

DOPORUČENÍ SÚJB

bezpečné využívání jaderné energie a ionizujícího záření

Zajištění radiační ochrany při nenádorové radioterapii

radiační ochrana

DR-RO-3B.3(Rev.0.0)

HISTORIE REVIZÍ

Revize č.	Účinnost od	Garant	Popis či komentář změny
0.0	01.08.2019	Mgr. Papírník	Nově zpracované doporučení

Radiační ochrana

Doporučení ZAJIŠTĚNÍ RADIAČNÍ OCHRANY PŘI NENÁDOROVÉM ONEMOCNĚNÍ

DR-RO-3B.3(Rev.0.0)Vydal: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha, srpen 2019 č.j.: SÚJB/ /
/2019

Účelová publikace bez jazykové úpravy, připomínky směřujte na adresu: pripominky_navody@sujb.cz,
pripominky_doporuceni@sujb.cz

OBSAH

POUŽITÉ ZKRATKY A ZÁKLADNÍ POJMY	4
1 ÚVOD	6
1.1. Cíl Doporučení	6
AUTOŘI	7
1.2. Související dokumenty	7
2 ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ POUŽÍVANÉ K NENÁDOROVÉ RADIOTERAPII	9
2.1. Zkoušky terapeutických rentgenových ozařovačů	10
2.2. Parametry stanovované při přejímací zkoušce nutné pro vypracování ozařovacích tabulek	10
3 SPECIFIKACE A STANOVENÍ DÁVEK PACIENTA PŘI NENÁDOROVÉ RADIOTERAPII	12
3.1. Požadavky NRS-RO na specifikaci parametrů při ozáření pacienta při NNRT	12
3.2. Nové požadavky na předpis, stanovení a hodnocení dávek při NNRT	12
3.3. Plánování léčby zářením v NNRT a ozařovací tabulky	14
3.4. Přístup k hodnocení radiační zátěže pacienta z NNRT	15
3.5. Efektivní dávka	15
4. STANOVENÍ KOLEKTIVNÍ EFEKTIVNÍ DÁVKY Z NENÁDOROVÉ RADIOTERAPIE A JEJÍHO PŘÍSPĚVKU K POPULAČNÍ DÁVCE	17
4.1. Stanovení příspěvku ozáření z nenádorové radioterapie k populační dávce	17
4.2. Stanovení kolektivní efektivní dávky při NNRT	17
4.3. Rozsah a způsob sběru dat pro stanovení kolektivních efektivních dávek pacientů a pro stanovení populační dávky	18
4.4. Přístup ke zpracování dat pro vlastní potřeby pracoviště	18
5. ZÁSADY BEZPEČNÉHO PROVÁDĚNÍ A OPTIMALIZACE NENÁDOROVÉ RADIOTERAPIE	20
PŘÍLOHY	22
Příloha 1: Rozsah nenádorové radioterapie prováděné v ČR podle údajů VZP	22
Příloha 2: Tabulky orgánových a efektivních dávek z nenádorové radioterapie	25
Příloha 3: Příklad stanovení kolektivní efektivní dávky pro NNRT ostruhy patní kosti	34
LITERATURA	36

POUŽITÉ ZKRATKY A ZÁKLADNÍ POJMY

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

Doporučení	Doporučení pro zajištění radiační ochrany při nenádorové radioterapii
BJR	British Journal of Radiology
EU	Evropská unie
FS	Velikost pole (Field size)
HVL	Polotloušťka (Half - value layer)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Mezinárodní agentura pro atomovou energii)
MKN-10	Mezinárodní klasifikace nemocí, 10. revize
MU	Monitorovací jednotky
MZ ČR	Ministerstvo zdravotnictví České republiky
NNRT	Nenádorová radioterapie
NRS	Národní radiologický standard
OF	Output faktor(y)
PHD	Procentuální hloubková dávka
PZ	Přejímací zkouška
RO	Radiační onkologie
RT	Radioterapie
rtg	Rentgenový
rtg NNRT	Nenádorová radioterapie s využitím svazků rentgenového záření
SSD	Vzdálenost měřená podél osy svazku záření od zdroje záření ke vstupnímu povrchu ozařovaného objektu (Source to surface distance)
SSDL	Secondary Standards Dosimetry Laboratory
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany, veřejná výzkumná instituce
TLD	Termoluminiscenční dozimetrie
TRS	Technical Report Series
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
ÚZIS	Ústav zdravotnických informací a statistiky
VZP	Všeobecná zdravotní pojišťovna
ZDS	Zkouška dlouhodobé stability
ZIZ	Zdroj(e) ionizujícího záření
ZPS	Zkouška provozní stálosti

Předmluva

Česká republika celosvětově patří mezi země s největším počtem pacientů léčených metodou nenádorové radioterapie, která tak tvoří v ČR významnou součást veškeré radioterapie. Přestože standard pro nenádorovou radioterapii je součástí Národních radiologických standardů MZČR, je mu v klinické praxi věnována menší pozornost než kurativní radioterapii onkologických pacientů. Důvodem je skutečnost, že se většinou jedná o aplikaci významně nižších dávek záření a léčba se týká vyšších věkových kategorií pacientů. Trvalou snahou SÚJB je se průběžně věnovat všem činnostem souvisejícím s lékařským ozářením ve smyslu eliminace nežádoucích zdravotních účinků a napomáhat v hledání optimálních kombinací technických i organizačních podmínek pro dosažení kýžených zdravotních profitů s minimální mírou rizik.

Jedním z hlavních cílů tohoto Doporučení je usnadnit volbu správné dávky a její jednoznačnou specifikaci, které jsou nutnými podmínkami k objektivnímu hodnocení úspěšnosti používaného schématu léčby. Na rozdíl od kurativní radioterapie se volba ozařovacího schématu a hodnocení účinnosti léčby často odvíjí od empirické zkušenosti lékaře, resp. pracoviště. Aby bylo možné později výsledky třídit a vyhodnocovat, bude třeba dosáhnout sjednocení správného postupu při záznamech ozáření a následném sběru dat, jejichž hodnocení je důležitým aspektem následné optimalizace radiační ochrany pacientů.

SÚJB bude proto výsledky sumarizovat a bude tak potřebovat spolehlivé údaje o počtu léčených pacientů podle jednotlivých diagnóz a věkových kategorií (mj. pro potřeby UNSCEAR, EU, IAEA). Při tom bude vhodné využít dat dodávaných pojišťovnám a ÚZISU, ale je žádoucí jejich sběr upřesnit a upravit tak, aby je bylo možné současně využít i pro potřeby národního registru, z něhož by bylo možné stanovit radiační zátěž populace z tohoto způsobu lékařského ozáření.

Doporučení je určeno zejména jednotlivým radioterapeutickým pracovištím, na nichž se provádí nenádorová radioterapie, pro přípravu místních radiologických standardů a pro jejich hodnocení z hlediska zajištění radiační ochrany pracovníků i pacientů podle požadavků Atomového zákona.

1 ÚVOD

Nenádorová radioterapie je kategorií lékařského ozáření, které se provádí u nezhoubných onemocnění s cílem ulevit pacientům od obtíží způsobených onemocněním, případně zabránit zhoršení funkce postiženého orgánu. Přístup k aplikaci nenádorové radioterapie je ovlivněn skutečnostmi,

- že se jedná o ozařování nízkými dávkami (do 10 Gy na povrchu pacienta), což při dodržení pravidel aplikace dávek a kontrol správné funkce ozařovačů prakticky vylučuje možnost poškození pacienta (deterministických účinků).
- že u vyšší věkové kategorie léčených pacientů (většina je nad 40 let) je výrazně sníženo riziko spojené s radiační zátěží.

V případě NNRT může být dodání celkové aplikované dávky ovlivněno i subjektivním pocitem pacienta - snížení či odstranění bolesti spojené s degenerativními poruchami pohybového aparátu. Lékaři se při dávkování v NNRT často řídí vlastní klinickou zkušeností. Předepisování a vykazování dávek aplikovaných pacientům vychází i z praxe jednotlivých pracovišť, jejichž přístup se může lišit. Hodnoty absorbovaných dávek, které jsou vykážány pro cílový objem na jednom pracovišti, mohou být na jiném pracovišti významně odlišné (např. v závislosti na tom, do jaké hloubky je dávka předepsána).

Aby bylo možné výsledky léčby nenádorové radioterapie objektivně hodnotit a aby bylo možné porovnávat účinnosti používaných schémat mezi pracovišti, je třeba, aby se postup aplikujících odborníků při předepisování, stanovování i hodnocení dávek v NNRT sjednotil. Zejména je třeba, aby hodnoty dávek, kterými byl pacient ozářen, byly na všech pracovištích vždy stejně a jednoznačně vykazovány.

1.1. Cíl Doporučení

Cílem Doporučení je poskytnout lékařům se specializovanou způsobilostí v oboru radiační onkologie, radiologickým asistentům a klinickým radiologickým fyzikům podklady pro optimalizaci radiační ochrany pacientů při nenádorové radioterapii, při které se do cílového objemu aplikují nízké dávky s využitím svazků terapeutických rentgenových ozařovačů. Důraz je kladen na zavedení jednotného způsobu předepisování, stanovování a hodnocení dávek.

Doporučení vychází z kapitoly č. 8 NRS–RO [1], která se zabývá NNRT v rozsahu „ozáření degenerativních chorob a problematikou analgetického a protizánětlivého ozařování“. Při přípravě Doporučení byla zohledněna skutečnost, že se v současné době v ČR k nenádorové radioterapii využívají převážně terapeutické rentgenové ozařovače (25 pracovišť), přičemž 6 pracovišť je vybaveno pouze terapeutickým rentgenovým ozařovačem.

