

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Martina Paterová

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví B 5345

Martina Paterová

Studijní obor: Radiologický asistent

**RIZIKA A MOŽNOSTI VYUŽITÍ RADIOLOGICKÝCH
ZOBRAZOVACÍCH METOD V PRŮBĚHU TĚHOTENSTVÍ**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Pokorný, Ph.D.

PLZEŇ 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny jsem uvedla v seznamu použitých zdrojů.

V Plzni dne 31. 3. 2017.

.....

vlastnoruční podpis

Poděkování

Děkuji Ing. Tomáši Pokornému, Ph.D. za odborné vedení práce, poskytování rad a materiálních podkladů. Dále děkuji pracovníkům Fakultní nemocnice Lochotín v Plzni za poskytování odborných rad a pomoc při získávání potřebných materiálů a informací pro bakalářskou práci.

Anotace

Příjmení a jméno: Paterová Martina

Katedra: Katedra záchranářství a technických oborů

Název práce: Rizika a možnosti využití radiologických zobrazovacích metod v průběhu těhotenství

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Pokorný, Ph.D.

Počet stran – číslované: 53

Počet stran – nečíslované (tabulky, grafy): 30

Počet příloh: 14

Počet titulů použité literatury: 28

Klíčová slova: Těhotenství, radiační ochrana, stochastické účinky, deterministické účinky, zobrazovací metody, typické dávky v děloze, PCXMC, ImPACT

Souhrn:

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena především na problematiku radiační ochrany v průběhu těhotenství a působení ionizujícího záření na plod. Déle se zaměřuje na rizika a možnosti využívání radiologických zobrazovacích metod v průběhu těhotenství. V praktické části jsou stanoveny typické dávky v děloze a jejich následné hodnocení z hlediska velikosti a rizika vzniku negativních deterministických účinků pro embryo/plod.

Annotation

Surname and name: Paterová Martina

Department: Department of paramedical rescue work and technical studies

Title of thesis: Risks and possibilities use of radiological imaging during pregnancy

Consultant: Ing. Tomáš Pokorný, Ph.D.

Number of pages – numbered: 53

Number of pages – unnumbered (tables, graphs): 30

Number of appendices: 14

Number of literature items used: 28

Keywords: Pregnancy, radiational protection, stochastic effects, deterministic effects, imaging methods, typical doses in the womb, PCXMC, ImPACT

Summary:

The theoretical part of the bachelor thesis is especially focused on the issues of radiation protection during pregnancy and effects of ionizing radiation on the fetus. Further it focuses on the risks and possibilities of using radiologic imaging techniques during pregnancy. In the practical part they are determined typical doses in the womb and their following evaluation in term of size and risk of adverse deterministic effects on embryo/fetus.

OBSAH

ÚVOD.....	9
TEORETICKÁ ČÁST	10
1 TĚHOTENSTVÍ.....	10
1.1 Oplození.....	10
1.2 Vývoj plodu	10
1.2.1 2. lunární měsíc	10
1.2.2 3. lunární měsíc	10
1.2.3 4. lunární měsíc	11
1.2.4 5. lunární měsíc	11
1.2.5 6. lunární měsíc	11
1.2.6 7. lunární měsíc	11
1.2.7 8. lunární měsíc	11
1.2.8 9. lunární měsíc	11
1.2.9 10. lunární měsíc	11
2 RIZIKOVÉ A PATOLOGICKÉ TĚHOTENSTVÍ	12
2.1 Rizikové těhotenství	12
2.1.1 Hypertenze.....	12
2.1.2 Diabetes mellitus	13
2.2 Rizikové faktory v těhotenství.....	14
2.2.1 Rodinná anamnéza.....	14
2.2.2 Osobní anamnéza.....	14
2.2.3 Porodnická a gynekologická anamnéza.....	15
2.3 Screening v průběhu těhotenství.....	15
3 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ A JEHO ÚČINKY	16
3.1.1 Stochastické účinky	16
3.1.2 Deterministické účinky.....	16
4 RADIAČNÍ OCHRANA	18
4.1 Radiační ochrana u těhotných.....	18
4.2 Biologické účinky záření na zárodek/plod.....	19
5 ZOBRAZOVACÍ METODY.....	20
5.1 Rentgenové záření a jeho vlastnosti.....	20
5.1.1 Zdroj rentgenového záření.....	20
5.1.2 Rentgenové vyšetření	20
5.2 Ultrazvuk	21
5.2.1 Princip ultrazvuku	21

5.2.2	Ultrazvuk v průběhu gravidity.....	22
5.3	Počítačová tomografie (CT).....	23
5.4	Magnetická rezonance	24
5.5	Nukleární medicína.....	25
6	KONTRASTNÍ LÁTKY	26
6.1	Kontrastní látky v RTG diagnostice	26
6.2	Kontrastní látky pro magnetickou rezonanci	27
6.3	Kontrastní látky v USG diagnostice	28
7	TĚHOTNÁ RADIOLOGICKÁ ASISTENTKA	29
	PRAKTICKÁ ČÁST	30
8	DEFINICE ZÁKLADNÍCH VELIČIN	32
9	STANOVENÍ A HODNOCENÍ DÁVEK PACIENTŮ	33
9.1	Stanovení dávek pacientů	33
9.2	Hodnocení dávek pacientů.....	33
9.3	Stanovení a hodnocení dávek pacientů v RTG diagnostice.....	33
9.3.1	Doporučení ICRP 60 a ICRP 103.....	34
9.3.2	Program PCXMC	36
9.3.3	Typické dávky pro RTG	37
9.3.4	Program ImpACT.....	44
9.3.5	Typické dávky pro CT	46
9.4	Stanovení a hodnocení dávek pacientů na NM.....	50
9.4.1	Diagnostická aplikace RF	50
9.4.2	Léčebná aplikace RF	50
9.4.3	Typické dávky na NM	51
9.4.4	Porovnání typických dávek na RTG, CT a NM	56
	DISKUZE.....	58
	ZÁVĚR.....	61
	LITERATURA A PRAMENY.....	62
	SEZNAM ZKRATEK	65
	SEZNAM TABULEK	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM PŘÍLOH	69
	PŘÍLOHA A – TYPICKÉ DÁVKY PRO RTG.....	70
	PŘÍLOHA B – TYPICKÉ DÁVKY PRO CT	78
	PŘÍLOHA C – TYPICKÉ DÁVKY PRO NM.....	80
	PŘÍLOHA D -OSTATNÍ	83

