 mm, ve kterých jsou na patřičných místech vyvrtány otvory (celkem 24) o průměru 5 mm, do nichž se vkládají TLD (viz Obr. 3). Tyto speciální fólie se vkládají mezi vybrané řezy Rando fantomu specifikované v Tab. 2. Otvory v jednotlivých fóliích jsou vyvrtány tak, že po vložení TLD do otvorů tyto dozimetry leží na kostěných strukturách.



Obr. 3: PMMA fólie pro umístění TLD přímo na kostěné struktury

Tab. 2: Distribuce PMMA fólií a TLD v Rando fantomu pro stanovení orgánové dávky v kostní dřeni a na povrchu kostí

kostní struktury	číslo TLD	řez Rando fantomu	souřadnice TLD
lebka	1	1	(-3,6)
	2	1	(3,-6)
krční páteř	4	9	(0,-2)
hrudní páteř	5	12	(0,-3)
	10	15	(0,-4)
	12	18	(0,-3)
	13	21	(0,-3)
bederní a křížová páteř	14	23	(0,-3)
	15	25	(0,-3)
	16	27	(0,-3)
	17	29	(0,-3)
pánev	18	29	(6,-6)
	19	29	(-5,-6)
	20	31	(-6,-3)
	21	31	(6,-4)
	22	32	(9,0)
	23	32	(-8,0)
hrudní koš	8	13	(0,7)
	11	15	(0,8)
lopatka	9	13	(-15,0)
	6	12	(15,0)
klíční kost	7	12	(-3,6)
čelist	3	7	(1,6)
kost stehenní	24	33	(8,-2)

Poznámka: PMMA fólie se umisťují na horní stranu specifikovaných řezů Rando fantomu. Souřadnicový systém je zobrazen na Obr. 2, popsán je v kapitole 8.2.6.

Výpočet orgánové dávky v kostní dřeni a výpočet orgánové dávky na povrchu kostí je založen na totožné distribuci TLD v Rando fantomu. Liší se pouze hmotnostní frakce kostní dřeně a povrchu kostí v jednotlivých kostěných strukturách.

Orgánová dávky v kostní dřeni $D_{dřeň}$ se vypočítá podle vzorce (3):

$$D_{dřeň} = \sum_i D_{abs,i}\, A_i \qquad (3)$$

kde $D_{abs,i}$ je průměrná absorbovaná dávka v jednotlivých kostěných strukturách a A_i je hmotnostní frakce kostní dřeně v příslušných kostěných strukturách. Hodnoty hmotnostních frakcí kostní dřeně v příslušných kostěných strukturách jsou uvedeny v Tab. 3. Hodnoty hmotnostních frakcí kostní dřeně jsou převzaty z [12].

Tab. 3: Váhové faktory pro stanovení orgánové dávky v kostní dřeni [12]

kostěné struktury	řezy Rando fantomu	hmotnostní frakce kostní dřeně A_i	počet TLD
lebka	1	0,119	2
čelist	7	0,012	1
lopatka	12, 13	0,048	2
klíční kost	12	0,016	1
hrudní koš	13, 15	0,102	2
krční páteř	9	0,034	1
hrudní páteř	12, 15, 18, 21	0,141	4
bederní a křížová páteř	23, 25, 27, 29	0,109	4
pánevní kost	29, 31, 32	0,362	6
kost stehenní	33	0,038	1
	celkem	0,981	24

Frakce kostní dřeně jsou převzaty z [47]. V distribuci není zahrnuta kost pažní (0,019). Korekce na chybějící frakci se neprovádí, neboť Rando fantom nemá končetiny.

Orgánová dávky na povrchu kostí D_{povrch} se vypočítá podle vzorce (4):

$$D_{povrch} = \sum_i D_{abs,i}\, E_i \qquad (4)$$

kde $D_{abs,i}$ je průměrná absorbovaná dávka v jednotlivých kostěných strukturách a E_i je hmotnostní frakce povrchu kostí v příslušných kostěných strukturách. Hodnoty hmotnostních frakcí povrchu kostí v příslušných kostěných strukturách jsou uvedeny v Tab. 4. Hodnoty hmotnostních frakcí povrchu kostí jsou převzaty z [13].

Tab. 4: Váhové faktory pro stanovení orgánové dávky na povrchu kostí [13]

kostěné struktury	řezy Rando fantomu	hmotnostní frakce povrchu kostí E_i	počet TLD
lebka a čelist	1, 7	0,165	3
lopatka	12, 13	0,031	2
klíční kost	12	0,012	1
hrudní koš	13, 15	0,078	2
krční páteř	9	0,014	1
hrudní páteř	12, 15, 18, 21	0,042	4
bederní páteř	23, 25, 27, 29	0,035	4
pánevní kost	29, 31, 32	0,104	6
kost stehenní	33	0,186	1
	celkem	0,667	24

Frakce povrchu kostí jsou převzaty z [13]. Vzhledem k tomu, že Rando fantom nemá končetiny, nejsou v distribuci zahrnuty následující kostěné struktury: kost pažní (0,068), kost holenní (0,105), kost lýtková (0,025), chodidla (0,055), kost vřetenní (0,021), kost loketní (0,027), ruce (0,025) a čéška (0,007). Korekce na chybějící frakce se proto neprovádí.

8.1.5 Stanovení efektivní dávky

Efektivní dávka se vypočítá jako vážený součet tkáňových ekvivalentních dávek H_T:

$$E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \; D_{T,R} \qquad (5)$$

kde w_T je tkáňový váhový faktor pro tkáň T a $\Sigma\, w_T = 1$. Sčítání se provádí přes orgány a tkáně lidského těla, u nichž se předpokládá vnímavost na indukci stochastických účinků. Tyto orgány a tkáně jsou specifikovány v doporučeních ICRP 103 [1] a ICRP 60 [2]). Hodnoty w_T jsou zvoleny tak, aby představovaly příspěvek jednotlivých orgánů a tkání k celkové radiační újmě ze stochastických účinků.

Ekvivalentní dávka H_T je součin radiačního váhového faktoru w_R a průměrné absorbované dávky $D_{T,R}$ v objemu konkrétního orgánu nebo tkáně T způsobené typem záření R. Radiační váhový faktor w_R pro fotony je rovný 1. V metodice je orgánová dávka ztotožněna s ekvivalentní dávkou.

V metodice se efektivní dávky počítají ze změřených orgánových dávek jednak podle doporučení ICRP 60 [2], jehož formalismus je převzat do vyhlášky 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, a jednak také podle novějšího doporučení ICRP 103 [1]. Výpočet efektivní dávky pomocí těchto dvou doporučení se mírně liší ve výčtu orgánů a tkání a v hodnotách tkáňových váhových faktorů, jež jsou pro jednotlivé orgány a tkáně uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5: Hodnoty tkáňových váhových faktorů podle doporučení ICRP 60 [2] a ICRP 103 [1].

doporučení	ICRP 60	ICRP 103
orgán	tkáňový váhový faktor w_T	
gonády	0,20	0,08
kostní dřeň (červená)	0,12	0,12
tlusté střevo	0,12	0,12
plíce	0,12	0,12
žaludek	0,12	0,12
močový měchýř	0,05	0,04
prsa (mléčná žláza)	0,05	0,12
játra	0,05	0,04
jícen	0,05	0,04
štítná žláza	0,05	0,04
kůže	0,01	0,01
povrch kostí	0,01	0,01
zbytek tkání (remainder)*	0,05	0,12
mozek	-	0,01
slinné žlázy	-	0,01

* Metodika výpočtu dávky ve zbytku tkání (remainder) se v doporučení ICRP 60 a ICRP 103 liší.

Výpočet střední dávky ve zbytku tkání

K výpočtu efektivní dávky E je nutné znát střední dávku ve zbytku tkání (remainder). Podle doporučení ICRP 60 [2] se střední dávka ve zbytku tkání vypočítá jako aritmetický průměr středních dávek v nadledvinách, v mozku, v horní části tlustého střeva (upper large intestinum), v tenkém střevě, v ledvinách, ve svalstvu, ve slinivce, ve slezině, v brzlíku a v děloze. V metodice se pro výpočet efektivní dávky podle doporučení ICRP 60 neuvažují orgánové dávky v horní části tlustého střeva, ve svalstvu a v děloze. Do výpočtu efektivní dávky se totiž započítává orgánová dávka v celém tlustém střevě s vlastní hodnotou tkáňového váhového faktoru. Lokalizace svalstva v Rando fantomu je komplikovaná a orgánová dávka v děloze se taktéž nezapočítává, protože orgánové dávky se v této práci stanovují v mužském fantomu. Ve výjimečných případech, kdy je orgánová dávka v některém z orgánů ve zbytku tkání vyšší než nejvyšší orgánová dávka v orgánech v Tab. 5, se tomuto orgánu, stejně jako zbytku tkání přiřadí tkáňový váhový faktor 0,025. Do výpočtu střední dávky ve zbývajících orgánech se pak tento orgán již nezapočítává. Toto speciální pravidlo platí pouze při výpočtu efektivní dávky podle doporučení ICRP 60.

Doporučení ICRP 103 [1] do zbytku tkání (remainder tissues) zařazuje nadledviny, horní cesty dýchací (extrathoracic region), žlučník, srdce, ledviny, lymfatické uzliny, svalstvo, sliznici dutiny ústní (oral mucosa), slinivku, tenké střevo, slezinu, brzlík, prostatu a dělohu. Střední dávka ve zbytku tkání se podle doporučení ICRP 103 vypočítá jako aritmetický průměr středních dávek ve výše vyjmenovaných orgánech. V metodice se pro výpočet efektivní dávky podle doporučení ICRP 103 neuvažují orgánové dávky v horních cestách dýchacích, v lymfatických uzlinách, ve svalstvu a v děloze. Důvodem jejich vyloučení z výpočtu (kromě dělohy) je jejich komplikovaná lokalizace v Rando fantomu. Střední dávka v děloze se do výpočtu nezapočítává, protože orgánové dávky se stanovují v mužském fantomu. V této práci se proto střední dávka ve zbytku tkání vypočítá podle doporučení ICRP 103 jako aritmetický průměr středních dávek v nadledvinách, v žlučníku, v srdci, v ledvinách, ve sliznici dutiny ústní, ve slinivce, v tenkém střevě, ve slezině, v brzlíku a v prostatě.

8.1.6 Kalibrace TLD

Kalibrace TLD se provádí v Nemocnici Na Bulovce na terapeutickém rentgenovém ozařovači Wolf T-200 (viz Obr. 6), kde se ve vodním fantomu v hloubce 2 cm ozáří TLD různými úrovněmi absorbovaných dávek (danými různými ozařovacími časy) ve svazku, který je svými parametry (napětí rentgenky, polotloušťka svazku, velikost tubusu, …) shodný nebo podobný svazku, který se na českých radioterapeutických pracovištích používá k léčbě (ozáření) dané diagnózy nenádorovou radioterapií. Absorbované dávky se stanovují na základě měření s ionizační komorou Farmer podle doporučení TRS 398 [4].

Výše uvedené podmínky kalibračního ozáření platí pro svazek s napětím rentgenky přibližně od 100 kV výše. Pro svazky s nižším napětím rentgenky by se postupovalo dle kapitoly pro nízkoenergetické rentgenové svazky uvedené v TRS 398 [4].

Kalibrace TLD se na terapeutickém rentgenovém ozařovači Wolf T-200 provádí nejen v případě, že se na tomto ozařovači provádí stanovení (měření) dávky pacienta, ale také v případě, že se stanovuje dávka pacienta při brachyterapeutickém ozáření pomocí „rádiových krabiček“. Díky nízké energetické závislosti použitých TLD [14] a skutečnosti, že se energie konvenčních svazků na terapeutických rentgenových ozařovačích (zhruba 100 kV – 300 kV, polotloušťka 0,17 – 3,4 mm Cu) a energie Ra-226 (spektrum energií: 47 keV – 2,45 MeV, stř. energie: 830 keV, polotloušťka: 13,6 mm Cu pro stř. energii [15]) příliš neliší, lze předpokládat, že se nebude příliš lišit ani hodnota kalibračního faktoru při kalibraci v terapeutických rentgenových svazcích a při kalibraci v Ra-226. Pomocné experimentální měření potvrdilo pro terapeutický rentgenový svazek s napětím rentgenky 160 kV a pro Ra-226 shodu mezi hodnotami kalibračního faktoru do 2%.

8.1.7 Výpočet korekčních faktorů TLD na individuální citlivost K_{cit}

Za účelem výpočtu korekčních faktorů na individuální citlivost TLD se v SÚRO všechny dozimetry ozáří stejnou dávkou (přibližně 4 mGy) na intraorálním rentgenu Planmeca Intra s tímto expozičním nastavením: napětí rentgenky 70 kV, proud rentgenky 8 mA, délka expozice 0,2 s. Korekční faktor na individuální citlivost i-tého dozimetru $K_{cit,\,i}$ se vypočítá ze vztahu (6):

$$K_{cit,i} = \frac{\bar{M}}{M_i} \quad (6)$$

kde $\overline{M}$ je střední hodnota odezev všech dozimetrů ozářených stejnou dávkou vypočtená podle vzorce (7):

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i}{n} \quad (7)$$

kde M_i je odezva i-tého dozimetru a n je počet ozářených dozimetrů.

Ozáření TLD pro výpočet korekčních faktorů TLD na individuální citlivost K_{cit} se provede před nebo po každém měření dávky pacienta z nenádorové radioterapie.

8.1.8 Referenční ozáření TLD v SÚRO

Referenční ozáření TLD eliminuje nutnost provádět kalibrační ozáření („kalibraci“) TLD pro každé měření orgánových dávek. Výsledkem kalibrace TLD je dávkový kalibrační faktor (K_{cal}), který je ale vzhledem ke kolísání citlivosti TLD a čtečky TLD v čase platný pouze ke dni kalibračního ozáření TLD. Referenční ozáření na základě poměru odezev referenčních TLD ozářených při kalibraci a při měření orgánových dávek umožňuje získat „aktuální“ hodnotu dávkového kalibračního faktoru, aniž by se muselo provádět kalibrační ozáření TLD při každém měření orgánových dávek.