Na 19 pracovištích v ČR jsou terapeutické rentgenové ozařovače součástí komplexního vybavení, a proto je zde možné využít k NNRT i lineární urychlovače nebo kobaltové ozařovače. V takovém případě se pro plánování léčby a pro dodání

předepsané dávky do cílového objemu postupuje podle stejných pravidel, jaká platí pro radioterapii radikální (liší se pouze velikost aplikované dávky).

Podle pravidel radikální radioterapie se postupuje zejména v případech radioterapie specifických (nenádorových) nemocí, jako jsou malformace, nezhoubné nádory mozku, prevence vaskulárních cévních restenóz apod., na které se podle NRS–RO [1] vztahují standardy radikální radioterapie, případně standardy vydané jmenovitě pro danou diagnózu.

Součástí tohoto Doporučení je návrh postupu pro stanovení radiační zátěže pacientů, k níž by se mělo přihlížet při hodnocení léčby a při porovnávání různých ozařovacích technik (např. počet polí) a schémat (počet frakcí, počet sérií), která jsou na pracovištích v ČR používána.

V Doporučení je také navržen způsob zaznamenávání údajů, které jsou potřebné pro stanovení radiační zátěže pacientů a pro stanovení kolektivní a populační dávky tak, aby jejich rozsah a struktura byly v souladu s požadavky § 85 Atomového zákona [2].

V Příloze 1 Doporučení je uveden seznam diagnóz nenádorové radioterapie prováděné v ČR (pomocí rtg a cesiových ozařovačů) a počet pacientů pro jednotlivé diagnózy na základě dat VZP. V Příloze 2 jsou uvedeny tabulky orgánových a efektivních dávek z nenádorové radioterapie pro vybrané diagnózy. V Příloze 3 je uveden příklad stanovení kolektivní efektivní dávky pro NNRT ostruhy patní kosti.

AUTOŘI

Tuto publikaci vypracovali:

Ing. Helena Žáčková

Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.

Ing. Ivana Horáková, CSc.

Toto Doporučení bylo vypracováno s podporou projektu TA ČR č. TB02SUJB037.

1.2. Související dokumenty

Doporučení SÚJB:

- Doporučení SÚJB, Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii - rentgenové ozařovače, 2000, Oprava a doplnění - rok 2003, Oprava a doplnění - rok 2007, Oprava a doplnění - rok 2012 [3]
- Doporučení SÚJB, Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii – Stanovení absorbované dávky v léčbě vnějšími svazky záření, 2004 [4]

- Metodika pro stanovení populační dávky z nenádorové radioterapie, SOP 29 SÚRO, 2016 [5]

Národní radiologické standardy:

- Národní radiologické standardy - Radiační onkologie, Věstník MZ ČR, Částka 2/2016, str. 139 – 143 [1]
- Národní radiologické standardy - Radiologická fyzika, Věstník MZ ČR, Částka 6/2015, str. 23 – 24 [6]

2 ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ POUŽÍVANÉ K NENÁDOROVÉ RADIOTERAPII

Zdroje, které se použijí k lékařskému ozáření při NNRT, by měly být voleny v závislosti na hloubce ozařovaného objemu. Jejich přehled s uvedením hloubky referenčního bodu v cílovém objemu je uveden v Tabulce 1. převzaté z německého doporučení DEGRO 2015 [7]. Referenčním bodem se rozumí bod na ose svazku umístěný přibližně uprostřed cílového objemu.

Tabulka 1. Zdroje ionizujícího záření doporučené pro nenádorovou radioterapii.

Typ ozařovače	Energie záření	Hloubka referenčního bodu v cílovém objemu
Povrchový rentgenový ozařovač (superficial X-ray therapy unit)	10 – 50 keV	Povrch
Nízkoenergetický rentgenový ozařovač (low depth X-ray therapy unit)	50 – 100 keV	< 2 cm
Ortovoltážní rentgenový ozařovač (orthovoltage X-ray therapy unit)	100 – 400 keV	< 5 cm
Kobaltový ozařovač	1,17 a 1,33 MeV	< 10 cm
Lineární urychlovač		všechny hloubky
Fotony	6-18 MeV	
Elektrony	6 -21 MeV	
Brachyterapie (⁹⁰ Sr)	2,2 MeV	< 1 cm

Poznámka: V ČR se obvykle používá pojem „terapeutický rentgenový ozařovač“, nikoliv pojmy „povrchový rentgenový ozařovač“, „nízkoenergetický rentgenový ozařovač“ a „ortovoltážní rentgenový ozařovač“, přičemž jeden terapeutický rentgenový ozařovač může mít rozpětí energií od nízkých energií (10 keV) do středních energií (do 300 keV, příp. více).

Z Tabulky 1 vyplývá, že v případě ozařování cílových objemů v hloubce > 5 cm (např. při léčbě artrózy kyčelního kloubu), by vždy měla být dána přednost použití vysokoenergetických ozařovačů, u nichž je navíc možné využít pro plánování léčby plánovací systémy.

Toto Doporučení se věnuje pouze využití svazků terapeutických rentgenových ozařovačů, které jsou v současné době k nenádorové radioterapii (resp. k analgetickému a protizánětlivému ozařování degenerativních chorob) v ČR nejčastěji využívány.

2.1. Zkoušky terapeutických rentgenových ozařovačů

Požadavky na provádění zkoušek terapeutických rentgenových ozařovačů jsou uvedeny v Doporučení SÚJB - Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii - rentgenové ozařovače, 2000, Oprava a doplnění - rok 2003, Oprava a doplnění - rok 2007, Oprava a doplnění - rok 2012 [3].

V současné době je systém zkoušek zdrojů (přejímací zkoušky a pravidelné zkoušky provozní stálosti a dlouhodobé stability), jejichž součástí je i stanovení a pravidelné ověřování hodnot absorbované dávky ve svazcích rentgenového záření, zaveden do rutinní praxe klinických pracovišť a dokumentován podle požadavků Atomového zákona [2] v Programu zajištění radiační ochrany nebo v Programu systému řízení.

Toto nastavení systému, včetně ověření vybraných parametrů nezávislou prověrkou po přejímací zkoušce, zajišťuje, že se na pracovištích v ČR při stanovování dávek pacienta a při ozařování pacientů vždy vychází ze spolehlivých a dostatečně přesných hodnot absorbovaných dávek.

2.2. Parametry stanovované při přejímací zkoušce nutné pro vypracování ozařovacích tabulek

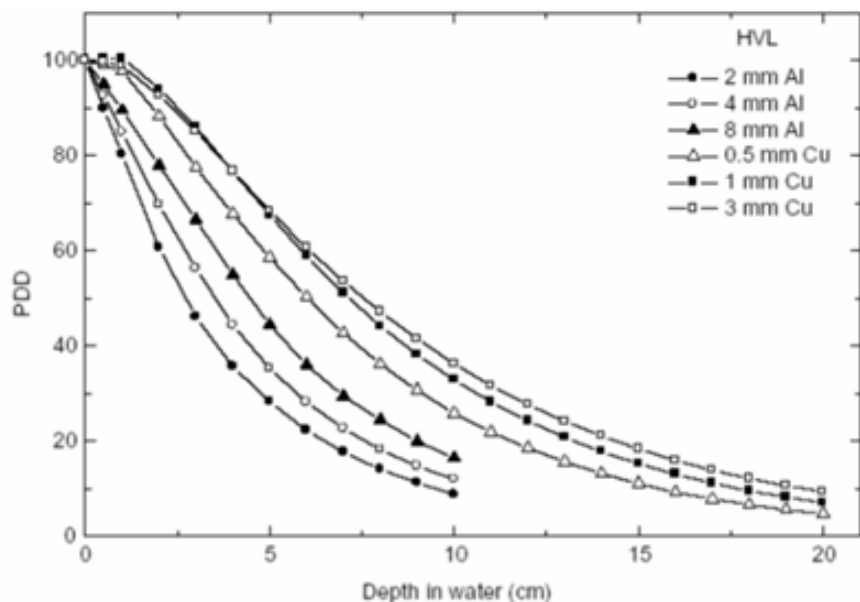
Hodnoty a parametry stanovované při přejímací zkoušce a ověřované při ZDS, které slouží jako výchozí hodnoty pro vypracování ozařovacích tabulek a které musí být uvedeny v Protokolu z přejímací zkoušky, resp. zkoušky dlouhodobé stability jsou: HVL, absorbovaná dávka za referenčních podmínek, faktory velikosti pole pro všechny tubusy, PHD v rozmezí 1 mm – 100 mm. Uvedené veličiny se stanovují pro všechny kvality svazku, které budou užívány v klinické praxi.

Při stanovování hodnot se postupuje podle doporučení SÚJB [4], [8] a TRS 398 [9].

Protokoly z přejímací zkoušky a ze zkoušek dlouhodobé stability patří mezi povinně uchovávanou a systematicky kontrolovanou dokumentaci pracoviště, což minimalizuje pravděpodobnost použití chybných vstupních dat pro další výpočty při plánování léčby a při stanovování dávek pacienta.

Za správnost použití všech dat, ze kterých se vychází při vypracování ozařovacích tabulek, a za správné použití ozařovacích tabulek při plánování léčby je odpovědný klinický radiologický fyzik pracoviště.

Hloubkové dávkové křivky na ose svazku lze nalézt také v literatuře (např. pro účel kontroly naměřených dat), např. BJR 25 [10] nebo TRS 398 [9]. Příklad hloubkových dávkových křivek je uveden na obrázku 1, který je převzat z TRS 398 [9].