ÚVOD

Pro bakalářskou práci jsme si vybrali téma „*Rizika a možnosti využití radiologických zobrazovacích metod v průběhu těhotenství*“, neboť v praxi se můžeme setkat s tím, že těhotnou ženu vždy nelze vyšetřit vyšetřovací modalitou, která by nevyužívala ionizující záření. Ozáření plodu může vyvolat stochastické a deterministické účinky a proto, pokud budeme nuceni použít zobrazovací metodu, která ionizující záření využívá, musíme dobře zhodnotit přínos a riziko vyšetření.

V naší bakalářské práci budeme zjišťovat, jaké radiologické zobrazovací metody se užívají v průběhu těhotenství a jak působí ionizující záření na embryo/plod. Cílem bakalářské práce je zjistit rizika a možnosti využívání radiologických zobrazovacích metod v průběhu gravidity.

V teoretické části bakalářské práce se nejvíce zaměříme na ionizující záření a jeho negativní účinky na embryo/plod, radiační ochranou žen v graviditě a popisem jednotlivých zobrazovacích metod – USG, RTG, CT, MR a NM. U těchto metod si krátce popíšeme jejich princip, možnosti jejich využití v průběhu těhotenství a v neposlední řadě rizika, která by tyto metody mohli způsobit. Dále si popíšeme, jak postupovat v případě, kdy otěhotnění radiologická asistentka.

V praktické části naší bakalářské práce se zaměříme na výpočty typické dávky v děloze v průběhu těhotenství na RTG (zahrnující skiografii i skiaskopii), CT, NM a popíšeme si postup stanovení těchto dávek. Cílem naší bakalářské práce je porovnat výši typických dávek v děloze při RTG, CT a NM vyšetřeních z hlediska jejich velikosti a zjistit, u jaké radiologické zobrazovací metody hrozí vznik deterministických účinků u plodu/embrya. Druhým cílem je zjistit, zda embryo/plod obdrží efektivní dávku při jakémkoli vyšetření těhotné ženy na CT. Třetím cílem je porovnat typické dávky v děloze při CT vyšetření břicha a CT vyšetření pánve. Poslední cíl je zjistit, zda se typické dávky v děloze při vyšetření těhotné ženy na CT budou lišit dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103.

TEORETICKÁ ČÁST

1 TĚHOTENSTVÍ

Těhotenství je proces, při kterém se v těle ženy vyvíjí nový jedinec. Trvá od početí do porodu. Je to období dlouhé přibližně 40. týdnů a dělíme jej na trimestry. (1)

1.1 Oplození

K oplození může dojít v době ovulace, kdy se spermie dostane do vajíčka (obvykle ve vejcovodu), kde dojde ke splynutí haploidních jader vajíčka a spermie a vznikne nám diploidní zygota. Poté zygota prochází procesem zvaným rýhování a vznikne nám morula a nakonec se přemění v blastocystu. Až blastocysta doputuje do dělohy, dojde k zahnízdění do její sliznice. Z blastocysty se poté stane vnější zárodečný obal, který tvoří základ placenty, která je poté nezbytná pro komunikaci mezi matkou a zárodkem/plodem a dále nám tvoří hormony jako je choriongonadotropin nebo estrogeny. (2)

1.2 Vývoj plodu

1. lunární měsíc

Trvá od 0. do 4. týdne. Shluk buněk se začne v embryu přeměňovat asi 10. den od početí. Zárodek má tvar slzy. (3) Vytváří se hlava a nohy. Dochází zde k vývoji uší, očí a plic. Embryo již má bijící srdce. (1) Kolem zárodku je dutina, okolo které je vnitřní zárodečný obal, ve kterém se nachází plodová voda. Zárodek a placentu propojuje „pupeční šňůra“. (2)

1.2.1 2. lunární měsíc

Toto období trvá od 4. do 8. týdne. Tvar zárodku se změnil ze slzy na písmeno C. Je patrná obličejová část a končetiny. V srdci již proudí krev a tak je možné slyšet i srdeční ozvy. Na konci tohoto období jsou založeny základy pro všechny orgány, což znamená, že končí embryonální období. (2) (3)

1.2.2 3. lunární měsíc

Trvá od 8. do 12. týdne. Začíná fetální čili plodové období. Jsou zde patrné lidské rysy v obličejové části, plod má prsty a jsou patrné aktivní pohyby plodu, které však ještě matka nemůže cítit. (2) (3)

1.2.3 4. lunární měsíc

Trvá od 12. do 16. týdne. Dochází k tvorbě kostí a svalů. Plod je pokryt drobnými chloupky (lanugo). Pohlavní žlázy jsou rozlišeny. Plod začíná vnímat zvuk. (3) (2)

1.2.4 5. lunární měsíc

Trvá od 16. do 20. týdne. Začínají růst nehty a vlasy. Matka může cítit pohyby dítěte. Na rentgenu už bychom viděli kosti, a pomocí ultrazvuku můžeme určit pohlaví. (3) (2)

1.2.5 6. lunární měsíc

Trvá od 20. do 24. týdne. Dochází k vypadávání lanuga a k ukládání podkožního tuku. (3) (2)