Referenční ozáření se provádí při kalibračním ozáření TLD a při každém měření orgánových dávek. Při referenčním ozáření se ozáří 18 referenčních TLD na ozařovači Rados Dosacus v SÚRO. Tento ozařovač obsahuje vestavěný zdroj ^{90}Sr. Poločas rozpadu ^{90}Sr je přibližně 28,7 let. Vzhledem k uvedenému poločasu rozpadu ^{90}Sr je zavedena korekce na rozpad, jež koriguje TL odezvu dozimetrů ozářených při měření orgánových dávek (např. 1 měsíc ode dne kalibračního ozáření) na TL odezvu odpovídající ozáření dozimetrů stejnou dávkou na ozařovači Rados jako při kalibračním ozáření.

Korekční faktor na rozpad radioizotopu ^{90}Sr (K_{rozpad}) se vypočítá ze vztahu (8):

$$K_{rozpad} = \exp(-\ln 2 \cdot d / (T_{1/2} \cdot 365{,}25)) \quad (8)$$

kde d je počet dnů od data kalibrace k datu měření orgánových dávek a $T_{1/2}$ je poločas rozpadu ^{90}Sr.

„Aktuální“ dávkový kalibrační faktor $K_{cal,mereni}$ (platný ke dni měření orgánových dávek) se vypočítá podle vzorce (9):

$$K_{cal,mereni} = K_{cal} \frac{M_{ref,kal}}{M_{ref,mereni}} K_{rozpad} \quad (9)$$

kde K_{cal} je dávkový kalibrační faktor (platný ke dni kalibračního ozáření TLD)
$M_{ref,kal}$ je TL odezva referenčních TLD ozářených při kalibraci TLD
$M_{ref,mereni}$ je TL odezva referenčních TLD ozářených při měření orgánových dávek
K_{rozpad} je korekční faktor na rozpad radioizotopu ^{90}Sr vypočtený dle vzorce (8)

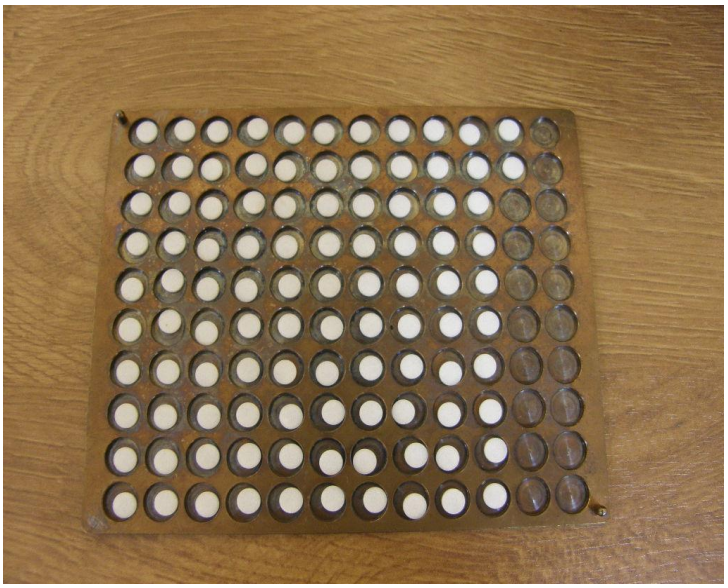
V případě kalibrace TLD a měření orgánových dávek ve stejný den se k výpočtu orgánových dávek použije dávkový kalibrační faktor K_{cal} získaný při kalibraci.

8.2 Pracovní postup stanovení dávek

8.2.1 Annealing TLD

Jeden den před ozářením TLD na radioterapeutickém pracovišti se v SÚRO v annealingové peci PTW – TLDO provede annealing TL dozimetrů MCP-N následovně. Stisknutím tlačítka Netz zapneme anealingovou pec. Pomocí kliky otevřeme dvířka pece a dovnitř umístíme kovové plato s TL dozimetry (na Obr. 4 je pouze spodní část plata – v peci jsou dozimetry ještě přikryty vrchní částí. Dvířka zavřeme a stisknutím tlačítka Pgm 2 zvolíme vyhřívací program č. 2 (desetiminutové vyhřátí dozimetrů při teplotě 240 °C), který spustíme stisknutím tlačítka Start. Poté začne teplota v peci stoupat ke 240 °C. Na této hodnotě se bude teplota

držet deset minut. Po uplynutí této doby zazní zvukový signál, po němž následuje rychlé snížení teploty. Ihned po zvukovém signálu otevřeme dvířka pece a s pomocí hliníkových kleští přemístíme kovové plato s dozimetry na hliněnou desku umožňující rychlé vychladnutí dozimetrů. Nakonec stisknutím tlačítka Netz pec vypneme.



Obr. 4: TLD umístěné v kovové schránce

8.2.2 Ozáření TLD pro získání korekčních faktorů na individuální citlivost

Před nebo dodatečně i po ozáření TLD na radioterapeutickém pracovišti se provede měření individuální citlivosti TLD v SÚRO. Pro tento účel se TLD pomocí vakuové pinzety umístí do dozimetrických karet tak, aby v každé kartě byly vždy 3 TLD. V rentgenové laboratoři SÚRO v místnosti 10/F se stisknutím tlačítka I/O zapne rentgenový přístroj Planmeca Intra. Přístroj se napolohuje tak, aby se spodní okraj tubusu nacházel přibližně 30 cm nad stolem a nad značkou, kam se kladou karty s TLD (viz Obr. 5). Na ovladači k rentgenovému přístroji se nastaví následující expoziční parametry: napětí rentgenky 70 kV, proud rentgenky 8 mA, délka expozice 0,2 s

Na stůl na značku (ve středu pole svazku) umístíme kartu s třemi TLD, odstoupíme od přístroje a několikasekundovým podržením velkého prostředního tlačítka na ovladači přístroje ozáříme TLD. Stejným postupem ozáříme TLD v dalších kartách, aniž by se změnila geometrie ozařování.

Obr. 5: Ozáření TLD na rentgenovém přístroji Planmeca Intra při měření individuální citlivosti

8.2.3 Ozáření TLD při kalibraci

Obr. 6: Terapeutický rentgenový ozařovač Wolf T-200

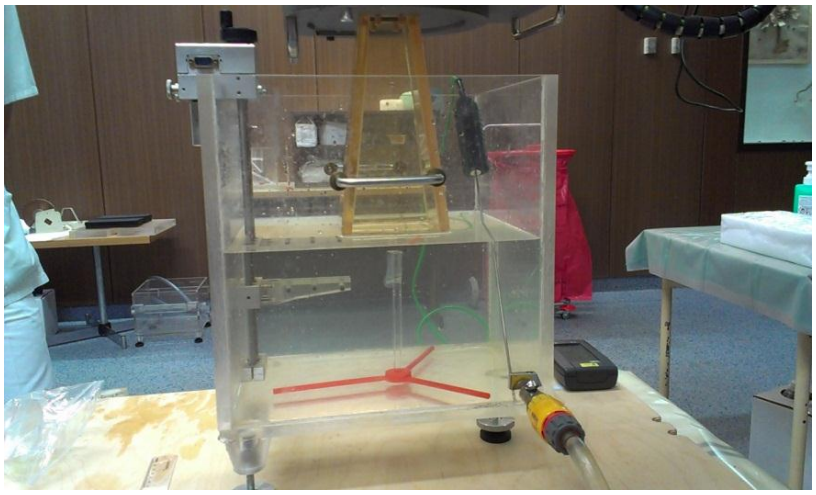
Zapneme terapeutický rentgenový ozařovač Wolf T-200 a spustíme žhavení rentgenky. Po dokončení žhavení umístíme na lůžko ozařovače malý vodní fantom, který naplníme přibližně do poloviny vodou. Ještě před příjezdem na radioterapeutické pracoviště se v SÚRO zabalí vždy tři TLD vedle sebe do polyetylenových fólií, aby se zachovala jednoznačná identifikace TLD. Fólie se zataví, aby se zabránilo kontaktu dozimetrů s vodou, pak se fólie očíslují.

První fólie s třemi TLD se pomocí lepící pásky přilepí na vrchol stojánku pro TLD tak, aby fólie ležela kolmo k ose svazku. Stojánek s přilepenou fólií (viz Obr. 7) umístíme do vodního fantomu a přidáním nebo odebráním vody upravíme hladinu vody ve fantomu tak, aby se fólie s TLD nacházela v hloubce 2 cm. Poté do rentgenového ozařovače vložíme vybraný tubus (např. o velikosti 10 x 8 cm^2) a nastavíme ho kolmo k hladině vody, aby se spodní okraj tubusu právě dotýkal vodní hladiny (viz Obr. 8). Pak nastavíme stojánek ve fantomu tak, aby se fólie s TLD nacházela ve středu pole (ve středu tubusu).

Na ovládací konzoli k rentgenovému ozařovači zvolíme vybrané napětí (např. 160 kV). Fólii s TLD ozáříme nejmenším ozařovacím časem (např. 2 sekundy). Poté odebereme fólii ze stojánku, na nějž vzápětí přilepíme další fólii, kterou ozáříme jiným ozařovacím časem (např. 3 sekundy). Dále se různými ozařovacími časy ozáří další fólie. Různými ozařovacími časy ozáříme nejméně čtyři fólie.

Výše uvedené podmínky kalibračního ozáření platí pro svazek s napětím rentgenky přibližně od 100 kV výše. Pro svazky s nižším napětí rentgenky by se postupovalo dle kapitoly pro nízkoenergetické kV svazky dle TRS 398 [4].

Obr. 7: Stojánek s přilepenou fólií obsahující tři TLD



Obr. 8: Kalibrace TLD ve vodním fantomu

8.2.4 Stanovení absorbované dávky ionizační komorou při kalibraci

Příprava dozimetrického řetězce

Před stanovením absorbované dávky připravíme dozimetrický řetězec na měření. Pokud je možné vést prodlužovaní kabel otvorem ve zdi mezi ovladovnou a ozařovnou, vedeme jej tímto způsobem, jinak jej vedeme po zemi labyrintem pod stínícími dveřmi. Je třeba se ujistit, že nemůže dojít k poškození kabelu zavřením stínících dveří do ozařovny. Do ovladovny umístíme elektrometr Unidos, zapneme jej, nastavíme na něm režim pro měření cylindrickou komorou (tj. napětí 300 V) a v ozařovně k prodlužovacímu kabelu připojíme cylindrickou ionizační komorou Farmer. Řetězec necháme temperovat.

Měření v kontrolním zdroji

Pro zaznamenání výsledků při měření v kontrolním zdroji použijeme *Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji* (Příloha 2) na notebooku SÚRO. Po připojení ionizační komory k Unidosu provedeme její nulování. Poté změříme temný proud při integrálním režimu Unidosu a rozsahu low. Pokud je temný proud příliš vysoký (vyšší než 0,5 pC/min), dozimetrický řetězec znovu znulujeme. Poté umístíme ionizační komoru do kontrolního zdroje a zkontrolujeme v souboru pro kontrolu stálosti, že je vybraná správná ionizační komora. Odečteme tlak a teplotu a zaznamenáme je do protokolu. Zkontrolujeme v protokolu správné datum. Na Unidosu nastavíme rozsah medium a provedeme minutové měření odezvy. Tu zaznamenáme do protokolu. Měření ještě jednou zopakujeme. Stálost dozimetrického řetězce je postačující, pokud je stanovená odchylka proudu od referenční hodnoty menší než 0,5 %. Pokud je větší, zopakujeme nulování (s komorou vyjmutou z kontrolního zdroje!) a poté měření v kontrolním zdroji zopakujeme.

Stanovení absorbované dávky při kalibraci

Do malého vodního fantomu do držáku umístíme ionizační komoru Farmer. Komoru umístíme geometrickým středem na vodní hladinu, což provedeme sjetím komory do hloubky a postupným přibližováním se komorou k hladině. Když z předního pohledu na ionizační komoru dojde ke splynutí bodu vymezujícího střed komory a jeho obrazu na vodní hladině, považujeme tuto komoru za umístěnou geometrickým středem na vodní hladině. Komorou

sjedeme do několikacentimetrové hloubky. Vybraný tubus (např. 10 x 8 cm^2) nastavíme kolmo k hladině vody, aby se spodní okraj tubusu právě dotýkal vodní hladiny. Na ovládací konzoli k rentgenovému ozařovači zvolíme stejné vybrané napětí rentgenky jako při kalibračním ozáření TLD (viz předchozí kapitola). Poté komoru umístíme do středu pole (do středu tubusu) a sjedeme s ní do hloubky 2 cm.

Do *Záznamového a výpočetního formuláře pro kalibraci TLD* (Příloha 3) do listu *výpočet dávky* zaznamenáme název pracoviště, datum měření, napětí rentgenky, filtrace svazku, polotloušťku svazku a použitý tubus. Polotloušťku svazku je nutné zadat v mm Cu. Zadaná polotloušťka slouží k výpočtu korekčního faktoru na kvalitu svazku k_{Q,Q_o} pro komoru Farmer. Ve formuláři se korekční faktor k_{Q,Q_o} počítá pro hodnoty polotloušťky od 0,17 do 3,4 mm Cu. Pokud se hodnota polotloušťky kalibračního svazku nenachází v uvedeném intervalu, ale nachází se v jeho blízkosti, provede se extrapolace.

Do formuláře dále zadáme aktuální tlak a teplotu, ze které se spočítá korekce na teplotu a tlak $k_{t,p}$. Korekci na polaritu (k_{pol}) a saturaci (k_{sat}) je možné vzhledem k nedostatečné stabilitě rentgenky položit rovnou jedné. Komoru ozáříme (při napětí 300 V) takovými ozařovacími časy, kterými byly ozářeny jednotlivé polyetylenové fólie s TLD. Pro jednotlivé hodnoty ozařovacího času zaznamenáme odečty komory do příslušných tabulek v listu *výpočet dávky* a v těchto tabulkách se z průměrných hodnot odečtů spočtou absorbované dávky v referenčním bodě.