Obrázek 13. Hloubkové dávky pro RTG záření středních energií. Převzato z odkazu 81. Popis svazků: 2, 4 a 8 mm Al, 10 cm průměr, 20 cm SSD. 0,5, 1 a 3 mm Cu, 10 x 10 cm, SSD 50 cm.

Obrázek 1. Hloubkové dávky pro rtg záření středních energií [9].

Protože ale není jisté, zda kvalita některého z těchto svazků určená polotloušťkou HVL je totožná s kvalitou svazku uživatele, musí být hloubková dávka na ose každého používaného léčebného svazku stanovena při přejímací zkoušce měřením.

3 SPECIFIKACE A STANOVENÍ DÁVEK PACIENTA PŘI NENÁDOROVÉ RADIOTERAPII

3.1. Požadavky NRS-RO na specifikaci parametrů při ozáření pacienta při NNRT

Požadavky na ozařovací předpis v NNRT jsou uvedeny v Národním radiologickém standardu – radiační onkologie [1] v kapitole 8.2.2.2. Zde jsou uvedeny údaje, které jsou pracoviště povinna o každém ozáření pacienta zaznamenávat. Jedná se jednak o základní údaje o pacientovi:

- identifikační údaje pacienta: jméno, popřípadě jména, příjmení, datum narození, rodné číslo nebo číslo pojištěnce veřejného zdravotního pojištění a kód zdravotní pojišťovny,
- pohlaví pacienta,
- údaje o onemocnění: diagnóza dle MKN,
- vyznačení, že se jedná o nenádorovou radioterapii,
- záznam o předcházející a současné léčbě, zejména informace o předcházejícím ozařování,

jednak o údaje, na jejichž základě je možné kdykoliv provést zpětnou rekonstrukci použité ozařovací techniky a stanovit potřebné hodnoty absorbovaných dávek v těle ozářeného pacienta. Jedná se o tyto parametry:

- určení ozařovací polohy, fixační pomůcky,
- **definování pole (polí), specifikace dávky, ozařovací technika, druh a energie záření, zdroj ionizujícího záření,**
- stínění kritických orgánů,
- celková dávka, dávka na frakci, celkový počet frakcí, počet frakcí týdně,
- je-li relevantní, stranový protokol nebo informace o léčené straně či párovém orgánu.

Standard NRS-RO požaduje, aby nedílnou součástí ozařovacího předpisu byl i popis a grafické znázornění vstupních polí, event. fotografie a simulační snímky z indikace lékaře.

3.2. Nové požadavky na předpis, stanovení a hodnocení dávek při NNRT

V současné době nelze v rentgenové NNRT uplatnit požadavek NRS - Radiologická fyzika [6] na předepisování a hodnocení dávek, který je standardně používán při radikální nádorové radioterapii:

„Mezi dozimetrické veličiny pro stanovení a hodnocení dávek při terapeutickém ozáření v radioterapii patří: střední absorbovaná dávka resp. medián dávky v orgánu nebo tkáni, maximální absorbovaná dávka resp. dávka blízká dávce maximální (near maximum dose D2%) v orgánu nebo tkáni, minimální absorbovaná dávka resp.

dávka blízká dávce minimální (near minimum dose D98%) v orgánu nebo tkáni a dávky doručené určitým objemům orgánů nebo tkání (DVH, dávkově-objemový histogram). Požadovaná přesnost dodání předepsané absorbované dávky do cílového objemu je $\pm 5\%$ “.

Německé doporučení DEGRO 2015 [7] pro předepisování nenádorové radioterapie na terapeutickém rentgenu uvádí: *“V minulosti se dávka počítala na povrchu, kde relativní dávka je 100%. V současné době je vhodnější dodržovat protokoly ICRU 50/62 a normalizovat dávku do referenčního bodu v cílovém objemu. Kvalita svazku by se měla volit tak, aby byl cílový objem obklopen 80% izodózou (odhadnutou z PHD). V důsledku toho by cílové objemy neměly být terapeutickým rentgenovým ozařovačem léčeny v hloubkách větších než 5 cm. V ozařovacím předpisu by měla být uvedena dávka do referenčního bodu v cílovém objemu, maximální dávka v cílovém objemu a minimální dávka v cílovém objemu.”*

Při využívání radioterapeutických rentgenů v NNRT v České republice se v současné době pojem „cílový objem“ v klinické praxi nepoužívá, protože obvykle nejsou jednoznačně geometricky vymezeny struktury, které se ozařují. Lékaři předepisují požadovanou dávku buď jako dávku na povrchu (resp. v maximu dávky) nebo v hloubce, která danou oblast zájmu charakterizuje. Oblastí zájmu se rozumí oblast, která má být ozářena, (ozařovaná oblast). Oblast zájmu tedy vlastně odpovídá cílovému objemu, ale není geometricky vymezena tak, jako cílový objem v radikální radioterapii.

Avšak aby i v rtg NNRT bylo možné dávky pacienta správně aplikovat a výsledky léčby objektivně hodnotit, musí se při předepisování, stanovování a hodnocení dávek postupovat na všech pracovištích jednotně. V ozařovacím předpisu je třeba jednoznačně specifikovat místo, v němž je absorbovaná dávka předepsána a současně je potřeba specifikovat i všechny parametry, které mohou hodnoty dávek ovlivnit.

Při zachování požadavků na ozařovací předpis dle kapitoly 8 v NRS-RO [1] je nezbytné uvádět **specifikaci dávky minimálně v rozsahu:**

- hodnota absorbované dávky na ose svazku ve specifikovaném bodě, který charakterizuje oblast zájmu, přičemž musí být současně specifikována hloubka tohoto bodu, a zároveň
- hodnota povrchové nebo maximální absorbované dávky, která je dosažena na povrchu pacienta nebo v hloubce maxima dávky (resp. v hloubce blízké povrchu, kde je dávka měřitelná) při aplikaci předepsané absorbované dávky do specifikovaného bodu.

Pokud se na pracovišti předepisuje požadovaná dávka jako hodnota povrchové absorbované dávky nebo maximální absorbované dávky, pro kterou se pak z ozařovacích tabulek stanovuje ozařovací čas, resp. počet MU, musí být v dokumentaci pacienta současně uvedena i hodnota absorbované dávky na ose svazku ve specifikovaném bodě, který charakterizuje oblast zájmu. Pro vykazování

(a případně i při porovnávání) aplikovaných absorbovaných dávek je pak rozhodující tato hodnota.

V případě, že je ozáření cílového objemu plánováno ze dvou (případně i více) polí, musí být v dokumentaci pacienta uvedena hodnota celkové aplikované absorbované dávky dosažené ve specifikovaném bodě v oblasti zájmu od všech aplikovaných polí. Pro každé aplikované pole je potřeba současně uvést i hodnoty dodaných povrchových absorbovaných dávek nebo maximálních absorbovaných dávek. V případě, že se jedná o protilehlá pole, je vhodné uvést i hodnotu dávky výstupní (pro určení celkové dávky, kterou je zatížen povrch pacienta).

Do budoucna by bylo vhodné předepisovat dávku v souladu s doporučením DEGRO 2015 [7], zejména pro oblasti ozařované z více polí.

Pro potřeby stanovení radiační zátěže pacienta je potřebná znalost – kromě hodnot absorbovaných dávek v cílovém objemu - i orgánových dávek v tkáních, které jsou významné z hlediska radiační zátěže (viz Příloha 2).

3.3. Plánování léčby zářením v NNRT a ozařovací tabulky

Při plánování léčby zářením v NNRT se stanovuje počet MU nebo ozařovací čas, který je potřeba, aby se pro zvolené ozařovací podmínky dosáhla v oblasti zájmu požadovaná hodnota absorbované dávky.

V současné době se v rentgenové radioterapii v ČR nepoužívají plánovací systémy, které by umožňovaly stanovovat distribuci dávek jako v případě využití svazků vysokoenergetického záření X a elektronů.

Pro plánování léčby v NNRT se používají ozařovací tabulky, které musí umožnit, aby na základě předpisu lékaře (obsahujícího požadovanou dávku ve specifikované hloubce, energii svazku, velikost pole, SSD) radiologický asistent nebo radiologický fyzik s jejich pomocí stanovil počet MU nebo ozařovací čas nutný pro dodání požadované absorbované dávky do specifikovaného bodu umístěného v hloubce nebo na povrchu ozařovaného pacienta.

Zároveň musí být možné (ne nutně z ozařovacích tabulek) stanovit dávku na povrchu nebo v hloubce maxima dávky (resp. v hloubce blízké povrchu, kde je dávka měřitelná), pokud byla lékařem předepsána dávka v referenčním bodě v cílovém objemu (v oblasti zájmu), nebo dávku v referenčním bodě v cílovém objemu (oblasti zájmu), pokud byla lékařem předepsána dávka na povrch pacienta nebo do hloubky maxima dávky.

Ozařovací tabulku vypracuje klinický radiologický fyzik pracoviště nebo osoba provádějící PZ, a to na základě dat z PZ nebo výchozí ZDS a na základě specifikace, v jaké formě má být tabulka vypracována a jaké údaje v ní mají být vzhledem ke zvyklostem pracoviště (dávky na povrchu vs. dávky v určité hloubce).

Ozařovací tabulka by měla obsahovat informace, na základě jakých dat je vypracována, aby bylo možné provádět kontrolu těchto dat v průběhu jejich

používání a aby bylo možné provádět aktualizaci ozařovací tabulky po servisních či jiných zásazích do systému, které by mohly tato výchozí data ovlivnit.