1.2.6 7. lunární měsíc

Trvá od 24. do 28. týdne. Vývoj plic se dokončuje, takže pokud dojde k předčasnému porodu, dítě má 85% šanci že přežije. Plod je v tomto měsíci hodně aktivní a polyká plodovou vodu, čímž si nacvičuje potravní reflexy. (3) (2)

1.2.7 8. lunární měsíc

Trvá od 28. do 32. týdne. V tomto měsíci sestupují varlata do šourku. (3) (2)

1.2.8 9. lunární měsíc

Trvá od 32. do 36. týdne. Plod by měl zaujmout polohu hlavičkou dolů. (3)

1.2.9 10. lunární měsíc

Trvá od 36. do 40. týdne. Období před porodem, podkožní tuk se i nadále ukládá a dorůstají nehty a vlasy. (3) (2)

2 RIZIKOVÉ A PATOLOGICKÉ TĚHOTENSTVÍ

2.1 Rizikové těhotenství

Jedná se o těhotenství, při kterém může být z nějakého důvodu změněn přirozený průběh gravidity. Riziku může být vystaven jak plod, tak i matka. K zařazení do této rizikové skupiny může vést rizikový faktor vzniklý ještě před graviditou nebo rizikový faktor vzniklý v průběhu těhotenství. (4)

Ženy se do této skupiny řadí z mnoha důvodů a rizikových faktorů, které máme popsány v další kapitole. Podrobněji se zaměříme na vysoký krevní tlak čili hypertenzi a také na diabetes mellitus neboli cukrovku.

2.1.1 Hypertenze

Mezi nejčastější rizikový faktor v těhotenství patří právě hypertenze neboli vysoký krevní tlak. Hlavní příčinou mateřské mortality je právě ohrožení matky či plodu vysokým krevním tlakem. Plod je v tomto případě ohrožen předčasným porodem, nitroděložním odumřením plodu, nitroděložním omezením růstu nebo předčasným odloučením placenty. (5)

Rozhodnout o jaký druh hypertenze se jedná je někdy velice obtížné. Pro správné určení jestli se jedná o chronickou hypertenzi nebo o preeklampsii je důležitá anamnéza, přesné měření krevního tlaku, laboratorní odběry a fyzikální vyšetření. Například pokud je systolický tlak vyšší než 160 mmHg a nebo diastolický tlak vyšší než 110 mmHg, značí to preeklampsii a měli bychom směřovat k ukončení gravidity, samozřejmě s ohledem na gestační věk plodu a stav matky. (5)

Pokud je hypertenze známá či vzniklá již před těhotenství, tak to zjistíme nejdříve do 20. týdne těhotenství a nazýváme jí chronickou. Chronická hypertenze je z 90% primární a pouze z 10% sekundární. Sekundární hypertenzi způsobuje endokrinní porucha či onemocnění ledvin. Naneštěstí pokud těhotná žena trpí chronickou hypertenzí, může dojít k závažné komplikaci a to k rozvoji preeklampsie. (5)

Preeklampsie jinak též těhotenská toxicita se vyskytuje pouze v průběhu těhotenství a je to nebezpečné z toho důvodu, že ohrožuje matku, plod a jakýkoli orgán v lidském těle. Preeklampsii diagnostikujeme tak, že u ženy v graviditě zjistíme proteinurii (přítomnost bílkoviny v moči) a hypertenzi. U těhotné ženy se mohou rozvíjet různě příznaky, jako

jsou otoky rukou, obličeje nebo rychlé nabírání na váze. Tyto příznaky vznikají z důvodu poškození kapilární propustnosti. Dále preeklampsie způsobuje poškození jater, ledvin a CNS u matky a poruchy srdečního rytmu či sníženou hmotnost u plodu. Bohužel preeklampsie může způsobit i život ohrožující komplikace jako je plicní edém, křeče, závažné poruchy myokardu, akutní renální selhání. (5)

Pokud hypertenze vznikne po 20. týdnu a nejsou přítomny bílkoviny v moči, mluvíme o gestační hypertenzi. Gestační hypertenze má sama o sobě dobré výsledky, ale může přejít do preeklampsie a proto musí být žena s gestační hypertenzí dobře sledována. (5)

2.1.2 Diabetes mellitus

Diabetes mellitus (DM) neboli cukrovka, může být charakterizována úplným nedostatkem inzulínu, pak se jedná o DM 1. typu. Dále známe DM 2. typu kdy jde o vadnou produkci inzulínu či odolnosti těla vůči inzulínu. DM můžeme ještě rozdělit podle toho, jestli vzniknul před nebo až v průběhu těhotenství. Pokud DM vznikl nezávisle na těhotenství, jedná se o pregestační DM, ale pokud vznikne v průběhu těhotenství tak mluvíme o gestačním diabetu. (6)

Při pregestačním diabetu může žena otěhotnět a dokonce nemusí být s těhotenstvím žádné problémy, ovšem za předpokladu, že bude DM dostatečně pod kontrolou. Bohužel stále trvá vyšší nemocnost novorozenců. Pokud je hodnota glykovaného hemoglobinu vyšší než 7,3 % tak se těhotenství nedoporučuje. Toto onemocnění také může vést k vývojové vadě, která lze zjistit na ultrazvuku nebo z krevních testů. Dále může dojít ke komplikacím jako je vysoký krevní tlak, předčasný porod nebo smrt plodu. (7) (5)

