

**NÁRODNÍ RADIOLOGICKÉ STANDARDY - RADIOLOGICKÁ FYZIKA
„POSTUPY PRO STANOVENÍ A HODNOCENÍ DÁVEK PACIENTŮ
PŘI LÉKAŘSKÉM OZÁŘENÍ“**

**Soubor doporučení a návod pro tvorbu místních radiologických postupů (standardů)
na pracovištích radiologických oborů v České republice.**

Vydává Ministerstvo zdravotnictví ČR
ve spolupráci
se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost
Českou společností fyziků v medicíně, o.s.
a Státním ústavem radiační ochrany, v.v.i.

Ministerstvo zdravotnictví vydává podle § 70 odst. 5 zákona č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zákon o zdravotních službách), ve znění pozdějších předpisů Národní radiologické standardy – radiologická fyzika „Postupy pro stanovení a hodnocení dávek pacientů při lékařském ozáření“.

Těmito Národními radiologickými standardy se nahrazují Národní radiologické standardy – Radiologická fyzika, které byly vydány ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví (ročník 2011, částka 9).

Poskytovatel poskytující zdravotních služby, jejichž součástí je lékařské ozáření své místní radiologické standardy a postupy uvede do souladu s těmito Národními radiologickými standardy, nejpozději do 1 roku od jejich vydání ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví ČR.

Do doby, než poskytovatel uvede své místní radiologické standardy do souladu s těmito národními radiologickými standardy, postupuje podle Standardů zdravotní péče, Národních radiologických standardů – radiologická fyzika „Postupy pro stanovení a hodnocení dávek pacientů při lékařském ozáření“ vydaných Ministerstvem zdravotnictví ČR ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví České republiky ročník 2011 částka 9 (na stranách 24 až 98).

OBSAH

Obecná část	
1. Účel dokumentu	
2. Zkratky	
3. Seznam tabulek	
Speciální část	
KAPITOLA A: Stanovení a hodnocení dávek pacientů v rentgenové diagnostice a při intervenčních metodách	
Část A.1: Stanovení a hodnocení dávek pacientů pomocí místních diagnostických referenčních úrovní	
Část A.2: Stanovení a hodnocení orgánových dávek	
Část A.3: Definice použitých dozimetrických veličin.....	
Část A.4: Návrh obsahu provozních deníků pro radiodiagnostická vyšetření.....	
KAPITOLA B: Stanovení a hodnocení dávek pacientů při lékařském ozáření v radioterapii	
Část B.1: Tabulky pro stanovení radiační zátěže dospělého pacienta z verifikačních zobrazovacích metod radioterapie.....	
KAPITOLA C: Stanovení a hodnocení dávek pacientů při diagnostických a léčebných aplikacích otevřených radionuklidových zářičů	
Diagnostická aplikace radiofarmak	
Léčebná aplikace radiofarmak.....	
Část C.1: Tabulky pro stanovení radiační zátěže při diagnostických aplikacích v nukleární medicíně pro standardní pacienty - dospělí, děti 15, 10, 5 a 1 rok	
Použitá literatura	
1. Odborná literatura.....	
2. Další literatura	
3. Seznam literatury k Tabulce 8.....	

Obecná část

1. Účel dokumentu

Jedním ze základních principů radiační ochrany (tj. ochrany osob a životního prostředí před účinky ionizujícího záření) je princip optimalizace.

Základem pro posouzení, zda je radiační ochrana pacientů¹ na určitém pracovišti optimalizována, jsou kvantitativní údaje, ze kterých je možno odvodit velikost ozáření jednotlivých pacientů.

Účelem tohoto dokumentu je poskytnout pracovištím radiologických oborů návrhy standardních postupů pro stanovení a hodnocení dávek pacientů při lékařském ozáření v souladu s ustanovením § 70 odst. 5 zákona č. 373/2011 Sb., ve znění pozdějších předpisů a čl. 56 Směrnice Rady 2013/59/EURATOM ze dne 5. 12. 2013.

Při klinickém auditu bude posuzována míra shody mezi obecnými návrhy standardů a vlastními postupy pracoviště.

Pojmy *stanovení dávek* a *hodnocení dávek* mají v mezinárodních dokumentech podle použitého kontextu následující významy:

stanovení dávek pacientů

1. postup, kterým se ze zaznamenaných údajů o lékařském ozáření a na základě znalosti relevantních fyzikálně - technických parametrů zdroje ionizujícího záření použitého k tomuto ozáření stanoví hodnoty veličin, kterými lze *hodnotit dávku* pacientů, například porovnáním s příslušnou diagnostickou referenční úrovní;
2. postup, kterým se s přijatelnou přesností stanoví hodnoty veličin důležitých pro posuzování rizika nežádoucích účinků ionizujícího záření (střední absorbovaná dávka v orgánu nebo tkáni, maximální absorbovaná dávka v orgánu nebo tkáni);
3. postup, kterým se pro standardní průběh vyšetření pro standardního pacienta stanoví typická hodnota efektivní dávky pro dané vyšetření.

hodnocení dávek pacientů

1. postup, při kterém posuzujeme, zda poskytovatel zdravotních služeb vyhovuje diagnostickým referenčním úrovním;
2. postup, při kterém posuzujeme riziko nežádoucích účinků ionizujícího záření u jednotlivce srovnáním dávek v rizikových orgánech s tolerančními hodnotami pro tyto orgány;
3. porovnání stanovené hodnoty efektivní dávky pro standardní průběh vyšetření s hodnotou uvedenou ve zprávách UNSCEAR, doporučeních EU a dalších mezinárodních dokumentech.

Při použití pojmů *stanovení dávek* a *hodnocení dávek* v dalším textu tohoto dokumentu bude vždy v příslušné části textu upřesněno, jaký význam tato slovní spojení v daném kontextu mají. Konkrétní postupy jsou vysvětleny pro rentgenovou diagnostiku a intervenční metody v kapitole A, pro radioterapii v kapitole B a pro metody nukleární medicíny v kapitole C.

Pro účely tohoto dokumentu se dále rozumí:

Místní diagnostickou referenční úrovní hodnotu příslušné dávkové veličiny, která je pro konkrétní zdravotnické zařízení a určitý místní radiologický standard stanovena jako aritmetický průměr z průměrných hodnot těchto veličin z jednotlivých vyšetřoven / přístrojů zdravotnického zařízení. Hodnoty místních diagnostických referenčních úrovní jsou součástí místních radiologických standardů.

¹ Pro zjednodušení budeme v dalším používat výraz "pacient" jak pro pacienty, tak pro osoby, které se účastní vyhledávacího vyšetření (screeningu).

2. Zkratky

AEC	expoziční automat (automatic exposure control)
CoR	Royal College of Radiographers
CT	výpočetní tomografie (computed tomography)
DRÚ	diagnostická referenční úroveň (diagnostic reference level - DRL)
HVL	polotloušťka
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IPEM	Institute of Physics and Engineering in Medicine
IPSM	Institute of Physical Sciences in Medicine
KAP metr	měřidlo součinu kermy a plochy (v praxi někdy používán pojem DAP metr)
MDRÚ	místní diagnostická referenční úroveň
MIRD	Medical Internal Radiation Dose
MZ ČR	Ministerstvo zdravotnictví České republiky
NDRÚ	národní diagnostická referenční úroveň
NRPB	National Radiation Protection Board, od r. 2005 součást Health Protection Agency
PMMA	plexisklo
OPG	zubní panoramatická skiografie
PACS	picture archiving and communication systems
PCXMC	PC program for X-ray Monte Carlo
PMMA	polymethylmethakrylát
SEM	standardní chyba průměru
SG	obecná skiografie (general radiography)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
TLD	termoluminiscenční dozimetr
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
VN	vysoké napětí
ZDS	zkouška dlouhodobé stability

projekce:

AP	předozaďní
CC	kraniokaudální
CRAN	kraniální
LAT	boční
LAT L	boční zleva
LAT R	boční zprava
LS	lumbosakrální
PA	zadopřední
OBL	šikmá

3. Seznam tabulek

KAPITOLA A

Tabulka A1.1: Přehled veličin doporučených pro stanovení diagnostické referenční úrovně.....	
Tabulka A3.1: Konverzní faktory g.....	
Tabulka A3.2: Korekční faktory s pro používané kombinace anoda/filtr.....	
Tabulka A3.3: Korekční faktory s pro kombinaci W anoda - Al filtr.....	
Tabulka A3.4: Konverzní faktory c pro ženy s věkem 50-64 let.....	
Tabulka A3.5: Konverzní faktory c pro ženy s věkem 40-49 let.....	
Tabulka A3.6: Ekvivalence tloušťek PMMA fantomů a komprimovaného prsu pro ženy s věkem 40-49 let.....	
Tabulka A4.1 : Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (Skiografie).....	
Tabulka A4.2: Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (Mamografie).....	
Tabulka A4.3: Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (CT).....	
Tabulka A4.4: Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (Skiaskopie).....	
Tabulka A4.5: Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (Zubní vyšetření).....	

KAPITOLA B

Tabulka B1.1: Orgánové dávky (v mGy) z kV CBCT skenů změřené na systémech OBI a XVI při nastavení parametrů zobrazení uvedených v Tab. 6.....	
Tabulka B1.2: Orgánové dávky (v mGy) ze dvou ortogonálních kV snímků změřené na systémech OBI a XVI při nastavení parametrů zobrazení uvedených v Tab. 6.....	
Tabulka B1.3: Orgánové dávky (v mGy) ze dvou ortogonálních MV snímků změřené na urychlovačích Elekta Synergy a Varian Clinac při nastavení parametrů zobrazení uvedených v Tab. 6.....	
Tabulka B1.4: Orgánové dávky (v mGy) z MV CBCT skenů změřené urychlovači Siemens Artiste při nastavení parametrů zobrazení uvedených v Tab. 6.....	
Tabulka B1.5: Orgánové dávky (v mGy) změřené při IMRT prostaty a IMRT hlavy a krku.....	
Tabulka B1.6: Parametry nastavení a vypočtené efektivní dávky pro jednotlivé verifikační metody radioterapie vztažené na jeden CBCT sken nebo na jeden pár snímků.....	
Tabulka B1.7: Tabulka pro záznam údajů o verifikačním ozáření pacienta a pro odhad efektivní dávky.....	
Tabulka B1.8: Rešerše literatury k verifikačním metodám.....	
Tabulka B1.9: Tabulka pro zaznamenání způsobu použití verifikačních metod v průběhu celého kurzu radioterapie na daném pracovišti pro usnadnění stanovení celkové efektivní dávky.....	
Tabulka B1.10: Schémata použití verifikačních metod při radioterapii prostaty na vybraných pracovištích v ČR.....	
Tabulka B1.11: Schémata použití verifikačních metod při radioterapii hlavy a krku na vybraných pracovištích v ČR.....	

KAPITOLA C

Tabulka C1.1: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Dospělí).....

Tabulka C1.2: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Děti 15 let).....

Tabulka C1.3: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Děti 10 let).....

Tabulka C1.4: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Děti 5 let).....

Tabulka C1.5: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Děti 1 rok)

Speciální část

KAPITOLA A: STANOVENÍ A HODNOCENÍ DÁVEK PACIENTŮ V RENTGENOVÉ DIAGNOSTICE A PŘI INTERVENČNÍCH METODÁCH

V rentgenové diagnostice a při intervenčních metodách se v rámci poskytovatele zdravotních služeb stanovuje a hodnotí primárně diagnostické referenční úrovně (část A.1).

V relevantních případech se stanovují a hodnotí orgánové dávky (část A.2). Stanovení a hodnocení typické efektivní dávky pro dané vyšetření se standardně neprovádí, a proto není ani součástí tohoto dokumentu.

V části A.3 jsou uvedené definice dozimetrických veličin použitých v tomto dokumentu.

V části A.4 je uveden návrh zaznamenávání relevantních veličin pro stanovení a hodnocení dávek pacientů u jednotlivých modalit (provozní deník).

Část A.1: Stanovení a hodnocení dávek pacientů pomocí místních diagnostických referenčních úrovní

A1.1 Místní diagnostické referenční úrovně (MDRÚ)

Místní diagnostická referenční úroveň pro dané vyšetření je jedno číslo reprezentující poskytovatele zdravotních služeb jako celek. Stanovuje se jako průměrná hodnota ze středních (typických) dávek z jednotlivých přístrojů.

A1.2 Stanovení a hodnocení MDRÚ

1. Proces začíná výběrem vyšetření a sběrem dat o ozáření pacientů (dávkovou studii) pro tato vyšetření.
2. Stanoví se střední (typické) dávky na každý přístroj pro skupinu standardních pacientů nebo fantomů jako průměrná hodnota příslušné dozimetrické veličiny.
3. Vypočte se průměrná hodnota ze středních (typických) dávek z jednotlivých přístrojů pro daný výkon. Pokud se daný výkon na některém přístroji provádí výjimečně, pak není účelné střední (typickou) dávku pro tento přístroj použít k stanovení MDRÚ.
4. Hodnota se zaokrouhlí nahoru a vyjádří pomocí dvou platných čísel.
5. Tato hodnota se porovná s NDRÚ, pokud jsou k dispozici. V případě, že je hodnota vyšší než NDRÚ, zjistí se příčiny a zjistí se, zda lze dávky snížit. Pokud šetření ukáže, že je na některém přístroji praxe neoptimalizovaná, provede se optimalizace a dávková studie se zopakuje. Pokud šetření ukáže, že praxe je optimalizovaná a dávky snížit nelze, zdravotnické zařízení musí zdůvodnit, proč je pro dané vyšetření MDRÚ vyšší než NDRÚ.
6. Výsledná hodnota je MDRÚ pro daný výkon a zdravotnické zařízení.

A1.3 Výběr vyšetření pro stanovení středních dávek a MDRÚ

Výběr vyšetření, pro která se stanoví střední dávka a následně MDRÚ, je v kompetenci daného poskytovatele zdravotních služeb. Přednostně se stanovují pro vyšetření:

- pro které je stanovena NDRÚ a je zároveň ve zdravotnickém zařízení běžně prováděno,
- ze všech zobrazovacích modalit, které jsou ve zdravotnickém zařízení k dispozici,
- reprezentativní z hlediska klinického provozu zdravotnického zařízení,
- významná z hlediska radiační zátěže pacienta,
- prováděná v rámci zdravotnického zařízení pomocí významně odlišné techniky (expoziční parametry, clonění, ...) a odlišného vybavení (různé receptory obrazu, různé typy generátorů VN, ...),
- prováděná pomocí významně odlišné techniky (expoziční parametry, clonění, ...) a odlišného vybavení (různé receptory obrazu, různé typy generátorů VN, ...) než u ostatních poskytovatelů zdravotních služeb.

Není účelné stanovovat střední dávky a následně MDRÚ pro všechna prováděná rentgenová vyšetření nebo intervenční výkony.

A1.4 Standardní pacienti a fantomy pro stanovení středních dávek a MDRÚ

Skupinou standardních pacientů se rozumí skupina alespoň deseti pacientů, ženy i muži dohromady (pro intervenční výkony je žádoucí použít pacientů více).

Pro intervenční kardiologické výkony je průměrná hmotnost ve skupině $80 \text{ kg} \pm 5 \text{ kg}$ a hmotnost jednotlivých pacientů je v rozmezí 60 – 100 kg.

Pro skiografii, skiaskopii, výpočetní tomografii a ostatní intervenční výkony je průměrná hmotnost ve skupině $70 \text{ kg} \pm 5 \text{ kg}$ a hmotnost jednotlivých pacientů je v rozmezí 50 – 90 kg.

Pro zubní intraorální a panoramatické vyšetření je postačující stanovit střední (typickou) dávku na přístroj na základě standardního expozičního nastavení, které je pro všechny dospělé pacienty stejné.

V mamografii jsou standardní tloušťky prsu po kompresi 2,1 cm, 3,2 cm, 4,5 cm, 5,3 cm, 6 cm, 7,5 cm a 9 cm. Střední (typická) dávka na přístroj se přednostně stanoví z klinických expozičních nastavení pro jednotlivé pacientky postupem uvedeným v bodě A3.5, nebo se použije dávková indikace zařízení, kterou je třeba ověřit (je možné použít ověření indikace dávky uvedené v ZDS). Použije se maximální rozmezí $\pm 2 \text{ mm}$ kolem definované standardní tloušťky prsu po kompresi pro prsa do 5,3 cm a maximální rozmezí $\pm 5 \text{ mm}$ pro prsa 6 cm a více. Střední dávku na přístroj je také možné stanovit na základě standardního expozičního nastavení pro mamografické PMMA fantomy (tloušťky 2 cm, 3 cm, 4 cm, 4,5 cm, 5 cm, 6 cm a 7 cm) způsobem uvedeným v bodě A3.5.

A1.5 Veličiny pro vyjadřování středních dávek a MDRÚ

Střední dávky a MDRÚ se stanovují v přímo měřitelných veličinách. Výjimkou je mamografie, kde se střední dávka a MDRÚ stanovuje jako střední dávka v mléčné žláze.

Přehled veličin, vhodných jednotek a způsobu získání jednotlivých hodnot je pro jednotlivé zobrazovací modalit uveřejněn v tabulce A1.1 U zobrazovacích modalit s více navrženými veličinami je preferovaná veličina zvýrazněna tučně. U CT je doporučeno stanovit DRÚ v obou uvedených veličinách.