8.2.5 Referenční ozáření TLD

Pokud možno ve stejný den, kdy budou ozářeny TLD na radioterapeutickém pracovišti, se v SÚRO provede ozáření 18 referenčních TLD pěti expozicemi na ozařovači RADOS DOSACUS následovně: Přístroj zapneme vypínačem vpravo na zadní stěně. Do přihrádky shora vložíme černou kazetu s šesti modrými kartami (viz. Obr. 9). Kazeta musí do přihrádky zapadnout. Každá karta obsahuje tři TLD. Kazetu shora zatížíme umístěním vhodného předmětu. Poté postupným stisknutím tlačítek F, 2, enter, 5 a enter ozáříme dozimetry pěti expozicemi. Nakonec stisknutím vypínače přístroj vypneme.

Obr. 9: Referenční ozáření TLD na ozařovači RADOS DOSACUS

8.2.6 Umístění TLD v Rando fantomu

V SÚRO se ještě před ozářením obalí všechny TLD (vyjma TLD určených k referenčnímu ozáření a ke kalibraci) tenkou potravinářskou fólií, aby se zabránilo znečištění těchto dozimetrů při umisťování do Rando fantomu.

Na radioterapeutickém pracovišti se nejdříve zabalené TLD pomocí pinzety vloží do černých insertů a tyto černé inserty se následně vloží do příslušných otvorů v jednotlivých řezech Rando fantomu, kde nahradí bílé inserty. Zabalený TLD vložený v černém insertu je znázorněn na Obr. 10. Konkrétní umístění TLD je popsáno v dalším odstavci. Toto platí pro TLD umístěné v Rando fantomu (vyjma TLD určených ke stanovení orgánové dávky v kostní dřeni, na povrchu kostí a na kůži). Pak se zabalené TLD určené ke stanovení orgánové dávky na kůži pomocí lepící pásky přilepí na povrch Rando fantomu (viz následující odstavec). Potom se na příslušné řezy Rando fantomu umístí PMMA fólie (viz Tab. 2), do jejichž vyvrtaných otvorů se umístí zabalené TLD určené ke stanovení orgánové dávky v kostní dřeni a na povrchu kostí. Nakonec se jednotlivé sousední řezy Rando fantomu spolu s vloženými PMMA fóliemi navzájem spojí spojovacími inserty a poskládají se na sebe. Řez Rando fantomu č. 35 je umístěn dole, řez č. 1 je umístěn nahoře. Všechny řezy se pak upevní do speciální nosné konstrukce (viz. Obr. 1). Nejméně tři TLD nejsou ozářeny, a slouží tak jako pozaďové dozimetry.

Obr. 10: TLD vložený v černém insertu

Vyjma TLD určených ke stanovení orgánové dávky v kostní dřeni a na povrchu kostí se do jednotlivých otvorů fantomu nebo na povrch fantomu umístí TLD dle Tab. 1a v excelovském souboru *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek* (Příloha 1). Umístění jednotlivých TLD je jednoznačně určeno číslem řezu Rando fantomu a kartézskými souřadnice (x,y). Kartézský souřadný systém (znázorněný na Obr. 2) je shodný ve všech řezech Rando fantomu. Vzdálenost sousedních otvorů ve směru osy x a osy y je 3 cm. V každém řezu je počátek souřadného systému definován jako bod, v němž se přímka procházející dvěma spojovacími inserty protíná s mediální rovinou fantomu. Tento počátek má souřadnice (0,0). Kladný směr osy x a osy y je na Obr. 2 naznačen šipkou. TLD určené ke stanovení orgánové dávky v kostní dřeni a na povrchu kostí se umístí do otvorů v PMMA fóliích dle Tab. 1b ve stejném formuláři. Na každé PMMA fólii je uvedeno číslo značící, na který řez Rando fantomu bude fólie položena.

8.2.7 Umístění a terapeutické ozáření Rando fantomu

Rando fantom se na lůžku terapeutického rentgenového ozařovače nastaví do polohy, v jaké pro danou diagnózu nenádorové radioterapie (např. artróza kyčelního kloubu) probíhá terapeutické ozáření (např. viz Obr. 11 a 12). V případě potřeby, např. při terapeutickém ozáření ostruhy patní kosti se Rando fantom doplní o vhodné končetiny. Končetiny mohou být odebrány z jiného antropomorfního fantomu nebo mohou být simulovány např. vodě-ekvivalentními deskami (viz Obr. 13).

Poté se nastaví geometrie ozáření (např. umístění tubusu). Na ovládací konzoli rentgenového ozařovače se pro danou diagnózu nastaví podmínky terapeutického ozáření (velikost tubusu, napětí rentgenky, ozařovací čas odpovídající zvolené předepsané dávce, …). Do *Záznamového formuláře podmínek terapeutického ozáření* (Příloha 4) se zaznamenají podmínky terapeutického ozáření.

V případě brachyterapeutického ozáření pomocí „Jáchymovských krabiček“ obsahují zdroje Ra-226 se v Léčebných lázních Jáchymov přilepí „Jáchymovské krabičky“ leukoplastí na povrch antropomorfního fantomu na místa aplikace (dle ozařovacího protokolu, např. viz Obr. 15). Do těchto krabiček se poté manuálně pomocí magnetické tyče vloží aplikátory se zdroji Ra-226 (např. viz Obr. 14). Aplikátory v „krabičkách“ zůstanou zvolený ozařovací čas (např. 4 hodiny), pak se aplikátory se zdroji Ra-226 pomocí magnetické tyče z „krabiček“ odeberou a umístí do stínění.

Obr. 11: Geometrie ozáření pravého kyčelního kloubu AP polem

Obr. 12: Geometrie ozáření pravého kyčelního kloubu PA polem

Obr. 13: Geometrie ozáření ostruhy patní kosti

Obr. 14: Ukázka manuálního vložení aplikátoru se zdroji Ra-226 do pouzdra („krabičky“) pomocí magnetické tyče.

Obr. 15: Rozmístění „jáchymovských krabiček“ na antropomorfním fantomu pro vybranou aplikaci. „krabička 1“ je umístěna přibližně v oblasti krčního obratle C6, „krabička 2“ je umístěna přibližně v oblasti bederního obratle L5, zbývající dvě „krabičky“ jsou umístěny na boku fantomu přibližně v oblasti levého a pravého kyčelního kloubu.

8.2.8 Vyhodnocení odezvy TLD

Po terapeutickém ozáření se z Rando fantomu na radioterapeutickém pracovišti odeberou TLD a v SÚRO Praha se co nejdříve (pokud možno druhý den po ozáření) provede vyhodnocení TL odezev na přístroji HARSHAW TLD 4500. Ještě před vlastním vyhodnocením TL odezev z jednotlivých TLD odstraníme tenkou potravinářskou fólii. Níže uvedeným postupem se vyhodnocují TL odezvy dozimetrů ozářených pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost, dozimetrů ozářených při kalibraci, dozimetrů použitých k referenčnímu ozáření, dozimetrů ozářených pro stanovení orgánových dávek a pozaďových dozimetrů.

Přístroj HARSHAW TLD 4500 zapneme vypínačem na pravé boční straně. Ihned poté otočením kohoutku proti směru hodinových ručiček uvolníme tlakovou nádobu s dusíkem, který slouží k ochlazování TLD v přístroji HARSHAW TLD 4500. Otáčením druhého kohoutku nastavíme tlak plynu přibližně na 5 barů. Počkáme přibližně 30 minut. Zapneme počítač a kliknutím na ikonu na ploše spustíme aplikaci WinREMS. Klikneme na nabídku File a ze seznamu vybereme Leoš.wrw. Stiskneme tlačítko GO v liště nástrojů. V okně Read Dosimeters zkontrolujeme nastavení: Group ID: lada, TTP: Lucka_test, Acquisition Setup: Lucka_test. Nastavení potvrdíme tlačítkem Start. Na otázku „Read PMT Noise now?“ odpovíme stisknutím tlačítka Yes. Po rozsvícení tlačítka READY na ovládacím panelu přístroje HARSHAW TLD 4500 stiskneme tlačítko START a počkáme do konce měření šumu fotonásobiče. Na otázku „Read Reference Light now?“ odpovíme stisknutím tlačítka Yes. Po rozsvícení tlačítka READY na ovládacím panelu přístroje HARSHAW TLD 4500 stiskneme tlačítko START a počkáme do konce měření referenčního světla. Potom otevřeme zásuvku v přední stěně přístroje HARSHAW TLD 4500 a zapneme vakuovou pinzetu a zahnutou jehlou se dotkneme dozimetru. Ručním uzavřením otvoru na těle pinzety se dozimetr přichytí k jehle pinzety a takto dozimetr umístíme do středu čtvercové prohlubně planžety v pravé části zásuvky. Zásuvku opatrně mírným stlačením zavřeme. V poli Dosimeter ID vyplníme číslo dozimetru a potvrdíme tlačítkem OK. Po rozsvícení tlačítka READY na ovládacím panelu přístroje HARSHAW TLD 4500 stiskneme tlačítko START. Počkáme do zhasnutí tlačítka CYCLE. Otevřeme zásuvku a pomocí vakuové pinzety z planžety odebereme dozimetr. Tento postup opakujeme pro všechny dozimetry. Během vyhodnocení je nutné kontrolovat vykreslovanou křivku odezvy. Program nabízí vždy po deseti měřeních kontrolu šumu fotonásobiče a referenčního světla. Měření šumu fotonásobiče a referenčního světla provedeme i po vyhodnocení všech dozimetrů. Tato měření lze vyvolat stiskem tlačítka Stop v okně Dosimetr ID Entry a opětovnou volbou Start v okně Read Dosimeters. Po posledním změření šumu fotonásobiče a referenčního světla stiskneme tlačítko Stop v okně Dosimetr ID Entry. Měření se ukončí volbou Done v okně Read Dosimeters. Poté vypneme přístroj HARSHAW TLD 4500 a otočením kohoutku po směru hodinových ručiček zavřeme tlakovou nádobu s dusíkem.

V aplikaci WinREMS klikneme na tlačítko RSP umístěné v liště nástrojů. Tím otevřeme databázi výsledků. Zkontrolujeme, aby v poli Group ID bylo: lada. V poli Date Time zaškrtneme volbu After a zadáme datum nejstaršího vyhodnocení, jehož výsledky mají být ve výstupu. Stiskneme tlačítko OK. Výsledky exportujeme stisknutím tlačítka File a poté Export. Soubor bude mít příponu .asc. Ukončíme aplikaci WinREMS a vypneme počítač.

8.2.9 Výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost TLD

TL odezvy dozimetrů ozářených pro získání korekčních faktorů na individuální citlivost zkopírujeme ze souboru s příponou .asc do excelovského souboru *Záznamový a výpočetní formulář pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost* (Příloha 5). Odezvy dozimetrů se zkopírují do žlutých políček ve sloupci $TL_{nekorig}$ v Tabulce 1. Odezvy se spolu s proloženou přímkou i s její rovnicí zobrazí v grafu. Do dvou žlutých políček pod tabulkou se zaznamená koeficient a (tři desetinná místa) a b (dvě desetinná místa), přičemž koeficient a představuje směrnici proložené přímky a koeficient b představuje průsečík přímky s osou y. Po zadání koeficientů a a b se v Tabulce 1 pro jednotlivé dozimetry vypočítají korekční faktory K_{trend} kompenzující rostoucí nebo klesající trend TL odezev, který je dán citlivostí TLD čtečky. Hodnoty korekčních faktorů na individuální citlivost se zobrazí v posledním sloupci Tabulky 1.

8.2.10 Výpočet průměrných odezev TLD ozářených při kalibraci

TL odezvy dozimetrů ozářených při kalibraci a TL odezvy dozimetrů použitých k referenčnímu ozáření zkopírujeme ze souboru s příponou .asc do excelovského souboru *Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD* (Příloha 3). Odezvy TLD se zkopírují do žlutých políček ve sloupci $K_{nekorig}$ v tabulkách v listě *výpočet TL odezev*. V tom samém listu se do políček v sloupci K_{cit} zkopírují ze *Záznamového a výpočetního formuláře pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost* (Příloha 5) korekční faktory na individuální citlivost a tím se vypočítají průměrné TL odezvy v jednotlivých skupinách a také průměrná TL odezva dozimetrů použitých k referenčnímu ozáření. List *výpočet TL odezev* tak slouží k výpočtu průměrných odezev tří TLD v jednotlivých skupinách (fóliích), jež byly ozářeny různým ozařovacím časem (dávkou).

8.2.11 Výpočet kalibračního faktoru K_{cal}

V *Záznamovém a výpočetním formuláři pro kalibraci TLD* (Příloha 3) se průměrné TL odezvy v jednotlivých skupinách v listě *výpočet TL odezev* spolu s absorbovanými dávkami v týchž skupinách v listě *výpočet dávky* automaticky zapisují do tabulky v listu *kalibrace*. V této tabulce je pro jednotlivé hodnoty dávek spočten i korekční faktor na nelinearitu TL odezvy s dávkou K_{lin}. Tento korekční faktor se vypočítá jako poměr podílu referenční dávky a TL odezvy a podílu příslušné dávky a TL odezvy. Jako referenční hodnota dávky a TL odezvy je přednastavena druhá nejnižší hodnota dávky a TL odezvy v tabulce. Za referenční dávku a TL odezvu lze vzít i jiné hodnoty dávky a TL odezvy v tabulce. Dále se zkontroluje, zda je TL odezva lineární s dávkou (tj., zda se K_{lin} příliš neliší od 1. Hodnoty K_{lin} by měly spadat do intervalu (0,95;1,05). Pokud budou hodnoty K_{lin} ukazovat na nelinearitu v oblasti vysokých či nízkých dávek, tak se k dalšímu zpracování vezmou pouze body nacházející se v oblasti linearity TL odezvy s dávkou. V grafu 1 se zobrazí kalibrační přímka (proložená danými body dávky a TL odezvy pro různé ozařovací časy) i její rovnice. Převrácená hodnota směrnice této kalibrační přímky představuje dávkový kalibrační faktor K_{cal}, použitý v rovnici (1) k výpočtu absorbovaných dávek.