Těhotné ženy s tímto onemocněním musí být dobře sledovány. V 1. trimestru těhotné ženy dochází do nemocnice jednou za 2 - 3 týdny, kdy provedeme vyšetření pomocí ultrazvuku a metabolickou kontrolu. Ve 2. Trimestru zjišťujeme vrozené vývojové vady pomocí genetického screeningu a pacientky dále dochází každé dva týdny na ultrazvukové vyšetření, kde zjišťujeme, zda není přítomno postižení ledvin, kostí, GIT či srdce. Ve 3. trimestru pacientky dochází každý týden na vyšetření ultrazvukem, kde zkoumáme, jak plod roste a kolik je plodové vody. Mezi 35. a 36. týdnem se doporučuje hospitalizace a mezi 38. a 39. týdnem dochází k porodu. (7) (4)

Gestační diabetes mellitus vzniká v průběhu těhotenství a mizí po porodu. Jedná se o netoleranci sacharidů. Glykémie v moči, obezita či například diabetes v rodině jsou významné rizikové faktory pro vznik tohoto onemocnění. V 24. – 28. týdnu gravidity se provede vyšetření pomocí orálního glukózového tolerančního testu. Pokud se nám potvrdí gestační diabetes tak nejprve dochází k opatřením bez použití inzulínu, jako je pravidelnost v jídlu, dieta nebo fyzická aktivita. Pokud nic z toho nepovede ke zlepšení, začneme podávat inzulín. Opatření jsou zde stejná jako u pregestačního diabetu, až na dřívější hospitalizaci, ta zde není nutná. (5) (7)

U novorozence může dojít k diabetické fetopatii, což je soubor všech příznaků, které můžeme u novorozence nalézt z důvodu diabetu u matky. Nejčastěji se dítě narodí obézní a má zvětšené srdce, nadledvinky a játra, tomuto projevu se říká makrosomie. V průběhu prvních pěti hodin od narození, může novorozenec trpět hypoglykemií. Existuje spousta dalších problémů, které mohl diabetes u matky způsobit. (7) (5)

2.2 Rizikové faktory v těhotenství

2.2.1 Rodinná anamnéza

Ze strany rodičů se může jednat o genetické zatížení v rodině, vývojové či vrozené vady, různé alergie, mentální retardaci, hypertenzi a jiné. Ze strany matky mezi rizikové faktory řadíme diabetes nebo například vícečetné těhotenství. (8) (5)

2.2.2 Osobní anamnéza

Zde hraje významnou roli věk matky, protože pokud je matce méně než 17 let hrozí zde předčasný porod, narození mrtvého dítěte, smrt novorozence, eklampsie (většinou navazuje na předchozí preeklampsii, jedná se o záchvat křečí u těhotné ženy). Pokud je matce více než 35 let, je zvýšené riziko potratu v I. trimestru, hypertenze, diabetu, porod kdy je plod v poloze koncem pánevním, chromozomální anomálie plodu a jiné. Dále do osobní anamnézy řadíme rodinný stav, nadváhu, při které hrozí vznik gestačního diabetu nebo naopak nízká váha a výška při které naopak hrozí předčasný porod. Mezi jiné rizikové faktory v osobní anamnéze patří kouření, které způsobuje vyšší pravděpodobnost spontánního porodu, předčasného odtoku plodové vody, náhlé úmrtí plodu, snížení laktace, hypertrofie plodu. V neposlední řadě sem řadíme nadměrnou konzumaci alkoholu, který může způsobit fetální alkoholový syndrom. Užíváním drog můžeme nakazit plod hepatitidou či HIV. Vznik abstinenčních příznaků u novorozence, předčasného porodu, vznik vrozených vývojových vad, hypertrofie plodu je největším rizikem. (8) (5)

2.2.3 Porodnická a gynekologická anamnéza

Mezi rizikové faktory porodnické anamnézy patří jakákoli komplikace v minulém těhotenství, mimoděložní těhotenství a opakované potraty. V gynekologické anamnéze za rizikové faktory považujeme užívání hormonální antikoncepce, sexuálně přenosné choroby a jiné. V průběhu těhotenství může též dojít k rizikovým faktorům jako je krvácení, vícečetné těhotenství. Další rizikové faktory jsou patologický nález v moči, serologii, krevním obraze nebo nález při vyšetření ultrazvukem. (8) (5)

2.3 Screening v průběhu těhotenství

Obecně screening slouží k hledání nějaké abnormality či onemocnění, které se vyskytuje u určité rizikové skupiny častěji než u běžné populace. Důležité je aby screening byl snadno proveditelný, smysluplný, ekonomicky nenáročný, spolehlivý, bezpečný, neinvazivní a aby zde byla možnost včasného odhalení nemoci, které lze léčit či nějak odvrátit. (5) (9)

V těhotenství jde především o včasné zjištění případného komplikovaného průběhu těhotenství. Díky tomu existuje spousta screeningových testů, jako je: UZ (ultrazvukový) screening kongenitálních malformací plodu, gestačního stáří, screening příznaků předčasného porodu, screening chromozomálních či genetických odchylek a spousta dalších. (5) (9) (11)

Největší část screeningových testů je zaměřena především na plod. Zaměřujeme se na vrozené vývojové vady. Řadíme sem screening chromozomálních odchylek, screening Downova syndromu, screening dědičných onemocnění a jiné. (5) (9)

3 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ A JEHO ÚČINKY

Ionizující záření má vlnovou délku menší než 100 nm. Záření uvolňuje elektrony z obalu atomu a následně z nich vznikají ionty, tento proces se nazývá ionizace. Částice mohou ionizovat buď přímo, nebo nepřímo. Přímou ionizující částice jsou elektrony, protony, deuterony, částice alfa a těžké ionty. Nepřímo ionizující částicemi jsou neutrony a dále sem řadíme záření gama a rentgenové záření. Rentgenové a gama záření interaguje s prostředím fotoefektem nebo Comptonovým rozptylem. Pokud předá foton elektronu veškerou svou energii a zanikne, mluvíme o fotoefektu, avšak pokud foton předá pouze část své energie elektronu a poté pokračuje v jiném než primárním směru dál, hovoříme o Comptonově rozptylu. (9)