Zobrazovací modalita	Veličina vhodná pro vyjádření DRÚ	Symbol (jednotka)	Doporučený způsob stanovení
Obecná skiografie (SG)	Vstupní povrchová kerma na jeden snímek	K_e (mGy)	Výpočet z měření K_e na fantomu při zkoušce dlouhodobé stability nebo výtěžnosti a záznamu expozičních parametrů
	Součin kermy a plochy pro celé vyšetření nebo na jeden snímek	P_{KA}, KAP (mGy.cm ²)	Indikace KAP metru nebo rentgenového zařízení
Zubní intraorální skiografie	Dopadající kerma	K_i (mGy)	Měření při zkoušce dlouhodobé stability, TLD audit
	Součin kermy a plochy	P_{KA}, KAP (mGy.cm ²)	Indikace rentgenového zařízení
Zubní panoramatická skiografie (OPG)	Součin kermy a plochy	P_{KA}, KAP (mGy.cm ²)	Měření při zkoušce dlouhodobé stability, indikace rentgenového zařízení
Zubní CT (CBCT)	Součin kermy a plochy	P_{KA}, KAP (mGy.cm ²)	Měření při zkoušce dlouhodobé stability, indikace rentgenového zařízení
Mamografie	Střední dávka v mléčné žláze na jednu projekci	D_G, MGD, AGD (mGy)	Výpočet ze záznamu expozičních parametrů, dávková indikace rentgenového zařízení, nebo měření pro mamografické PMMA fantomy
Skiografie/skiaskopie, angiografie, intervence vyjma výpočetní tomografie	Součin kermy a plochy na celé vyšetření	P_{KA}, KAP (Gy.cm ²)	Indikace KAP metru nebo rentgenového zařízení
Výpočetní tomografie (CT) včetně CT intervencí	Součin kermy a délky pro CT	$P_{KL,CT}$ (mGy.cm)	Indikace rentgenového zařízení (indikováno jako DLP)
	Objemový kermový index výpočetní tomografie	C_{VOL} (mGy)	Indikace rentgenového zařízení

Tabulka č. A1.1: Přehled veličin doporučených pro stanovení diagnostické referenční úrovně.

A1.6 Revize MDRÚ

Po prvotním stanovení se MDRÚ revidují jednou ročně. Není ale nutné každoročně opakovat dávkovou studii na všech přístrojích.

Revize může být provedena na základě revize standardních postupů a kontroly, že se nic nezměnilo ve vybavení. Součástí této revize je posouzení, zda provedené změny nemohly ovlivnit patientskou dávku.

Z každého přístroje je ale třeba provést skutečný sběr dat alespoň jednou za tři roky, přičemž to nemusí být pro všechny přístroje provedeno ve stejném roce.

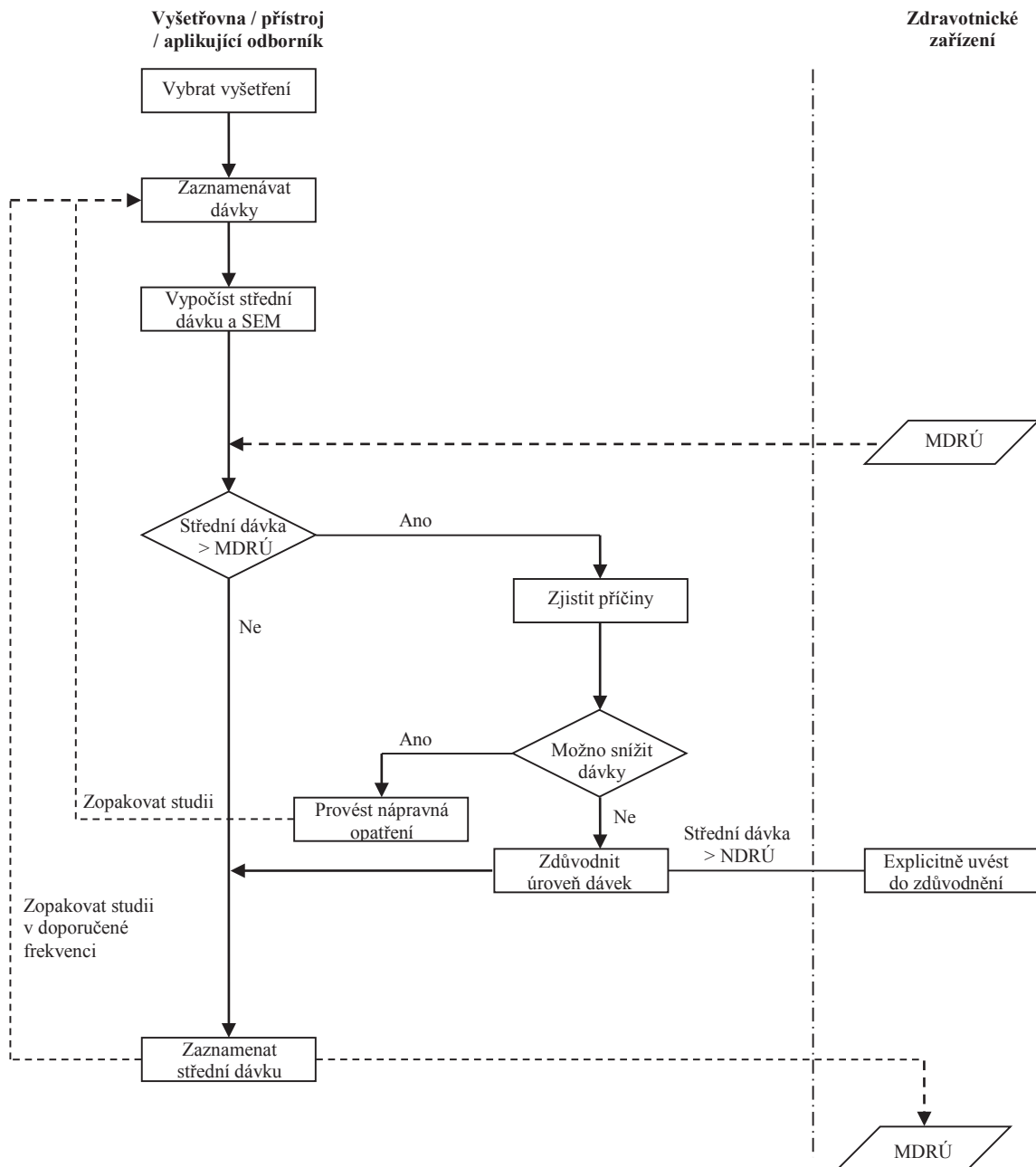
Pokud se při revizi standardních postupů a změn ve vybavení, zjistí, že nedošlo ke změně, tak se střední (typická) dávka z daného přístroje nemění. V opačném případě se pro daný přístroj provede dávková studie.

Pokud se aktuální průměrná hodnota středních (typických) dávek z přístrojů liší od dosavadní MDRÚ o více než 10 až 20 % a zároveň je důvod ke změně identifikovaný při revizi, hodnota MDRÚ se aktualizuje a zároveň je třeba zjistit příčiny a, pokud je to nutné a možné, praxi optimalizovat.

překročil MDRÚ o více než dvě směrodatné odchyly, měl by poskytovatel stanovit určitý práh, jehož nepřekročení se neřeší (typicky 20 %).

Pokud je hodnota střední dávky z přístroje vyšší než NDRÚ, je třeba, aby poskytovatel tuto skutečnost explicitně uvedl ve zdůvodnění.

Na obrázku č. A1.2 je názorně předveden způsob kontroly souladu střední dávky z přístroje s MDRÚ.



Obrázek č. A1.2: Vývojový diagram kontroly středních dávek na přístroji vzhledem k MDRÚ.

Část A.2: Stanovení a hodnocení orgánových dávek

Pro účely posuzování rizika deterministických účinků záření se stanovují orgánové dávky. Tyto veličiny nejsou přímo měřitelné, pro jejich stanovení (odhad) je třeba použít vhodný výpočetní program nebo vhodné konverzní faktory. Zvážení vhodnosti pro daný případ a použití je v odborné kompetenci místního radiologického fyzika. Hodnocením orgánových dávek u jednotlivce se pak rozumí srovnání dávek v rizikových orgánech s tolerančními hodnotami pro tyto orgány.

A2.1 Stanovení a hodnocení orgánových dávek je relevantní pouze v těchto případech:

- 1) *Odhad střední dávky v děloze při vyšetření v oblasti břicha nebo pánve u těhotné pacientky.*
 - Pro stanovení a hodnocení dávek na plod je třeba použít všechny dostupné údaje a provést co nejpřesnější odhad dávkové distribuce v těle pacientky.
 - Pokud je hodnota (nebo odhad hodnoty) dávky na plod vyšší než toleranční dávka, je nutné o tom informovat pacientku i jejího ošetřujícího lékaře.
- 2) *Odhad maximální dávky v lokální části ozářené kůže u intervenčních metod (vyjma CT), pokud některá z přístrojem indikovaných veličin překračuje tyto hodnoty: $P_{KA} > 500 \text{ Gy.cm}^2$, kerma ve vstupním referenčním bodě pacienta $> 5 \text{ Gy}$ (u opakovaných intervenčních vyšetření se zhodnotí kumulovaná hodnota).*
 - Pro stanovení a hodnocení orgánových dávek při intervenčních metodách je třeba přednostně používat údaje ze Strukturované zprávy o radiační dávce. Pokud není tato zpráva k dispozici, nebo neposkytuje dostatečné údaje k rekonstrukci dávkové distribuce, provede radiologický fyzik odhad dávek na kůži pacienta z jiných dostupných údajů.
 - Pokud byla na některém místě kůže lokální dávka $> 3 \text{ Gy}$, je nutné informovat pacienta i jeho ošetřujícího lékaře o možnosti výskytu tkáňových reakcí, o místě, kde se takové reakce mohou vyskytnout, a o jejich možných projevech v závislosti na velikosti zjištěné lokální dávky (viz [Ref. 50]).
- 3) *Odhad střední orgánové dávky v ozářeném objemu u CT, pokud je přístrojem indikován $C_{VOL} > 3 \text{ Gy}$.*
 - Pro stanovení a hodnocení orgánových dávek u CT je třeba přednostně používat údaje ze Strukturované zprávy o radiační dávce. Pokud není tato zpráva k dispozici, provede radiologický fyzik odhad dávkové distribuce v těle pacienta pomocí jiných dostupných údajů.
 - Pokud jsou hodnoty (nebo odhady hodnot) dávek v jednotlivých orgánech vyšší než toleranční dávky pro příslušné orgány, je nutné informovat pacienta i jeho ošetřujícího lékaře o možných tkáňových reakcích.

A2.2 V ostatních případech se deterministické účinky nepředpokládají.

- U vyšetření těhotných pacientek, kdy děloha není vystavena přímému svazku, se nepředpokládá poškození plodu z důvodu ozáření. V tomto smyslu se informuje pacientka a její ošetřující lékař v případě žádosti z jejich strany.
- V případě žádosti pacienta o zhodnocení rizika ze stochastických účinků se doporučuje zhodnotit riziko daného typu vyšetření v souladu s dokumentem Indikační kritéria pro zobrazovací metody [Ref. 18].

Část A.3: Definice použitých dozimetrických veličin

A3.1 Dopadající kerma, K_i

Kerma měřená volně ve vzduchu v místě vstupu záření do pacienta bez započtení zpětného rozptylu. Může být vypočtena pomocí následujících vztahů:

$$K_i = Y_r \cdot \left(\frac{r}{FSD}\right)^2 \cdot P_{It}$$

kde

Y_r výtěžnost v definované vzdálenosti r od ohniska [mGy/mAs]

FSD ... vzdálenost ohnisko kůže [cm]

P_{It} součin proudu rentgenky a expozičního času [mAs]

nebo

$$K_i = \frac{K_e}{B}$$

kde

K_e ... vstupní povrchová kerma [mGy]

B ... faktor zpětného rozptylu

Faktory zpětného rozptylu se pro skiagrafická vyšetření pohybují v rozmezí 1,1 – 1,5 v závislosti na velikosti pole, prozařovaném objemu a kvalitě svazku. Konkrétní hodnoty viz například [Ref. 6, 7].

A3.2 Kerma ve vstupním referenčním bodě pacienta

Referenční kerma volně ve vzduchu v primárním svazku rentgenového záření, měřená za specifických podmínek a vyjádřená ve vstupním referenčním bodě pacienta. U intervenčního rentgenového zařízení s C ramenem je vstupní referenční bod pacienta umístěn 15 cm od izocentra ve směru ohniska nebo dle specifikace výrobce. [Ref. 14, 15]

A3.3 Vstupní povrchová kerma, K_e

Kerma měřená v místě vstupu záření do pacienta se započtením zpětného rozptylu. Může být vypočtena pomocí následujících vztahů:

$$K_e = Y_r \cdot \left(\frac{r}{FSD}\right)^2 \cdot P_{It} \cdot B = K_i \cdot B$$

kde

Y_r výtěžnost v definované vzdálenosti r od ohniska [mGy/mAs]

FSD ... vzdálenost ohnisko kůže [cm]

P_{It} součin proudu rentgenky a expozičního času [mAs]

B ... faktor zpětného rozptylu

K_e ... dopadající kerma [mGy]

Faktory zpětného rozptylu se pro skiagrafická vyšetření pohybují v rozmezí 1,1 – 1,5 v závislosti na velikosti pole, prozařovaném objemu a kvalitě svazku. Konkrétní hodnoty viz například [Ref. 6, 7].

A3.4 Součin kermy a plochy, P_{KA}

Integrál kermy ve vzduchu bez započtení zpětného rozptylu přes plochu svazku v rovině kolmé na osu svazku měřené ve stejné vzdálenosti od ohniska. Tato veličina je nezávislá na vzdálenosti ohnisko – detektor.

$$P_{KA} = \int_A K(x, y) dx dy$$

U zubních panoramatických zařízení lze P_{KA} stanovit jako součin výšky štěrbiny a součinu kermy a délky.

A3.5 Střední dávka v mléčné žláze, D_G

Střední absorbovaná dávka v glandulární tkáni v prsu. Vypočítá se podle následujícího vztahu:

$$D_G = K_i \cdot g \cdot c \cdot s$$

kde

K_i ... dopadající kerma

g ... konverzní faktor převádějící dopadající kermu na střední dávku v mléčné žláze pro prs s 50% glandularitou a Mo/Mo spektrum rentgenky

c ... korekční faktor na složení prsu odlišné od 50% glandularity

s ... korekční faktor na spektrum rentgenky odlišné od kombinace (Mo/Mo)

Konverzní faktor g je funkcí tloušťky komprimovaného prsu a polotloušťky HVL, měřené s kompresní deskou, hodnoty jsou v tabulce A3.1. Konverzní faktory g jsou stanoveny pro molybdenovou anodu i filtr a pro prs o složení 50 % tuková tkáň, 50 % mléčná žláza.

Tloušťka komprimovaného prsu (cm)	Polotloušťka (mm Al)											
	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
2	0,339	0,390	0,433	0,473	0,509	0,543	0,573	0,587	0,622	0,644	0,663	0,682
3	0,234	0,274	0,309	0,342	0,374	0,406	0,437	0,466	0,491	0,514	0,535	0,555
4	0,174	0,207	0,235	0,261	0,289	0,318	0,346	0,374	0,399	0,421	0,441	0,46
4,5	0,155	0,183	0,208	0,232	0,258	0,285	0,311	0,339	0,363	0,383	0,403	0,422
5	0,137	0,164	0,187	0,209	0,232	0,258	0,287	0,310	0,332	0,352	0,371	0,389
6	0,112	0,135	0,154	0,172	0,192	0,214	0,236	0,261	0,282	0,300	0,317	0,333
7	0,094	0,114	0,130	0,145	0,163	0,177	0,202	0,224	0,244	0,259	0,274	0,289
8	0,081	0,098	0,112	0,126	0,140	0,154	0,175	0,195	0,212	0,227	0,241	0,254
9	-	0,0859	0,0981	0,1106	0,1233	0,1357	0,1543	0,1723	0,188	0,202	0,214	0,227
10	-	0,0763	0,0873	0,0986	0,1096	0,1207	0,1375	0,1540	0,168	0,181	0,193	0,204
11	-	0,0687	0,0786	0,0887	0,0988	0,1088	0,1240	0,1385	0,152	0,164	0,175	0,186

Tabulka A3.1: Konverzní faktory g .

Vzhledem k tomu, že spektra rentgenky nejsou totožná pro různé kombinace materiálu anody a filtru ani při shodné polotloušťce, je provedena korekce střední dávky v mléčné žláze spočítané pro kombinaci Mo/Mo pomocí faktoru s . Pro zjednodušení jsou tyto korekční faktory uvedeny nezávisle na kvalitě svazku pro danou kombinaci materiálu anody a filtru a také nezávisle na různé glandularitě prsu. Korekční faktory s jsou uvedeny v tabulkách A3.2 a A3.3.

Kombinace anoda/filtr	s faktor
Mo/Mo	1,000
Mo/Rh	1,017
Rh/Rh	1,061
Rh/Al	1,044
W/Rh	1,042
W/Ag	1,042

Tabulka A3.2: Korekční faktory *s* pro používané kombinace anoda/filtr.

Tloušťka komprimovaného prsu (cm)	s faktor pro filtr 0,5 mm Al	s faktor pro filtr 0,7 mm Al
2	1,069	1,052
3	1,104	1,060
4	1,127	1,076
5	1,139	1,087
6	1,154	1,105
7	1,180	1,121
8	1,187	1,129
9	1,198	1,136
10	1,206	1,140
11	1,212	1,144

Tabulka A3.3: Korekční faktory *s* pro kombinaci W anoda - Al filtr.

Velmi významnou korekci výpočtu představuje faktor *c*, který koriguje 50% glandularitu, pro kterou byl spočítán faktor *g*, na očekávanou glandularitu prsu. Korekční faktory na glandularitu prsu se liší s věkem pacientky a jsou uvedeny v tabulkách A3.4 a A3.

Tloušťka komprimovaného prsu (cm)	Polotloušťka (mm Al)										
	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
2	0,885	0,891	0,900	0,905	0,910	0,914	0,919	0,923	0,928	0,932	0,936
3	0,925	0,929	0,931	0,933	0,937	0,940	0,941	0,947	0,950	0,953	0,956
4	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4,5	1,043	1,041	1,040	1,039	1,037	1,035	1,034	1,032	1,030	1,029	1,027
5	1,086	1,082	1,081	1,078	1,075	1,071	1,069	1,064	1,060	1,057	1,053
6	1,164	1,160	1,151	1,150	1,144	1,139	1,134	1,124	1,117	1,111	1,103
7	1,232	1,225	1,214	1,208	1,204	1,196	1,188	1,176	1,167	1,157	1,147
8	1,275	1,265	1,257	1,254	1,247	1,237	1,227	1,213	1,202	1,191	1,179
9	1,299	1,292	1,282	1,275	1,270	1,260	1,249	1,236	1,225	1,213	1,200
10	1,307	1,298	1,290	1,286	1,283	1,272	1,261	1,248	1,236	1,224	1,211
11	1,306	1,301	1,294	1,291	1,283	1,274	1,266	1,251	1,240	1,228	1,215

Tabulka A3.4: Konverzní faktory *c* pro ženy s věkem 50-64 let.