Ozařovací tabulky musí být před použitím v klinické praxi v plném rozsahu zkontrolovány osobou odlišnou od osoby, která je vypracovala. O této kontrole musí být u tabulky k dispozici písemný doklad podepsaný kontrolující osobou.

V rámci následujících ZDS osoba řídící ZDS v součinnosti s místním klinickým radiologickým fyzikem ověří platnost používaných ozařovacích tabulek v rozsahu uvedeném v metodice ZDS. Měl by se ověřit soulad hodnot MU (času) spočtených z ozařovacích tabulek pracoviště s hodnotami spočtenými na základě dat změřených při ZDS pro různé nereferenční tubusy v různých nereferenčních hloubkách a pro různé energie. Doporučuje se provést i ověření měřením v několika vybraných bodech.

3.4. Přístup k hodnocení radiační zátěže pacienta z NNRT

Stanovení rizika indukce přídatných letálních nádorů spojených s ozářením by se mělo provádět na základě hodnocení epidemiologických studií. Pro NNRT ale nejsou v současné době takové studie k dispozici.

Při NNRT (na rozdíl od radikální radioterapie) se připouští pro stanovení počtu letálních nádorů indukovaných zářením použití veličiny efektivní dávka a hodnoty 5,5 % na Sv. Takto stanovené hodnoty mohou sloužit k optimalizaci postupu při provádění NNRT a k porovnávání jednotlivých modalit lékařského ozáření.

Celkový přehled karcinogenního rizika při léčbě benigních onemocnění a přístupu k jeho hodnocení je možno nalézt např. v práci Broerse a kol.[11] anebo v [7].

Poznámka: Při NNRT se nejedná o léčbu spojenou se záchranou života, jako je tomu v případě radikální radioterapie, kdy je cílem dosažení vysokých dávek v cílovém objemu při současné minimalizaci možných deterministických účinků ve zdravých tkáních. Při radikální radioterapii při nízkém tkáňovém faktoru může a relativně nízkých hodnotách pro řadu dalších tělesných tkání tak může mít velké ozáření parciální části těla za následek značné ekvivalentní dávky místním tkáním, třebaže odpovídající efektivní dávka může být nízká. Pro posouzení možnosti výskytu nežádoucích účinků mimo cílový objem (akutních i pozdních) konkrétního pacienta se proto použití veličiny efektivní dávka nedoporučuje [12] a hodnocení se provádí na základě porovnávání dávek v kritických orgánech s dávkově objemovými kritérii (DVH) pro tyto orgány a s využitím dalších možných způsobů hodnocení efektivity a rizika RT (např. stanovením NTCP).

3.5. Efektivní dávka

Efektivní dávka je dána součtem součinů ekvivalentních dávek v orgánech nebo tkáních, které mohou ovlivnit celkovou radiační zátěž pacienta, a příslušných tkáňových váhových faktorů.

Pro rtg záření jsou ekvivalentní dávky v započítávaných orgánech nebo tkáních rovny jejich orgánovým dávkám. U nízko-dávkové NNRT se pro stanovení efektivní dávky započítávají i ekvivalentní (resp. orgánové) dávky ozařovaných tkání.

Postup pro stanovení střední dávky v orgánech nebo tkáních při RT je popsán v NRS Radiologická fyzika [6] a v [13].

Stanovení efektivních dávek v NNRT:

- Hodnoty orgánových dávek pro vybrané diagnózy NNRT, které byly stanoveny měřeními s TLD umístěnými v mužském antropomorfním fantomu v rámci řešení projektu TAČR (TB02SUJB037), je možné nalézt v Příloze 2. V tomto případě bylo stanovení orgánových dávek provedeno pro referenčního muže (tedy ne pro konkrétního pacienta, ale pro standardního muže) a pro jednoznačně popsanou ozařovací techniku.
- V případě, že jsou pro danou techniku ozáření k dispozici hodnoty orgánových dávek, resp. ekvivalentních dávek, je možné přiřadit jim příslušné tkáňové váhové faktory [12] a provést součet přes všechny orgány (viz Příloha 2). V klinické praxi rtg NNRT, kdy se pro výpočet aplikované absorbované dávky používají ozařovací tabulky, je individuální stanovování dávek v orgánech a tkáních prakticky vyloučeno.
- V případě, že nejsou hodnoty orgánových dávek k dispozici, lze pro danou resp. podobnou ozařovací techniku, použít hodnotu efektivní dávky uvedenou v literatuře [7][11] [14]. Typické hodnoty efektivních dávek pro vybrané diagnózy NNRT je možné nalézt v Příloze 2.

Hodnoty efektivních dávek spolu se znalostí počtu ozáření pro jednotlivé diagnózy NNRT slouží k výpočtu kolektivní efektivní dávky.

Veličina efektivní dávka nesmí být použita k hodnocení individuálního rizika spojeného s daným ozářením konkrétního pacienta. Lze ji použít pouze pro porovnávání radiační zátěže z různých cest a způsobů ozáření. Její stanovování a interpretace musí být z výše uvedených důvodů vždy prováděny s velkou opatrností.

4. STANOVENÍ KOLEKTIVNÍ EFEKTIVNÍ DÁVKY Z NENÁDOROVÉ RADIOTERAPIE A JEJÍHO PŘÍSPĚVKU K POPULAČNÍ DÁVCE

4.1. Stanovení příspěvku ozáření z nenádorové radioterapie k populační dávce

Populační dávkou se rozumí součet kolektivních efektivních dávek pro jednotlivé způsoby ozáření obyvatelstva. Pro hodnocení lékařského ozáření je důležitá také znalost počtu a věkové distribuce ozářených pacientů.

Stanovení populační dávky z lékařského ozáření obecně slouží k následujícím účelům:

1. sledování časového trendu ozáření populace z lékařského ozáření,
2. určení příspěvku jednotlivých modalit lékařského ozáření k populační dávce,
3. porovnání míry ozáření mezi jednotlivými zeměmi,
4. porovnání ozáření populace z lékařského ozáření s ozářením z ostatních umělých a přírodních zdrojů,

Populační dávka z lékařského ozáření se stanovuje především pro hodnocení ozáření populace při aplikaci zobrazovacích a intervenčních metod v radiologii.

NNRT představuje jen malý příspěvek k lékařskému ozáření, který se týká specifické skupiny (převážně) starších pacientů. Protože však ČR patří k zemím s největším počtem pacientů léčených NNRT, považuje se za vhodné zhodnotit v rámci lékařského ozáření i příspěvek z této modality.

Stanovení příspěvku NNRT k populační dávce z lékařského ozáření se provádí jako součet kolektivních efektivních dávek stanovených pro všechny pacienty ozářené v ČR ve sledovaném období pro diagnózy NNRT. Důležitá je znalost počtu ozářených pacientů a jejich věková struktura, počtu ozařovacích polí, počtu frakcí ozáření a ozařovacích sérií pro jednotlivé diagnózy nenádorové radioterapie.

Pro stanovení příspěvku ozáření z nenádorové radioterapie k populační dávce lze použít Metodiku SÚRO [5].

Při hodnocení populační dávky a při stanovování a používání veličiny kolektivní efektivní dávka musí být uplatňována stejná opatrnost a musí být respektována stejná „omezení“ jako v případě stanovení a použití veličiny efektivní dávka, jak je uvedeno v kapitole 3.5.

4.2. Stanovení kolektivní efektivní dávky při NNRT

Kolektivní efektivní dávka při ozáření pacientů v rámci dané diagnózy NNRT se stanoví jako součet součinů typické efektivní dávky na jednu frakci ozáření a počtu frakcí ozáření aplikovaných (všem) pacientům léčeným pro tuto diagnózu za sledované období.

Stanovení typických hodnot efektivních dávek pro vybrané diagnózy je uvedeno v kap. 3.5. a v Příloze 2.

Počty frakcí ozáření pro jednotlivé diagnózy se získají z dat Všeobecné zdravotní pojišťovny (VZP). Přepočet na celkový počet pro populaci obyvatel České republiky se provede s využitím porovnání dat VZP, dat Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR (ÚZIS) a dat z dotazníků, jež pro SÚRO vyplnila zdravotnická zařízení (viz Metodika SÚRO [5]).

V případě, že pacient podstupuje druhou, případně i třetí sérii ozáření, je celkový počet frakcí dán součtem frakcí přes všechny aplikované série. Doporučuje se, aby se registrovaly počty pacientů, kterým byla při léčbě dané diagnózy aplikována druhá a třetí série.

S pomocí veličiny kolektivní efektivní dávka je možné hodnotit i radiační zátěž pacientů, která je spojena s daným způsobem ozáření používaným na pracovišti při NNRT pro konkrétní diagnózu.

Pro její stanovení se vychází z hodnoty absorbované dávky na jednu frakci stanovenou na ose svazku v bodě, který charakterizuje oblast zájmu (viz kapitola 3.3.). Počty pacientů a počty aplikovaných frakcí se získají ze statistického zhodnocení záznamů vedených v dokumentaci pracoviště.

Příklad stanovení kolektivní efektivní dávky pro NNRT ostruhy patní kosti je uveden v Příloze 3.

4.3. Rozsah a způsob sběru dat pro stanovení kolektivních efektivních dávek pacientů a pro stanovení populační dávky

Rozsah a způsob sběru dat pro stanovení dávek pacientů, na jejichž základě lze stanovit kolektivní efektivní dávky, resp. populační dávku v ČR, je upraven požadavkem §82 vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, který ošetřuje požadavek na sledování dávek z lékařského ozáření.