Nevýhodou je, že při vyšších dávkách je ionizující záření nebezpečné, protože způsobuje takzvané stochastické a deterministické účinky. (10)

3.1.1 Stochastické účinky

Stochastické účinky nemají práh. S nabývajícím celkovou dávkou se nezvyšuje závažnost, ale zvyšuje se pravděpodobnost vzniku těchto nežádoucích účinků. Dávky se zde sčítají. Řadíme sem hlavně genetické změny a zhoubné nádory. (10) Zhoubné nádory ani genetické změny způsobené ozářením nelze odlišit od těch, které zářením způsobeny nebyly, protože se nijak neliší. (9)

3.1.2 Deterministické účinky

Deterministické účinky jsou prahové, což znamená, že vznikají při překročení dávky pro určitý orgán. Čím vyšší je dávka, tím vyšší je závažnost těchto účinků. (10) Tyto účinky označujeme jako časné, protože vznikají několik dnů až týdnů po ozáření. Při poškození buněk určité tkáně může dojít k reparaci, což je proces, při kterém dochází k obnově buněk. Pokud nepřekročíme práh pro danou tkáň, tak deterministické účinky nenastanou. (9)

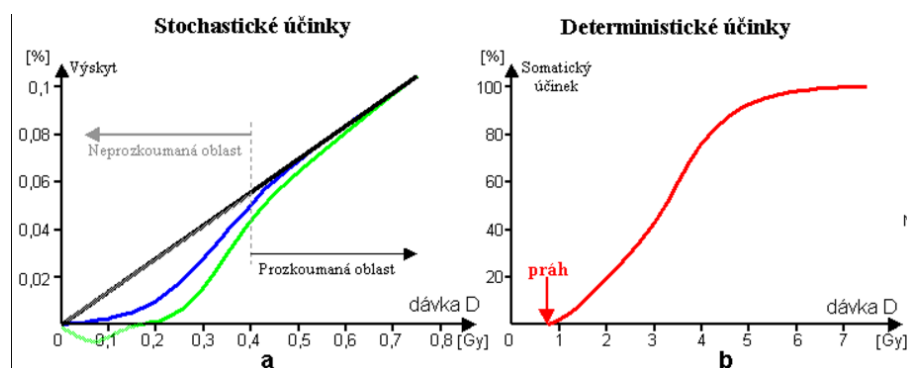
Mezi deterministické účinky řadíme akutní nemoc z ozáření, ke které dochází při ozáření převážné části celého těla vyšší dávkou. V závislosti na dávce má toto onemocnění tři formy. První forma je hematologická dřeňová, kde se znaky mohou objevit již při dávce 1 Gy, avšak obvykle se projeví při ozáření celého těla dávkou 3-4 Gy. Zpočátku může pacient pociťovat bolesti hlavy, nevolnost, dehydrataci, skleslost, kdežto v dalších dnech dochází ke vzniku orofaryngeálního syndromu, sepse a krvácení do sliznic. Může dojít

k zlepšení stavu za předpokladu, že dávka nebyla příliš vysoká. Druhá forma je střevní, vzniká při dávce větší než 6 Gy a projevuje se hlavně krvácivými průjmy. Dochází k velké poruše minerálního a vodního hospodářství střeva. Střevní výstelka je postižena nekrózou buněk, díky tomu se objevují i příznaky perforace střeva a jeho neprůchodnosti. V neposlední řadě nastanou poruchy krvetvorby. Poslední formou akutní nemoci z ozáření je forma neuropsychická. Metabolický rozvrat, srdeční selhání a kóma nastávají při dávce kolem 20 Gy, při dávkách vyšších než 50 Gy nastane psychická dezorientace, křeče, bezvědomí a následně i smrt. (9)

Mezi další deterministické účinky patří i akutní lokální poškození, ke kterému dochází při vnitřní kontaminaci otevřenými zářiči nebo při radiační nehodě například s ozařovačem při radioterapii. Pokud se tedy při nehodě dostane zdroj záření do bezprostřední blízkosti kůže, dojde k akutnímu lokálnímu poškození. Může dojít k různé míře poškození. Při dávce 2 – 4 Gy dojde k erytematózní dermatitis, kdy asi po 4 týdnech pozorujeme zarudnutí se zánětem. Pokud bude dávka 3 Gy objeví se i přechodná epilace. Pokud dojde k ozáření dávkou 20 Gy vzniká deskvamativní dermatitis, kdy se nejprve objeví otok, poté nastane období latence, čili období klidu které trvá přibližně 3 týdny a až tato doba uplyne, vznikne znovu otok, protože dochází ke zduření a prosáknutí i dalších vrstev kůže a objevují se i puchýře. Pokud by dávka překročila 50 Gy dojde k nekrotické dermatidě, kdy vznikají vředy, které se hůře hojí a mohou negativně ovlivnit i svaly a kosti. Díky degenerativním změnám v kůži se i po zahojení tkáně objevuje pozdní vřed, který se odstraní chirurgicky. (9)

Dále mezi deterministické účinky řadíme poškození fertility, zákal oční čočky a nenádorová onemocnění jako je chronická radiační dermatitida. (9)

Obrázek 1: Závislost biologického účinku na velikosti absorbované dávky záření



Zdroj: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniUcinky.gif>

4 RADIAČNÍ OCHRANA

Z důvodu vzniku stochastických a deterministických účinků, je důležité dodržovat pravidla radiační ochrany. Díky deterministickým účinkům jsou zavedeny roční limity dávek pro určité orgány, jako je třeba limit pro kůži, který je 500 mSv vždy za období jednoho roku. Jak už víme je to limit pod prahem těchto účinků, protože první stupeň poškození kůže vzniká při překročení dávky 3 Gy. Radiační ochrana spojená se stochastickými účinky je o dost náročnější, protože zde není žádný práh a proto se zde jako limit volí dávka, která je srovnatelná s dávkami například v průmyslových odvětvích. Tento limit se pohybuje okolo 20 mSv. (9)