Tloušťka komprimované- ho prsu (cm)	Polotloušťka (mm Al)										
	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
2	0,885	0,891	0,900	0,905	0,910	0,914	0,919	0,923	0,928	0,932	0,936
3	0,894	0,898	0,903	0,906	0,911	0,915	0,918	0,924	0,928	0,933	0,937
4	0,940	0,943	0,945	0,947	0,948	0,952	0,955	0,956	0,959	0,961	0,964
4,5	0,973	0,974	0,975	0,975	0,976	0,978	0,979	0,980	0,981	0,982	0,984
5	1,005	1,005	1,005	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,003	1,003	1,003
6	1,080	1,078	1,074	1,074	1,071	1,068	1,066	1,061	1,058	1,055	1,051
7	1,152	1,147	1,141	1,138	1,135	1,130	1,127	1,117	1,111	1,105	1,098
8	1,220	1,213	1,206	1,205	1,199	1,190	1,183	1,172	1,163	1,154	1,145
9	1,270	1,264	1,254	1,248	1,244	1,235	1,225	1,214	1,204	1,193	1,181
10	1,295	1,287	1,279	1,275	1,272	1,262	1,251	1,238	1,227	1,215	1,203
11	1,294	1,290	1,283	1,281	1,273	1,264	1,256	1,242	1,232	1,220	1,208

Tabulka A3.5: Konverzní faktory c pro ženy s věkem 40-49 let.

V případě, že se D_G stanovuje na základě standardního expozičního nastavení pro mamografické PMMA fantomy, je třeba použít koeficienty přepočítané na základě ekvivalence tlouštěk PMMA fantomů a komprimovaného prsu uvedené v tabulce A3.6, nebo použít již přepočtené koeficienty uvedené v dokumentu [Ref. 12].

Tloušťka PMMA fantomu (cm)	Ekvivalentní tloušťka prsu (cm)	Glandularita ekvivalentního prsu (%)
2	2,1	97
3	3,2	67
4	4,5	41
4,5	5,3	29
5	6,0	20
6	7,5	9
7	9,0	4
8	10,3	3

Tabulka A3.6: Ekvivalence tlouštěk PMMA fantomů a komprimovaného prsu pro ženy s věkem 40-49 let.

A3.6 Objemový kermový index výpočetní tomografie, C_{VOL}

$$C_{VOL} = C_W \frac{NT}{l}$$

kde

C_W vážený kermový index výpočetní tomografie [mGy]

Npočet současně snímaných řezů

Tnominální šířka řezu [mm]

l délka posunu stolu během jedné otáčky rentgenky [mm]

$$C_W = \frac{1}{3}(C_{PMMA,100,c} + 2C_{PMMA,100,p})$$

kde

$C_{PMMA,100,c(p)}$kermový index výpočetní tomografie měřený ve standardním CT fantomu v centru (c) nebo na periferii (p) [mGy]

Měření $C_{PMMA,100}$ vychází z měření kermového indexu výpočetní tomografie volně ve vzduchu ($C_{a,100}$) který je definován pro single slice CT jako integrál kermu měřené volně ve vzduchu podél přímky paralelní s osou rotace skeneru v délce 100 mm na jednu otáčku rentgenky:

$$C_{a,100} = \frac{1}{T} \int_{-50}^{50} K(z) dz$$

kde

Tnominální šířka řezu [m]

Kkerma ve vzduchu [Gy]

Pro víceřadá CT je $C_{a,100}$ definován jako integrál kermu měřené volně ve vzduchu podél přímky paralelní s osou rotace skeneru v délce 100 mm na jednu otáčku rentgenky.

$$C_{a,100} = \frac{1}{NT} \int_{-50}^{50} K(z) dz$$

kde

N počet současně snímaných řezů

Tnominální šířka řezu [m]

Kkerma [Gy]

A3.7 Součin kermu a délky pro CT, $P_{KL,CT}$

Celková hodnota součinu kermu a délky pro CT pro vyšetření o j -sekvencích (fázích) je definována jako:

$$P_{KL,CT} = \sum_j C_{VOL_j} l_j$$

kde

C_{VOL_j} ...objemový index kermový index výpočetní tomografie pro j -tou sekvenci (fázi) [mGy]

l_jdélka posunu stolu l během j -té sekvence (fáze) [cm]

Část A.4: Návrh obsahu provozních deníků pro radiodiagnostická vyšetření

V tabulce A4.1 je uveden seznam všech dávkových parametrů vyšetření v závislosti na typu vyšetření a na vybavení pracoviště, které je třeba archivovat.

U každého parametru je pak indexem vyznačeno, k jakému účelu je třeba tento parametr zaznamenávat:

- 1** - pro stanovení MDRÚ
- 2** - pro hodnocení MDRÚ
- 3** - pro stanovení orgánové dávky

Pro každé vyšetření není nutné zaznamenávat neměnné údaje, pokud jsou uvedeny v příslušném radiologickém standardu. V tabulce jsou tyto údaje označeny písmenem „s“. Pokud ale bude postupováno jinak než standardě, je třeba změnéné údaje zaznamenat.

Ostatní parametry označené písmenem „p“ se obvykle mění, a proto je nutné je zaznamenat u každého pacienta zvlášť.

Pro potřeby stanovení a hodnocení dávek, nebo pro stanovování a sledování místních diagnostických referenčních úrovní, je účelné přizpůsobit nemocniční informační systém tak, aby z něj bylo možné získat všechny potřebné parametry vyšetření v přijatelném formátu. Pokud toto není možné, je zapotřebí zapisovat parametry vyšetření klasicky do provozního deníku.

A4.1 Skiografie

	Výška pacienta (cm)	Hmotnost pacienta (kg)	Výkon	Projekce	Počet snímků	Vzdálenost ohnisko - receptor obrazu (cm)	Vzdálenost stůl - receptor obrazu (cm)	Napětí rentgenky (kV)	Součin proudu a expozičního času (mAs)	Přídavná filtrace	Velikost receptoru obrazu	Součin kermy a plochy (mGy.cm ²)
Bez indikace P _{KA} , bez AEC	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S ₃	S ₃	S ₃	S _{1,2,3}	S ₃	S ₃	-
Bez indikace P _{KA} , s AEC	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S ₃	S ₃	S ₃	p _{1,2,3}	S ₃	S ₃	-
S indikací P _{KA} , bez AEC	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S ₃	S ₃	S ₃	-	S ₃	S ₃	p _{1,2,3}
S indikací P _{KA} , s AEC	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S ₃	S ₃	S ₃	-	S ₃	S ₃	p _{1,2,3}

Tabulka A4.1: Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (Skiografie).

A4.2 Mamografie

	Věk pacientky	Projekce	Kompresní tloušťka (cm)	Kombinace anoda, filtr	Napětí rentgenky (kV)	Součin proudu a expozičního času (mAs)	D _G (mGy)
S indikací D _G	p _{1,2}	S _{1,2}	S _{1,2}	-	-	-	p _{1,2}
Bez indikace D _G	p _{1,2}	S _{1,2}	p _{1,2}	p _{1,2}	p _{1,2}	p _{1,2}	-

Tabulka A4.2: Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (Mamografie).

Vzhledem k faktu, že u mamografie nemůže dojít k ozáření dělohy přímým svazkem, není (podle části A.2) relevantní stanovovat orgánovou dávku v děloze pro mamografii, proto v tabulce zcela chybí index „3“.

A4.3 CT

Výška pacienta (cm)	Hmotnost pacienta (kg)	Výkon	P _{KL,CT} (mGy.cm)	C _{VOL} (mGy)	Napětí rentgenky (kV)
p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	S ₃

Tabulka A4.3: Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (CT).

A4.4 Skiaskopie, intervenční výkon

	Výška pacienta (cm)	Hmotnost pacienta (kg)	Výkon	Projekce	Vzdálenost ohnisko – pacient (cm)	Napětí rentgenky (kV)	Celkový skiaskopický čas (min.)	Přídavná filtrace	Velikost receptoru obrazu	Kerma ve vstupním referenčním bodě pacienta (Gy)	Součin kermy a plochy (Gy.cm ²)
Bez indikace P _{KA}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S ₃	S ₃	p _{1,2,3}	S ₃	S ₃	-	-
S indikací P _{KA}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	p _{1,2,3}	S _{1,2,3}	S ₃	S ₃	p _{2,3}	S ₃	S ₃	p ₃	p _{1,2,3}

Tabulka A4.4: Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (Skiaskopie).

Pro stanovování orgánové dávky u intervenčních výkonů je nezbytné mít k dispozici Strukturovanou zprávu o radiační dávce. Pokud není k dispozici a je potřeba orgánovou dávku hodnotit, odhadne se na základě jiných dávkových parametrů vyšetření, které jsou k dispozici.

A4.5 Zubní vyšetření (intraorální, panoramatická, CBCT)

	Výkon	Součin kermy a plochy (mGy.cm ²)
Bez indikace P _{KA}	p _{1,2}	-
S indikací P _{KA}	p _{1,2}	p _{1,2}

Tabulka A4.5: Přehled parametrů vyšetření, které je třeba zapisovat pro stanovení a hodnocení dávek pacientů, středních dávek a MDRÚ (Zubní vyšetření).

Vzhledem k faktu, že u zubních vyšetření nemůže dojít k ozáření dělohy přímým svazkem, není pro ně (podle části A.2) relevantní stanovovat orgánovou dávku, proto v tabulce zcela chybí index „3“.

KAPITOLA B: STANOVENÍ A HODNOCENÍ DÁVEK PACIENTŮ PŘI LÉKAŘSKÉM OZÁŘENÍ V RADIOTERAPII

V radioterapii se dávky dělí na terapeutickou dávku a přídavné dávky. Přídavnými dávkami jsou všechny dávky, které obdrží pacient v průběhu přípravy a léčby radioterapií, kromě dávky terapeutické. Mezi přídavné dávky patří dávky např. z lokalizace cílového objemu a kritických orgánů, z plánovacího CT vyšetření, ze simulace ozařovacího plánu a z verifikace polohy pacienta. K přídavným dávkám patří rovněž dávky z rozptýleného záření a unikajícího záření.

Znalost přídavných dávek je nezbytná z důvodu optimalizace radiační ochrany (zejména z hlediska ochrany pacienta). Přídavné dávky jsou výrazně nižší než terapeutická dávka, nicméně v poslední době vlivem rozvoje obrazem řízené radioterapie (IGRT) a dostupnosti zobrazovacích metod dochází k častějšímu používání těchto metod a přídavná dávka se tak stává stále významnější. Na potřebu zabývat se přídavnými dávkami ze zobrazovacích metod upozorňuje např. doporučení *The management of imaging dose during image-guided radiotherapy: report of the AAPM Task Group 75* [Ref. 48].

Pro účely tohoto dokumentu je účelné v rámci lékařského ozáření v radioterapii rozlišovat a od sebe oddělovat **terapeutické ozáření** a **přídavná ozáření**. Terapeutické ozáření spočívá v ozáření cílového objemu předepsanou terapeutickou dávkou. Všechna ostatní ozáření využívající zdroje ionizujícího záření, jež podstoupí pacient v rámci přípravy a léčby radioterapií, jsou přídavná ozáření.

Terapeutické ozáření

Hodnocení dávek pacientů při terapeutickém ozáření v radioterapii spočívá především v hodnocení dodržení předepsané léčby a v posouzení rizika výskytu nežádoucích účinků (akutních i pozdních) porovnáním dávek v kritických orgánech konkrétního pacienta s dávkově objemovými kritérii pro tyto orgány a dalšími možnými způsoby (např. NTCP). Dále je vhodné zabývat se i rizikem výskytu sekundárních malignit v důsledku terapeutického ozáření.

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 $D_{2\%}$ [Ref. 49]) v orgánu nebo tkáni, minimální absorbovaná dávka resp. dávka blízká dávce minimální (near minimum dose $D_{98\%}$ [Ref. 49]) 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 $\pm 5\%$ [Ref. 31 – 37].

Použití veličiny radiační ochrany „efektivní dávka“ je v případě nádorové radioterapie zcela nevhodné 2:3. S veličinou efektivní dávka se lze v literatuře⁴ setkat u pacientů, kteří jsou léčeni pro

² Veličiny radiační ochrany byly původně zavedeny především pro hodnocení vzniku stochastických účinků u pracovníků a obyvatelstva vystaveného malým dávkám s nízkým dávkovým příkonem. Předpokladem platnosti tkáňových váhových faktorů, které vycházejí z koeficientů rizika pro indukci nádoru v daném orgánu a které jsou pro stanovení hodnoty efektivní dávky nezbytné, je dodržení požadavku nízkých dávek a nízkých dávkových příkonů i požadavku na složení skupiny ozářených tak, aby to odpovídalo složení populace, pro kterou byly koeficienty rizika stanoveny [Ref. 6]. Ani jednu z těchto podmínek nelze v případě radioterapie splnit.

³ Při hodnocení biologických účinků ionizujícího záření v radioterapii se přihlíží i k rozdílné účinnosti různých frakcionačních schémat, tedy ke skutečnosti, že nezáleží pouze na celkové hodnotě absorbované dávky, ale i na detailním časovém rozložení aplikace této dávky.

⁴ Celkový přehled karcinogenního rizika při léčbě benigních onemocnění je možno nalézt v práci Broerse a kol. [Ref. 41].

nenádorová onemocnění. Protože však i zde platí omezení uvedená v pozn.², je optimálním postupem co nejpřesnější stanovení střední absorbované dávky v orgánech nebo tkáních, které jsou pro daný typ léčby uvedeny jako rizikové z hlediska indukce stochastických účinků.

Údaje, které je třeba znát pro stanovení a hodnocení dávek pacientů při terapeutickém ozáření v radioterapii

Obecný způsob stanovení a hodnocení dávek při terapeutickém ozáření v radioterapii je součástí dokumentu *Národní radiologické standardy - radiační onkologie (NRS – RO)* [Ref. 21].

V dokumentu NRS – RO jsou v kapitole 1.5. uvedeny obecné požadavky na způsob stanovení dávek pacientů při terapeutickém ozáření zahrnující stanovení dávky v cílovém objemu, v kritických orgánech, údaje o použitém frakcionačním schématu a řadu dalších specifikací. Kromě toho jsou v procesuální části každého standardu pro vybrané typy (metody) radioterapie, tj. pro

- radikální radioterapii,
- radioterapii s modulovanou intenzitou svazku (IMRT),
- stereotaktickou radioterapii (SRT) a stereotaktickou radiochirurgii,
- paliativní radioterapii,
- brachyterapii,
- nenádorovou terapii

vždy uvedeny požadavky na ozařovací předpis (**stanovení dávky**) a výstup procesu (**hodnocení dávky**).

Ve strukturální části jednotlivých standardů jsou pak uvedeny minimální technické podmínky (přístrojové a dozimetrické vybavení), za kterých lze dosáhnout požadované přesnosti stanovení dávek.

Pokud budou dodrženy předepsané postupy i požadavky na záznam ozařovacích podmínek v dokumentaci pacienta, je možné v případě potřeby zjistit hodnoty orgánových dávek vyplývajících z daného ozáření, a to:

pro orgány nacházející se v ozařované oblasti (jež zahrnuje plánovací cílový objem a přilehlé kritické orgány) přímo z ozařovacího plánu, který obsahuje údaje o distribuci dávky, např. ve formě histogramu dávka – objem (tzv. DVH, dose-volume-histogram);

pro orgány nacházející se mimo ozařovanou oblast pomocí vhodně zvolené metody, o které rozhoduje klinický radiologický fyzik. Volba metody závisí na tom, zda se orgánové dávky budou stanovovat již v průběhu ozařování (in vivo dozimetrie) nebo dodatečně (výpočtem z parametrů ozáření), a rovněž na tom, jaká je požadovaná přesnost tohoto stanovení (od pouhého odhadu přes využití publikovaných dávek až po aplikaci metod Monte Carlo).

Retrospektivní stanovení dávek v orgánech vně ozařované oblasti při terapeutickém ozáření

Dávky v orgánech vně ozařované oblasti lze stanovit (odhadnout) na základě:

- dávek změřených v antropomorfním fantomu uvedených v Tab. 5 v části B.1 (orgánové dávky z terapeutického ozáření prostaty a hlavy a krku)
- měření v antropomorfním fantomu (např. pomocí TLD)
- publikovaných hodnot dávek
- výpočtu pomocí metody Monte Carlo
- výpočetních programů (např. Peridose [Ref. 43])

Přídavná ozáření v radioterapii

Cílem radioterapie je co nejpřesnější dodání předepsané terapeutické dávky do cílového objemu tak, aby se dosáhlo požadovaných léčebných účinků s minimálním poškozením zdravých tkání pacienta. Dopad nesprávného zaměření cílového objemu v průběhu plánování a léčby zářením znamená pro pacienta vždy větší riziko, než může způsobit mírně zvýšené ozáření z aplikace zobrazovacích metod (přídavná ozáření).

Stanovení dávek z přídavných ozáření v radioterapii a stanovování pravděpodobnosti rizika z těchto procedur má smysl pouze z hlediska komplexního rozboru všech možných příspěvků přídavných dávek, které pacient obdrží v průběhu radioterapie.

Přídavná ozáření, jež jsou nedílnou součástí radioterapeutického procesu, mohou využívat jak kilovoltážní zdroje ionizujícího záření, tak i megavoltážní zdroje (např. pro verifikaci polohy pacienta).

Mezinárodní komise pro radiační jednotky a měření (ICRU) ve svém dokumentu [Ref. 6] doporučuje pro hodnocení dávek z kilovoltážních zobrazovacích metod stanovovat orgánové dávky a dávkovou distribuci. Orgánové dávky a dávkovou distribuci je účelné stanovovat též pro megavoltážní zobrazovací metody. Orgánová dávka představuje střední absorbovanou dávku v dané tkáni nebo orgánu. Její hodnota indikuje v oblasti nízkých dávek pravděpodobnost vzniku stochastických účinků a v oblasti nad prahem deterministických účinků indikuje možnost jejich vzniku a stupeň poškození. Hodnoty orgánových dávek z jednotlivých zobrazovacích metod lze pro účely hodnocení přídavných dávek porovnat s orgánovými dávkami z terapeutického ozáření, které jsou, na rozdíl od dávek z verifikačních metod, neodmyslitelné. Tím lze zhodnotit příspěvek dávky ze zobrazovacích metod k příspěvku dávky z terapeutického ozáření. Hodnocení přídavných dávek musí být prováděno v kontextu léčebného postupu a vývoje onemocnění u daného konkrétního pacienta – není tedy možno využívat postupů popsanych v kapitole A tohoto dokumentu (např. nelze využít DRÚ).