Data o léčených (tj. ozářených) pacientech v předepsaném formátu, která jsou součástí dat předávaných zdravotním pojišťovnám, lze považovat za objektivní údaje, které je možné využít pro stanovení frekvence výkonů v závislosti na věku a pohlaví. V současné době je možné využít data předávaná VZP, v budoucnu bude možné zpracovávat i data ostatních pojišťoven. V případě potřeby se údaje doplňují o data ÚZIS, případně o data z vlastního šetření (viz Metodika SÚRO [5]).

4.4. Přístup ke zpracování dat pro vlastní potřeby pracoviště

Data předávaná pojišťovnám lze využít i jako podklady pro hodnocení léčby na vlastním pracovišti.

Pro zdravotnická zařízení provádějí zpracování dat pro zdravotní pojišťovny obvykle samostatná oddělení nebo externí subjekty. Doporučuje se, aby držitelé povolení těch zdravotnických zařízení, v nichž se NNRT provádí, zajistili /resp. umožnili/, aby se statisticky zpracovaná data o frekvenci výkonů (počtu frakcí, počtu ozáření

a počtu ozařovacích sérií) v závislosti na věku a pohlaví pro jednotlivé diagnózy za dané období předávala zpět na oddělení radiační onkologie (minimálně 1x ročně). Tím by se na pracovišti NNRT zjednodušilo provádění pravidelného hodnocení výsledků léčby, protože by se nemusely tyto údaje zbytečně (a časově náročně) znovu vyhledávat v dokumentaci jednotlivých pacientů.

Kromě důležité informace o (věkové) skladbě léčených pacientů by tak pracoviště mělo k dispozici údaje potřebné pro hodnocení účinnosti ozařovací techniky, která se na pracovišti používá k léčbě vybrané diagnózy: pro každou diagnózu by bylo možné hodnotit počty pacientů podle celkových hodnot absorbovaných dávek (aplikovaných do bodu, který charakterizuje ozařovanou strukturu) v závislosti na počtu aplikovaných frakcí.

Důležitým kritériem hodnocení (ne)úspěšnosti léčby by mohlo být hodnocení počtu pacientů, které bylo potřeba léčit opakovaně ve druhé nebo třetí sérii.

Příklad zhodnocení situace pro NNRT ostruhy patní kosti je uveden v Příloze 3.

Pro hodnocení efektivity používané techniky by bylo vhodné používat **údaj o odezvě léčby** (snížení bolesti). Tento údaj by se měl jednoduchým způsobem (např. bodovým hodnocením) zaznamenávat do dokumentace pacienta. **Hodnocení odezvy léčby by mohlo významně přispět k optimalizaci léčby a tím (nepřímo) ke snížení radiační zátěže pacientů.**

Vzhledem k tomu, že při plánování léčby protizánětlivé NNRT je nejdůležitějším kritériem snížení bolesti ozařované struktury, bylo by vhodné věnovat této problematice pozornost v rámci Společnosti radiační onkologie, biologie a fyziky (SROBF ČLS J.E.P.) a zpracovat požadavek na klasifikaci odezvy pro hodnocení efektivity léčby do příštího standardu NRS-radiační onkologie.

5. ZÁSADY BEZPEČNÉHO PROVÁDĚNÍ A OPTIMALIZACE NENÁDOROVÉ RADIOTERAPIE

Přejímací zkoušky, zkoušky dlouhodobé stability, zkoušky provozní stálosti

1. Při stanovování absorbované dávky za referenčních podmínek - při zkouškách PZ a ZDS je třeba věnovat pozornost stanovování nejistot, např. při jejich vyčíslování správně rozlišovat $k=1$ a $k=2$, zohledňovat všechny dílčí nejistoty, např.:
 - odlišnou velikost referenčního pole (při měření na pracovišti oproti v SSDL)
 - odlišnou referenční hloubku (při měření na pracovišti oproti v SSDL)
 - odlišnou vzdálenost zdroj – povrch fantomu (při měření na pracovišti oproti v SSDL).
2. Zajistit dodržování stejné geometrie pro měření polotloušťky při PZ, ZDS a ZPS.
3. Věnovat pozornost kalibračním a ověřovacím listům (podmínkám stanovení, napětí na komoře, nejistotám,...)
4. Používat doporučený formalismus pro stanovení dávky. Pro stanovení dávky by se měl používat dávkový, nikoliv kermový formalismus (stanovení dávky dle TRS 398 pomocí komor kalibrovaných ve vodním fantomu ve veličině dávka ve vodě).
5. Kontrolovat používané ozařovací tabulky. Držitelé povolení by měli při PZ i všech ZDS kontrolovat správnost a všechny náležitosti používaných ozařovacích tabulek. Nutná součást metodik zkoušek.

Klinická praxe – ozařovací předpis, stanovování a hodnocení léčby

6. V případě ozařování cílových objemů v hloubce větší než 5 cm používat přednostně vysokoenergetických ozařovačů
7. Při volbě ozařovací techniky dávat přednost technice, která zajišťuje homogenní rozložení dávky v cílovém objemu (volba dvou protilehlých polí před jedním přímým polem, zejména pro cílové objemy, které leží ve větší hloubce).
8. V předpisu rtg NNRT uvádět kromě současných parametrů podle NRS-RO [1]:
 - hodnotu **absorbované dávky na ose svazku ve specifikovaném bodě, který charakterizuje oblast zájmu**
 - hloubku specifikovaného bodu, který na ose svazku charakterizuje oblast zájmu
 - hodnotu **povrchové (maximální) absorbované dávky**, která je dosažena na povrchu pacienta při aplikaci předepsané absorbované dávky do specifikovaného bodu v oblasti zájmu
 - v případě aplikace dvou a více polí - hodnoty povrchových dávek pro všechna pole
 - v případě aplikace dvou protilehlých polí - i hodnoty výstupních dávek.

9. Indikace a záznam každého ozáření při rtg NNRT zaznamenávat nesmazatelnou formou v okamžiku provedení ozáření do dokumentace pacienta. Používat při rtg NNRT stranový protokol v papírové formě.
10. Zavést alespoň jednoduché - např. bodové - hodnocení odezvy léčby (snížení bolesti), které by mělo být zaznamenáno v dokumentaci pacienta.
11. Pravidelně **hodnotit efektivitu ozařovacích technik s využitím informace o odezvě léčby** a provádět **optimalizaci volby** ozařovacích parametrů (za účelem snížení radiační zátěže pacienta).
12. Zajímat se o radiační zátěž pacientů, která je spojena s jejich léčbou pro danou diagnózu. V případě potřeby umět stanovit velikost kolektivní efektivní dávky pro vybranou skupinu pacientů (s využitím znalosti použité ozařovací techniky a počtu ozářených pacientů).
13. V případě, že je zdůvodněno ozáření pacienta ve věku pod 40 let, věnovat velkou pozornost jeho radiační zátěži, resp. určit velikost orgánových dávek, která je s tímto ozářením spojena.
14. Věnovat zvýšenou pozornost předpisu a hodnocení dávky v případě využití technik ozáření z více polí.

Další doporučení pro provádění nenádorové radioterapie lze nalézt např. v dokumentech DEGRO [7][15], [16], [17].

PŘÍLOHY

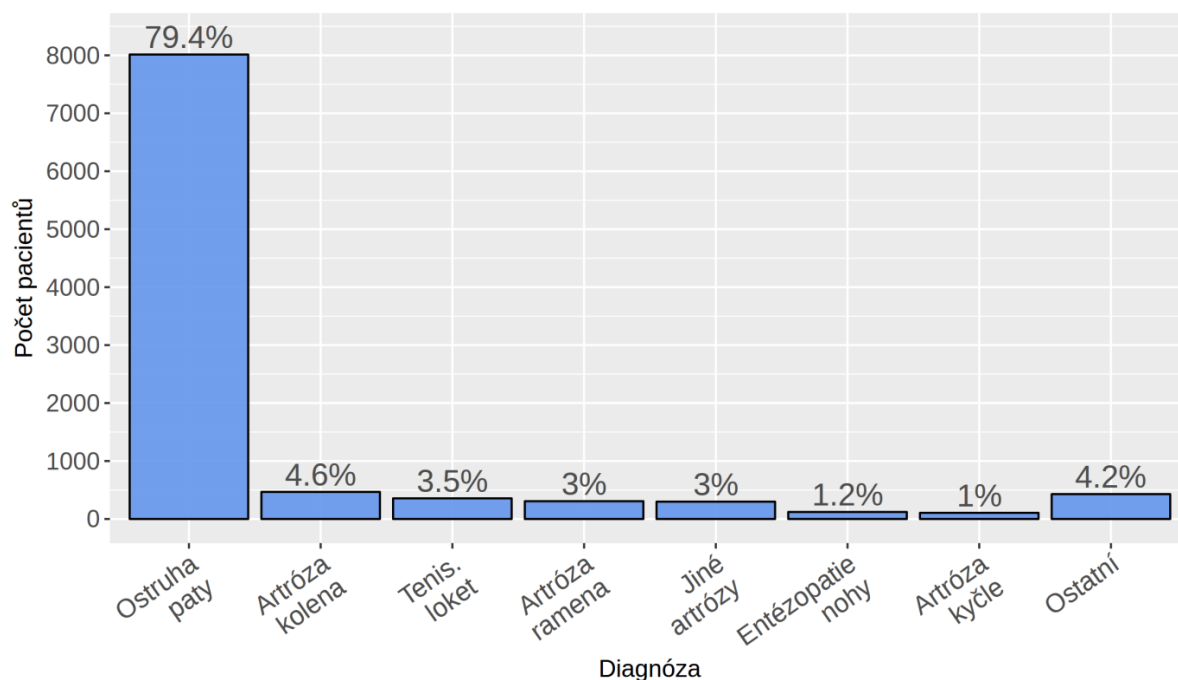
Příloha 1: Rozsah nenádorové radioterapie prováděné v ČR podle údajů VZP