Atomový zákon (zákon č. 263/2016 Sb.) a jeho prováděcí předpisy upravují podmínky pro užívání ionizujícího záření v radiologii v České republice. Principy radiační ochrany jsou optimalizace, zdůvodnění, bezpečnost zdrojů a limity dávek. Limity dávky jsou dávky, které nesmí být nikdy překročeny, například u těhotných žen, je dávkový limit 1 mSv za dobu těhotenství. Při nepřekročení tohoto limitu je velice nepravděpodobný vznik stochastických či deterministických účinků. (10)

4.1 Radiační ochrana u těhotných

Vyšetření těhotných žen za použití zdrojů ionizujícího záření upravuje §7 vyhláška MZ č. 410/2012 Sb., o stanovení pravidel a postupů při LO, která nám říká, že tento postup můžeme zvolit pouze v neodkladných případech a musí být zajištěna maximální ochrana plodu. Ozáření zdroji ionizujícího záření musí být proto zdůvodněno a optimalizováno. (11)

Často se stává, že se nejdříve ozáří pacientka a až poté se zjistí gravidita. Proto bylo zavedeno písemné prohlášení pacientky, kde potvrdí svým podpisem, že si není vědoma svého těhotenství a dále je pacientka seznámena s riziky které může ionizující záření způsobit, pokud by byla těhotná. (11)

Jestliže je pacientka v jiném stavu, tak začínáme uvažovat o tom, zda vyšetření provést, jak vysoká bude dávka, jestli to nějak ovlivní vývoj plodu. Musíme zvážit všechna rizika a přínosy, a zda je vyšetření neodkladné. Pokud se rozhodneme vyšetření udělat a je zde možnost ohrožení plodu, tak se vypočítá odhad ekvivalentní dávky v ozařovaném orgánu – děloze, protože dávka v děloze odpovídá dávce na embryo/plod. Dávce na embryo/plod se říká fetální dávka. (11)

Riziko se tedy hodnotí v závislosti na fetální dávce a na stadiu nitroděložního vývoje. Riziko pro plod je nízké, protože i dávky z radiologických diagnostických postupů jsou nízké. Je velmi nepravděpodobné, že bychom přesáhli dávkový limit 100mSv pro plod. Pokud budeme mít dávku 10mSv je pravděpodobnost, že nedojde k žádné malformaci 98,5% a že nedojde k nádorovému onemocnění 99,6%. Kdybychom dosáhli dávky 100mSv je pravděpodobnost 3%, že dojde k malformaci a 0,09% že by došlo k nádorovému onemocnění. (11)

Máme odhady „zanedbatelné“ a „nezanedbatelné“. Mezi ty „zanedbatelné“ řadíme snímky končetin, srdce, plic, zubů, vyšetření lebky a jiné. K odhadům „nezanedbatelným“ řadíme vyšetření, kde by mohla fetální dávka přesáhnout 10mSv. Řadíme sem vyšetření pánve, LS páteře, skiaskopické vyšetření GIT, HSG, dále sem patří vyšetření pomocí CT a to zejména CT pánve, břicha, LS páteře a CT plic, které je indikováno z důvodu podezření na plicní embolii a v neposlední řadě PET/CT. Příkladem je CT pánve kdy přibližná ekvivalentní dávka v děloze je 15 mSv. (11)

4.2 Biologické účinky záření na zárodek/plod

Negativní účinky záření jsou způsobeny především ionizací a excitací atomů hmoty. Na záření jsou nejcitlivější buňky, které se dělí, a proto zvláště zvažujeme indikaci snímků, pokud je žena těhotná. Biologické účinky ionizujícího záření mohou být deterministické a stochastické, tyto účinky již máme popsány výše. (12)

Biologické účinky na zárodek/plod závisí na týdnu těhotenství. Do 3. týdne mluvíme o reakci „vše nebo nic“, od 3. do 8. týdne probíhá velká organogeneze, což je vznik orgánů u zárodku, v tomto období je riziko vzniku malformací při překročení prahové dávky 100 mGy. V dalším období, přesněji od 8. do 15. týdne hrozí riziko mentální retardace (snížení IQ o 25b. na 1Gy), zde je kritická dávka 300 mGy a asi od 4. týdne je plod náchylný ke vzniku zhoubných nádorů s manifestací v dětství či dospělosti, kritická dávka je zde cca dvakrát až třikrát nižší než u dospělých jedinců. (11)

Riziko že dojde ke vzniku leukémie či zhoubného nádoru souvisí s ozářením kdykoli během těhotenství. Při ozáření plodu tedy může dojít jak k stochastickým účinkům, tak i k účinkům deterministickým. (9)

5 ZOBRAZOVACÍ METODY

5.1 Rentgenové záření a jeho vlastnosti

Rentgenové záření bylo objeveno v roce 1895 německým vědcem a fyzikem Wilhelmem Konrádem Röntgenem při pokusech s katodovými trubnicemi. Za svůj objev dostal v roce 1901 Nobelovu cenu. Díky tomuto objevu se začala rozvíjet radiodiagnostika, ke které se později připojily i další zobrazovací metody jako je výpočetní tomografie (CT), magnetická rezonance (MR), ultrasonografie (US) a později hybridní přístroje. (13)