8.2.12 Stanovení orgánových dávek

Vyhodnocené nekorigované odezvy TLD určených k referenčnímu ozáření a k výpočtu orgánových dávek zkopírujeme ze souboru s příponou .asc do excelovského souboru *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek* (Příloha 1). Nekorigované odezvy vložíme do žlutých políček v sloupci $TL_{nekorig}$ tabulky v listu *Výpočet korigovaných odezev*. Do sloupce K_{cit} téže tabulky vložíme ze souboru *Záznamový a výpočetní formulář pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost* (Příloha 5) hodnoty korekčních faktorů na individuální citlivost jednotlivých TLD.

Pokud ozáření TLD pro stanovení orgánových dávek a kalibrace TLD neprobíhá ve stejný den, je nutné do tabulky 3 v listu *Výpočet korigovaných odezev* zaznamenat průměrnou korigovanou odezvu TLD použitých k referenčnímu ozáření v den provedení kalibrace. Tato odezva je zaznamenána v *Záznamovém a výpočetním formuláři pro kalibraci TLD* (Příloha 3) v listu *výpočet TL odezev*. Do Tabulky 3 do pole K_{cal} *při kalibraci* je dále ještě nutné zaznamenat dávkový kalibrační faktor K_{cal} vypočtený dle kapitoly Výpočet kalibračního faktoru K_{cal}. Do Tabulky 3 se ještě zaznamená datum ozáření TLD při kalibraci a datum ozáření TLD pro stanovení orgánových dávek, na jejichž základě se vypočítá korekce na rozpad radioizotopu ^{90}Sr (K_{rozpad}). Nakonec se v Tabulce 3 v poli K_{cal} *při měření* se započtením korekce na rozpad (K_{rozpad}) vypočte dávkový kalibrační faktor platný pro den, kdy bylo provedeno stanovení orgánových dávek. Pomocí tohoto „aktuálního“ dávkového kalibračního faktoru se v listu *výpočet orgánových dávek* vypočítají jednotlivé orgánové dávky.

Pokud kalibrace TLD a ozáření TLD pro stanovení orgánových dávek probíhají ve stejný den, pak je korekce na rozpad K_{rozpad} rovna jedné a dávkový kalibrační faktor při kalibraci (K_{cal} při kalibraci) je roven dávkovému kalibračnímu faktoru vypočtenému při stanovení orgánových dávek (K_{cal} při měření).

8.2.13 Stanovení efektivní dávky

Stanovení efektivní dávky podle doporučení ICRP 60

Ke stanovení efektivní dávky (při ozáření pro danou diagnózu) podle doporučení ICRP 60 [1] slouží excelovský soubor *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP60* (Příloha 6). Do *Tab. 1: Stanovené orgánové dávky* se zaznamenají orgánové dávky stanovené pro ozáření pro danou diagnózu uvedené v souboru *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek* (Příloha 1). Efektivní dávka se pak automaticky spočítá v *Tab. 4: Výpočet efektivní dávky podle doporučení ICRP 60.*

Ve výjimečných případech, kdy je orgánová dávka v některém z orgánů ve zbytku tkání v Tab. 3 vyšší než nejvyšší orgánová dávka v Tab. 4, je nutné výpočet efektivní dávky v Tab. 4 modifikovat tak, že tomuto orgánu s největší orgánovou dávkou se stejně jako zbytku tkání přiřadí tkáňový váhový faktor 0,025. Do výpočtu střední dávky ve zbývajících orgánech se pak tento orgán s nejvyšší orgánovou dávkou již nezapočítává.

Stanovení efektivní dávky podle doporučení ICRP 103

Ke stanovení efektivní dávky (při ozáření pro danou diagnózu) podle doporučení ICRP 103 [2] slouží excelovský soubor *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP103* (Příloha 7). Do *Tab. 1: Stanovené orgánové dávky* se zaznamenají orgánové dávky stanovené pro ozáření pro danou diagnózu uvedené v souboru *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek* (Příloha 1). Efektivní dávka se pak automaticky spočítá v *Tab. 4: Výpočet efektivní dávky podle doporučení ICRP 103.*

8.2.14 Zaznamenání dat do databáze výsledků

Data ze souborů *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek* (Příloha 1), *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP60* (Příloha 6) *a Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP103* (Příloha 7) se zaznamenají do souboru *Databáze výsledků stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie* v adresáři Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie\databáze výsledků.

9 Vyjadřování výsledků a tolerance

Stanovovanou veličinou jsou orgánové dávky a efektivní dávka. Orgánové dávky se vyčíslují v mGy, efektivní dávka se vyčísluje v mSv.

Odchylky a tolerance nejsou pro tuto kapitolu relevantní, neboť stanovené orgánové dávky a efektivní dávka se neporovnávají s referenčními hodnotami.

10 Zpracování výsledků a vyhotovení protokolu

Výsledky stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie se zaznamenají do souboru *Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (ozáření na terapeutickém rentgenu)* (Příloha 8) nebo *Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (brachyradiumterapie)* (Příloha 9) v adresáři Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie\podklady.

Výsledky se také zapíší do databáze výsledků, která je vedena ve formátu Microsoft Excel a je uložena ve složce Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie\databáze výsledků.

11 Odhad nejistot

Kombinovaná standardní nejistota (u_C) stanovení absorbovaných dávek v bodě v antropomorfním fantomu člověka pomocí TLD je 6 % pro k=1. Tato nejistota se vztahuje jak pro měření ve svazku terapeutického rentgenového ozařovače, tak pro měření při brachyterapeutickém ozáření rádiovými krabičkami.

Celková nejistota stanovení orgánových dávek pomocí TLD nebyla vyčíslena zejména díky komplikovanému a problematickému vyjádření nejistot vztažených k neúplnému pokrytí objemu jednotlivých orgánů dozimetry.

Celková nejistota stanovení efektivní dávky pro referenčního pacienta a pro lékařské expozice může být dle údajů v literatuře až 40% [16].

12 Mez stanovitelnosti

Mezí stanovitelnosti absorbované dávky se v této metodice rozumí taková hodnota absorbované dávky v bodě v Rando fantomu, kterou lze ještě s přijatelnou nejistotou stanovit. Mez stanovitelnosti absorbované dávky je dána následujícími faktory:

- TL odezvou neozářených (pozaďových) TLD
- dávkovým kalibračním faktorem TLD
- linearitou TL odezvy s dávkou v oblasti nízkých dávek

Při stanovování orgánových dávek by měly být TLD v Rando fantomu ozářeny takovými dávkami, aby nejnižší vyhodnocená TL odezva dozimetrů ozářených v Rando fantomu byla přinejmenším rovna střední hodnotě TL odezev pozaďových TLD zvětšené o trojnásobek jejich směrodatné odchylky. Pro splnění tohoto požadavku lze fantom s dozimetry ozářit větším ozařovacím časem (v případě měření na rentgenovém ozařovači) nebo delší dobou aplikace (v případě měření „jáchymovských krabiček“). Pro typické hodnoty TL odezev neozářených TLD a typické hodnoty dávkových kalibračních faktorů je mez stanovitelnosti absorbované dávky přibližně 0,02 mGy. Tato hodnota je též mezí stanovitelnosti orgánových dávek. Mez stanovitelnosti efektivní dávky je přibližně 0,02 mSv.

13 Řízení kvality

13.1 Vnitřní kontrola

Vzhledem ke kolísání individuální citlivosti TLD v čase se před každým ozářením TLD pro stanovení orgánových dávek provede měření individuální citlivosti jednotlivých TLD. Toto měření lze dodatečně provést i po ozáření TLD pro stanovení orgánových dávek. Aplikace korekčních faktorů na individuální citlivost TLD přispívá ke snížení nejistoty stanovení absorbovaných dávek. Na základě měření individuální citlivosti TLD je možné vyřadit TLD s vysokými hodnotami korekčních faktorů na individuální citlivost.

Při každém stanovení orgánových dávek a kalibraci TLD se také provede ozáření referenčních TLD. Na základě odezev referenčních TLD se sleduje stabilita odezev dozimetrů. Díky tomu je možné identifikovat např. výrazné snížení citlivosti TLD k ionizujícímu záření.

Stálost cylindrické ionizační komory Farmer se ověřuje měřením v kontrolním zdroji dle kapitoly 8.2.4 – Stanovení absorbované dávky ionizační komorou při kalibraci.

13.2 Vnější kontrola

Metrologická kontrola měřícího zařízení: Zajištěna v souladu s kapitolou 7 – Zkušební zařízení.

Stanovené orgánové a efektivní dávky lze porovnat s orgánovými a efektivními dávkami vypočtenými metodou Monte Carlo nebo vhodnými výpočetními programy (např. PCXMC).

Stanovené orgánové a efektivní dávky lze s přihlédnutím k parametrům ozáření porovnat s orgánovými a efektivními dávkami publikovanými v literatuře.

14 Protokol o zkoušce

Šablona *Protokolu o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (ozáření na terapeutickém rentgenu) je uvedena* v Příloze 8.

Šablona *Protokolu o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (brachyradiumterapie) je uvedena* v Příloze 9.

15 Záznamy

O stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie jsou vedeny záznamy v písemné formě nebo v elektronické formě v tomto rozsahu:

záznam	zodpovídá	uložení – složka	uložení – místnost
Metodika pro stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \podklady\ *Metodika pro stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie*	
Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek (šablona)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \podklady\ *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek*	
Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek (vyplněný)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Výsledky\ *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek_pracoviště_datum*	

Záznamový a výpočetní formulář pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost (šablona)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Podklady\ *Záznamový a výpočetní formulář pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost*	
Záznamový a výpočetní formulář pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost (vyplněný)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Výsledky\ *Záznamový a výpočetní formulář pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost _pracoviště_datum*	
Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD (šablona)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Podklady\ *Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD*	
Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD (šablona)	Dufek	Notebook\C:\Dokumenty_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie\ *Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD*	
Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD (vyplněný)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie\Výsledky *Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD_pracoviště_datum*	
Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD (vyplněný)	Dufek	Notebook\C:\Dokumenty_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie\ *Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD_pracoviště_datum*	
Záznamový formulář podmínek ozáření (šablona)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Podklady\ *Záznamový formulář podmínek ozáření*	
Záznamový formulář podmínek ozáření (vyplněný)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Výsledky\ *Záznamový formulář podmínek ozáření_pracoviště_datum*	
Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji (šablona)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Podklady\ *Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji*	

Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji (šablona)	Dufek	Notebook\C:\Dokumenty_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie\ *Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji*	F/9
Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji (vyplněný)	Dufek	Notebook\C:\Dokumenty_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie\ *Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji*	F/9
Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky podle doporučení ICRP 60 (šablona)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Podklady*Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP 60*	
Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky podle doporučení ICRP 60 (vyplněný)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Výsledky*Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP 60_pracoviště_datum*	
Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky podle doporučení ICRP 103 (šablona)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Podklady*Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP 103*	
Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky podle doporučení ICRP 103 (vyplněný)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Výsledky*Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP 103_pracoviště_datum*	
Protokol o stanovení dávky pacienta - ozáření na terapeutickém rentgenu (šablona)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Podklady*Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (ozáření na terapeutickém rentgenu)*	
Protokol o stanovení dávky pacienta - brachyradiumterapie (šablona)	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Podklady*Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (brachyradiumterapie)*	

Protokol o stanovení dávky pacienta - ozáření na terapeutickém rentgenu (vyplněný) - elektronicky	Horáková	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Výsledky*Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (ozáření na terapeutickém rentgenu) _pracoviště_datum*	
Protokol o stanovení dávky pacienta - brachyradiumterapie (vyplněný) - elektronicky	Horáková	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Výsledky*Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (brachyradiumterapie)_pracoviště_datum*	
Protokol o stanovení dávky pacienta - ozáření na terapeutickém rentgenu (vyplněný) – papírový výtisk	Horáková	šanon SOP 27	F/2
Protokol o stanovení dávky pacienta - brachyradiumterapie (vyplněný) – papírový výtisk	Horáková	šanon SOP 27	F/2
Databáze výsledků stanovení dávky pacienta	Dufek	Sdílený disk P:\rentgen_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie \Databáze výsledků*Databáze výsledků stanovení dávek pacienta*	
Záznamy o vnitřních kontrolách	Dufek	Notebook\C:\Dokumenty_SOP_27_Dávky pacienta z nenádorové radioterapie\ *Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji*	F/9
Kopie ověřovacích listů	Dufek	zelené desky	F/9

Záznamové a výpočetní formuláře obsahují prvotní záznamy.

16 Seznam příloh

Příloha 1: *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek* (šablona)

Příloha 2: *Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji* (šablona)

Příloha 3: *Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD* (šablona)

Příloha 4: *Záznamový formulář podmínek ozáření* (šablona)

Příloha 5: *Záznamový a výpočetní formulář pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost* (šablona)

Příloha 6: *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP103* (šablona)

Příloha 7: *Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP60* (šablona)

Příloha 8: *Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (ozáření na terapeutickém rentgenu)* (šablona)

Příloha 9: *Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (brachyradiumterapie)* (šablona)

C Srovnání „novosti postupů“ oproti původní metodice

Metodika pro stanovení dávky pacienta při nenádorové radioterapii vychází z metodik SÚRO: *SOP 05 - Metodika stanovení orgánových dávek z verifikačních metod radioterapie a z terapeutického ozáření* [17] a *SOP 06 - Metodika stanovení efektivních dávek z verifikačních metod radioterapie* [18].