Pracoviště na základě požadavků zákona č. 373/2011 Sb. a v souladu s NRS – RO zaznamenává parametry ke stanovení orgánových dávek při lokalizaci, simulaci a verifikaci prováděné v souvislosti s radioterapií a v případě potřeby je schopno tyto orgánové dávky stanovit. Údaje, které je třeba zaznamenávat jsou uvedeny v Tabulce 7 nebo pro kilovoltážní metody v části A.4 tohoto standardu.

Pro verifikační metody umožňující korigovat nastavení pacienta na lůžku ozařovače lze orgánové a efektivní dávky stanovit podle postupu uvedeného v části B.1.

Pro plánovací CT vyšetření stanovuje efektivní a orgánové dávky radiologický fyzik a používá k tomu vhodný výpočetní program nebo vhodné konverzní faktory.

Pro snímky na simulátoru stanovuje efektivní a orgánové dávky radiologický fyzik a používá k tomu vhodný výpočetní program nebo vhodné konverzní faktory.

Orgánové a efektivní dávky z plánovacího CT vyšetření a ze snímků na simulátoru lze stanovit také na základě publikovaných dat.

Efektivní dávka zde nemá sloužit k hodnocení rizika stochastických účinků. Efektivní dávka může sloužit k porovnání radiační zátěže pacienta z různých zobrazovacích metod nebo zobrazovacích systémů a k optimalizaci použití zobrazovacích metod na jednotlivých pracovištích.

Část B.1: Tabulky pro stanovení radiační zátěže dospělého pacienta z verifikačních zobrazovacích metod radioterapie

V této části jsou shrnuty změřené hodnoty orgánových dávek a efektivních dávek ze čtyř verifikačních zobrazovacích metod radioterapie. Těmito metodami jsou kV CBCT skeny, 2 ortogonální kV snímky, 2 ortogonální MV snímky a MV CBCT skeny. Dávky byly stanoveny pro verifikační zobrazování oblasti pánve a oblasti hlavy a krku. Pro možnost hodnocení dávek z verifikačních metod radioterapie jsou v této části uvedeny také změřené orgánové dávky z terapeutického ozáření prostaty a hlavy a krku (pro techniku IMRT). V této části jsou rovněž uvedena schémata použití verifikačních metod na radioterapeutických pracovištích v České republice. Uvedená schémata vychází z práce [Ref. 45] a byla aktualizována v roce 2014. Pomocí těchto schémat a znalosti efektivních dávek pro jeden CBCT sken nebo jeden pár snímků na jednotlivých zobrazovacích systémech je možné stanovit celkovou efektivní dávku (z verifikačních metod), jež obdrží pacient z celého kurzu radioterapie.

Dávky byly stanoveny v rámci práce [Ref. 45]. V tabulkách jsou uvedeny orgánové dávky ve dvaceti sedmi orgánech, jež byly získány měřeními s termoluminiscenčními (TL) dozimetry MCP-N (TLD Poland) v mužském antropomorfním Rando fantomu. Z těchto hodnot orgánových dávek byly stanoveny hodnoty efektivních dávek, a to jak podle doporučení ICRP 60 [Ref. 1], jehož formalismus je převzat do vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů, tak i podle novějšího doporučení ICRP 103 [Ref. 2]. Doporučení ICRP 103 doporučuje pro účely radiační ochrany používat efektivní dávku zprůměrovanou pro obě pohlaví. Vzhledem k tomu, že k měření byl použit pouze mužský antropomorfní fantom velmi blízký referenčnímu muži (73 kg a 176 cm dle ICRP 89 [Ref. 46]), vztahují se stanovené dávky na referenčního muže. V případě použití těchto dat pro stanovení efektivní dávky pro ženu se navyšuje nejistota stanovení efektivní dávky.

Postup stanovení orgánových dávek

Pracoviště vyplní v Tabulce 7 údaje o verifikačním ozáření pacienta. V případě, že jsou parametry zobrazovacího systému pro uvedené verifikační metody shodné nebo velmi podobné parametrům v Tabulce 6, může pracoviště použít pro stanovení orgánových dávek (na 1 sken nebo 1 pár snímků) hodnoty uvedené v Tabulkách 1 až 4. V případě odlišných zobrazovacích systémů nebo odlišných parametrů zobrazovacích systémů je možné vycházet z hodnot orgánových dávek a parametrů zobrazovacích systémů publikovaných v literatuře (v Tabulce 8 jsou uvedeny odkazy na literaturu pro jednotlivé metody a verifikované oblasti), využít příslušné výpočetní programy (např. PCXMC nebo ImPACT), provést vlastní měření nebo výpočet (např. simulace pomocí metody Monte Carlo). Poznámka: hodnoty orgánových dávek mohou být velmi citlivé na umístění izocentra skenů resp. snímků.

Nejistoty stanovení orgánových dávek

Celková nejistota stanovení orgánových dávek pomocí TL dozimetrů není vyčíslena, a to zejména kvůli komplikovanému a problematickému vyjádření nejistot vztažených k neúplnému pokrytí objemu jednotlivých orgánů TL dozimetry.

Postup stanovení efektivní dávky

1. Pracoviště vyplní v Tabulce 7 údaje o verifikačním ozáření pacienta.
2. Pro danou verifikační metodu a oblast vyšetření (pánev nebo hlava a krk) si pracoviště podle použitého zobrazovacího systému vyhledá v Tabulce 6 hodnotu efektivní dávky.
3. Příslušná hodnota efektivní dávky se vztahuje na parametry nastavení zobrazovacího systému specifikované ve všech sloupcích Tabulky 6.
4. Pokud jsou parametry zobrazovacího systému pracoviště shodné nebo velmi podobné parametrům v Tabulce 6, lze uvedenou hodnotu efektivní dávky považovat za přiměřený odhad velikosti efektivní dávky, kterou obdrží referenční mužský pacient vysoký 176 cm a vážící 73 kg. Uvedenou hodnotu efektivní dávky lze přiřadit i mužským pacientům s odlišnou výškou a váhou a také ženským pacientům. Přitom ale platí, že čím více se pacienti liší od referenčního mužského pacienta (176 cm, 73 kg), tím vyšší je i nejistota odhadu efektivní dávky.
5. Při stanovení efektivní dávky je také nutné věnovat pozornost sloupci *Poznámky* v Tabulce 6, kde mohou být uvedeny např. orgány, v nichž se nestanovovaly orgánové dávky.
6. Pokud se parametry zobrazovacího systému pracoviště výrazně liší od parametrů v Tabulce 6, pak pracoviště buď může použít hodnoty efektivní dávky z Tabulky 6 s vědomím, že mají velkou nejistotu stanovení, nebo může použít příslušná data publikovaná v literatuře (odkazy na literaturu pro jednotlivé zobrazovací systémy jsou uvedeny v Tabulce 8) pro totožné nebo podobné parametry zobrazovacího systému.
7. Pokud se parametry zobrazovacího systému pracoviště liší od parametrů v Tabulce 6 pouze v hodnotách elektrického množství (mAs) nebo počtu monitorových jednotek (MU) lze efektivní dávku vypočítat pomocí přímé úměry, neboť dávka roste lineárně s rostoucím elektrickým množstvím a počtem MU.
8. Údajů v literatuře lze s výhodou využít (pokud jsou k dispozici) i k odhadu efektivní dávky pacienta, pokud je k verifikaci polohy pacienta použit zobrazovací systém odlišný od zobrazovacích systémů uvedených v Tabulce 6 nebo pokud je verifikována jiná oblast než pánev a hlava a krk.
9. Při verifikaci oblasti prostaty lze ke stanovení efektivní dávky použít hodnotu efektivní dávky stanovenou v Tabulce 6 pro oblast pánve. Podobně lze ke stanovení efektivní dávky pro oblast hlavy nebo pro oblast krku použít hodnoty efektivní dávky tabelované v Tabulce 6 pro oblast hlavy a krku.
10. Hodnoty efektivní dávky v Tabulce 6 se vztahují k jednomu CBCT skenu nebo k jednomu páru snímků. Pro výpočet celkové efektivní dávky pacienta z verifikačních metod v průběhu celého kurzu radioterapie je nutné tyto hodnoty vynásobit počtem frakcí, v nichž se daná zobrazovací metoda použila k verifikaci polohy pacienta.

Pracoviště si může podle svého zobrazovacího systému a verifikovaných oblastí upravit Tabulku 6 tak, aby obsahovala hodnoty efektivních dávek pouze pro jimi používané verifikační metody a oblasti. Pak, při vyplňování Tabulky 7 mohou k parametrům nastavení zobrazovací metody s využitím Tabulky 6 rovnou zaznamenávat také hodnotu efektivní dávky.

Nejistoty výpočtu efektivní dávky

Mezi nejistoty výpočtu efektivní dávky patří nejen nejistoty stanovení příslušných orgánových dávek (dané zejména nejistotou spojenou s neúplným pokrytím orgánů dozimetrií), z nichž se efektivní dávka počítá, ale i nejistoty modelu použitého k výpočtu efektivní dávky. Tento

model byl totiž odvozen pro odlišné podmínky, než jsou podmínky lékařského ozáření. Například, hodnoty tkáňových váhových faktorů byly odvozeny za podmínek nízkých dávek a nízkých dávkových příkonů. V praxi se ale pro účely různých porovnání používají tyto hodnoty tkáňových váhových faktorů i pro lékařské ozáření, kam spadají verifikační zobrazovací metody radioterapie, i když uvedené podmínky nemusí být splněné. Navíc, hodnoty tkáňových váhových faktorů se neustále zpřesňují, jak o tom svědčí i nové hodnoty v doporučení ICRP 103 [Ref. 2] oproti doporučení ICRP 60 [Ref. 1]. O konkrétní vyčíslení vybraných nejistot spojených se stanovením efektivní dávky pro referenčního pacienta a pro lékařské expozice se ve své práci pokusil Martin [Ref. 47]. Uvádí, že tkáňové váhové faktory mohou být zatížené nejistotou až 60%. Celkovou nejistotu stanovení efektivní dávky pak pro referenčního pacienta odhaduje na 40%.

Hodnocení dávek z verifikačních metod radioterapie

Hodnoty orgánových dávek z jednotlivých verifikačních metod lze pro účely hodnocení dávek porovnat s orgánovými dávkami z terapeutického ozáření, čímž lze zhodnotit příspěvek dávky z verifikačních metod k příspěvku dávky z terapeutického ozáření. Hodnoty orgánových dávek pro jednu frakci terapeutického ozáření při IMRT prostaty a při IMRT hlavy a krku jsou uvedeny v Tabulce 5. Terapeutické ozáření bylo realizováno pro typický plán radioterapie prostaty a radioterapie hlavy a krku vytvořený na jednom pracovišti. Při tomto porovnání je nutné vždy uvažovat celkové orgánové dávky obdržené pacientem v průběhu celého kurzu radioterapie, a ne pouze z jedné frakce ozáření.

Optimalizace používání verifikačních metod

Radioterapeutická pracoviště by měla používání verifikačních zobrazovacích metod optimalizovat. Optimalizace by měla být založena na výběru vhodných verifikačních metod a jejich expozičních parametrů, jež nebudou vystavovat pacienta příliš vysoké radiační zátěži. Optimalizace by měla také spočívat ve výběru adekvátní frekvence používání verifikačních metod (verifikačních schémat) a měla by zohledňovat vybavení pracoviště, přínos pro léčbu i radiační zátěž pacientů. Nutným podkladem pro optimalizaci používání verifikačních metod je znalost dostatečně přesného odhadu efektivních nebo orgánových dávek z jednotlivých verifikačních metod.

Pracoviště může snadno odhadnout orgánové a efektivní dávky (z vlastních verifikačních metod) obdržené pacientem v průběhu celého kurzu radioterapie tím, že do Tabulky 9 zaznamená konkrétní způsob použití verifikačních metod (verifikační schéma) v průběhu celého kurzu radioterapie na vlastním pracovišti. Nutným podkladem pro to je znalost orgánových a efektivních dávek stanovených pro jeden sken nebo jeden pár snímků. Pracoviště v Tabulce 9 u verifikovaných oblastí (např. pánve nebo hlavy a krku) pomocí daných symbolů (°, * , +, □) uvede, jak často v jednotlivých týdnech používá konkrétní verifikační metody. Pokud např. pracoviště verifikuje polohu pacienta dvěma ortogonálními MV snímky v prvních třech frakcích a poté jednou týdně, vepíše pracoviště do políčka pro 1. týden tři znaménka plus (+) a do políček pro další týdny pak vepíše vždy jedno znaménko plus (+). Tabulka 9 předpokládá sedmitýdenní kurz radioterapie. Pracoviště si může Tabulku 9 upravit s ohledem na vlastní počet frakcí.

Konkrétní verifikační schémata, která vybraná radioterapeutická pracoviště v ČR používají při radioterapii prostaty resp. hlavy a krku, jsou graficky znázorněna v Tabulce 10 resp. v Tabulce 11. V těchto tabulkách jsou verifikační schémata zobrazena pro standardní fracionaci 35 frakcí v sedmi týdnech. Tabulky 10 a 11 byly vypracovány na základě dotazníku, který Státní ústav radiační ochrany, v.v.i. (SÚRO) zaslal na jednotlivá radioterapeutická pracoviště v ČR v roce 2014. Tabulky 10 a 11 mohou sloužit k optimalizaci používání verifikačních metod.

orgán	kV CBCT sken pánve			kV CBCT sken hlavy a krku		
	OBI 1.4	OBI 1.3	XVI	OBI 1.4	OBI 1.3	XVI
prostata	11,9	-	12,6	<0,1	-	<0,1
močový měchýř	8,7	16,6	34,9	<0,1	<0,1	<0,1
tenké střevo	5,4	7,8	5,9	<0,1	<0,1	<0,1
tlusté střevo	2,8	5,8	2,6	<0,1	<0,1	<0,1
žlučník	1,1	1,3	0,9	<0,1	<0,1	<0,1
ledviny	1,5	1,2	0,7	<0,1	<0,1	<0,1
žaludek	0,7	0,7	0,4	<0,1	<0,1	<0,1
slinivka břišní	0,9	0,9	0,5	<0,1	<0,1	<0,1
játra	0,6	0,5	0,3	<0,1	<0,1	<0,1
slezina	0,7	0,7	0,3	<0,1	<0,1	<0,1
nadledviny	0,9	0,4	0,4	<0,1	<0,1	<0,1
pľíce	0,2	0,1	0,1	0,5	0,4	0,2
srdce	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	<0,1
prsa	0,1	0,1	0,2	<0,1	0,3	<0,1
jícen	0,1	0,1	<0,1	0,8	0,7	0,3
brzlík	<0,1	-	<0,1	1,2	-	0,7
štítná žláza	<0,1	<0,1	<0,1	2,6	13,0	0,9
slinné žlázy	<0,1	-	<0,1	1,5	-	0,9
sliznice dutiny ústní	<0,1	-	<0,1	1,6	-	1,0
mozek	<0,1	-	<0,1	0,1	-	0,5
oční čočka	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	15,5	1,3
varlata	3,3	10,3	11,5	<0,1	<0,1	<0,1
kostní dřeň	8,1	-	8,3	0,2	-	0,1
povrch kostí	4,8	-	5,1	0,2	-	0,1
kůže (pánev)	5,3	9,4	23,5	<0,1	<0,1	<0,1
kůže (hrudník)	0,4	0,7	0,4	0,2	0,5	0,2
kůže (hlava a krk)	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	11,3	0,9

Tabulka B1.1: Orgánové dávky (v mGy) z kV CBCT skenů změřené na systémech OBI a XVI při nastavení parametrů zobrazení uvedených v Tab. 6.

orgán	2 kV snímky pánve			2 kV snímky hlavy a krku		
	OBI 1.4	OBI 1.3	XVI	OBI 1.4	OBI 1.3	XVI
prostata	2,2	0,4	0,4	<0,1	<0,1	<0,1
močový měchýř	2,7	0,7	0,6	<0,1	<0,1	<0,1
tenké střevo	1,6	0,4	0,3	<0,1	<0,1	<0,1
tlusté střevo	0,5	0,2	0,2	<0,1	<0,1	<0,1
žlučník	0,5	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
ledviny	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
žaludek	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
slinivka břišní	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
játra	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
slezina	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
nadledviny	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
plíce	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
srdce	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
prsa	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
jícen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
brzlík	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1
štítná žláza	<0,1	<0,1	<0,1	0,8	0,2	<0,1
slinné žlázy	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	0,1	<0,1
sliznice dutiny ústní	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,1	<0,1
mozek	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
oční čočka	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,6	<0,1
varlata	1,6	0,3	0,8	<0,1	<0,1	<0,1
kostní dřev	1,4	-	0,1	<0,1	-	-
povrch kostí	1,5	-	<0,1	<0,1	-	-
kůže (pánev)	1,8	0,9	0,6	<0,1	<0,1	<0,1
kůže (hrudník)	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
kůže (hlava a krk)	<0,1	<0,1	<0,1	0,4	0,2	<0,1

Tabulka B1.2: Organové dávky (v mGy) ze dvou ortogonálních kV snímků změřené na systémech OBI a XVI při nastavení parametrů zobrazení uvedených v Tab. 6.

zobrazovací systém	2 MV snímky pánve	2 MV snímky hlavy a krku	
	iViewGT	iViewGT	PortalVision
prostata	69,1	<0,1	<0,1
močový měchýř	46,9	<0,1	<0,1
tenké střevo	9,8	<0,1	0,1
tlusté střevo	1,1	<0,1	0,1
žlučník	0,4	0,1	0,2
ledviny	0,4	0,1	0,2
žaludek	0,2	0,2	0,3
slinivka břišní	0,3	0,1	0,3
játra	0,2	0,2	0,4
slezina	0,3	0,2	0,4
nadledviny	0,3	0,2	0,3
plíce	<0,1	6,3	7,2
srdce	<0,1	0,6	0,9
prsa	0,2	1,2	2,9
jícen	<0,1	3,3	3,7
brzlík	<0,1	6,2	7,4
štítná žláza	<0,1	119	123
slinné žlázy	<0,1	103	123
sliznice dutiny ústní	<0,1	98,1	116
mozek	<0,1	12,2	15,8
oční čočka	<0,1	11,1	11,8
varlata	32,5	<0,1	0,1
kostní dřev	21,3	4,8	6,2
povrch kostí	19,2	9,6	8,7
kůže (pánev)	21,0	0,2	0,1
kůže (hrudník)	0,4	2,4	3,2
kůže (hlava a krk)	<0,1	41,6	50,3

Tabulka B1.3: Orgánové dávky (v mGy) ze dvou ortogonálních MV snímků změřené na urychlovačích Elekta Synergy a Varian Clinac při nastavení parametrů zobrazení uvedených v Tab. 6.