Kód diagnózy	Název diagnózy	Počet pacientů VZP za rok 2013
M77.3	Ostruha patní kosti	8014
M17	Artróza kolena	467
M77.0 + M77.1 + M77.4	Oštěpařský loket + tenisový loket + jiné entézopatie	434
M75	Poškození ramene	307
M19	Jiné artrózy	299
M15 + M16	Polyartróza + artróza kyčelního kloubu	144
M76	Entézopatie dolní končetiny, tendinitis	121
M77.5+M77.9	Jiné entézopatie	78
M18	Artróza kloubu palce (Karpometakarpální kloub)	75
M20 + M21	Deformity prstů rukou a nohou + získané deformity končetin	63
M25	Jiné poruchy kloubů	63
L6	Nemoci kožních adnex	61
M5	Degenerativní onemocnění páteře	55
L2 + L3 + L4	Dermatitidy	42
M65 + M67 + M68	Synovitis a tendovitis (zánět šlach) + jiná onemocnění synoviální blány a šlachy	33
M70.1 +M70.5	Burzitidy ruky a kolene	13
M6 + M7	Onemocnění měkké tkáně	13
M02 + M13	Artopatie + jiná artritida	11
M06 + M11 + M12	Jiná revmatická artritida + jiné artopatie	11
M70.6	Burzitidy trochanteru	9
M89	Jiné onemocnění kosti	8
M77.2	Ztuhlé vazy zápěstí	7
L8	Jiné nemoci kůže a podkožního vaziva	5
M059	Séropozitivní revmatická artritida NS	5
M72	Kontrakce vaziva dlaně (M. Dupuytren)	3
M45	Ankylozující spondylitida	2
M71	Jiné burzitidy, burzopatie	2
L03	Flegmóna	2
M86	Osteomyelitida – zánět kostní dřeně	2
S520	Zlomenina horního konce loketní kosti	2
M47	Spondylóza (jiná)	1
B029	Pásový opar - herpes	1

L97	Vřed dolní končetiny	1
M308	Polyarteritis nodosa a příbuzné stavy	1
M4800	Jiné spondylopatie - zúžení páteře	1
S434	Podvrtnutí a natažení ramenního kloubu	1
S832	Přetržení (odtržení, natržení) menisku	1
S930	Vymknutí kotníku	1
L02.4 + L02.9	Kožní absces	0
L91	Keloidní jizva	0
N48.6	Fibrosní zatuhnutí penisu (Morbus peyrone)	0
M43	Jiná deformující dorzopatie (např. kloub páteře)	0

Poznámka: Diagnózy dle MKN-10, kterých se týká standard NRS-RO [1] a které jsou uvedeny v jeho kapitole č. 8.1.1., jsou v tabulce vyznačeny tučně.

Graficky je rozsah nenádorové radioterapie prováděné v ČR podle údajů VZP znázorněn níže na obrázku:



Počet pacientů vykázaných v roce 2013 VZP představuje přibližně 63 % pacientů ze všech pojištěných. Data VZP se vztahují pouze pro pacienty ozařené svazky terapeutických rtg ozařovačů a cesiových ozařovačů. Pacienti NNRT, kteří byli léčeni na kobaltovém ozařovači nebo na lineárním urychlovači, nejsou do uvedených počtů započítáni. Dle dat ÚZIS pro rok 2013 tvoří celkový počet polí ozařených v rámci nenádorové radioterapie na kobaltovém ozařovači přibližně 7 % celkového počtu polí ozařených v rámci nenádorové radioterapie na terapeutickém rentgenovém ozařovači nebo na radionuklidovém cesiovém ozařovači. Pro lineární urychlovač je tento analogický poměr 0,6 %. Do uvedených počtů nejsou započítáni

také pacienti podstupující ozáření nenádorovou brachyradiumterapií, prováděnou pomocí rádiových „krabiček“ v Léčebných lázních Jáchymov.

Pro radioterapii specifických (nenádorových) nemocí, jako jsou malformace, nezhoubné nádory mozku, prevence vaskulárních cévních restenóz apod., které vyžadují specifické přístupy k plánování a dávkování (podobné postupům v radikální radioterapii) se vztahuje standard radikální radioterapie případně standard specifický pro RT dané diagnózy. Těmto diagnózám je potřeba věnovat samostatnou pozornost.

Příloha 2: Tabulky orgánových a efektivních dávek z nenádorové radioterapie

Pro potřeby stanovení radiační zátěže pacienta je potřebná znalost – kromě hodnot absorbovaných dávek v cílovém objemu – i hodnot orgánových dávek v tkáních, které jsou významné z hlediska radiační zátěže.

V rámci řešení projektu TA ČR (TB02SUJB037) provedl Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. (SÚRO) měření dávek pacienta pro dvě vybrané diagnózy nenádorové radioterapie. Konkrétně bylo provedeno stanovení orgánových a efektivních dávek pro:

1. terapeutické rentgenové ozáření ostruhy patní kosti na rentgenovém ozařovači Wolf T-200
2. terapeutické rentgenové ozáření pravého kyčelního kloubu na rentgenovém ozařovači Wolf T-200

Stanovení dávek pacienta bylo provedeno dle metodiky SÚRO SOP27 – Metodika pro stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie. Měření orgánových dávek bylo provedeno v mužském antropomorfním Rando fantomu pomocí termoluminiscenčních dozimetrů MCP-N (LiF).

Měření na rtg ozařovači Wolf T-200 byla provedena pro typické podmínky ozáření (geometrie svazků, napětí rentgenky, atd.). Tyto údaje získalo SÚRO z dotazníků z jednotlivých radioterapeutických pracovišť.

Stanovené orgánové dávky jsou uvedeny v Tabulkách 1 a 2. Stanovené efektivní dávky pro měření na rentgenovém ozařovači Wolf T-200 jsou uvedeny v Tabulce 3.

Celková nejistota stanovení orgánových dávek pomocí TLD není v uvedené metodice vyčíslena zejména díky komplikovanému a problematickému vyjádření nejistot vztahených k neúplnému pokrytí objemu jednotlivých orgánů dozimetry. Celková nejistota stanovení efektivní dávky pro referenčního pacienta a pro lékařské expozice může být až 40%.

Poznámka: *S ohledem na časovou náročnost měření orgánových dávek pomocí termoluminiscenčních dozimetrů, by bylo pravděpodobně vhodnější používat pro stanovování orgánových dávek metodu Monte Carlo. Tato metoda nebyla při řešení projektu použita.*

Tabulka 1: Orgánové dávky stanovené pro terapeutické ozáření ostruhy patní kosti na rtg ozařovači

orgán	orgánová dávka na frakci [mGy] ¹	celková orgánová dávka [mGy] ²
prostata	0,7	3,3
močový měchýř	0,3	1,3
tenké střevo	0,1	0,4
tlusté střevo	0,1	0,3
žlučník	<0,1	0,2
ledviny	<0,1	0,2
žaludek	<0,1	0,1
slinivka	<0,1	0,1
játra	<0,1	0,1
slezina	<0,1	0,1
nadledviny	<0,1	0,1
pľíce	<0,1	0,1
srdce	<0,1	0,1
prsa	<0,1	0,7
jícen	<0,1	<0,1
brzlík	<0,1	<0,1
štítná žláza	<0,1	<0,1
slinné žlázy	<0,1	<0,1
sliznice dutiny ústní	<0,1	<0,1
mozek	<0,1	<0,1
oční čočka	<0,1	<0,1
varlata	1,1	5,6
kostní dřeň	-	-
povrch kostí	-	-
kůže (pánev)	0,4	2,1
kůže (hrudník)	0,1	0,5
kůže (hlava a krk)	<0,1	0,1

¹ Orgánové dávky se vztahují k dávce na povrchu fantomu 1 Gy.

² Orgánové dávky se vztahují k dávce na povrchu fantomu 5 Gy.

Orgánová dávka se v tomto případě nestanovovala v kostní dřeni a na povrchu kostí.

Podmínky ozáření: Fantom leží na břiše, napětí rentgenky: 160 kV, Filtrace: 0,5 mm Cu (polotloušťka 0,80 mm Cu), 1 pole: tubus 6x10 cm², plantárně.

Tabulka 2: Orgánové dávky stanovené pro terapeutické ozáření pravého kyčelního kloubu na rtg ozařovači

orgán	orgánová dávka na frakci [mGy] ¹	celková orgánová dávka [mGy] ²
prostata	198	989
močový měchýř	166	829
tenké střevo	30,6	153
tlusté střevo	19,1	95,5
žlučník	6,8	34,2
ledviny	6,0	29,8
žaludek	2,0	10,2
slinivka	4,1	20,4
játra	2,8	14,2
slezina	1,8	8,8
nadledviny	3,0	15,2
plíce	0,4	2,2
srdce	0,4	2,2
prsa	0,5	2,5
jícen	0,2	1,1
brzlík	0,1	0,5
štítná žláza	0,1	0,4
slinné žlázy	<0,1	0,2
sliznice dutiny ústní	<0,1	0,3
mozek	<0,1	0,1
oční čočka	0,1	0,4
varlata	454*	2271
kostní dřeň	75,9	380
povrch kostí	83,6	418
kůže (pánev)	238	1191
kůže (hrudník)	7,5	37,5
kůže (hlava a krk)	0,1	0,4

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

² Orgánové dávky se vztahují k dávce na povrchu fantomu 5 Gy pro AP pole a PA pole.