Metodika je nově aplikována pro stanovení orgánových dávek a efektivní dávky z nenádorové radioterapie. Dle této metodiky se stanovuje dávka pacienta pro terapeutické ozáření na terapeutickém rentgenovém ozařovači a pro aplikace brachyterapeutického ozáření pomocí „rádiových krabiček“ obsahujících zdroje Ra-226.

Oproti výše uvedené metodice SOP 05 se tato metodika (SOP 27) liší ve způsobu kalibrace TLD. V této metodice se kalibrace TLD provádí na terapeutickém rentgenovém ozařovači, v metodice SOP 05 se kalibrace TLD provádí na radioterapeutickém kilovoltážním přídavném zobrazovacím systému (OBI nebo XVI) nebo v megavoltážním svazku lineárního urychlovače. Metodika dále zohledňuje současné vybavení SÚRO pro TL dozimetrii.

D Popis uplatnění Certifikované metodiky

Stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie bude prováděno na základě žádosti SÚJB či jiného subjektu nebo na základě žádosti radioterapeutického pracoviště.

Metodika je určena pro potřeby SÚRO a SÚJB a bude uplatněna v rámci podpory státního dozoru a státní správy při prevenci i opatřeních v oblasti lékařského ozáření.

E Seznam použité související literatury

[1] ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission of Radiological Protection. ICRP Publication 103. Amsterdam: Elsevier Science Ltd; 2007.

[2] ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press; 1991.

[3] IAEA. Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. Technical Reports Series 457. Vienna; 2007.

[4] IAEA. Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water. Technical Reports Series 398. Vienna; 2000.

[5] VDS 009. Metodika průběhu schvalování výsledků výzkumu, vývoje a inovací druhu N – certifikovaná metodika (proces certifikace metodik). Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Praha, 2012.

[6] Provozní řád Odboru lékařských expozic, Státní ústav radiační ochrany, 2015.

[7] Fleckenstein P, Tranum-Jensen J. Anatomy in Diagnostic Imaging. Philadelphia: Saunders; 2001.

[8] Golikov VY, Nikitin VV. Estimation of the mean organ doses and the effective dose equivalent from Rando phantom measurements. Health Phys 1989;56:111-5.

[9] Perisinakis K, Theocharopoulos N, Karkavitsas N, et al. Radiation dose and associated risk from transmission scans using 153Gd line sources in cardiac SPECT studies. Health Phys 2002;83:66-74.

[10] Huda W, Sandison GA. Estimation of Mean Organ doses in Diagnostic Radiology from Rando Phantom Measurement. Health Phys 1984;47:463-7.

[11] Scalzetti EM, Huda W, Bhatt S, et al. A method to obtain organ doses in a Rando phantom. Health Phys 2008;95:241-4.

[12] Ellis RE. The Distribution of Active Bone Marrow in the Adult. Phys Med Biol 1961;5:255-8.

[13] ICRP. Basic Anatomical and Physiological Data for use in Radiological Protection: The Skeleton. ICRP Publication 70. Oxford: Pergamon Press; 1995.

[14] Dufek V. Stanovení orgánových dávek pro standardní postupy radioterapie u vybraných diagnóz. Výzkumný úkol. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Praha, 2008.

[15] Hybš K, Žáčková H. Oborový úkol 23-03-06: Výzkum radonové terapie v LO Jáchymov – I. Část: Objektivizace fyzikálních parametrů brachyradium terapie v lázeňské organizaci Jáchymov, lázně Jáchymov, 1988.

[16] Martin CJ. Effective dose: how should it be applied to medical exposures? Br J Radiol 2007;80:639-47.

[17] Metodika stanovení orgánových dávek z verifikačních metod radioterapie a z terapeutického ozáření (SOP 05), Státní ústav radiační ochrany, 2011.

[18] Metodika stanovení efektivních dávek z verifikačních metod radioterapie (SOP 06), Státní ústav radiační ochrany, 2011.

F Seznam publikací

1. Dufek V, Horáková I, Novák L a kol. Odhad celkové efektivní dávky pacienta pro různá schémata použití verifikačních metod radioterapie. Bezpečnost jaderné energie 2010;18:161-3, ISSN: 1210-7085.
2. Metodika stanovení orgánových dávek z verifikačních metod radioterapie a z terapeutického ozáření (SOP 05), Státní ústav radiační ochrany, 2011.
3. Metodika stanovení efektivních dávek z verifikačních metod radioterapie (SOP 06), Státní ústav radiační ochrany, 2011.
4. Dufek V, Horáková I, Novák L. Organ and Effective Doses from Verification Techniques in Image-Guided Radiotherapy. Radiat Prot Dosimetry 2011;147:277-80, ISSN 0144-8420.
5. Dufek V. Stanovení dávek pacientů a optimalizace použití verifikačních metod v obrazem řízené radioterapii (IGRT). Praha 2014; disertační práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská.

Přílohy

Příloha 1: Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení orgánových dávek

Excelovský list umístění TLD

Tab. 1a: Umístění TLD v Rando fantomu

orgán	řez Rando fantomu	souřadnice dozimetru	číslo dozimetru	koeficient f_i	Poznámka
prostata	34	(0,0)	1		
prostata	34	(0,3)	2		
moč. měchýř	32	(0,6)	3	0,40	
moč. měchýř	31	(0,6)	4	0,33	
moč. měchýř	30	(0,6)	5	0,17	
moč. měchýř	29	(0,6)	6	0,10	
tenké střevo	29	(3,3)	7	0,11	
tenké střevo	28	(-3,3)	8	0,16	
tenké střevo	27	(6,3)	10	0,16	
tenké střevo	26	(6,3)	12	0,17	
tenké střevo	25	(-3,6)	13	0,18	
tenké střevo	24	(-3,3)	17	0,22	
tlusté střevo	27	(0,6)	9	0,18	
tlusté střevo	26	(0,6)	11	0,35	
tlusté střevo	25	(9,0)	14	0,24	
tlusté střevo	24	(-12,0)	18	0,23	
žlučník	24	(3,6)	15		
žlučník	24	(6,6)	16	*0,42*	
žlučník	23	(3,6)	22	*0,58*	
ledviny	24	(6,-3)	20	0,23	
ledviny	23	(6,0)	25	0,34	
ledviny	22	(-6,-6)	31	0,24	
ledviny	21	(-3,-6)	36	0,19	
žaludek	23	(-6,6)	21	0,23	
žaludek	22	(-6,6)	26	0,25	
žaludek	21	(-6,3)	32	0,28	
žaludek	20	(-3,3)	39	0,24	
slinivka břišní	23	(-3,3)	23	0,33	
slinivka břišní	22	(-3,3)	27	0,67	
játra	23	(9,3)	24	0,12	
játra	22	(6,3)	28	0,17	
játra	21	(6,3)	33	0,27	
játra	20	(-3,6)	37		
játra	20	(3,6)	38	0,29	
játra	19	(3,6)	42	0,15	
slezina	22	(-6,0)	29	0,28	
slezina	21	(-6,0)	34	0,54	
slezina	20	(-6,-3)	40	0,18	
nadledviny	22	(3,0)	30	0,5	
nadledviny	21	(-3,-3)	35	0,5	
plíce	20	(6,-3)	41	0,02	

plíce	19	(9,-3)	43	0,07	
plíce	18	(9,-3)	45	0,11	
plíce	17	(9,0)	48	0,13	
plíce	16	(9,0)	52	0,13	
plíce	15	(9,0)	53	0,14	
plíce	14	(9,0)	55	0,14	
plíce	13	(9,0)	56	0,11	
plíce	12	(9,0)	60	0,09	
plíce	11	(6,0)	61	0,05	
plíce	10	(3,0)	62	0,01	
srdce	18	(3,6)	44		
srdce	17	(-3,6)	47		
srdce	16	(-3,6)	50		
prsa	17	na povrchu	46		anteriorně 9 cm nalevo od mediální roviny
prsa	16	na povrchu	49		anteriorně 9 cm nalevo od mediální roviny
jícen	16	(0,0)	51		
jícen	14	(3,-3)	54		
jícen	12	(-3,0)	59		
brzlík	12	(-3,3)	57		
brzlík	12	(0,3)	58		
štítná žláza	9	(3,3)	63		
štítná žláza	8	(3,3)	64		
slinné žlázy	7	(-3,3)	65		
slinné žlázy	7	(3,3)	66		
slinné žlázy	6	(-3,3)	67		
slinné žlázy	6	(3,3)	68		
sliznice dutiny ústní	7	(-3,3)	65		
sliznice dutiny ústní	7	(3,3)	66		
sliznice dutiny ústní	6	(-3,0)	69		
sliznice dutiny ústní	6	(3,-3)	70		
mozek	4	(0,3)	71		
mozek	3	(3,3)	72		
mozek	3	(-3,-3)	73		
mozek	2	(3,3)	74		
oční čočka	3	na povrchu	75		na levé oční čočce
oční čočka	3	na povrchu	76		na pravé oční čočce
varlata	34	na povrchu	77		anteriorně 3 cm nalevo od mediální roviny
varlata	34	na povrchu	78		anteriorně 3 cm napravo od mediální roviny
kůže (pánev)	35	na povrchu	79		posteriorně v mediální rovině
kůže (pánev)	32	na povrchu	80		anteriorně v mediální rovině
kůže (pánev)	31	na povrchu	81		anteriorně 6 cm napravo od mediální roviny

kůže (pánev)	29	na povrchu	82		anteriorně v mediální rovině
kůže (pánev)	27	na povrchu	83		laterálně napravo ve středu výšky fantomu
kůže (pánev)	25	na povrchu	84		posteriorně v mediální rovině
kůže (hrudník)	24	na povrchu	85		anteriorně 6 cm nalevo od mediální roviny
kůže (hrudník)	22	na povrchu	86		laterálně napravo ve středu výšky fantomu
kůže (hrudník)	21	na povrchu	87		laterálně nalevo ve středu výšky fantomu
kůže (hrudník)	18	na povrchu	88		posteriorně v mediální rovině
kůže (hrudník)	14	na povrchu	89		anteriorně v mediální rovině
kůže (hrudník)	12	na povrchu	90		anteriorně 6 cm napravo od mediální roviny
kůže (hlava a krk)	10	na povrchu	91		anteriorně v mediální rovině
kůže (hlava a krk)	1	na povrchu	92		posteriorně v mediální rovině
kůže (hlava a krk)	4	na povrchu	93		laterálně (pravé ucho)
kůže (hlava a krk)	6	na povrchu	94		anteriorně (dolní ret)
kůže (hlava a krk)	2	na povrchu	95		laterálně (nad levým uchem)

koeficient f_i…frakce celkové hmotnosti orgánu v i-tém řezu Rando fantomu

Tab. 1b: Distribuce PMMA fólií a TLD v Rando fantomu pro stanovení orgánové dávky v kostní dřeni a na povrchu kostí

kostní struktury	číslo TLD	řez Rando fantomu	souřadnice dozimetru
lebka	96	1	(-3,6)
	97	1	(3,-6)
čelist	98	7	(1,6)
krční páteř	99	9	(0,-2)
hrudní koš	103	13	(0,7)
	106	15	(0,8)
lopatka	101	12	(15,0)
	104	13	(-15,0)
klíční kost	102	12	(-3,6)
hrudní páteř	100	12	(0,-3)
	105	15	(0,-4)
	107	18	(0,-3)
	108	21	(0,-3)
bederní a křížová	109	23	(0,-3)

páteř	110	25	(0,-3)
	111	27	(0,-3)
	112	29	(0,-3)
	113	29	(6,-6)
	114	29	(-5,-6)
	115	31	(-6,-3)
	116	31	(6,-4)
	117	32	(9,0)
pánev	118	32	(-8,0)
kost stehenní	119	33	(8,-2)

Poznámka: PMMA fólie se umisťují na horní stranu specifikovaných řezů Rando fantomu.