Z tabulky lze vidět, že orgánové dávky z MV snímků hlavy a krku změřené na zobrazovacích systémech iViewGT a PortalVision jsou podobné. Na základě toho lze předpokládat, že orgánové dávky z MV snímků pánve na zobrazovacím systému PortalVision se nebudou za předpokladu podobného nastavení obou zobrazovacích systémů výrazně lišit od orgánových dávek z MV snímků pánve změřených na zobrazovacím systému iViewGT (viz druhý sloupec tabulky).

orgán	MV CBCT sken pánve	MV CBCT sken hlavy a krku
prostata	96,8	<0,1
močový měchýř	97,9	<0,1
tenké střevo	51,1	0,1
tlusté střevo	30,0	0,1
žlučník	4,1	0,2
ledviny	3,7	0,3
žaludek	2,3	0,4
slinivka	3,3	0,3
játra	2,0	0,5
slezina	2,3	0,4
nadledviny	2,6	0,4
plíce	0,7	10,6
srdce	0,7	1,3
prsa	1,1	2,0
jícen	0,4	19,0
brzlík	0,3	61,1
štítná žláza	0,2	79,7
slinné žlázy	0,2	77,1
sliznice dutiny ústní	0,2	77,5
mozek	0,1	73
oční čočka	0,3	65,7
varlata	113	0,1
kostní dřeň	52,2	10,2
povrch kostí	42,2	9,2
kůže (pánev)	94,9	0,1
kůže (hrudník)	3,0	5,9
kůže (hlava a krk)	0,3	58,6

Tabulka B1.4: Orgánové dávky (v mGy) z MV CBCT skenů změřené urychlovači Siemens Artiste při nastavení parametrů zobrazení uvedených v Tab. 6.

orgán	IMRT prostaty	IMRT hlavy a krku
prostata	-	1,7
močový měchýř	-	3,4
tenké střevo	310	7,9
tlusté střevo	46,1	8,3
žlučník	22,1	9,9
ledviny	19,3	9,0
žaludek	14,7	13,4
slinivka břišní	17,4	9,7
játra	12,5	12,3
slezina	11,1	11,0
nadledviny	16,5	10,9
plíce	4,6	103
srdce	5,2	23,2
prsa	7,2	28,7
jícen	3,5	60,7
brzlík	2,4	109
štítná žláza	1,7	-
slinné žlázy	1,2	-
sliznice dutiny ústní	1,2	-
mozek	0,7	-
oční čočka	1,2	-
varlata	188	2,9
kůže (pánev)	-	5,7
kůže (hrudník)	13,6	42,8
kůže (hlava a krk)	1,5	-

Tabulka B1.5: Orgánové dávky (v mGy) změřené při IMRT prostaty a IMRT hlavy a krku.

Orgánové dávky se vztahují k předepsané dávce 2 Gy na frakci. V tabulce nejsou uvedeny hodnoty orgánových dávek v orgánech, které se nacházejí přímo nebo částečně v ozařovaném objemu, neboť to není předmětem zájmu. Orgánové dávky byly změřeny pro IMRT techniku Sliding Window na ozařovači Varian Clinac DHX. K ozáření byl použit svazek s nominální energií 6 MV. Pro každou lokalitu (prostata a hlava a krk) byl na jednom vybraném pracovišti vytvořen jeden plán. Plány se skládaly ze sedmi polí. K ozáření prostaty resp. hlavy a krku bylo použito celkem 1148 MU resp. 1960 MU. Při ozáření prostaty resp. hlavy a krku se izocentrum nacházelo v řezu 31 resp. v řezu 7 antropomorfního Rando fantomu.

verifikační metoda	verifikační oblast	zobrazovací systém	lineární urychlovač	hlavní expoziční parametry	další parametry	poznámky	E ₆₀ [mSv]	E ₁₀₃ [mSv]
kV CBCT sken	pánev	OBI 1.4	Varian Clinac	125 kV, 718 mAs, rotace 360°	délka skenu 16 cm, full fan, full bowtie filtr	mód: Pelvis spot light (170 cm), izocentrum v řezu 31 Rando fantomu	2,7	2,4
		OBI 1.3	Varian Clinac	125 kV, 264 mAs, rotace 368°	délka skenu 14 cm, half fan, half bowtie filtr	mód: Low dose, neuvažována dávka v kostní dřeni, na povrchu kostí, v mozku, v prostatě, v brzlíku, ve slinných žlázách a v sliznici dutiny ústní, izocentrum v řezu 35 Rando fantomu	4,2	2,7
		XVI	Elekta Synergy	120 kV, 1040 mAs, rotace 360°	filtr F0, kolimátor M10, délka skenu 13,5 cm	mód: Pelvis, izocentrum v řezu 31 Rando fantomu	5,6	4,1
	hlava a krk	OBI 1.4	Varian Clinac	100 kV, 71,8 mAs, rotace 204°	délka skenu 16 cm, full fan, full bowtie filtr	mód: Low dose head (170 cm), izocentrum v řezu 10 Rando fantomu	0,3	0,3
		OBI 1.3	Varian Clinac	125 kV, 264 mAs, rotace 368°	délka skenu 14 cm, full fan, full bowtie filtr	mód: Low dose, neuvažována dávka v kostní dřeni, na povrchu kostí, v mozku, v prostatě, v brzlíku, ve slinných žlázách a v sliznici dutiny ústní, izocentrum v řezu 5 Rando fantomu	0,9	0,7
		XVI	Elekta Synergy	100 kV, 36 mAs, rotace 210°	filtr F0, délka skenu 28 cm, kolimátor S20	mód: Head and neck, izocentrum v řezu 7 Rando fantomu	0,1	0,1
2 kV snímky	pánev	OBI 1.4	Varian Clinac	AP: 75 kV, 16 mAs, LAT: 120 kV, 126 mAs	velikost snímků 20 x 20 cm ²	full bowtie filtr, izocentrum v řezu 31 Rando fantomu	0,8	0,6
		OBI 1.3	Varian Clinac	AP: 75 kV, 4 mAs, LAT: 120 kV, 20 mAs	velikost snímků 18 x 18 cm ²	neuvažována dávka v kostní dřeni a na povrchu kostí, izocentrum v řezu 31 Rando fantomu	0,1	0,1
		XVI	Elekta Synergy	AP: 120 kV, 5 mAs, LAT: 120 kV, 6,4 mAs	velikost snímků 28 x 28 cm ² , filtr F0, kolimátor S20	izocentrum v řezu 31 Rando fantomu	0,2	0,2
	hlava a krk	OBI 1.4	Varian Clinac	AP: 100 kV, 8 mAs, LAT: 70 kV, 5mAs	velikost snímků 20 x 20 cm ² ,	izocentrum v řezu 7 Rando fantomu	0,05	0,05

					full bowtie filtr			
		OBI 1.3	Varian Clinac	AP: 85 kV, 3,6 mAs LAT: 65 kV, 2,4 mAs	velikost snímků 18 x 18 cm ² , bez bowtie filtru	neuvažována dávka v kostní dřeni a na povrchu kostí, izocentrum v řezu 5 Rando fantomu	0,01	0,01
		XVI	Elekta Synergy	AP: 100 kV, 0,5 mAs LAT: 100 kV, 0,5 mAs	velikost snímků 28 x 28 cm ² , filtr F0, kolimátor S20	izocentrum v řezu 5 Rando fantomu	0,01	0,01
2 MV snímky	pánev	iViewGT	Elekta Synergy	Nominální energie: 6MV AP: 5 MU LAT: 5 MU	velikost snímků: AP: 15 x 15 cm ² LAT: 10 x 15 cm ²	izocentrum v řezu 31 Rando fantomu	11,9	8,5
	hlava a krk	PortalVision	Varian Clinac	Nominální energie: 6MV AP: 5 MU LAT: 5 MU	velikost snímků: 18 x 25 cm ²	izocentrum v řezu 7 Rando fantomu	8,6	10,3
	hlava a krk	iViewGT	Elekta Synergy	Nominální energie: 6 MV AP: 5 MU LAT: 5 MU	velikost snímků: 18 x 25 cm ²	izocentrum v řezu 7 Rando fantomu	7,9	9,1
MV CBCT sken	pánev	MVision	Siemens Artiste	Nominální energie: 6 MV, 15 MU, rotace 360°	délka skenu 27 cm, velikost pole 27 x 27 cm ²	mód: Pelvis, izocentrum v řezu 31 Rando fantomu	39,1	26,1
	hlava a krk	MVision	Siemens Artiste	Nominální energie: 6 MV, 8 MU, rotace 360°	délka skenu 27 cm, velikost pole 27 x 27 cm ²	mód: Head and neck, izocentrum v řezu 7 Rando fantomu	8,9	10,3

Tabulka B1.6: Parametry nastavení a vypočtené efektivní dávky pro jednotlivé verifikační metody radioterapie vztažené na jeden CBCT sken nebo na jeden pár snímků.

E_{60} ...efektivní dávka vypočítaná podle doporučení ICRP 60 [1]. E_{103} ...efektivní dávka vypočítaná podle doporučení ICRP 103 [2]. Hodnoty efektivní dávky se vztahují k jednomu skenu nebo k jednomu páru snímků. Efektivní dávka se vztahuje pouze na referenčního muže (Reference Man). V případě použití těchto dat pro stanovení efektivní dávky pro ženy se navyšuje nejistota stanovení efektivní dávky. AP...předozadní, LAT...boční, MU...monitorová jednotka, OBI...On-Board Imager, XVI...X-ray Volume Imaging.

Verifikační metoda: např. kV CBCT sken, 2 kV snímky, 2 MV snímky	Verifikovaná oblast: např. pánev, hlava a krk	Specifikace zobrazovacího systému: např. OBI 1.3, OBI 1.4, XVI, iViewGT	Specifikace lineárního urychlovače: např. Varian Clinac, Elekta Synergy	Hlavní expoziční parametry: např. kV, mAs, počet MU, úhel rotace	Další parametry: např. délka skenu, velikost snímků, kolimátor (např. M10, S20), bowtie filtry	Umístění izocentra skenu resp. snímků: (slovní popis)	Poznámky: např. pohlaví, výška a hmotnost pacienta	Efektivní dávka* [mSv]

Tabulka B1.7: Tabulka pro záznam údajů o verifikačním ozáření pacienta a pro odhad efektivní dávky.

* Pracoviště si do tabulky mohou s využitím Tabulky 6 rovnou zaznamenávat také hodnotu efektivní dávky. Efektivní dávka se vztahuje k jednomu skenu nebo k jednomu páru snímků. Efektivní dávka se vztahuje pouze na referenčního muže (175 cm, 73,5 kg), přičemž čím více se mužští pacienti liší od referenčního muže, tím vyšší je i nejistota odhadu efektivní dávky. Vyšší nejistotou jsou zatíženy také efektivní dávky pro ženy. Pro kV resp. MV snímky se vyplní nejdříve všechny parametry pro jeden snímek (např. předozadní) a potom pro další snímek (např. boční).

verifikační metoda	verifikovaná oblast	zobrazovací systém, měřené veličiny, fantomy a detektory	literatura
kV CBCT sken	pánev	OBI 1.3, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Kan [1]
		OBI 1.4, XVI, orgánové a efektivní dávky, hybridní fantom + FOC dozimetrie	Hyer [2]
		OBI 1.4, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Cheng [3]
		OBI, orgánové a efektivní dávky, voxelový VIP-Man fantom, výpočet metodou Monte Carlo	Gu [4]
		OBI 1.3, dávkové distribuce, orgánové dávky, CT snímky pacientů, výpočet metodou Monte Carlo	Ding [5]
		OBI 1.4 a 1.3, dávkové distribuce, CT snímky pacientů, výpočet metodou Monte Carlo	Ding [6]
		OBI 1.4, XVI, True Beam CBCT, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Haelg [7]
		XVI, dávkové distribuce, voxelový fantom, výpočet metodou Monte Carlo	Downes [8]
		XVI, absorbované dávky, Rando fantom + TLD	Stock [9]
		XVI, efektivní dávka pomocí programu ImpACT, absorbované dávky pomocí Rando fantomu a TLD	Amer [10]
	hlava a krk	OBI 1.3, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Kan [1]
		OBI 1.4, XVI, orgánové a efektivní dávky, hybridní fantom + FOC dozimetrie	Hyer [2]
		OBI 1.4, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Cheng [3]
		OBI, orgánové a efektivní dávky, voxelový VIP-Man fantom, výpočet metodou Monte Carlo	Gu [4]
		OBI 1.3, dávkové distribuce, orgánové dávky, CT snímky pacientů, výpočet metodou Monte Carlo	Ding [5]
		OBI 1.4 a 1.3, dávkové distribuce, CT snímky pacientů, výpočet metodou Monte Carlo	Ding [6]
		XVI, dávkové distribuce, voxelový fantom, výpočet metodou Monte Carlo	Downes [8]
		XVI, absorbované dávky, Rando fantom + TLD	Stock [9]
		XVI, efektivní dávka pomocí programu ImpACT, absorbované dávky pomocí Rando fantomu a TLD	Amer [10]
		hrudník	OBI 1.3, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD
	OBI 1.4, XVI, orgánové a efektivní dávky, hybridní fantom + FOC dozimetrie		Hyer [2]
	OBI 1.3, dávkové distribuce, orgánové dávky, CT snímky pacientů, výpočet metodou Monte Carlo		Ding [5]

		OBI 1.4 a 1.3, dávkové distribuce, CT snímky pacientů, výpočet metodou Monte Carlo	Ding [6]
		XVI, dávkové distribuce, voxelový fantom, výpočet metodou Monte Carlo	Downes [8]
		XVI, efektivní dávka pomocí programu ImPACT, absorbované dávky pomocí Rando fantomu a TLD	Amer [10]
	prs	OBI 1.5, efektivní dávky, orgánové dávky v ozářené oblasti, Rando fantom + gafchromické filmy, výpočet programem PCXMC, dávky mimo ozářenou oblast zanedbali	Alvarado [11]
2 kV snímky	pánev	XVI, absorbované dávky, Rando fantom + TLD	Stock [9]
		OBI 1.4, kV snímky na CyberKnife, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Halg [7]
		OBI 1.3, efektivní dávka (konverze na E dle Ki), oválný IMRT fantom + Unfors Xi	Nechvíl [12]
	hlava a krk	XVI, absorbované dávky, Rando fantom + TLD	Stock [9]
	prs	OBI 1.5, efektivní dávky, orgánové dávky v ozářené oblasti, Rando fantom + gafchromické filmy, výpočet programem PCXMC, dávky mimo ozářenou oblast zanedbali	Alvarado [11]
2 MV snímky	pánev	TPS Pinnacle, orgánové a absorbované dávky, CT snímky pacientů + výpočet pomocí plánovacího systému	Peng [13]
		Varian (PVI), Elekta (iView), Siemens, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Halg [7]
		Siemens portalvision, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Harrison [14]
		iViewGT (Elekta), absorbované dávky, Rando fantom + TLD	Stock [9]
		TPS Helax-TMS, efektivní dávky, CT snímek průměrného pacienta + výpočet pomocí plánovacího systému	Waddington a Kenzie [15]
	hlava a krk	TPS Pinnacle, orgánové a absorbované dávky, CT snímky pacientů + výpočet pomocí plánovacího systému	Peng [13]
		iViewGT (Elekta), absorbované dávky, Rando fantom + TLD	Stock [9]
		TPS Helax-TMS, efektivní dávky, CT snímek průměrného pacienta + výpočet pomocí plánovacího systému, poznámka: pouze pro boční MV snímek krku	Waddington a Kenzie [15]
	hrudník	TPS Pinnacle, orgánové a absorbované dávky, CT snímky pacientů + výpočet pomocí plánovacího systému	Peng [13]
		TPS Helax-TMS, efektivní dávky, CT snímek průměrného pacienta + výpočet pomocí plánovacího systému	Waddington a Kenzie [15]
	prs	TPS Pinnacle, orgánové a absorbované dávky, CT snímky pacientů + výpočet pomocí plánovacího systému	Peng [13]
		Siemens portalvision, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD, poznámka: pouze pro boční MV snímek prsu	Harrison [16]

	hrtan	Siemens portalvision, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Harrison [16]
MV CBCT sken	pánev	orgánové a efektivní dávky, voxelový VIP-Man fantom, výpočet metodou Monte Carlo	Gu [4]
		Siemens MV CBCT, orgánové a efektivní dávky, Rando fantom + TLD	Halg [7]
		TPS Pinnacle, orgánové a absorbované dávky, CT snímky pacientů + výpočet pomocí plánovacího systému	Peng [13]
	hlava a krk	orgánové a efektivní dávky, voxelový VIP-Man fantom, výpočet metodou Monte Carlo	Gu [4]
		TPS Pinnacle, orgánové a absorbované dávky, CT snímky pacientů + výpočet pomocí plánovacího systému	Peng [13]
	hrudník	TPS Pinnacle, orgánové a absorbované dávky, CT snímky pacientů + výpočet pomocí plánovacího systému	Peng [13]
	prs	TPS Pinnacle, orgánové a absorbované dávky, CT snímky pacientů + výpočet pomocí plánovacího systému	Peng [13]

Tabulka B1.8: Rešerše literatury k verifikačním metodám.

	verifikovaná oblast	1. týden	2. týden	3. týden	4. týden	5. týden	6. týden	7. týden	celková efektivní dávka [mSv]
schéma 1	pánev								
schéma 2	hlava a krk								

Tabulka B1.9: Tabulka pro zaznamenání způsobu použití verifikačních metod v průběhu celého kurzu radioterapie na daném pracovišti pro usnadnění stanovení celkové efektivní dávky.