* Orgánová dávka ve varlatech je spočtena jako průměr dávky (na 1 frakci) v levém varleti (65,9 mGy; levé varle se nachází vně pole svazku) a v pravém varleti (829 mGy; pravé varle se nachází v poli svazku).

Podmínky ozáření: AP pole (fantom leží na zádech) + PA pole (fantom leží na břiše), napětí rentgenky: 160 kV, filtrace: 0,5 mm Cu (polotloušťka 0,80 mm Cu), tubus 10x15 cm².

V oblasti pravého kyčelního kloubu (v oblasti zájmu) byly změřeny pomocí TL dozimetrů absorbované dávky 347 mGy, 363 mGy a 378 mGy).

Tabulka 3: Efektivní dávky stanovené pro terapeutické ozáření ostruhy patní kosti a pravého kyčelního kloubu na rtg ozařovači

	terapeutické ozáření ostruhy patní kosti	terapeutické ozáření pravého kyčelního kloubu
efektivní dávka E pro předepsanou dávku na frakci 1 Gy na povrchu (vypočtená podle ICRP 103 [12])	0,2 mSv	59,5 mSv (pro varlata částečně v poli svazku) 28,5 mSv (pro varlata vně pole svazku)
efektivní dávka E pro celkovou předepsanou dávku 5 Gy na povrchu (vypočtená podle ICRP 103)	1 mSv	298 mSv (pro varlata částečně v poli svazku) 143 mSv (pro varlata vně pole svazku)
efektivní dávka E pro předepsanou dávku na frakci 1 Gy na povrchu (vypočtená podle ICRP 60 [18])	0,3 mSv	113 mSv (pro varlata částečně v poli svazku) 35,5 mSv (pro varlata vně pole svazku)
efektivní dávka E pro celkovou předepsanou dávku 5 Gy na povrchu (vypočtená podle ICRP 60)	1,5 mSv	565 mSv (pro varlata částečně v poli svazku) 178 mSv (pro varlata vně pole svazku)

Poznámka: Pro porovnávací účely jsou v tabulce uvedeny efektivní dávky spočtené jednak podle doporučení ICRP 103, jednak podle doporučení ICRP 60.

Podmínky ozáření ostruhy patní kosti: Fantom leží na břiše, napětí rentgenky: 160 kV, filtrace: 0,5 mm Cu (polotloušťka 0,80 mm Cu), 1 pole: tubus 6x10 cm².

V efektivní dávce pro ozáření ostruhy patní kosti není zahrnut příspěvek kostní dřevě a povrchu kostí.

Podmínky ozáření pravého kyčelního kloubu: AP pole (fantom leží na zádech) + PA pole (fantom leží na břiše), napětí rentgenky: 160 kV, filtrace: 0,5 mm Cu (polotloušťka 0,80 mm Cu), tubus 10x15

Pro výpočet efektivních dávek v Tabulce 3 byly použity tkáňové váhové faktory podle doporučení ICRP 103 [12] a ICRP 60 [18] (viz Tabulka 4).

Tabulka 4: Tkáňové váhové faktory w_T podle ICRP 103 [12] a ICRP 60 [18]

Tkáň	w_T dle ICRP 103	w_T dle ICRP 60
Gonády	0,08	0,20
Kostní dřevina (červená)	0,12	0,12
Plíce	0,12	0,12
Mléčná žláza	0,12	0,05
Štítná žláza	0,04	0,05
Povrch kostí	0,01	0,01
Zbytek tkání*	0,12	0,05
Tlusté střevo	0,12	0,12
Žaludek	0,12	0,12
Močový měchýř	0,04	0,05
Játra	0,04	0,05
Jícen	0,04	0,05
Kůže	0,01	0,01
Slinné žlázy	0,01	-
Mozek	0,01	-

* Zbytek tkání dle ICRP 103: nadledvinky, horní cesty dýchací (Extrathoracic Region), žlučník, srdce, ledviny, lymfatické uzliny, svalstvo, sliznice dutiny ústní, slinivka, prostata (♂), tenké střevo, slezina, brzlík, děloha/hrdlo (♀).

Zbytek tkání dle ICRP 60: nadledviny, mozek, horní část tlustého střeva (upper large intestine), tenké střevo, ledviny, svalstvo, slinivka, slezina, brzlík, děloha (♀).

Publikované efektivní dávky z nenádorové radioterapie, včetně hodnot stanovených SÚRO, jsou uvedeny v Tabulce 5. Efektivní dávky uvedené v této tabulce jsou spočteny podle doporučení ICRP 60 [18].

Tabulka 5: Publikované efektivní dávky při nenádorové radioterapii

diagnóza česky	diagnóza anglicky	autoři	rok vydání publikace	země	ozařovací svazky	celková předepsaná dávka* [Gy]	efektivní dávka E pro muže [mSv]	efektivní dávka E pro ženu [mSv]	způsob stanovení E	ozařovací pole	poznámky
orbitopatie při Graves – Basedowě nemoci	Graves’ orbitopathy	Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Holandsko	5 MV (urychlovač)	20	65	-	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 18 cm ² , 5x5 cm	Také stanovovali orgánové dávky.
		Jansen [14] Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	12 MV (urychlovač)	16	34	-	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 17 cm ² , adjustované pole	
		Akmansu [20]	2003	Turecko	6 MV (urychlovač)	20 (10x2Gy)	67	-	měření s TLD na mužském Rando fantomu, pomocí TPS stanovili dávky v blízkých orgánech (mozek, kost, oční bulva)		dávka v oční čočce 103 mGy, kostní dřeň: 523 mGy, štítná žláza: 21 mGy, plíce: 4 mGy, jícen: 5 mGy, povrch kostí: 81 mGy, kůže: 29 mGy, mozek: 47 mGy
patní ostruha	Heel spur	Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	200 kV (rentgen)	6	4,8	5,0	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 80 cm ² , pole 10x8 cm	koleno ohnuto o 90°
		Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	200 kV (rentgen)	12	9,5	9,9	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 80 cm ² , pole 10x8 cm	koleno ohnuto o 90°

		Dufek a kol. [21]	2015	ČR	160 kV (rentgen)	5	1,5	-	měření s TLD na mužském Rando fantomu	průměrná velikost pole na kůži 60 cm ² , pole 10x6 cm	V efektivní dávce (spočtené dle ICRP 60) není zahrnut příspěvek kostní dřeně a povrchu kostí. Také stanovovali orgánové dávky.
		Surenkok [22]	2006	Turecko	300 kV (rentgen), 60Co, 137Cs	6,2 až 12 (průměr 8,2)	135	135	měření s TLD- 100 na speciálním fantomu paty	-	Do výpočtu E zahrnuli pouze dávku na kůži a na povrchu kostí, předpokládali, že v patě není kostní dřev
	Hydradenitis suppurativa	Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Holandsko	4,5 MeV (urychlovač)	6	-	16	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 309 cm ²	
hyper- produkce kosti v okolí kloubu	Heterotopic ossification	Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	60Co	7	163	203	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 79 cm ² , individuální bloky v AP a PA směru	
		Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	6 MV (urychlovač)	7	241	300	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 165 cm ² , individuální bloky v AP a PA směru	

		Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	12 MV (urychlovač)	7	293	310	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 183 cm ² , individuální bloky v AP a PA směru	
		Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	15 MV (urychlovač)	7	270	303	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 165 cm ² , individuální bloky v AP a PA směru	
artritida ramena	Omarthritis	Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	200 kV (rentgen)	12	153	185	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 150 cm ²	
		Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	200 kV (rentgen)	6	76	93	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 150 cm ²	
artritida kolena	Gonarthrit	Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	200 kV (rentgen)	12	-	26	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 150 cm ²	
		Jansen [14], Seegenschmiedt [19]	2005, 2008	Německo	200 kV (rentgen)	6	-	13	Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	průměrná velikost pole na kůži 150 cm ²	
artróza kyčelního kloubu	Coxartrosis	Dufek a kol. [21]	2015	ČR	160 kV (rentgen)	5	178	-	měření s TLD na mužském Rando fantomu	průměrná velikost pole na kůži 150 cm ² , pole 15x10 cm, AP + PA pole	Ef. dávky spočtené dle ICRP 60. Varlata vně pole svazku. Také stanovovali orgánové dávky.

ankylózní spondylitida (Morbus Bechtěrev)	Ankylosing spondylitis	Lewis [23]	1988	Velká Británie	rentgenové svazky (nespecifiková ny)	nespecifikováno (průměrná dávka na 1 pole cca 15 Gy, průměrný počet polí 3,5)	-	-	stanovení orgánových dávек na základě zaznamenaných dat o ozáření (velikosti pole, dávka na kůži, SSD) a Monte Carlo simulace na matematickém fantomu	nespecifikováno, standardně se používají 4 velká pole pokrývající páteř	Stanovovali pouze orgánové dávky.
artróza a spondylitida (oblast krční páteře)	Arthrosis a spondylitis (oblast krční páteře)	Damber [24]	2002	Švédsko	180-200 kV (rentgen)	3 až 6 Gy (průměrná dávka na kůži)	-	-	stanovení orgánové dávky ve štítné žláze na základě znalosti dávky na kůži a hloubkové dávkové křivky	dorsální pole 10x15 cm	Stanovovali pouze dávku na kůži a ve štítné žláze. Většinou 3 frakce (dávka na kůži při každé frakci typicky 100-200 R). Průměrná dávka ve štítné žláze 1 Gy. Nespecifikovali použitý detektor.
nenádorové gynekolog. choroby	Metropathia hemorrhagica (dysfunctional uterine bleeding)	Sakata [25]	2012	USA	rentgenové svazky (nespecifiko vány) + Ra-226	3 až 12	-	-	měření s TLD na antropomorfním fantomu		Stanovovali pouze orgánové dávky.