Excelovský list výpočet korigovaných odezev

Tab. 2: Výpočet korigovaných TL odezev

číslo dozimetru	orgán	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
1	prostata			0,0	0,0
2	prostata			0,0	0,0
3	močový měchýř			0,0	0,0
4	močový měchýř			0,0	0,0
5	močový měchýř			0,0	0,0
6	močový měchýř			0,0	0,0
7	tenké střevo			0,0	0,0
8	tenké střevo			0,0	0,0
9	tlusté střevo			0,0	0,0
10	tenké střevo			0,0	0,0
11	tlusté střevo			0,0	0,0
12	tenké střevo			0,0	0,0
13	tenké střevo			0,0	0,0
14	tlusté střevo			0,0	0,0
15	žlučník			0,0	0,0
16	žlučník			0,0	0,0
17	ten. střevo			0,0	0,0
18	tlusté střevo			0,0	0,0
20	ledviny			0,0	0,0
21	žaludek			0,0	0,0
22	žlučník			0,0	0,0
23	slinivka			0,0	0,0
24	játra			0,0	0,0
25	ledviny			0,0	0,0
26	žaludek			0,0	0,0
27	slin. břišní			0,0	0,0
28	játra			0,0	0,0
29	slezina			0,0	0,0
30	nadledviny			0,0	0,0
31	ledviny			0,0	0,0
32	žaludek			0,0	0,0
33	játra			0,0	0,0
34	slezina			0,0	0,0
35	nadledviny			0,0	0,0
36	ledviny			0,0	0,0
37	játra			0,0	0,0
38	játra			0,0	0,0
39	žaludek			0,0	0,0
40	slezina			0,0	0,0
41	plíce			0,0	0,0
42	játra			0,0	0,0
43	plíce			0,0	0,0
44	srdce			0,0	0,0
45	plíce			0,0	0,0
46	prsa			0,0	0,0

47	srdce			0,0	0,0
48	plíce			0,0	0,0
49	prsa			0,0	0,0
50	srdce			0,0	0,0
51	jícen			0,0	0,0
52	plíce			0,0	0,0
53	plíce			0,0	0,0
54	jícen			0,0	0,0
55	plíce			0,0	0,0
56	plíce			0,0	0,0
57	brzlík			0,0	0,0
58	brzlík			0,0	0,0
59	jícen			0,0	0,0
60	plíce			0,0	0,0
61	plíce			0,0	0,0
62	plíce			0,0	0,0
63	štítná žláza			0,0	0,0
64	štítná žláza			0,0	0,0
65	slinné žlázy a sliznice dutiny ústní			0,0	0,0
66	slinné žlázy a sliznice dutiny ústní			0,0	0,0
67	slinné žlázy			0,0	0,0
68	slinné žlázy			0,0	0,0
69	sliznice dutiny ústní			0,0	0,0
70	sliznice dutiny ústní			0,0	0,0
71	mozek			0,0	0,0
72	mozek			0,0	0,0
73	mozek			0,0	0,0
74	mozek			0,0	0,0
75	oční čočka levá			0,0	0,0
76	oční čočka pravá			0,0	0,0
77	varlata levá			0,0	0,0
78	varlata pravá			0,0	0,0
79	kůže (pánev)			0,0	0,0
80	kůže (pánev)			0,0	0,0
81	kůže (pánev)			0,0	0,0
82	kůže (pánev)			0,0	0,0
83	kůže (pánev)			0,0	0,0
84	kůže (pánev)			0,0	0,0
85	kůže (hrudník)			0,0	0,0
86	kůže (hrudník)			0,0	0,0
87	kůže (hrudník)			0,0	0,0
88	kůže (hrudník)			0,0	0,0
89	kůže (hrudník)			0,0	0,0
90	kůže (hrudník)			0,0	0,0
91	kůže (hlava a krk)			0,0	0,0
92	kůže (hlava a krk)			0,0	0,0
93	kůže (hlava a krk)			0,0	0,0
94	kůže (hlava a krk)			0,0	0,0

95	kůže (hlava a krk)			0,0	0,0
96	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
97	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
98	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
99	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
100	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
101	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
102	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
103	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
104	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
105	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
106	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
107	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
108	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
109	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
110	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
111	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
112	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
113	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
114	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
115	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
116	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
117	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
118	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
119	kostní dřeň/povrch kostí			0,0	0,0
120	referenční ozáření			0,0	0,0
121	referenční ozáření			0,0	0,0
122	referenční ozáření			0,0	0,0
123	referenční ozáření			0,0	0,0
124	referenční ozáření			0,0	0,0
125	referenční ozáření			0,0	0,0
126	referenční ozáření			0,0	0,0
127	referenční ozáření			0,0	0,0
128	referenční ozáření			0,0	0,0
129	referenční ozáření			0,0	0,0
130	referenční ozáření			0,0	0,0
131	referenční ozáření			0,0	0,0
132	referenční ozáření			0,0	0,0
133	referenční ozáření			0,0	0,0
134	referenční ozáření			0,0	0,0
135	referenční ozáření			0,0	0,0
136	referenční ozáření			0,0	0,0
137	referenční ozáření			0,0	0,0
138	pozadí			0,0	
139	pozadí			0,0	
140	pozadí			0,0	

$TL_{nekorig}$…nekorigovaná termoluminiscenční (TL) odezva

K_{cit}...korekční faktor na individuální citlivost TL dozimetrů

TL_{korig}…korigovaná TL odezva (korekce na individuální citlivost + odečtené pozadí)

pozadí - průměr	0,0

referenční ozáření - průměr	0,0

Tab. 3: Výpočet K_{cal}

referenční ozáření - průměr při kalibraci TLD	
K_{cal} při kalibraci	
datum ozáření TLD při kalibraci	
datum ozáření TLD pro stanovení orgánových dávek	
K_{rozpad}	1,0000
K_{cal} při měření	#DIV/0!

K_{cal}...dávkový kalibrační faktor

K_{rozpad}…korekce na rozpad radioizotopu ^{90}Sr

Excelovský list výpočet orgánových dávek

datum měření:	
název pracoviště:	
typ nenádorové radioterapie (např. ozáření na rtg ozařovači, brachyradiumterapie)	
diagnóza nenádorové radioterapie (např. artróza kyčle, ostruha patní kosti)	
podmínky ozáření (např. předepsaná dávka, ozařovací čas, ….)	

K_{cal} při měření: #DIV/0!

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
prostata	1	34	0,0
	2	34	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
močový měchýř	3	32	0,0	0,40	0,0
	4	31	0,0	0,33	0,0
	5	30	0,0	0,17	0,0
	6	29	0,0	0,10	0,0
				$\Sigma (TL_i * f_i)$	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
tenké střevo	7	29	0,0	0,11	0,0
	8	28	0,0	0,16	0,0
	10	27	0,0	0,16	0,0
	12	26	0,0	0,17	0,0
	13	25	0,0	0,18	0,0
	17	24	0,0	0,22	0,0
				$\Sigma (TL_i * f_i)$	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
tlusté střevo	9	27	0,0	0,18	0,0
	11	26	0,0	0,35	0,0
	14	25	0,0	0,24	0,0
	18	24	0,0	0,23	0,0
				Σ (TL_i * f_i)	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
žlučník	15	24	0,0		
	16	24	0,0	*0,42*	0,0
	22	23	0,0	*0,58*	0,0
				Σ (TL_i * f_i)	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
ledviny	20	24	0,0	0,23	0,0
	25	23	0,0	0,34	0,0
	31	22	0,0	0,24	0,0
	36	21	0,0	0,19	0,0
				Σ (TL_i * f_i)	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
žaludek	21	23	0,0	0,23	0,0
	26	22	0,0	0,25	0,0
	32	21	0,0	0,28	0,0
	39	20	0,0	0,24	0,0
				Σ (TL_i * f_i)	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i

slinivka	23	23	0,0	0,33	0,0
	27	22	0,0	0,67	0,0
				Σ (TL_i * f_i)	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
játra	24	23	0,0	0,12	0,0
	28	22	0,0	0,17	0,0
	33	21	0,0	0,27	0,0
	37	20	0,0		
	38	20	0,0	0,29	0,0
	42	19	0,0	0,15	0,0
				Σ (TL_i * f_i)	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
slezina	29	22	0,0	0,28	0,0
	34	21	0,0	0,54	0,0
	40	20	0,0	0,18	0,0
				Σ (TL_i * f_i)	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
nadledviny	30	22	0,0	0,5	0,0
	35	21	0,0	0,5	0,0
				Σ (TL_i * f_i)	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
plíce	41	20	0,0	0,02	0,0
	43	19	0,0	0,07	0,0
	45	18	0,0	0,11	0,0
	48	17	0,0	0,13	0,0
	52	16	0,0	0,13	0,0
	53	15	0,0	0,14	0,0

	55	14	0,0	0,14	0,0
	56	13	0,0	0,11	0,0
	60	12	0,0	0,09	0,0
	61	11	0,0	0,05	0,0
	62	10	0,0	0,01	0,0
				$\Sigma (TL_i * f_i)$	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
srdce	44	18	0,0
	47	17	0,0
	50	16	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
prsa	46	17	0,0
	49	16	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
jícen	51	16	0,0
	54	14	0,0
	59	12	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
brzlík	57	12	0,0
	58	12	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)	f_i	TL * f_i
štítná žláza	63	9	0,0	0,5	0,0
	64	8	0,0	0,5	0,0
				Σ (TL_i * f_i)	**0,0**
				orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
slinné žlázy	65	7	0,0
	66	7	0,0
	67	6	0,0
	68	6	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
sliznice dutiny ústní	65	7	0,0
	66	7	0,0
	69	6	0,0
	70	6	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
mozek	71	4	0,0
	72	3	0,0
	73	3	0,0
	74	2	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
oční čočka	75	3	0,0
	76	3	0,0
		$TL_{prům}$	0,0

		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
varlata	77	34	0,0
	78	34	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kůže (pánev)	79	35	0,0
	80	32	0,0
	81	31	0,0
	82	29	0,0
	83	27	0,0
	84	25	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kůže (hrudník)	85	24	0,0
	86	22	0,0
	87	21	0,0
	88	18	0,0
	89	14	0,0
	90	12	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kůže (hlava a krk)	91	10	0,0
	92	1	0,0
	93	4	0,0
	94	6	0,0
	95	2	0,0
		$TL_{prům}$	0,0

		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - lebka	96	1	0,0
	97	1	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - čelist	98	7	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - krční páteř	99	9	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - hrudní páteř	100	12	0,0
	105	15	0,0
	107	18	0,0
	108	21	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - lopatka	101	12	0,0
	104	13	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - klíční kost	102	12	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - hrudní koš	103	13	0,0
	106	15	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - bederní a křížová páteř	109	23	0,0
	110	25	0,0
	111	27	0,0
	112	29	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - pánev	113	29	0,0
	114	29	0,0
	115	31	0,0
	116	31	0,0
	117	32	0,0
	118	32	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
kostní dřeň - kost stehenní	119	33	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

orgán	číslo dozimetru	řež Rando fantomu	korigovaná odezva (TL)
povrch kostí - lebka a čelist	96	1	0,0
	97	1	0,0
	98	7	0,0
		$TL_{prům}$	0,0
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

Výpočet orgánové dávky v kostní dřeni

kostní struktury	dávka [mGy]	hmotnostní obsah	
lebka	#DIV/0!	0,119	#DIV/0!
čelist	#DIV/0!	0,012	#DIV/0!
lopatka	#DIV/0!	0,048	#DIV/0!
klíční kost	#DIV/0!	0,016	#DIV/0!
hrudní koš	#DIV/0!	0,102	#DIV/0!
krční páteř	#DIV/0!	0,034	#DIV/0!
hrudní páteř	#DIV/0!	0,141	#DIV/0!
bederní a křížová páteř	#DIV/0!	0,109	#DIV/0!
pánev	#DIV/0!	0,362	#DIV/0!
kost stehenní	#DIV/0!	0,038	#DIV/0!
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

Výpočet orgánové dávky na povrchu kostí

kostní struktury	dávka [mGy]	hmotnostní obsah	
lebka a čelist	#DIV/0!	0,165	#DIV/0!
lopatka	#DIV/0!	0,031	#DIV/0!
klíční kost	#DIV/0!	0,012	#DIV/0!
hrudní koš	#DIV/0!	0,078	#DIV/0!
krční páteř	#DIV/0!	0,014	#DIV/0!
hrudní páteř	#DIV/0!	0,042	#DIV/0!
bederní páteř	#DIV/0!	0,035	#DIV/0!
pánev	#DIV/0!	0,104	#DIV/0!
kost stehenní	#DIV/0!	0,186	#DIV/0!
		orgánová dávka [mGy]	**#DIV/0!**

Shrnutí orgánových dávek

orgán	orgánová dávka [mGy]
prostata	#DIV/0!
moč. měchýř	#DIV/0!
tenké střevo	#DIV/0!
tlusté střevo	#DIV/0!
žlučník	#DIV/0!
ledviny	#DIV/0!
žaludek	#DIV/0!
slinivka břišní	#DIV/0!
játra	#DIV/0!
slezina	#DIV/0!
nadledviny	#DIV/0!
plíce	#DIV/0!
srdce	#DIV/0!
prsa	#DIV/0!
jícen	#DIV/0!
brzlík	#DIV/0!
štítná žláza	#DIV/0!
slinné žlázy	#DIV/0!
sliznice dutiny ústní	#DIV/0!
mozek	#DIV/0!
oční čočka	#DIV/0!
varlata	#DIV/0!
kůže (pánev)	#DIV/0!
kůže (hrudník)	#DIV/0!
kůže (hlava a krk)	#DIV/0!
kostní dřeň	#DIV/0!
povrch kostí	#DIV/0!

Příloha 2: Záznamový a výpočetní formulář pro měření v kontrolním zdroji

Kontrola stálosti dozimetrického řetězce

Vyberte ionizační komoru: TW30013_6238 Dnešní datum: 11.1.2016

napětí na IK	Odečet [pC/min] R1		rozsah: R3	220 pA R prům	Temný proud: T [°C]	p [kPa]	k T,p	k rozpad
U (300) V								1,6616
						0,6781		

Korigovaný odečet(pA)		Referenční odečet (pA)		Odchylka (%)	
-	-	-	19,10422122	-	-

Odečet je korigovaný na tlak, teplotu a rozpad.