Verifikační metody: ° kV CBCT sken, * dva ortogonální kV snímky, + dva ortogonální MV snímky, □ MV CBCT sken

	počet pracovišť	1. týden	2. týden	3. týden	4. týden	5. týden	6. týden	7. týden
schéma 1	5	+++	+	+	+	+	+	+
schéma 2	1	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
schéma 3	2	°	°	°	°	°	°	°
schéma 4	3	+	+	+	+	+	+	+
schéma 5	4	ooo	o	o	o	o	o	o
schéma 6	2	oooo	oooo	oooo	oooo	oooo	oooo	oooo
schéma 7	3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
schéma 8	1	+++++	+	+	+	+	+	+
schéma 9	1	oooo	o	o	o	o	o	o
schéma 10	1	□□□	□	□	□	□	□	□
schéma 11	1	+		+		+		+

Tabulka B1.10: Schémata použití verifikačních metod při radioterapii prostaty na vybraných pracovištích v ČR.

° kV CBCT sken, * dva ortogonální kV snímky, + dva ortogonální MV snímky, □ MV CBCT sken

	počet pracovišť	1. týden	2. týden	3. týden	4. týden	5. týden	6. týden	7. týden
schéma 1	4	++++	+	+	+	+	+	+
schéma 2	3	°	°	°	°	°	°	°
schéma 3	4	+	+	+	+	+	+	+
schéma 4	3	°°°	°	°	°	°	°	°
schéma 5	1	*****	*	*	*	*	*	*
schéma 6	2	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
schéma 7	1	++++++	+	+	+	+	+	+
schéma 8	1	□□□	□	□	□	□	□	□
schéma 9	1	+		+		+		+

Tabulka B1.11: Schémata použití verifikačních metod při radioterapii hlavy a krku na vybraných pracovištích v ČR.

° kV CBCT sken, * dva ortogonální kV snímky, + dva ortogonální MV snímky, □ MV CBCT sken

KAPITOLA C: STANOVENÍ A HODNOCENÍ DÁVEK PACIENTŮ PŘI DIAGNOSTICKÝCH A LÉČEBNÝCH APLIKACÍCH OTEVŘENÝCH RADIONUKLIDOVÝCH ZÁŘIČŮ

Diagnostická aplikace radiofarmak

Při diagnostickém podání radiofarmaka lze stanovit radiační zátěž vyjádřenou veličinami efektivní dávka pacienta a ekvivalentní dávka v orgánech pacienta. Pro tyto účely je nutné zaznamenávat u každého pacienta následující údaje:

- název diagnostického výkonu,
- věk, pohlaví, hmotnost, výška a onemocnění pacienta,
- druh aplikovaného radiofarmaka,
- způsob aplikace (perorální, intravenózní, inhalací),
- aktivita aplikovaného radiofarmaka.

Radiační zátěž se stanovuje za pomoci tabulek (ekvivalentní resp. efektivní dávka v mGy.MBq^{-1} resp. mSv.MBq^{-1}) uváděných především v publikacích ICRP, které jsou v současné době považovány za nejspolehlivější - ICRP 53, ICRP 80 a ICRP 106 [Ref. 17, 24, 26]. Hodnoty dávek v těchto tabulkách jsou platné pro matematické modely referenčního člověka (70 kg) a referenčních dětí 1 rok (9,8 kg), 5 let (19 kg), 10 let (32 kg) a 15 let (57 kg) a opírají se o modely distribuce a kinetiky radiofarmak u zdravých osob sestavené na základě průměrných údajů publikovaných v odborné literatuře. Pokud je pacient svou hmotností či anatomickými a biokinetickými parametry významně odlišný od referenčního modelu, rozdíly v absorbovaných orgánech oproti tabelovaným hodnotám mohou být dány až faktorem 3, v případě efektivní dávky faktorem 2.

Způsob odhadu efektivní dávky pacienta a ekvivalentních dávek v orgánech pacienta

Efektivní dávka resp. ekvivalentní dávky v orgánech těla při daném vyšetření se stanoví násobením efektivní resp. ekvivalentní dávky v mSv.MBq^{-1} resp. mGy.MBq^{-1} (z tabulek) aktivitou radiofarmaka aplikovaného pacientovi.

Způsob hodnocení dávek pacientů

Význam diagnostických referenčních úrovní v NM je odlišný od rentgenové diagnostiky [Ref. 28]. Nejdůležitější rozdíl spočívá v tom, že v NM je diagnostická referenční úroveň považována za doporučenou úroveň aplikované aktivity. Lze tedy říci, že po stanovení MDRÚ je její hodnota pro dané vyšetření právě tím množstvím aktivity, které má být 70kg pacientovi aplikováno. V případě pacientů s hmotností vyšší nebo nižší než 70 kg se odpovídajícím způsobem upravuje aplikovaná aktivita.

MDRÚ v nukleární medicíně se stanovuje pro jednotlivé zobrazovací modalitty zvlášť. Rovněž se pro každou modalitu zvlášť provádí porovnání její hodnoty s hodnotou národní diagnostické referenční úrovně. Toto je dáno skutečností, že každá zobrazovací modalita může (a v praxi často má) jiné detekční parametry a z důvodu zachování jednotné kvality obrazu napříč zobrazovacími přístroji je často nutné používat rozdílné aplikované aktivity. Stanovení MDRÚ není provedeno na základě průměrné hodnoty aplikované aktivity pro dané vyšetření v rámci všech zobrazovacích přístrojů a standardního pacienta, ale jako hodnota MDRÚ je brána obvykle aplikovaná aktivita pro dané vyšetření, zobrazovací přístroj a standardního pacienta. Při úpravě aplikované aktivity je v rozmezí 60-85 kg používána totožná hodnota aktivity (na základě totožné hodnoty faktoru pro úpravu aplikované aktivity) a tedy použití obvykle aplikované aktivity je pro účely optimalizace radiační zátěže plně dostačující. Z významu MDRÚ v nukleární medicíně vyplývá, že se jedná právě o aktivitu, jejíž aplikace standardnímu pacientovi povede na daném zobrazovacím přístroji k vytvoření dostatečně kvalitního obrazu.

L é č e b n á a p l i k a c e r a d i o f a r m a k

Při léčebném podání radiofarmaka lze stanovit radiační zátěž vyjádřenou veličinou absorbovaná dávka. Pro tyto účely je nutné zaznamenávat u každého pacienta následující údaje:

- název výkonu a léčeného onemocnění,
- věk, pohlaví a hmotnost pacienta,
- druh aplikovaného radiofarmaka,
- aktivita aplikovaného radiofarmaka,
- způsob aplikace (perorální nebo intravenózní),
- údaje o biokinetice radiofarmaka v těle pacienta,
- hmotnost (objem) tumoru/uzliny/tkáně, pro kterou je dávka stanovována.

Přestože existují standardní modely, při terapeutických aplikacích je nelze kvůli velké odlišnosti kinetiky radiofarmaka v těle pacienta použít. Odlišná kinetika je dána onemocněním pacienta, standardní modely jsou obvykle vytvářeny na základě údajů získaných od zdravých osob. Při léčebných aplikacích je tedy důležité popsat individuální pacient-specifickou biokinetiku radiofarmaka. Obvykle se zaznamenává průběh aktivity v těle/orgánu/tkáni v čase od aplikace radiofarmaka. Při výpočtu absorbované dávky v těle/orgánu/tkáni se dále postupuje podle metodiky MIRD využívající tabelované nebo pacient-specifické S-faktory.

Způsob hodnocení dávek pacientů

Při léčebné aplikaci radiofarmak se hodnotí účinnost léčby, tedy odezva onemocnění ve vztahu k absorbované dávce.

Část C.1: Tabulky pro stanovení radiační zátěže při diagnostických aplikacích v nukleární medicíně pro standardní pacienty - dospělí, děti 15, 10, 5 a 1 rok

Radiační zátěž osoby vyšetřované pomocí radiofarmaka se vyjadřuje souborem ekvivalentních dávek v jednotlivých orgánech a tkáních a efektivní dávkou.

Ekvivalentní dávka je definována vztahem $H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$, kde $D_{T,R}$ je absorbovaná dávka ve

tkáni či orgánu, způsobená zářením druhu R a w_R je příslušný radiační váhový faktor. Jednotkou ekvivalentní dávky je Sv (sievert), častěji se setkáme s jednotkou mSv. V diagnostické nukleární medicíně se používají jen radioaktivní látky emitující fotonové záření a záření beta (pozitrony, případně elektrony, pokud se jedná o směsný zářič beta-gama), resp. konverzní a Augerovy elektrony. Příslušný radiační váhový faktor pro tyto druhy záření je roven jedné. Proto se často místo “ekvivalentní dávky“ používá termín “dávka“. Jednotkou absorbované dávky je Gy (v diagnostických aplikacích běžněji mGy).

Efektivní dávka je sumou ekvivalentních dávek jednotlivých tkání a orgánů vážených tkáňovým váhovým faktorem $E = \sum_T w_T H_T$. Tkáňový váhový faktor w_T vyjadřuje radiosenzitivitu jednotlivých orgánů a tkání T z hlediska stochastických účinků záření. Jednotkou je Sv, běžněji užívanou jednotkou je mSv.

Postup při výpočtu koeficientů

Není-li uvedeno jinak, koeficienty pro střední absorbovanou dávku v nejvíce zatíženém orgánu (mGy) a efektivní dávku (mSv) vztažené na 1 MBq aplikované aktivity a uvedené níže v tabulkách byly vypočteny na základě dat uveřejněných v publikacích ICRP [Ref. 17, 24, 25, 26, 27]. V těch případech, kdy byl použit jiný zdroj dat, je v tabulce uveden příslušný odkaz.

Postup při stanovení radiační zátěže pacienta

Pro výpočet radiační zátěže konkrétního pacienta se pro příslušné radiofarmakum odečtou tabelované koeficienty pro střední absorbovanou dávku v nejvíce zatíženém orgánu (mGy) a efektivní dávka (mSv) vztažené na 1 MBq aplikované aktivity, které jsou platné pro matematické modely referenčního člověka a referenčních dětí. Tyto tabelované hodnoty koeficientů se vynásobí aktivitou radiofarmaka aplikovanou pacientovi. Hodnoty jsou uvedené pro děti ve věku 1, 5, 10 a 15 let a dospělého člověka. V případě velké odchylky věku nebo hmotnosti pacienta od tabelovaných hodnot se použije interpolace. Tabulky obsahují dávky v nejvíce zatížených orgánech a efektivní dávky nejen pro zdravé jedince, ale také pro osoby trpící některými onemocněními.

**1. Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech
a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM**
Dospělí

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
⁵¹ Cr-EDTA	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	2,40E-02	2,00E-03
⁵¹ Cr-erythrocyty	Stanovení objemu cirkulujících erytrocytů a celé krve	slezina	1,60E+00	1,70E-01
	Stanovení přežívání krevních elementů			
⁵¹ Cr-trombocyty	Stanovení přežívání krevních elementů	slezina	2,60E+00	1,40E-01
⁶⁷ Ga	Scintigrafie ⁶⁷ Ga	povrchy kostí	6,30E-01	1,00E-01
^{81m} Kr	Scintigrafie plic - ventilační	plice	2,10E-04	2,70E-05
^{99m} Tc-aerosol	Scintigrafie plic - ventilační	močový měchýř	4,70E-02	6,10E-03
^{99m} Tc-alterované erythrocyty	Scintigrafie jater a sleziny	slezina	5,60E-01	1,90E-03
^{99m} Tc-antigranulocytární protilátky	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	6,00E-02	9,80E-03
	Scintigrafie zánětu po podání antigranulocytárních monoklonálních protilátek			
^{99m} Tc-DMSA	Scintigrafie ledvin statická	ledviny	1,80E-01	8,80E-03
^{99m} Tc-DTPA	Radionuklidová kardioangiografie (metoda prvního průtoku)	močový měchýř	6,20E-02	4,90E-03
	Dynamická scintigrafie ledvin			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků			
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze	horní část tlustého střeva	1,20E-01	1,90E-02
	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)			
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			
Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)			2,40E-02	
^{99m} Tc-erythrocyty	Radionuklidová rovnovážná ventrikulografie	srdce	2,30E-02	7,00E-03
	Scintigrafie ke stanovení lokalizace krvácení do trávicího traktu			
	Scintigrafie jater - detekce hemangiomu			
^{99m} Tc-ECD	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	močový měchýř	5,0E-02	7,7E-03
^{99m} Tc-fosfonáty a fosfáty	Scintigrafie skeletu	povrchy kostí	6,30E-02	5,70E-03
^{99m} Tc-HMPAO	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	ledviny	3,40E-02	9,30E-03
^{99m} Tc-HMPAO leukocyty	Detekce ložisek zánětu autologními leukocyty	slezina	1,50E-01	1,10E-02
^{99m} Tc-IDA	Dynamická hepatobiliární scintigrafie	žlučník	1,10E-01	1,70E-02

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
^{99m} Tc-koloid	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)	horní část tlustého střeva	1,20E-01	1,90E-02
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			
	Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)			2,40E-02
	Scintigrafie jater a sleziny	slezina	7,50E-02	9,40E-03
^{99m} Tc-MAA	Radionuklidová venografie	plíce	6,60E-02	1,10E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-MAG3	Dynamická scintigrafie ledvin	močový měchýř	1,10E-01	7,00E-03
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze			
	Dynamická scintigrafie ledvin diuretická			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků - abnormální renální funkce			
	- akutní jednostr. blokáda ledviny	ledviny	2,00E-01	1,00E-02
^{99m} Tc-MIBI	Perfuzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	3,90E-02	9,00E-03
	Scitigrafie příštítných tělísek		3,30E-02	7,90E-03
	Perfuzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)			
^{99m} Tc-mikrosféry	Radionuklidová venografie	plíce	5,8E-0,2	1,00E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-nanokoloid	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	7,70E-02	9,70E-03
	Lymfoscintigrafie		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce SLN		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu do oblasti prsu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce sentinelových uzlin – intratumorální aplikace prsu 6 hodin před odstraněním tumoru	srdce	4,1E-03	1,2E-03
	Detekce sentinelových uzlin – intratumorální aplikace prsu 18 hodin před odstraněním tumoru	srdce	7,1E-03	2,0E-03
^{99m} Tc-radiofarmaka	Přímá radionuklidová cystografie	nestanoveno	nestanoveno	nestanoveno
^{99m} Tc-technecistan	Scintigrafie Meckelova divertiklu	horní část tlustého střeva	5,70E-02	1,30E-02
	Scintigrafie štítné žlázy			
	Scintigrafie příštítných tělísek - při blokáde štítné žlázy	močový měchýř	3,00E-02	4,20E-03
^{99m} Tc-tetrofosmin	Perfuzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	3,60E-02	7,60E-03
	Perfuzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)		2,70E-02	7,00E-03
¹¹¹ In-DTPA	Scintigrafie cerebrospinálních likvorových cest (cisternografie)	mícha	9,50E-01	1,40E-01
¹¹¹ In-pentetreotid	Scintigrafie nádorů	slezina	5,70E-01	5,40E-02

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
¹²³ I – značené neuroreceptory	SPECT zobrazení dopaminových transportérů ve striatu pomocí ligandů značených ¹²³ I	žlučník	1,8E-01	5,0E-02
¹²³ I-jodid	Scintigrafie štítné žlázy (akumulace 35%)	štítná žláza	4,50E+00	2,20E-01
¹²³ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	6,70E-02	1,30E-02
¹³¹ I-hippuran	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	9,20E-01	5,20E-02
¹³¹ I-jodid	Celotělové scintigrafie ¹³¹ I u karcinomu štítné žlázy (akumulace 0%)	stěna močového měchýře	6,10E-01	6,10E-02
	Radionuklidový akumulační test (akumulace 35%)	štítná žláza	5,00E+02	2,40E+01
¹³¹ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	8,30E-01	1,40E-01
¹³³ Xe	Scintigrafie plic - ventilační (dýchání 5 min.)	plíce	1,10E-03	7,30E-04
²⁰¹ Tl-chlorid	Perfúzní scintigrafie myokardu	ledviny	4,8E-01	1,7E-01
	Scitigrafie příštítných tělísek			
¹⁸ FDG	PET zobrazení metabolismu glukózy	močový měchýř	1,3E-01	1,9E-2
¹⁸ FLT	Mitotická aktivita tkání	játra	4,8E-02	1,5E-02
¹⁸ F-fluoridy	PET skeletu	močový měchýř	1,5E-01	1,7E-02
¹⁸ F-L-DOPA	PET zobrazení metabolismu dopaminu	močový měchýř	3,0E-01	2,5E-02
¹⁸ F-cholin	PET nádorů	ledviny	9,7E-02	2,0E-02

Tabulka CI.1: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Dospělí).

2. Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM

Děti 15 let

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
⁵¹ Cr-EDTA	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	3,10E-02	2,60E-03
⁵¹ Cr-erythrocyty	Stanovení objemu cirkulujících erytrocytů a celé krve	slezina	2,10E+00	2,16E-01
	Stanovení přežívání krevních elementů			
⁵¹ Cr-trombocyty	Stanovení přežívání krevních elementů	slezina	3,70E+00	2,04E-01
⁶⁷ Ga	Scintigrafie ⁶⁷ Ga	povrchy kostí	8,10E-01	1,30E-01
^{81m} Kr	Scintigrafie plic - ventilační	plíce	3,10E-04	4,00E-05
^{99m} Tc-aerosol	Scintigrafie plic - ventilační	močový měchýř	5,80E-02	7,93E-03
^{99m} Tc-alterované erythrocyty	Scintigrafie jater a sleziny	slezina	7,80E-01	2,60E-03
^{99m} Tc-antigranulocytární protilátky	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	8,40E-02	1,20E-02
	Scintigrafie zánětu po podání antigranulocytárních monoklonálních protilátek			
^{99m} Tc-DMSA	Scintigrafie ledvin statická	ledviny	2,20E-01	1,10E-02
^{99m} Tc-DTPA	Radionuklidová kardioangiografie (metoda prvního průtoku)	močový měchýř	7,80E-02	6,20E-03
	Dynamická scintigrafie ledvin			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků			
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze			
	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)	horní část tlustého střeva	1,50E-01	2,50E-02
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			
	Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)			3,10E-02
^{99m} Tc-erythrocyty	Radionuklidová rovnovážná ventrikulografie	srdce	2,90E-02	8,90E-03
	Scintigrafie ke stanovení lokalizace krvácení do trávicího traktu			
	Scintigrafie jater - detekce hemangiomu			
^{99m} Tc-ECD	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	močový měchýř	6,20E-02	9,90E-03
^{99m} Tc-fosfonáty a fosfáty	Scintigrafie skeletu	povrchy kostí	8,20E-02	7,00E-03
^{99m} Tc-HMPAO	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	ledviny	4,10E-02	1,10E-02
^{99m} Tc-HMPAO leukocyty	Detekce ložisek zánětu autologními leukocyty	slezina	2,10E-01	1,40E-02
^{99m} Tc-IDA	Dynamická hepatobiliární scintigrafie	žlučník	1,20E-01	2,10E-02

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
^{99m} Tc-koloid	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)	horní část tlustého střeva	1,50E-01	2,50E-02
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			3,10E-02
	Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)	slezina	1,10E-01	
	Scintigrafie jater a sleziny			
^{99m} Tc-MAA	Radionuklidová venografie	plíce	9,70E-02	1,60E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-MAG3	Dynamická scintigrafie ledvin	močový měchýř	1,40E-01	9,00E-03
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze			
	Dynamická scintigrafie ledvin diuretická			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků			
	- abnormální renální funkce	ledviny	1,10E-01	7,80E-03
	- akutní jednostr. blokáda ledviny	ledviny	2,40E-01	1,20E-02
^{99m} Tc-MIBI	Perfúzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	4,50E-02	1,20E-02
	Scitigrafie příštítných tělísek		3,80E-02	1,00E-02
	Perfúzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)			
^{99m} Tc-mikrosféry	Radionuklidová venografie	plíce	8,60E-02	1,46E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-nanokoloid	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	1,10E-01	1,32E-02
	Lymfoscintigrafie		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce SLN		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu do oblasti prsu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce sentinelových uzlin – intratumorální aplikace prsu 6 hodin před odstraněním tumoru	srdce	5,2E-03	1,4E-03
	Detekce sentinelových uzlin – intratumorální aplikace prsu 18 hodin před odstraněním tumoru	srdce	9,1E-03	2,4E-03
^{99m} Tc-radiofarmaka	Přímá radionuklidová cystografie	močový měchýř	1,18E-02	5,75E-04 [Ref. 34]
^{99m} Tc-technecistan	Scintigrafie Meckelova divertiklu	horní část tlustého střeva	7,30E-02	1,70E-02
	Scintigrafie štítné žlázy			
	Scintigrafie příštítných tělísek	močový měchýř	3,80E-02	5,40E-03
	- při blokádě štítné žlázy			
^{99m} Tc-tetrofosmin	Perfúzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	4,00E-02	9,60E-03
	Perfúzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)		3,10E-02	8,20E-03
¹¹¹ In-DTPA	Scintigrafie cerebrospinálních likvorových cest (cisternografie)	mícha	nestanoveno	nestanoveno
¹¹¹ In-pentetreotid	Scintigrafie nádorů	slezina	7,90E-01	7,10E-02

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
¹²³ I – značené neuroreceptory	SPECT zobrazení dopaminových transportérů ve striatu pomocí ligandů značených ¹²³ I	žlučník	2,1E-01	6,1E-02
¹²³ I-jodid	Scintigrafie štítné žlázy (akumulace 35%)	štítná žláza	7,00E+00	3,37E-01
¹²³ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	8,70E-02	1,70E-02
¹³¹ I-hippuran	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	1,20E+00	6,70E-02
¹³¹ I-jodid	Celotělové scintigrafie ¹³¹ I u karcinomu štítné žlázy (akumulace 0%)	stěna močového měchýře	7,50E-01	7,46E-02
	Radionuklidový akumulační test (akumulace 35%)	štítná žláza	7,90E+02	3,84E+01
¹³¹ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	1,10E+00	1,82E-01
¹³³ Xe	Scintigrafie plic - ventilační (dýchání 5 min.)	plíce	1,70E-03	9,13E-04
²⁰¹ Tl-chlorid	Perfúzní scintigrafie myokardu	ženy - ledviny	5,8E-01	2,5E-01
	Scitigrafie příštítných tělísek	muži - varlata	1,1E+00	
¹⁸ FDG	PET zobrazení metabolismu glukózy	močový měchýř	1,6E-01	2,4E-02
¹⁸ FLT	Mitotická aktivita tkání	játra	6,3E-02	1,9E-02
¹⁸ F-fluoridy	PET skeletu	močový měchýř	1,9E-01	2,0E-02
¹⁸ F-L-DOPA	PET zobrazení metabolismu dopaminu	močový měchýř	3,8E-01	3,2E-02
¹⁸ F-cholin	PET nádorů	ledviny	1,2E-01	2,4E-02

Tabulka C1.2: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Děti 15 let).

3. Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM

Děti 10 let

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
⁵¹ Cr-EDTA	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	3,80E-02	3,40E-03
⁵¹ Cr-erythrocyty	Stanovení objemu cirkulujících erytrocytů a celé krve	slezina	3,30E+00	3,40E-01
	Stanovení přežívání krevních elementů			
⁵¹ Cr-trombocyty	Stanovení přežívání krevních elementů	slezina	5,60E+00	3,09E-01
⁶⁷ Ga	Scintigrafie ⁶⁷ Ga	povrchy kostí	1,30E+00	2,00E-01
^{81m} Kr	Scintigrafie plic - ventilační	plíce	4,40E-04	5,70E-05
^{99m} Tc-aerosol	Scintigrafie plic - ventilační	močový měchýř	8,40E-02	1,13E-02
^{99m} Tc-alterované erythrocyty	Scintigrafie jater a sleziny	slezina	1,20E+00	3,89E-03
^{99m} Tc-antigranulocytární protilátky	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	1,30E-01	1,90E-02
	Scintigrafie zánětu po podání antigranulocytárních monoklonálních protilátek			
^{99m} Tc-DMSA	Scintigrafie ledvin statická	ledviny	3,00E-01	1,50E-02
^{99m} Tc-DTPA	Radionuklidová kardioangiografie (metoda prvního průtoku)	močový měchýř	9,70E-02	8,20E-03
	Dynamická scintigrafie ledvin			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků			
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze	horní část tlustého střeva	2,50E-01	3,90E-02
	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)			
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			
Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)			4,80E-02	
^{99m} Tc-erythrocyty	Radionuklidová rovnovážná ventrikulografie	srdce	4,30E-02	1,40E-02
	Scintigrafie ke stanovení lokalizace krvácení do trávicího traktu			
	Scintigrafie jater - detekce hemangiomu			
^{99m} Tc-ECD	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	močový měchýř	8,70E-02	1,50E-02
^{99m} Tc-fosfonáty a fosfáty	Scintigrafie skeletu	povrchy kostí	1,30E-01	1,10E-02
^{99m} Tc-HMPAO	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	ledviny	5,70E-02	1,70E-02
^{99m} Tc-HMPAO leukocyty	Detekce ložisek zánětu autologními leukocyty	slezina	3,10E-01	2,20E-02
^{99m} Tc-IDA	Dynamická hepatobiliární scintigrafie	žlučník	1,60E-01	2,90E-02

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
^{99m} Tc-koloid	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)	horní část tlustého střeva	2,50E-01	3,90E-02
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			
	Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)			4,80E-02
	Scintigrafie jater a sleziny	slezina	1,60E-01	1,80E-02
^{99m} Tc-MAA	Radionuklidová venografie	plíce	1,30E-01	2,30E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-MAG3	Dynamická scintigrafie ledvin	močový měchýř	1,70E-01	1,20E-02
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze			
	Dynamická scintigrafie ledvin diuretická			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků			
	- abnormální renální funkce	1,30E-01	1,00E-02	
	- akutní jednostr. blokáda ledviny	ledviny	3,30E-01	1,70E-02
^{99m} Tc-MIBI	Perfúzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	5,80E-02	1,80E-02
	Scitigrafie příštítných tělísek			
	Perfúzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)		4,90E-02	1,60E-02
^{99m} Tc-mikrosféry	Radionuklidová venografie	plíce	1,20E-01	2,00E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-nanokoloid	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	1,60E-01	2,01E-02
	Lymfoscintigrafie		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce SLN		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu do oblastí prsu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce sentinelových uzlin – intratumorální aplikace prsu	srdce	vyšetření se neprovádí	vyšetření se neprovádí
^{99m} Tc-radiofarmaka	Přímá radionuklidová cystografie	močový měchýř	1,23E-02	7,25E-04 [Ref. 34]
^{99m} Tc-technecistan	Scintigrafie Meckelova divertiklu	horní část tlustého střeva	1,20E-01	2,60E-02
	Scintigrafie štítné žlázy			
	Scintigrafie příštítných tělísek - při blokádě štítné žlázy	močový měchýř	4,80E-02	7,70E-03
^{99m} Tc-tetrofosmin	Perfúzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	5,30E-02	1,30E-02
	Perfúzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)		4,10E-02	1,20E-02
¹¹¹ In-DTPA	Scintigrafie cerebrospinálních likvorových cest (cisternografie)	mícha	nestanoveno	nestanoveno
¹¹¹ In-pentetreotid	Scintigrafie nádorů	slezina	1,20E+00	1,00E-01
¹²³ I – značené neuroreceptory	SPECT zobrazení dopaminových transportérů ve striatu pomocí ligandů značených ¹²³ I	dolní část tlustého střeva	3,6E-01	9,6E-02

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
¹²³ I-jodid	Scintigrafie štítné žlázy (akumulace 35%)	štítná žláza	1,10E+01	5,13E-01
¹²³ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	1,30E-01	2,60E-02
¹³¹ I-hippuran	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	1,50E+00	8,60E-02
¹³¹ I-jodid	Celotělové scintigrafie ¹³¹ I u karcinomu štítné žlázy (akumulace 0%)	stěna močového měchýře	1,10E+00	1,19E-01
	Radionuklidový akumulační test (akumulace 35%)	štítná žláza	1,20E+03	5,76E+01
¹³¹ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	1,60E+00	2,80E-01
¹³³ Xe	Scintigrafie plic - ventilační (dýchání 5 min.)	plíce	2,40E-03	1,46E-03
²⁰¹ Tl-chlorid	Perfúzní scintigrafie myokardu	ženy - ledviny	8,2E-01	1,1E+00
	Scitigrafie příštítných tělísek	muži - varlata	8,3E+00	
¹⁸ FDG	PET zobrazení metabolismu glukózy	močový měchýř	2,5E-01	3,7E-02
¹⁸ FLT	Mitotická aktivita tkání	játra	9,4E-02	2,9E-02
¹⁸ F-fluoridy	PET skeletu	močový měchýř	2,8E-01	3,3E-02
¹⁸ F-L-DOPA	PET zobrazení metabolismu dopaminu	močový měchýř	5,7E-01	4,9E-02
¹⁸ F-cholin	PET nádorů	ledviny	1,6E-01	3,7E-02

Tabulka C1.3: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Děti 10 let).

4. Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM

Děti 5 let

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
⁵¹ Cr-EDTA	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	3,60E-02	3,90E-03
⁵¹ Cr-erythrocyty	Stanovení objemu cirkulujících erythrocytů a celé krve	slezina	5,10E+00	5,23E-01
	Stanovení přežívání krevních elementů			
⁵¹ Cr-trombocyty	Stanovení přežívání krevních elementů	slezina	8,60E+00	4,78E-01
⁶⁷ Ga	Scintigrafie ⁶⁷ Ga	povrchy kostí	2,20E+00	3,30E-01
^{81m} Kr	Scintigrafie plic - ventilační	plice	6,80E-04	8,80E-05
^{99m} Tc-aerosol	Scintigrafie plic - ventilační	močový měchýř	5,40E-02	1,74E-02
^{99m} Tc-alterované erythrocyty	Scintigrafie jater a sleziny	slezina	1,80E+00	6,02E-03
^{99m} Tc-antigranulocytární protilátky	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	1,90E-01	3,00E-02
	Scintigrafie zánětu po podání antigranulocytárních monoklonálních protilátek			
^{99m} Tc-DMSA	Scintigrafie ledvin statická	ledviny	4,30E-01	2,10E-02
^{99m} Tc-DTPA	Radionuklidová kardioangiografie (metoda prvního průtoku)	močový měchýř	9,50E-02	9,00E-03
	Dynamická scintigrafie ledvin			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků			
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze			
	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)	horní část tlustého střeva	4,00E-01	6,20E-02
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			
	Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)			
^{99m} Tc-erythrocyty	Radionuklidová rovnovážná ventrikulografie	srdce	6,60E-02	2,10E-02
	Scintigrafie ke stanovení lokalizace krvácení do trávicího traktu			
	Scintigrafie jater - detekce hemangiomu			
^{99m} Tc-ECD	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	močový měchýř	1,1E-01	2,20E-02
^{99m} Tc-fosfonáty a fosfáty	Scintigrafie skeletu	povrchy kostí	2,20E-01	1,40E-02
^{99m} Tc-HMPAO	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	ledviny	8,10E-02	2,70E-02
^{99m} Tc-HMPAO leukocyty	Detekce ložisek zánětu autologními leukocyty	slezina	4,80E-01	3,40E-02
^{99m} Tc-IDA	Dynamická hepatobiliární scintigrafie	žlučník	2,80E-01	4,50E-02

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
^{99m} Tc-koloid	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)	horní část tlustého střeva	4,00E-01	6,20E-02
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			
	Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)			
	Scintigrafie jater a sleziny	slezina	2,40E-01	2,80E-02
^{99m} Tc-MAA	Radionuklidová venografie	plíce	2,00E-01	3,40E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-MAG3	Dynamická scintigrafie ledvin	močový měchýř	1,80E-01	1,20E-02
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze			
	Dynamická scintigrafie ledvin diuretická			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků			
	- abnormální renální funkce	ledviny	1,30E-01	1,10E-02
	- akutní jednostr. blokáda ledviny	ledviny	4,70E-01	2,20E-02
^{99m} Tc-MIBI	Perfúzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	1,00E-01	2,80E-02
	Scitigrafie příštítných tělísek		8,60E-02	2,30E-02
	Perfúzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)			
^{99m} Tc-mikrosféry	Radionuklidová venografie	plíce	1,80E-01	3,00E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-nanokoloid	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	2,50E-01	2,98E-02
	Lymfoscintigrafie		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce SLN		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu do oblasti prsu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce sentinelových uzlin – intratumorální aplikace prsu	srdce	vyšetření se neprovádí	vyšetření se neprovádí
^{99m} Tc-radiofarmaka	Přímá radionuklidová cystografie	močový měchýř	1,13E-02	7,00E-04 [Ref. 34]
^{99m} Tc-technecistan	Scintigrafie Meckelova divertiklu	horní část tlustého střeva	2,00E-01	4,20E-02
	Scintigrafie štítné žlázy			
	Scintigrafie příštítných tělísek - při blokádě štítné žlázy	močový měchýř	5,00E-02	1,10E-02
^{99m} Tc-tetrofosmin	Perfúzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	9,30E-02	2,20E-02
	Perfúzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)		7,20E-02	1,80E-02
¹¹¹ In-DTPA	Scintigrafie cerebrospinálních likvorových cest (cisternografie)	mícha	nestanoveno	nestanoveno
¹¹¹ In-pentetreotid	Scintigrafie nádorů	slezina	1,80E+00	1,60E-01
¹²³ I – značené neuroreceptory	SPECT zobrazení dopaminových transportérů ve striatu pomocí ligandů značených ¹²³ I	dolní část tlustého střeva	5,8E-01	1,5E-01

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
¹²³ I-jodid	Scintigrafie štítné žlázy (akumulace 35%)	štítná žláza	2,30E+01	1,09E+00
¹²³ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	1,80E-01	3,70E-02
¹³¹ I-hippuran	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	1,40E+00	8,30E-02
¹³¹ I-jodid	Celotělové scintigrafie ¹³¹ I u karcinomu štítné žlázy (akumulace 0%)	stěna močového měchýře	1,80E+00	1,78E-01
	Radionuklidový akumulační test (akumulace 35%)	štítná žláza	2,60E+03	1,25E+02
¹³¹ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	2,40E+00	4,27E-01
¹³³ Xe	Scintigrafie plic - ventilační (dýchání 5 min.)	plíce	3,70E-03	2,46E-03
²⁰¹ Tl-chlorid	Perfúzní scintigrafie myokardu	ženy - ledviny	1,2E+00	1,4E+00
	Scitigrafie příštítných tělísek	muži - varlata	9,6E+00	
¹⁸ FDG	PET zobrazení metabolismu glukózy	močový měchýř	3,4E-01	5,6E-02
¹⁸ FLT	Mitotická aktivita tkání	játra	1,4E-01	4,6E-02
¹⁸ F-fluoridy	PET skeletu	močový měchýř	3,9E-01	5,6E-02
¹⁸ F-L-DOPA	PET zobrazení metabolismu dopaminu	močový měchýř	7,8E-01	7,0E-02
¹⁸ F-cholin	PET nádorů	ledviny	2,4E-01	5,7E-02

Tabulka C1.4: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Děti 5 let).

5. Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM

Děti 1 rok

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
⁵¹ Cr-EDTA	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	6,60E-02	7,10E-03
⁵¹ Cr-erythrocyty	Stanovení objemu cirkulujících erytrocytů a celé krve	slezina	9,30E+00	9,81E-01
	Stanovení přežívání krevních elementů			
⁵¹ Cr-trombocyty	Stanovení přežívání krevních elementů	slezina	1,60E+01	8,75E-01
⁶⁷ Ga	Scintigrafie ⁶⁷ Ga	povrchy kostí	5,20E+00	6,40E-01
^{81m} Kr	Scintigrafie plic - ventilační	plíce	1,30E-03	1,70E-04
^{99m} Tc-aerosol	Scintigrafie plic - ventilační	močový měchýř	2,30E-01	3,14E-02
^{99m} Tc-alterované erythrocyty	Scintigrafie jater a sleziny	slezina	3,20E+00	1,02E-02
^{99m} Tc-antigranulocytární protilátky	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	3,40E-01	5,40E-02
	Scintigrafie zánětu po podání antigranulocytárních monoklonálních protilátek			
^{99m} Tc-DMSA	Scintigrafie ledvin statická	ledviny	7,60E-01	3,70E-02
^{99m} Tc-DTPA	Radionuklidová kardioangiografie (metoda prvního průtoku)	močový měchýř	1,70E-01	1,60E-02
	Dynamická scintigrafie ledvin			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků			
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze	horní část tlustého střeva	7,50E-01	1,10E-01
	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)			
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			
Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)			1,40E-01	
^{99m} Tc-erythrocyty	Radionuklidová rovnovážná ventrikulografie	srdce	1,10E-01	3,90E-02
	Scintigrafie ke stanovení lokalizace krvácení do trávicího traktu			
	Scintigrafie jater - detekce hemangiomu			
^{99m} Tc-ECD	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	močový měchýř	1,30E-01	4,0E-02
^{99m} Tc-fosfonáty a fosfáty	Scintigrafie skeletu	povrchy kostí	5,30E-01	2,70E-02
^{99m} Tc-HMPAO	SPECT mozku - vyšetření regionální mozkové perfuze	ledviny	1,40E-01	4,90E-02
^{99m} Tc-HMPAO leukocyty	Detekce ložisek zánětu autologními leukocyty	slezina	8,50E-01	6,20E-02
^{99m} Tc-IDA	Dynamická hepatobiliární scintigrafie	žlučník	9,50E-01	1,00E-01

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
^{99m} Tc-koloid	Scintigrafie jícnu a detekce gastroesofageálního refluxu (tekutý pokrm)	horní část tlustého střeva	7,50E-01	1,10E-01
	Scintigrafie evakuace žaludku (tekutý pokrm)			
	Scintigrafie evakuace žaludku (tuhý pokrm)			1,40E-01
	Scintigrafie jater a sleziny	slezina	4,30E-01	5,00E-02
^{99m} Tc-MAA	Radionuklidová venografie	plíce	3,90E-01	6,30E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-MAG3	Dynamická scintigrafie ledvin	močový měchýř	3,20E-01	2,20E-02
	Dynamická scintigrafie ledvin k detekci renovaskulární hypertenze			
	Dynamická scintigrafie ledvin diuretická			
	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků			
	- abnormální renální funkce	2,30E-01	1,90E-02	
	- akutní jednostr. blokáda ledviny	ledviny	8,10E-01	3,80E-02
^{99m} Tc-MIBI	Perfúzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	3,20E-01	5,30E-02
	Scitigrafie příštítných tělísek			
	Perfúzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)		2,60E-01	4,50E-02
^{99m} Tc-mikrosféry	Radionuklidová venografie	plíce	3,50E-01	5,64E-02
	Perfuzní scintigrafie plic			
^{99m} Tc-nanokoloid	Scintigrafie kostní dřeně	slezina	4,50E-01	5,27E-02
	Lymfoscintigrafie		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce SLN		závisí na místě aplikace, při aplikaci 50 MBq ^{99m} Tc-nanokoloidu do oblastí prsu je efektivní dávka menší než 1 mSv	
	Detekce sentinelových uzlin – intratumorální aplikace prsu	srdce	vyšetření se neprovádí	vyšetření se neprovádí
^{99m} Tc-radiofarmaka	Přímá radionuklidová cystografie	močový měchýř	8,00E-03	5,00E-04 [Ref. 34]
^{99m} Tc-technecistan	Scintigrafie Meckelova divertiklu	horní část tlustého střeva	3,80E-01	7,90E-02
	Scintigrafie štítné žlázy			
	Scintigrafie příštítných tělísek - při blokádě štítné žlázy	močový měchýř	9,10E-02	1,90E-02
^{99m} Tc-tetrofosmin	Perfúzní scintigrafie myokardu (klidové vyšetření)	žlučník	3,10E-01	4,30E-02
	Perfúzní scintigrafie myokardu (zátěžové vyšetření)		2,30E-01	3,50E-02
¹¹¹ In-DTPA	Scintigrafie cerebrospinálních likvorových cest (cisternografie)	mícha	nestanoveno	nestanoveno
¹¹¹ In-pentetreotid	Scintigrafie nádorů	slezina	3,10E+00	2,60E-01
¹²³ I – značené neuroreceptory	SPECT zobrazení dopaminových transportérů ve striatu pomocí ligandů značených ¹²³ I	žlučník	1,5E+00	3,2E-01

Radiofarmakum	Název standardního postupu	Nejvíce zatížený orgán	Dávka v nejvíce zatíženém orgánu (mGy.MBq ⁻¹)	Efektivní dávka (mSv.MBq ⁻¹)
¹²³ I-jodid	Scintigrafie štítné žlázy (akumulace 35%)	štítná žláza	4,30E+01	2,05E+00
¹²³ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	3,30E-01	6,80E-02
¹³¹ I-hippuran	Stanovení GF, ERPF měřením radioaktivity krevních vzorků	močový měchýř	2,70E+00	1,60E-01
¹³¹ I-jodid	Celotělové scintigrafie ¹³¹ I u karcinomu štítné žlázy (akumulace 0%)	stěna močového měchýře	3,40E+00	3,39E-01
	Radionuklidový akumulační test (akumulace 35%)	štítná žláza	4,70E+03	2,24E+02
¹³¹ I-MIBG	Scintigrafie nádorů	játra	4,60E+00	7,70E-01
¹³³ Xe	Scintigrafie plic - ventilační (dýchání 5 min.)	plíce	7,50E-03	4,93E-03
²⁰¹ Tl-chlorid	Perfúzní scintigrafie myokardu	ženy - ledviny	2,2E+00	2,1E-00
	Scitigrafie příštítných tělísek	muži - varlata	1,3E+01	
¹⁸ FDG	PET zobrazení metabolismu glukózy	močový měchýř	4,7E-01	9,5E-02
¹⁸ FLT	Mitotická aktivita tkání	játra	2,6E-01	8,8E-02
¹⁸ F-fluoridy	PET skeletu	močový měchýř	5,4E-01	1,1E-01
¹⁸ F-L-DOPA	PET zobrazení metabolismu dopaminu	močový měchýř	1,0E+00	1,0E-01
¹⁸ F-cholin	PET nádorů	ledviny	4,3E-01	1,0E-01

Tabulka C1.5: Tabulka koeficientů pro výpočet dávek v nejvíce zatížených orgánech a efektivních dávek při standardních diagnostických postupech v NM (Děti 1 rok).

Použitá literatura

1. Odborná literatura

- 1) ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press; 1991.
- 2) ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission of Radiological Protection. ICRP Publication 103. Amsterdam: Elsevier Science Ltd; 2007.
- 3) Martin CJ. Effective dose: how should it be applied to medical exposures? *Br J Radiol* 2007; 80:639-47.
- 4) Dosimetry Working Party of the Institute of Physical Sciences in Medicine. National protocol for patient dose measurements in diagnostic radiology, IPSM/NRPB/CoR, 1992.
- 5) Guidance on the establishment and use of diagnostic reference levels for medical X-ray examinations, IPEM Report 88, 2004.
- 6) ICRU Report 74. Patient dosimetry for X rays used in medical imaging, *Journal of the ICRU*, Vol. 5 No. 2, 2005.
- 7) *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice*, IAEA, 2006.
- 8) Státní ústav radiační ochrany. Stanovení radiační zátěže pacientů při vyšetřeních v rentgenové diagnostice, Závěrečná zpráva, 2006.
- 9) Dance, D. R. *et al.* Additional Factors for the Estimation of Mean Glandular Breast Dose Using the UK Mammography Dosimetry Protocol, *Phys. Med. Biol* 45, 3225-3240, 2000.
- 10) Dance, D. R. Monte Carlo Calculation of Conversion Factors for the Estimation of Mean Glandular Breast Dose, *Phys. Med. Biol.* Vol. 35, No. 9, pp. 1211 - 1219, 1990.
- 11) Dance D R, Young K C and van Engen R E, Further factors for the estimation of mean glandular dose using the United Kingdom, European and IAEA dosimetry protocols, *Phys. Med. Biol* 54, 4361-72, 2009.
- 12) European Commission, *European Guidelines for Quality Assurance in Breast Cancer Screening and Diagnosis Fourth edition – Supplements*, 2013.
- 13) SÚRO. Návrh Doporučení SÚJB „Optimalizace lékařského ozáření – diagnostické referenční úrovně a jejich aplikace, 2014.
- 14) ÚNMZ. ČSN EN 60601-1-3 ed. 2 Zdravotnické elektrické přístroje - Část 1-3: Všeobecné požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost - Skupinová norma: Radiační ochrana u diagnostických rentgenových zařízení, 2008.
- 15) ÚNMZ. ČSN EN 60601-2-43 ed. 2 Zdravotnické elektrické přístroje - Část 2-43: Zvláštní požadavky na základní bezpečnost a nezbytnou funkčnost rentgenových zařízení pro intervenční postupy, 2011.
- 16) Hušák V., Ptáček J., Mysliveček M., Kleinbauer K.: Radiační zátěž a radiační ochrana pacienta v diagnostické nukleární medicíně. Zpracováno za finanční podpory SÚJB, Praha 2004.
- 17) ICRP Publication 80: Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. *Annals of the ICRP* 28, 1998, No. 3.
- 18) Indikační kritéria pro zobrazovací metody. *Věstník MZ ČR* 11/2003.
- 19) Zřízení středisek speciální zdravotní péče o osoby ozářené při radiačních nehodách. *Věstník MZ* 12/2003.
- 20) NRPB-SR250: Normalised Organ Doses for X-Ray Computed Tomography Calculated Using Monte Carlo Techniques. National Radiation Protection Board, UK.
- 21) a) Národní radiologické standardy – radiodiagnostika – diagnostická část
Národní radiologické standardy – radiodiagnostika – angiografie a intervenční radiologie
b) Národní radiologické standardy – radiační onkologie

c) Národní radiologické standardy – nukleární medicína

- 22) UNSCEAR: *Sources and Effects of Ionizing Radiation - UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly*, vol. 1, Annex D, Medical Radiation Exposures.
- 23) Hušák, V., Mysliveček, M., Širůček, P., Utíkalová A., Dočkal, M., Kleinbauer, K., "Přehled o radiační zátěži dětí a radiačním riziku při vyšetřování močového ústrojí radiodiagnostickými a radionuklidovými metodami", Čs. Pediat., 52, 1997, No. 11, p. 852 – 860.
- 24) ICRP Publication 53: Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. Annals of ICRP 18 (1 – 4), 1987.
- 25) Addendum 3 to ICRP Publication 53, Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals, Version 2000-09-06. Approved for Web Site Publication by Commission in September 1999, Internet: www.icrp.org.
- 26) Addendum 3 to ICRP Publication 53 (ICRP Publication 106), Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. Approved by Commission in October 2007.
- 27) A fourth addendum to ICRP Publication 53, Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals, Version 2014-05-27. Approved for Web Site Publication by Commission in Februar 2014, Internet: www.icrp.org.
- 28) European Commission, Radiation Protection 109, Guidance on Diagnostic Reference Levels (DRLs) for Medical Exposures, 1999.
- 29) Thomas, S., R., Stabin, M., G., Castronovo, F., P., "Radiation-Absorbed Dose from 201Tl-Thallos Chloride", J Nucl Med 2005, 46:502 – 508.
- 30) Amersham Health, "DaTSCANTM 74 MBq/ml injekční roztok", příbalová informace k reparátu, 2003.
- 31) Radiological protection and safety in medicine, ICRP Publication 73, Ann. ICRP, 26(2), 1996.
- 32) Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy. ICRU Report 50, 1993.
- 33) Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50). ICRU Report 62, 1999.
- 34) Prescribing, Recording, and Reporting Electron Beam Therapy. ICRU Report 71, Journal of the ICRU, Vol. 4, No. 1, 2004.
- 35) Dose and Volume Specification for Reporting Intracavitary Therapy in Gynecology. ICRU Report 38, 1985 (Reprint 2005).
- 36) Dose and Volume Specification for Reporting Interstitial Therapy. ICRU Report 58, 1997.
- 37) Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water. IAEA Technical Report Series No. 398, Vienna, 2000.
- 38) G.G.Steel: Basic Clinical Radiobiology, Arnold Publishing, 2002.
- 39) R.K.Sachs, D.J.Brenner: Solid tumor risks after high doses of ionizing radiation. Proceedings of National Academy of Sciences, 2005, 102, pp 13040–13045, (www.pnas.org).
- 40) X.G.Xu: Effective dose for patients undergoing coronary and femoral intravascular radiotherapy involving an HDR ¹⁹²Ir source, Radiat. Prot. Dosimetry, 2005, 115 (1-4), pp 289-293.
- 41) J.J. Broerse, J.Th.M. Jansen, J. Zoetelief, M.H. Seegenschmied: Assessment of carcinogenic risks in radiotherapy of benign diseases. In Proceedings of Radiation Protection Symposium of the North West European RP Societies, (pp. 255-262), IRPA, Utrecht, 2003.
- 42) P.H.V.D.Giessen: A simple and generally applicable method to estimate the peripheral dose in radiation teletherapy with high energy X-rays or gamma radiation, International Journal of Radiation Oncology, Biology and Physics, 1996, Vol. 35 (5), pp 1059-1068.
- 43) P.H.V.D.Giessen: Peridose, software programs to calculate the dose outside the primary beam in radiation therapy. Radiotherapy and Oncology, 2001, Vol.58(2), pp.209-213.
- 44) S.P. Wadington, A.L.Kenzie: Assessment of effective dose from concomitant exposures required in verification of target volume in radiotherapy, BJR, 2004, 77, pp 557-561.

- 45) 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.
- 46) Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. ICRP Publication 89. Oxford: Pergamon Press; 2002.
- 47) Martin CJ. Effective dose: how should it be applied to medical exposures? Br J Radiol 2007; 80:639-47.
- 48) AAPM. The management of imaging dose during image-guided radiotherapy. Report of the AAPM Task Group 75, Med. Phys, 2007, 34, pp 4041-4063.
- 49) ICRU. Prescribing, Recording, and Reporting Intensity-Modulated Photon-Beam Therapy (IMRT). ICRU Report 83. Oxford University Press; 2010.
- 50) Balter S., Hopewell JW., Miller DL., Wagner LK., Zelefsky MJ. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair, Radiology, 254, 2010, str. 326-341.

2. Další literatura

- 1) Směrnice Rady 2013/59/EURATOM ze dne 5. 12. 2013, kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy ochrany před nebezpečím vystavení ionizujícímu záření.
- 2) Zákon č. 95/2004 Sb., o podmínkách získávání a uznávání odborné způsobilosti a specializované způsobilosti k výkonu zdravotnického povolání lékaře, zubního lékaře a farmaceuta, ve znění pozdějších předpisů.
- 3) Zákon č. 96/2004 Sb., o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činností souvisejících s poskytováním zdravotní péče a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o nelékařských zdravotnických povoláních), ve znění pozdějších předpisů a prováděcí právní předpisy k tomuto zákonu.
- 4) Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- 5) Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- 6) Zákon č. 268/2014 Sb., o zdravotnických prostředcích a o změně zákona č. 634/2004 Sb., správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů.
- 7) Zákon 373/2011 Sb., o specifických zdravotních službách, ve znění pozdějších předpisů.
- 8) Zákon č. 378/2007 Sb., o léčivech a o změnách některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů.
- 9) Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů.
- 10) Vyhláška č. 84/2008 Sb., o správné lékařské praxi, bližších podmínkách zacházení s léčivy v lékárnách, zdravotnických zařízeních a u dalších provozovatelů a zařízení vydávajících léčivé přípravky.
- 11) Vyhláška č. 132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd.
- 12) Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů.
- 13) Vyhláška č. 318/2002 Sb. o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji záření a o požadavcích na obsah vnitřního havarijního plánu a havarijního řádu, ve znění pozdějších předpisů.

3. Seznam literatury k Tabulce 8

- 1) Kan MW, Leung LH, Wong W, et al. Radiation dose from cone beam computed tomography for image-guided radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2008;70:272-9.
- 2) Hyer DE, Serago CF, Kim S, et al. An organ and effective dose study of XVI and OBI cone-beam CT systems. *J Appl Clin Med Phys* 2010;11:181-97.
- 3) Cheng HC, Wu VW, Liu ES, et al. Evaluation of radiation dose and image quality for the Varian cone beam computed tomography system. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2011;80:291-300.
- 4) Gu J, Bednarz B, Xu XG, et al. Assessment of Patient Organ Doses and Effective Doses using the VIP-MAN Adult Male Phantom for Selected CONE-BEAM CT Imaging Procedures during Image Guided Radiation Therapy. *Radiat Prot Dosimetry* 2008;131:431-43.
- 5) Ding GX, Duggan DM, Coffey CW. Accurate patient dosimetry of kilovoltage cone-beam CT in radiation therapy. *Med Phys*. 2008;35:1135-44.
- 6) Ding GX, Munro P. Reducing radiation exposure to patients from kV-CBCT imaging. *Radiother Oncol* 2010;97:585-92.
- 7) Haelg RA, Besserer J, Schneider U. Systematic measurements of whole-body imaging dose distributions in image-guided radiation therapy. *Med Phys*. 2012;39:7650-61.
- 8) Downes P, Jarvis R, Radu E, et al. Monte Carlo simulation and patient dosimetry for a kilovoltage cone-beam CT unit. *Med Phys* 2009;36:4156-67.
- 9) Stock M, Palm A, Altendorfer A, et al. IGRT induced dose burden for a variety of imaging protocols at two different anatomical sites. *Radiother Oncol*. 2012;102:355-63.
- 10) Amer A, Marchant T, Sykes J, et al. Imaging doses from the Elekta Synergy X-ray cone beam CT system. *Br J Radiol* 2007;80:476-82.
- 11) Alvarado R, Booth JT, Bromley RM et al. An investigation of image guidance dose for breast radiotherapy. *J Appl Clin Med Phys* 2013;14:25-38.
- 12) Nechvíl K a kol. Odhad radiační zátěže pacientů ze zobrazovacích metod používaných při IGRT. [přednáška]. 5. konference Společnosti radiační onkologie, biologie a fyziky. Hradec Králové, 20.2.2009.
- 13) Peng LC, Yang CC, Sim S, et al. Dose comparison of megavoltage cone-beam and orthogonal-pair portal images. *J Appl Clin Med Phys* 2006;8:10-20.
- 14) Harrison RM, Wilkinson M, Shemilt A, et al. Organ doses from prostate radiotherapy and associated concomitant exposures. *Br J Radiol* 2006;79:487-96.
- 15) Waddington SP, McKenzie AL. Assessment of effective dose from concomitant exposures required in verification of the target volume in radiotherapy. *Br J Radiol* 2004;77:557-61.
- 16) Harrison RM, Wilkinson M, Rawlings DJ, et al. Doses to critical organs following radiotherapy and concomitant imaging of the larynx and Breast. *Br J Radiol* 2007;80:989-95.