Rentgenové záření je neviditelné elektromagnetické vlnění, které se šíří ve všech prostředích rychlostí světla. Jeho vlnová délka je 10^{-8} – 10^{-12} m. Při průchodu hmotou dochází k rozptylu a vstřebávání, v jaké míře to záleží na složení hmoty, kterou prochází a na vlnové délce záření čili kvalitě záření. Ve hmotě, kterou rentgenové záření prochází, dochází k ionizaci a excitaci atomů. Mezi nejdůležitější vlastnosti tohoto záření patří: pronikání hmotou, luminiscenční efekt (v luminoforech vznik viditelného světla), fotochemický efekt (záření způsobí zčernání fotografického materiálu), ionizace a v neposlední řadě biologické účinky (škodlivé účinky záření na živou tkáň). (13) (12)

5.1.1 Zdroj rentgenového záření

Zdrojem rentgenového záření je rentgenka. Rentgenka je dioda ve vakuu, která je umístěna v olověném krytu. Tvoří jí katoda (záporná) a anoda (kladná). Katoda má dvě spirálky z wolframu uložené ve fokusačních miskách. Při zahřátí katody (žhavením vlastním elektrickým obvodem) na určitou teplotu se začnou uvolňovat elektrony, které jsou výrazně urychleny, díky vysokému napětí mezi katodou a anodou. Záporné elektrony jsou přitahovány ke kladné anodě a v úzkém svazku dopadají do ohniska anody. Dojde k prudkému zabrzdění elektronů a jejich kinetická energie se mění na rentgenové záření, avšak pouze v 1%, zbylých 99% se přemění na teplo, díky tomu by mohlo docházet k přehřátí anody, a proto se anoda konstruuje jako rotační. Užitečná část záření vychází výstupním okénkem v podobě primárního svazku. (12) (13)

5.1.2 Rentgenové vyšetření

Rentgen se běžně používá pro hodnocení závažných zdravotních potíží nebo traumatu. Pokud je žena v reprodukčním věku provádí se vyšetření ideálně v první polovině menstruačního cyklu, abychom mohli vyloučit časně těhotenství. Pokud je již

žena těhotná, tak musíme zvážit rizika tohoto vyšetření, pokud je to možné volíme vyšetření, kde nevyužíváme ionizující záření. (14) Někdy se stává, že ženy jsou poslány na rentgenové vyšetření a teprve až na snímku zjistíme, že je žena těhotná. Riziko pro plod se odvíjí od doby těhotenství, expozici a dávce záření. Pokud v časně embryogenezi dojde k dávce větší než 1 Gy, je velice pravděpodobné, že tato dávka bude pro plod letální. Nicméně, takhle velké dávky nejsou v diagnostickém zobrazování používány. Při ozáření velkými dávkami dochází k omezení růstu, mikrocefalii a mentálnímu postižení. Co se týče mentálního postižení, tak na základě údajů od lidí kteří přežili výbuch atomových bomb, se zdá, že riziko účinků záření na CNS je největší v 8. – 15. týdnu těhotenství. Bylo stanoveno, že minimální práh pro nežádoucí účinky na centrální nervový systém je v rozmezí 60-310 mGy. Nicméně nejnižší klinicky zdokumentovaná dávka, která způsobila těžké postižení je 610 mGy. Pokud bychom indikovali více diagnostických rentgenových vyšetření, tak stejně nedosáhneme takovéto dávky. Potrat, omezení růstu nebo anomálie plodu nebyly hlášeny pod dávkou menší než 50mGy, což je taková dávka, kterou pro diagnostické účely nevyužíváme. Ve vzácných případech, když bychom museli užít větší dávku než je 50mGy, poučujeme pacienty o tom, že může dojít k růstové retardaci plodu či jinému postižení. (6)

U žen ve fertilním věku se plánovaná vyšetření provádějí v první polovině menstruačního cyklu, aby se vyloučila časná gravidita. V těhotenství se využití rentgenového vyšetření velmi zvažuje, a pokud to není krajně nutné, tak se vyšetření neprovádí a volí je vhodnější metoda.

5.2 Ultrazvuk

Jedná se o dostupnou a bezpečnou zobrazovací metodu, která je nedílnou součástí péče o ženu v průběhu těhotenství. (5)

5.2.1 Princip ultrazvuku

Na krystal je přivedeno střídavé napětí (jeho hodnota se mění v čase) a podle kolísání tohoto napětí začne krystal kmitat, čímž rozkmitá i okolní prostředí a dá tak impuls k šíření ultrazvukové vlny. Nejenže krystal umí vlny vytvářet, ale umí je i přijímat a generovat z nich zpátky elektrický signál, který posílá zpátky pomocí sondy do ultrazvukového přístroje. Krystal tedy slouží jako vysílač i přijímač zároveň.

Ultrazvuk má frekvenci vyšší než 20 kHz, jedná se o mechanické vlnění. Ve zdravotnictví užíváme frekvence v rozmezí 2 - 15 MHz. Základem ultrazvuku je akustická

impedance (propustnost). Pokud vyšleme vlnění do těla pacienta, tak ve tkáních dojde k odrazu, absorpci a rozptylu. V prostředí, kde je pouze čirá tekutina, nedochází k žádnému odrazu. (10) Zdrojem ultrazvukového vlnění je piezoelektrický krystal. Na piezoelektrický krystal je přivedeno střídavé napětí a dle kolísání tohoto střídavého napětí začne piezoelektrický krystal kmitat, čímž dojde k rozkmitání okolního prostředí a dá tak impulz k šíření ultrazvukové vlny. Krystal slouží jako přijímač i vysílač ultrazvukových vln a následně z nich zpátky generuje elektrický signál, který posílá zpátky za pomoci sondy do ultrazvukového přístroje. (17) Na tělo pacienta nanášíme speciální gel zajišťující kontakt mezi sondou a vyšetřovanou oblastí. Při přiložení sondy na povrch těla (na kterém je gel) začne pronikat podélné ultrazvukové vlnění do tkání a my pak můžeme přijímat ultrazvukové odrazy. (13)