Elektrometr: Unidos 10002/20372 (∫ Cur.dt, low)

ULOŽIT

Komora	Korigovaný odečet 1.1.1995 pA
TW30013_6239	19,2625159
W30002_163	18
W30001_2031	19,02
TW30013_6238	19,10422122
N23342_1197	2,793
W34001_39	13,366
W34001_691	13,876
N23342_2293	6,872205925

Referenční datum	Počet dní	Rozpad ve dnech
1.1.1995	7680,00	10483
Referenční datum	Počet dní	Rozpad ve dnech
20.11.2014	417,00	10483

Příloha 3: Záznamový a výpočetní formulář pro kalibraci TLD

Excelovský list výpočet dávky

Pracoviště:							
Datum:							
Polotloušťka svazku (mm Cu):							
Napětí rentgenky:							
Geometrický střed ionizační komory se umístí do hloubky (cm):					2		
			Teplota (°C):				
kt,p:	##########		Tlak (kPa):				
Polaritní efekt:							
			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	4. odečet (nC)	průměr (nC)
	Kladné napětí	300 V	1				1,0000
	Záporné napětí	-300 V	1				1,0000
kpol:	1,0000						
Korekce na saturaci:			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	4. odečet (nC)	průměr (nC)
	Napětí 1:	300 V	1				1,0000
	Napětí 2:	100 V	1				1,0000
ksat:	1,0000						
			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	průměr (nC)	
odezva po nazáření daného ozař. času:							
ozař. čas				Korigovaná odezva:		##########	
	kt,p	ksat	kpol	Ndw*Kqq0	Průměr	Dávka [mGy]	
	##########	1,0000	1,0000			##########	
			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	průměr (nC)	
odezva po nazáření daného ozař. času:							
ozař. čas				Korigovaná odezva:		##########	
	kt,p	ksat	kpol	Ndw*Kqq0	Průměr	Dávka [mGy]	
	##########	1,0000	1,0000			##########	
			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	průměr (nC)	
odezva po nazáření daného ozař. času:							
ozař. čas				Korigovaná odezva:		##########	
	kt,p	ksat	kpol	Ndw*Kqq0	Průměr	Dávka [mGy]	
	##########	1,0000	1,0000			##########	
			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	průměr (nC)	
odezva po nazáření daného ozař. času:							
ozař. čas				Korigovaná odezva:		##########	

			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	průměr (nC)
odezva po nazáření daného ozař. času:						
ozař. čas				Korigovaná odezva:		##########
	kt,p	ksat	kpol	Ndw*Kqq0	Průměr	Dávka [mGy]
	##########	1,0000	1,0000			##########

			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	průměr (nC)
odezva po nazáření daného ozař. času:						
ozař. čas				Korigovaná odezva:		##########
	kt,p	ksat	kpol	Ndw*Kqq0	Průměr	Dávka [mGy]
	##########	1,0000	1,0000			##########

			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	průměr (nC)
odezva po nazáření daného ozař. času:						
ozař. čas				Korigovaná odezva:		##########
	kt,p	ksat	kpol	Ndw*Kqq0	Průměr	Dávka [mGy]
	##########	1,0000	1,0000			##########

			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	průměr (nC)
odezva po nazáření daného ozař. času:						
ozař. čas				Korigovaná odezva:		##########
	kt,p	ksat	kpol	Ndw*Kqq0	Průměr	Dávka [mGy]
	##########	1,0000	1,0000			##########

			1. odečet (nC)	2. odečet (nC)	3. odečet (nC)	průměr (nC)
odezva po nazáření daného ozař. času:						
ozař. čas				Korigovaná odezva:		##########
	kt,p	ksat	kpol	Ndw*Kqq0	Průměr	Dávka [mGy]
	##########	1,0000	1,0000			##########

Excelovský list výpočet TL odezev

datum měření	
pracoviště	

$TL_{nekorig}$…nekorigovaná termoluminiscenční (TL) odezva
K_{cit}...korekční faktor na individuální citlivost TL dozimetrů
TL_{korig}…korigovaná TL odezva (korekce na individuální citlivost + odečtené pozadí)

Tab. 1: Výpočet průměrné TL odezvy referenčních dozimetrů

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			$TL_{korig, prům}$	**0,0**
			variační koeficient [%]	#DIV/0!

Tab. 2: Výpočet TL odezvy neozářených dozimetrů

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$
			0,0
			0,0
			0,0
		Průměr	**0,0**

Tab. 3: Výpočet průměrné TL odezvy dozimetrů ve skupině 1

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
ozařovací čas			$TL_{prům}$	**0,0**
			variační koeficient [%]	#DIV/0!

Tab. 4: Výpočet průměrné TL odezvy dozimetrů ve skupině 2

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
ozařovací čas			$TL_{prům}$	**0,0**
			variační koeficient [%]	#DIV/0!

Tab. 5: Výpočet průměrné TL odezvy dozimetrů ve skupině 3

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
ozařovací čas			$TL_{prům}$	**0,0**
			variační koeficient [%]	#DIV/0!

Tab. 6: Výpočet průměrné TL odezvy dozimetrů ve skupině 4

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
ozařovací čas			$TL_{prům}$	**0,0**
			variační koeficient [%]	#DIV/0!

Tab. 7: Výpočet průměrné TL odezvy dozimetrů ve skupině 5

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
ozařovací čas			$TL_{prům}$	**0,0**
			variační koeficient [%]	#DIV/0!

Tab. 9: Výpočet průměrné TL odezvy dozimetrů ve skupině 6

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
ozařovací čas			$TL_{prům}$	**0,0**
			variační koeficient [%]	#DIV/0!

Tab. 10: Výpočet průměrné TL odezvy dozimetrů ve skupině 7

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
ozařovací čas			$TL_{prům}$	**0,0**
			variační koeficient [%]	#DIV/0!

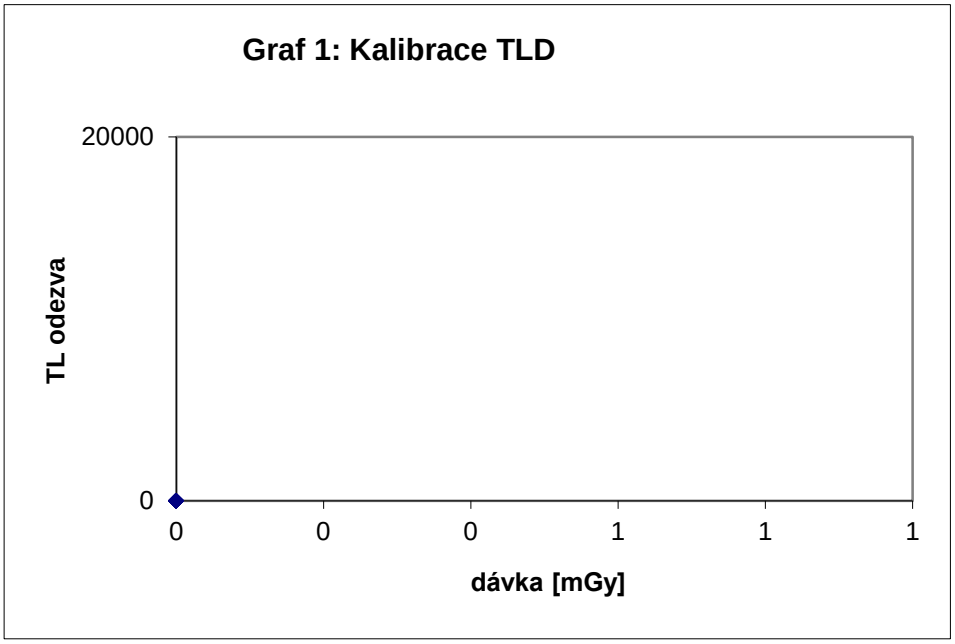
Tab. 11: Výpočet průměrné TL odezvy dozimetrů ve skupině 8

číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{cit}	$TL_{nekorig}*K_{cit}$	TL_{korig}
			0,0	0,0
			0,0	0,0
			0,0	0,0
ozařovací čas			$TL_{prům}$	**0,0**
			variační koeficient [%]	#DIV/0!

Excelovský list kalibrace

číslo skupiny	průměrná TL odezva	absorbovaná dávka [mGy]	K_{lin}
1	0,0	#DIV/0!	#DIV/0!
2	0,0	#DIV/0!	#DIV/0!
3	0,0	#DIV/0!	#DIV/0!
4	0,0	#DIV/0!	#DIV/0!
5	0,0	#DIV/0!	#DIV/0!
6	0,0	#DIV/0!	#DIV/0!
7	0,0	#DIV/0!	#DIV/0!
8	0,0	#DIV/0!	#DIV/0!

K_{lin}…korekční faktor na nelinearitu TL odezvy s dávkou



Příloha 4: Záznamový formulář podmínek ozáření

název pracoviště	
datum měření orgánových dávek:	
typ nenádorové radioterapie (např. ozáření na rtg ozařovači, brachyradiumterapie)	
diagnóza nenádorové radioterapie (např. artróza kyčle, ostruha patní kosti)	
podmínky ozáření (např. předepsaná dávka, ozařovací čas, napětí rentgenky, filtrace svazku, polotloušťka svazku, velikost tubusu, geometrie ozáření, aktivita Ra-226 v aplikátorech, umístění jednotlivých aplikátorů na povrchu fantomu, doba aplikace aplikátorů …)	

Příloha 5: Záznamový a výpočetní formulář pro výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost

Datum měření:	
Pracoviště:	

Tab. 1: Výpočet korekčních faktorů na individuální citlivost

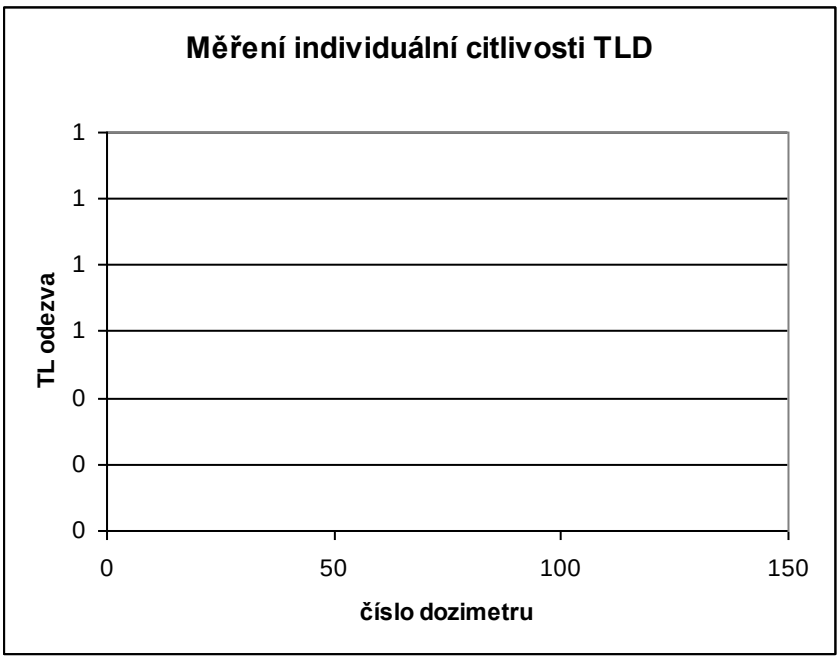
číslo dozimetru	$TL_{nekorig}$	K_{trend}	$TL_{nekorig}*K_{cor}$	K_{cit}
1		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
2		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
3		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
4		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
5		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
6		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
7		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
9		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
10		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
11		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
13		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
14		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
15		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
16		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
17		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
18		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
19		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
20		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
21		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
22		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
23		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
24		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
25		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
26		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
27		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
28		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
29		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
30		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
31		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
32		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
33		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
34		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
35		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
36		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
37		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
38		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
39		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
40		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

41		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
42		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
43		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
44		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
45		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
46		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
47		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
48		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
49		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
50		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
51		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
52		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
53		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
54		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
55		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
56		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
57		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
58		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
59		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
60		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
61		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
62		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
63		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
64		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
65		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
66		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
67		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
68		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
69		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
70		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
71		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
72		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
73		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
74		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
75		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
76		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
77		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
78		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
79		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
80		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
81		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
82		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
83		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
84		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
85		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
86		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
87		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
88		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
89		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
90		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
91		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

92		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
93		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
94		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
95		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
96		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
97		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
98		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
99		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
100		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
101		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
102		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
103		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
104		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
105		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
106		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
107		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
108		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
109		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
110		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
111		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
112		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
113		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
114		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
115		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
116		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
117		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
118		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
119		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
120		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
121		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
122		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
123		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
124		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
125		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
126		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
127		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
128		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
129		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
130		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
131		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
132		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
133		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
134		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
135		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
136		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
137		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
138		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
139		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
140		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
141		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
142		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

143		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
144		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
145		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
146		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
147		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
148		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
149		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
150		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Průměr	#DIV/0!	Průměr	#DIV/0!	

koeficient a	
koeficient b	



Příloha 6: Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP 60

datum měření orgánových dávek:	
datum výpočtu efektivní dávky:	
název pracoviště:	
typ nenádorové radioterapie (např. ozáření na rtg ozařovači, brachyradiumterapie)	
diagnóza nenádorové radioterapie (např. artróza kyčle, ostruha patní kosti)	
podmínky ozáření (např. předepsaná dávka, ozařovací čas, ...)	

Tab. 1: Stanovené orgánové dávky

orgán	orgánová dávka D_T [mGy]
prostata *	
močový měchýř	
tenké střevo	
tlusté střevo	
žlučník *	
ledviny	
žaludek	
slinivka	
játra	
slezina	
nadledviny	
plíce	
srdce *	
prsa	
jícen	
brzlík	
štítná žláza	
slinné žlázy *	
sliznice dutiny ústní *	
mozek	
oční čočka *	
varlata	
kostní dřeň	
povrch kostí	
kůže (pánev)	
kůže (hrudník)	
kůže (hlava a krk)	

Poznámka: Orgány s hvězdičkou nejsou použity k výpočtu efektivní podle doporučení ICRP 60

Tab. 2: Výpočet orgánové dávky na kůži

orgán	orgánová dávka D_T [mGy]
kůže (pánev)	0,00
kůže (hrudník)	0,00
kůže (hlava a krk)	0,00
kůže	0,00

Poznámka: Orgánová dávka na kůži se vypočítá jako aritmetický průměr orgánových dávek na kůži v oblastech pánve, hrudníku a hlavy a krku.

Tab. 3: Výpočet střední dávky ve zbytku tkání

orgán	orgánová dávka D_T [mGy]
nadledviny	0,00
mozek	0,00
tenké střevo	0,000
ledviny	0,000
slinivka	0,000
slezina	0,000
brzlík	0,00
zbytek tkání	0,00

Poznámka: Střední dávka ve zbytku tkání se podle doporučení ICRP 60 vypočítá jako aritmetický průměr středních dávek v nadledvinách, v mozku, v horní části tlustého střeva, v tenkém střevě, v ledvinách, ve svalstvu, ve slinivce, ve slezině, v brzlíku a v děloze. Tento výpočet neuvažuje orgánové dávkyv horní části tlustého střeva, ve svalstvu a v děloze, protože tlusté střevo má vlastní váhový tkáňový faktor a lokalizace svalstva v Rando fantomuje komplikovaná. Orgánová dávka v děloze se taktéž nezapočítává, protože měření orgánových dávek probíhá na mužském fantomu.