Efektivní dávky jsou vypočteny podle doporučení ICRP 60 [18].

** V práci [14] a [19] je celková dávka předepsána do referenčního bodu (umístěného v určité hloubce) v cílovém objemu. V práci [21] je celková dávka předepsána do referenčního bodu umístěného na povrchu fantomu. V dalších pracích není umístění referenčního bodu, do něhož je předepsána celková dávka, specifikováno.*

Příloha 3: Příklad stanovení kolektivní efektivní dávky pro NNRT ostruhy patní kosti

V Tabulce 6 je uvedeno srovnání podmínek ozáření pacientů při rtg NNRT ostruhy patní kosti pro čtyři vybraná pracoviště.

Ve 2. až 4. sloupci tabulky jsou uvedeny základní ozařovací podmínky používané jednotlivými pracovišti: velikosti používaných přímých polí, hodnoty polotlouštěk (HVL) a hodnoty procentuálních hloubkových dávek (PHD) v hloubce 2 cm, které odpovídají ozařovacím podmínkám používaným na jednotlivých pracovištích.

V 5. sloupci jsou uvedeny hodnoty absorbovaných dávek na 1 frakci na povrchu (v maximu), které jednotlivá pracoviště aplikují pro léčbu dané diagnózy. Při tom pracoviště 1, 2 a 4 absorbovanou dávku na povrchu (v maximu) i předepisují. Pro pracoviště 3, které aplikovanou absorbovanou dávku předepisuje v hloubce 1 cm, byla dávka na povrchu (v maximu) dopočítána.

V 6. sloupci jsou pak uvedeny hodnoty absorbovaných dávek, které jsou na jednotlivých pracovištích při jedné frakci aplikovány v hloubce 2 cm, což je předpokládaná hloubka referenčního bodu pro ostruhu patní kosti. Tyto hodnoty byly stanoveny z povrchových (maximálních) dávek s využitím příslušných PHD.

Dále je pro jednotlivá pracoviště uveden v 7. sloupci počet frakcí aplikovaných na pracovišti v rámci jedné ozařovací série. Pro daný počet frakcí jsou pak v 8. sloupci uvedeny celkové absorbované dávky na povrchu (v maximu) a v referenčním bodě v hloubce 2 cm (9. sloupec) pro jednu ozařovací sérii. Při tom:

- Hodnoty celkových absorbovaných dávek v referenčním bodě v hloubce 2 cm by se měly používat pro porovnávání aplikovaných dávek mezi pracovišti.
- Hodnoty celkových povrchových absorbovaných dávek by se měly používat jako výchozí hodnoty pro stanovení hodnot efektivních dávek pro jednu ozařovací sérii. Při výpočtu lze hodnotě absorbované dávky 1 Gy na povrchu pacienta přiřadit efektivní dávku 0,2 mSv stanovenou na základě měření SÚRO s využitím tkáňových váhových faktorů dle ICRP 103 [12].

Hodnoty takto stanovených efektivních dávek pro jednu ozařovací sérii jsou pro jednotlivá pracoviště uvedeny ve sloupci 10. Celková efektivní dávka pro jednoho pacienta je dvojnásobná, pokud pacient podstoupí dvě série a trojnásobná při ozáření třemi sériemi. Z tohoto důvodu jsou v tabulce ve sloupcích 12, 13 a 14 uvedeny počty pacientů, kteří byly na jednotlivých pracovištích ozáření jednou, dvěma nebo třemi sériemi. Protože tyto počty byly převzaty z údajů VZP, která v roce 2013 představuje přibližně 63 % pacientů ze všech pojišťoven, je skutečný celkový počet pacientů ozářených na jednotlivých pracovištích příslušně vyšší.

Celkové kolektivní efektivní dávky v manSv pro uvedené počty pacientů (VZP) se zohledněním počtu sérií jsou uvedeny v posledním sloupci tabulky.

Tabulka 6: Příklad efektivních dávek pro jednu ozařovací sérii a kolektivních efektivních dávek pro lékařské ozáření ostruhy patní kosti při rtg NNRT na čtyřech vybraných pracovištích v ČR

	Ozařovací podmínky			Dávka na 1 frakci		Počet frakcí	Celková dávka na 1 sérii		Efektivní dávka na 1 sérii [mSv]	Počty pacientů VZP léčených rtg NNRT				Kolektivní efektivní dávka pro dané pracoviště [manSv]
Pracoviště	Velikost pole [cm]	HVL [mm Cu]	PHD pro hloubku 2 cm [%]	Dávka na povrchu (v maximu) [Gy]	Dávka v ref. bodě 2 cm [Gy]		Dávka na povrchu (v maximu) [Gy]	Dávka v ref. bodě 2 cm [Gy]		celkový počet	z toho léčených			
											jednou sérií	dvěma sériemi	třemi sériemi	
1	6x8	0,12	67 %	1*	0,67	4	4	2,7	3,2	844	695	146	3	0,8
2	6x8	0,84	88%	0,5*	0,44	6	3	2,6	2,4	557	520	37	0	0,4
3	6x8	0,96	81%	0,81**	0,66	8	6,5	5,3	5,2	197	159	30	8	0,3
4	8x8	1,3	86%	1,5*	1,29	4	6	5,2	4,8	318	281	35	2	0,4

*dávka byla předepsaná k povrchu (maximu)

**dávka byla předepsaná do 1 cm (0,75 Gy)

PHD...procentuální hloubková dávka

LITERATURA

- [1] *NRS-RO. Národní radiologické standardy - Radiační onkologie.* In: Věstník MZ ČR, částka 2/2016, str. 139–143.
- [2] Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon.
- [3] Doporučení SÚJB: Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii - rentgenové ozařovače. Praha: SÚJB, 2000. Oprava a doplnění 2003, Oprava a doplnění 2007, Oprava a doplnění 2012).
- [4] Doporučení SÚJB: Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii - Stanovení absorbované dávky v léčbě vnějšími svazky záření. Praha: SÚJB, 2004.
- [5] Metodika pro stanovení populační dávky z nenádorové radioterapie, SOP 29. Praha: SÚRO, 2016.
- [6] *NRS-RF. Národní radiologické standardy - Radiologická fyzika.* In: Věstník MZ ČR, částka 6/2015, str. 23–24.
- [7] DEGRO 2015. B.Reichl, at al. DEGRO practical guidelines for radiotherapy of non-malignant disorders, Part I: physical principles, radiobiological mechanisms and radiogenic risk. *Strahlenther Onkol*, 2015, **191**(9), str. 701-709.
- [8] Doporučení SÚJB: Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii a radiodiagnostice - Vyjádření a používání nejistot v klinické dozimetrii, 2016.
- [9] Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: an international Code of Practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. IAEA Technical Reports Series. 2000, STI/DOC/010/398.
- [10] BJR 25. British Institute of Radiology: Central Axis Depth Dose Data for Use in Radiotherapy, Brit. J. Radiol. Suppl. 17, 1996.
- [11] BROERSE, J.J., JANSEN, J. T. M., ZOETELIEF, J., SEEGENSCHMIEDT, M. H. Assessment of carcinogenic risks in radiotherapy of benign diseases. In: *Proceedings of Radiation Protection Symposium of the North West European RP Societies*. Utrecht: IRPA, 2003, s. 255-262.
- [12] ICRP Publikace 103: Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany. 2007.
- [13] Metodika pro stanovení dávky pacienta z nenádorové radioterapie, SOP 27, SÚRO, 2016.
- [14] Jansen J.Th.M, Broerse J.J., Zoetelief J., Klein C., Seegenschmiedt M.H.: Estimation of the Carcinogenic Risk of Radiotherapy of Benign Diseases from Shoulder to Heel, (2005), *Radiotherapy and Oncology*, 76 : 270 -277.
- [15] O.J.Ott et al. DEGRO guidelines for the radiotherapy of non-malignant disorders, Part II: Painful degenerative skeletal disorders, *Strahlenther Onkol*, 191(1), 1-6, 2015.

- [16] M.H.Seegenschmiedt et al. DEGRO guidelines for the radiotherapy of non-malignant disorders, Part III: Hyperproliferative disorders, *Strahlenther Onkol*, 191(7), 541-548, 2015.
- [17] G.Reinartz et al. DEGRO practical guidelines for the radiotherapy of non-malignant disorders, Part IV: Symptomatic functional disorders, *Strahlenther Onkol*, 191(4), 295-302, 2015.
- [18] ICRP 60. ICRP Publikace 60: Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany, 1990.
- [19] Seegenschmiedt H M et al. Radiotherapy for Non-Malignant Disorders. Heidelberg: Springer; 2008.
- [20] Akmansu M et al. The risk of radiation-induced carcinogenesis after external beam radiotherapy of Graves' orbitopathy. *Ophthalmic Res.* 2003;35:150-3.
- [21] Dufek a kol. Stanovení dávky pacienta při nenádorové radioterapii v ČR, přednáška na konferenci Dny radiační ochrany, Mikulov, 11. 11. 2015.
- [22] Surenkok S et al. Heel spur radiotherapy and radiation carcinogenesis risk estimation. *Radiat Med.* 2006;8:573-6.
- [23] Lewis C A et al. Estimated radiation doses to different organs among patients treated for ankylosing spondylitis with a single course of X rays. *Br J Radiol.* 1988;61:212-20.
- [24] Damber L et al. Thyroid cancer after X-ray treatment of benign disorders of the cervical spine in adults. *Acta Oncol.* 2002;41:25-8.
- [25] Sakata R et al. Cancer mortality following radiotherapy for benign gynecologic disorders. *Radiat Res.* 2012;178:266-79.