Tab. 4: Výpočet efektivní dávky podle doporučení ICRP 60

orgán	váhový tkáňový faktor w_T	orgánová dávka D_T [mGy]	w_T*D_T
gonády (varlata)	0,20	0,000	0,000
kostní dřeň (červená)	0,12	**0,000**	0,000
tlusté střevo	0,12	0,000	0,000
plíce	0,12	0,000	0,000
žaludek	0,12	0,000	0,000
močový měchýř	0,05	0,000	0,000
prsa	0,05	0,000	0,000
játra	0,05	0,000	0,000
jícen	0,05	0,000	0,000
štítná žláza	0,05	0,000	0,000
kůže	0,01	0,000	0,000
povrch kostí	0,01	0,000	0,000
zbytek tkání (remainder)	0,05	0,000	0,000
Σw_T	1,00	**efektivní dávka E [mSv]**	**0,00**

Poznámka: Ve výjimečných případech, kdy je orgánová dávka v některém z orgánů ve zbytku tkání vyšší než nejvyšší orgánová dávka v Tab. 4, tak pak se tomuto orgánu, stejně jako zbytku tkání přiřadí váhový tkáňový faktor 0,025. Do výpočtu střední dávky ve zbývajících orgánech se pak tento orgán již nezapočítává.

Příloha 7: Záznamový a výpočetní formulář pro stanovení efektivní dávky_ICRP 103

datum měření orgánových dávek:	
datum výpočtu efektivní dávky:	
název pracoviště:	
typ nenádorové radioterapie (např. ozáření na rtg ozařovači, brachyradiumterapie)	
diagnóza nenádorové radioterapie (např. artróza kyčle, ostruha patní kosti)	
podmínky ozáření (např. předepsaná dávka, ozařovací čas, ...)	

Tab. 1: Stanovené orgánové dávky

orgán	orgánová dávka D_T [mGy]
prostata	
moč. měchýř	
tenké střevo	
tlusté střevo	
žlučník	
ledviny	
žaludek	
slinivka	
játra	
slezina	
nadledviny	
plíce	
srdce	
prsa (mléčná žláza)	
jícen	
brzlík	
štítná žláza	
slinné žlázy	
sliznice dutiny ústní	
mozek	
oční čočka *	
varlata	
kostní dřeň	
povrch kostí	
kůže (pánev)	
kůže (hrudník)	
kůže (hlava a krk)	

Poznámka: Orgány s hvězdičkou nejsou použity k výpočtu efektivní podle doporučení ICRP 103

Tab. 2: Výpočet orgánové dávky na kůži

orgán	orgánová dávka D_T [mGy]
kůže (pánev)	0,00
kůže (hrudník)	0,00
kůže (hlava a krk)	0,00
kůže	0,00

Poznámka: Orgánová dávka na kůži se vypočítá jako aritmetický průměr orgánových dávek na kůži v oblastech pánve, hrudníku a hlavy a krku.

Tab. 3: Výpočet střední dávky ve zbytku tkání

orgán	orgánová dávka D_T [mGy]
nadledviny	0,00
žlučník	0,000
srdce	0,00
ledviny	0,000
sliznice dutiny ústní	0,00
slinivka	0,000
prostata	0,000
tenké střevo	0,000
slezina	0,000
brzlík	0,00
zbytek tkání	0,000

Poznámka: Střední dávka ve zbytku tkání se podle doporučení ICRP 103 vypočítá jako aritmetický průměr středních dávek v nadledvinách, v horních cestách dýchacích, v žlučníku, v srdci, v ledvinách, v lymfatických uzlinách, ve svalstvu, v sliznici dutiny ústní, ve slinivce, v prostatě, v tenkém střevu, ve slezině, v brzlíku a v děloze. Tento výpočet neuvažuje orgánové dávky v horních cestách dýchacích, v lymfatických uzlinách, ve svalstvu a v děloze. Důvodem jejich vyloučení z výpočtu (kromě dělohy) je jejich neznámá lokalizace v Rando fantomu. Orgánová dávka v děloze se do výpočtu nezapočítává, protože měření orgánových dávek probíhá na mužském fantomu.

Tab. 4: Výpočet efektivní dávky podle doporučení ICRP 103

orgán	váhový tkáňový faktor w_T	orgánová dávka D_T [mGy]	$w_T * D_T$
kostní dřeň (červená)	0,12	**0,00**	0,0000
tlusté střevo	0,12	0,000	0,0000
plíce	0,12	0,00	0,0000
žaludek	0,12	0,000	0,0000
prsa (mléčná žláza)	0,12	0,00	0,0000
zbytek tkání (remainder)	0,12	0,00	0,0000
gonády (varlata)	0,08	0,00	0,0000
močový měchýř	0,04	0,000	0,0000
jícen	0,04	0,00	0,0000
játra	0,04	0,000	0,0000
štítná žláza	0,04	0,00	0,0000
povrch kostí	0,01	**0,00**	0,0000
mozek	0,01	0,00	0,0000
slinné žlázy	0,01	0,00	0,0000
kůže	0,01	0,00	0,0000
Σw_T	1,00	**efektivní dávka E [mSv]**	**0,0000**

Příloha 8: Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (ozáření na terapeutickém rentgenu)

Státní ústav radiační ochrany, veřejná výzkumná instituce
Bartoškova 28, 140 00 Praha 4
Odbor lékařských expozic

Protokol č. SÚRO/SOP27/…/… o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie

Metodika stanovení orgánových a efektivních dávek pacienta při nenádorové radioterapii vychází z metodik SOP 05 a SOP 06. Pro potřeby stanovení orgánových a efektivních dávek při nenádorové radioterapii byly tyto metodiky modifikovány, neboť metodiky SOP 05 a SOP 06 se vztahují pouze na stanovení dávek pacienta z verifikačních zobrazovacích metod radioterapie.

Dávka pacienta byla stanovena při ozáření na terapeutickém rentgenovém ozařovači.

Název a adresa prověřovaného pracoviště:	…….. …….. ……..
Datum provedení měření:	……..
Měření provedli:	…….. ……..
Specifikace fantomu:	mužský antropomorfní fantom člověka (Alderson RANDO fantom)
Specifikace termoluminiscenčních dozimetrů (TLD):	
Typ TLD:	MCP-N
Výrobce TLD:	TLD Poland
Složení TLD:	LiF: Mg, Cu, P
Rozměry TLD:	průměr 4,5 mm, tloušťka 0,9 mm
Číslo šarže:	……..
Ozařovač:	Terapeutický rentgen Wolf T-200
Diagnóza:	……..

Podmínky ozáření:

Napětí rentgenky: ……..
Filtrace svazku: ……..
Tubus: ……..

Metodika kalibrace TLD:

Kalibrace termoluminiscenčních dozimetrů (TLD) byla provedena v Nemocnici Na Bulovce na terapeutickém rentgenovém ozařovači Wolf T-200, kde byly ve vodním fantomu v hloubce 2 cm ozářeny TLD různými úrovněmi absorbovaných dávek v … kV svazku (velikost pole …. cm^2). Absorbované dávky byly stanoveny na základě měření s ionizační komorou typu Farmer podle doporučení TRS 398.

Výsledek měření:

Výsledek stanovení orgánových dávek:

orgán	orgánová dávka [mGy]
prostata	
močový měchýř	
tenké střevo	
tlusté střevo	
žlučník	
ledviny	
žaludek	
slinivka	
játra	
slezina	
nadledviny	
plíce	
srdce	
prsa	
jícen	
brzlík	
štítná žláza	
slinné žlázy	
sliznice dutiny ústní	
mozek	
oční čočka	
varlata	
kostní dřeň	
povrch kostí	
kůže (pánev)	
kůže (hrudník)	
kůže (hlava a krk)	

Orgánové dávky se vztahují k dávce……...

Výsledek stanovení efektivních dávek:

Efektivní dávka stanovená podle doporučení ICRP 60: **… mSv**

Efektivní dávka stanovená podle doporučení ICRP 103: **… mSv**

Poznámka: Stanovené efektivní dávky se vztahují pouze k referenčnímu muži („reference man effective dose“), neboť ke stanovení orgánových dávek byl použit mužský fantom.

Rozbor nejistot:

Kombinovaná standardní nejistota (u_C) stanovení absorbovaných dávek v bodě v antropomorfním fantomu člověka pomocí TLD ve svazku terapeutického rentgenového ozařovače je 6 % (k=1).

Celková nejistota stanovení orgánových dávek pomocí TLD nebyla vyčíslena zejména díky komplikovanému a problematickému vyjádření nejistot vztažených k neúplnému pokrytí objemu jednotlivých orgánů dozimetry.

Celková nejistota stanovení efektivní dávky pro referenčního pacienta a pro lékařské expozice může být dle údajů v literatuře až 40%.

Ing. Ivana Horáková, CSc.
V Praze dne ……... vedoucí Odboru lékařských expozic

Příloha 9: Protokol o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie (brachyradiumterapie)

Státní ústav radiační ochrany, veřejná výzkumná instituce
Bartoškova 28, 140 00 Praha 4
Odbor lékařských expozic

Protokol č. SÚRO/SOP27/…/… o stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie

Metodika stanovení orgánových a efektivních dávek pacienta při nenádorové radioterapii vychází z metodik SOP 05 a SOP 06. Pro potřeby stanovení orgánových a efektivních dávek při nenádorové radioterapii byly tyto metodiky modifikovány, neboť metodiky SOP 05 a SOP 06 se vztahují pouze na stanovení dávek pacienta z verifikačních zobrazovacích metod radioterapie.

Dávka pacienta byla stanovena při nenádorové brachyradiumterapii v Léčebných lázní Jáchymov. Brachyradiumterapie je léčebná metoda nenádorové radioterapie používaná k léčbě chronické bolesti páteře a kloubů. Pacientům jsou na místa aplikace podle ozařovacího protokolu připevněny leukoplastí na tělo pouzdra („jáchymovské krabičky“), do kterých jsou v aplikační místnosti vloženy aplikátory se zdroji Ra-226.

Název a adresa prověřovaného pracoviště: ……..
……..
……..
……..

Datum provedení měření: ……..

Měření provedli: ……..
……..

Místní radiologický asistent: ……..

Specifikace fantomu: mužský antropomorfní fantom člověka (Alderson RANDO fantom)

Specifikace termoluminiscenčních dozimetrů (TLD):

Typ TLD:	MCP-N
Výrobce TLD:	TLD Poland
Složení TLD:	LiF: Mg, Cu, P
Rozměry TLD:	průměr 4,5 mm, tloušťka 0,9 mm
Číslo šarže:	……..

Parametry ozáření:

Zdroje záření:	aplikátory se zdroji Ra-226 číslo X, Y, Z
Umístění aplikátorů na povrchu fantomu:	…….. …….. ……..
Celková aktivita Ra-226 v aplikátoru č. X:	…. mgekv (…. MBq)
Celková aktivita Ra-226 v aplikátoru č. Y:	…. mgekv (…. MBq)
Celková aktivita Ra-226 v aplikátoru č. Z:	…. mgekv (…. MBq)
……..	……
Doba aplikace aplikátorů:	…. hodin (výsledky jsou vztaženy k době aplikace …. hodin)

Metodika kalibrace TLD:

Kalibrace termoluminiscenčních dozimetrů (TLD) byla provedena v Nemocnici Na Bulovce na terapeutickém rentgenovém ozařovači Wolf T-200, kde byly ve vodním fantomu v hloubce 2 cm ozářeny TLD různými úrovněmi absorbovaných dávek v … kV svazku (velikost pole …. cm^2). Absorbované dávky byly stanoveny na základě měření s ionizační komorou typu Farmer podle doporučení TRS 398.

Poznámka: Díky nízké energetické závislosti použitých TLD a skutečnosti, že se energie konvenčních svazků na terapeutických rentgenových ozařovačích a energie Ra-226 příliš neliší, lze předpokládat, že se nebude příliš lišit ani hodnota kalibračního faktoru při kalibraci v terapeutických rentgenových svazcích a při kalibraci v Ra-226. Pomocné experimentální měření potvrdilo pro terapeutický rentgenový svazek s napětím rentgenky 160 kV a pro Ra-226 shodu mezi hodnotami kalibračních faktorů do 2%.

Výsledek měření:

Výsledek stanovení orgánových dávek:

orgán	orgánová dávka [mGy]
prostata	
močový měchýř	
tenké střevo	
tlusté střevo	
žlučník	
ledviny	
žaludek	
slinivka	
játra	
slezina	
nadledviny	
plíce	
srdce	
prsa	
jícen	
brzlík	
štítná žláza	
slinné žlázy	
sliznice dutiny ústní	
mozek	
oční čočka	
varlata	
kostní dřeň	
povrch kostí	
kůže (pánev)	
kůže (hrudník)	
kůže (hlava a krk)	

Orgánové dávky se vztahují k době aplikace … hodin.

Výsledek stanovení efektivních dávek:

Efektivní dávka stanovená podle doporučení ICRP 60: **…. mSv**

Efektivní dávka stanovená podle doporučení ICRP 103: **…. mSv**

Poznámka: Stanovená efektivní dávka se vztahuje k době aplikace … hodin a pouze k referenčnímu muži („reference man effective dose“), neboť ke stanovení orgánových dávek byl použit mužský fantom.

Rozbor nejistot:

Kombinovaná standardní nejistota (u_C) stanovení absorbovaných dávek v bodě v antropomorfním fantomu člověka pomocí TLD při nenádorové brachyradiumterapii je 6% (k=1).

Celková nejistota stanovení orgánových dávek pomocí TLD nebyla vyčíslena zejména díky komplikovanému a problematickému vyjádření nejistot vztažených k neúplnému pokrytí objemu jednotlivých orgánů dozimetry.

Celková nejistota stanovení efektivní dávky pro referenčního pacienta a pro lékařské expozice může být dle údajů v literatuře až 40%.

Ing. Ivana Horáková, CSc.
V Praze dne …….. vedoucí Odboru lékařských expozic