Ultrazvuk můžeme vyšetřovat za pomoci tří módů. A mód se dnes prakticky nevyužívá. Zobrazoval nám impulzy v podobě kmitů, jejíž výška závisela na intenzitě odrazů. B mód je dvourozměrné zobrazení, a opírá se o snímání ech (odrazů) z echotomografické plochy a jas bodu je tím vyšší, čím více je odraz silnější. Posledním módem je M mód, který využíváme při vyšetření srdce ke sledování chlopní. (13)

Směr toku a rychlost v cévách nám umožňuje měřit dopplerovská ultrasonografie. Využívá Dopplerova jevu k posouzení prokrvení zobrazovaných tkání a k diagnostice cévních patologií. Pokud teče krev k sondě, pak se frekvence vlnění zvyšuje a naopak. V barevném dopplerovském záznamu se nám tok krve směrem od sondy zobrazuje modře, a pokud krev teče směrem k sondě, pak se nám zobrazuje červeně. Rozdíl mezi frekvencí přijímaného a vysílaného ultrazvukového vlnění nazýváme dopplerovský frekvenční posun. (13) Pulzní dopplerovské zobrazení a barevné dopplerovské mapování nejčastěji využíváme v prenatální diagnostice. (10)

Máme tři druhy ultrazvukových sond a to konvexní, sektorovou a lineární. Pro zobrazení povrchových struktur se užívají lineární sondy. Pro vyšetření břišních orgánů a pánve využíváme sondu konvexní. Tam, kde je malý prostor pro průchod ultrazvuku, užijeme sondu sektorovou. (10)

5.2.2 Ultrazvuk v průběhu gravidity

Ultrasonografie má v průběhu těhotenství největší význam ze všech zobrazovacích metod a je podstatnou součástí komplexu diagnostických metod. Umožňuje nám diagnostikovat těhotenství a je vcelku jisté, že nám zodpovídá otázky ohledně vývoje

plodu. Pokud chceme vyšetřovat plod v prvním trimestru, musíme to mít řádně zdůvodněné. Pohyby srdce je možné sledovat od 7. týdne těhotenství. Abychom stanovili délku těhotenství je zapotřebí změřit délku fétu, která se měří od 7. do 12. týdne těhotenství. V průběhu druhého a třetího trimestru stanovujeme například množství plodové vody, délku gravidity, polohu placenty, růst plodu a to vše za pomoci biometrických metod. Díky vyšetřování ultrazvukem můžeme zjistit anomálie plodu. Diagnostikujeme vrozené vývojové vady mozku, srdce, páteře, počet končetin, zda jsou všechny orgány v pořádku. Pokud diagnostikujeme závažnou vrozenou anomálii, může to rozhodnout o přerušení těhotenství. (15) Při vyšetření ultrazvukem, může vyšetřující lékař dále určit, zda je plod v děloze a pokud ano, tak tím může téměř vyloučit mimoděložní těhotenství. (6)

Pokud u těhotné ženy nalezneme nejasné nálezy či zjistíme závažnou genetickou vadu, tak je tato žena poslána na konziliární vyšetření na ultrazvukovém pracovišti, kde se provede buď terapeutické vyšetření (ukončení gravidity, ...) nebo invazivní diagnostické vyšetření jako je amniocentéza (odběr plodové vody). Jestliže se nám nepodaří diagnostikovat, o co se jedná, tak je těhotná žena poslána na superkonziliární ultrazvukové vyšetření, kde se řeší nejsložitější případy v ČR. (16)

5.3 Počítačová tomografie (CT)

CT (computed tomography) je radiologická zobrazovací metoda, která využívá ionizující záření. Počítačová tomografie je založena na zeslabování svazku RTG záření při průchodu pacientem. Jedná se o tomografickou metodu - vyšetření se skládá z většího množství skenů (vrstev) širokých 1-10 mm. (15)

U konvenčních CT máme dvě základní konstrukce, a to buď vějířovité nebo kruhové. U vějířovitého tomografu se otáčí rentgenka i detektorová soustava, kdežto u kruhového přístroje se pohybuje pouze rentgenka a detektory jsou po celém obvodu přístroje. Využívají se vějířové tomografy z důvodu praktičnosti. (17) V dnešní době využíváme spirální CT, kdy se dráha rentgenky jeví jako šroubovice, protože se posunuje lehátko s pacientem a zároveň systém rentgenka-detekory, které se pohybují rotačně. Je zde důležitý tzv. „pitch-faktor“ což je vzdálenost (mm) o kterou se lehátko s pacientem posune mezi dvěma oběhy rentgenky. (15) Výhodou je kratší doba vyšetření. Zachycení celého objemu vyšetřované oblasti a v neposlední řadě je výhoda to, že i s nižší dávkou můžeme získat překrývající se vrstvy. Při intravenózní aplikaci kontrastní láky lze také

provést CT angiografii. Rychlost spirálního CT vynikne hlavně na multi-detektorovém CT (přístroj s více řadami detektorů). (12)

Svazek záření po průchodu vyšetřovanou oblastí dopadá na detektory připojené k počítači, kde je registrováno množství dopadaného záření, které je převedeno na elektrický signál a následně do počítače. Při expozici jedné vrstvy se rentgenka a detektor, otočí kolem vyšetřované oblasti o 360°. Takto získané obrazy vrstev jsou převedeny do digitální podoby. (15)

Vyšetření začíná zhotovením topogramu na kterém se určí rozsah vyšetření i sklon gantry. Poté přejdeme k vlastnímu vyšetření a to buď spirální či konvenční technikou. Získáváme obrazy vrstevové v transverzální rovině, ze kterých lze vytvořit rekonstrukce v jakékoli rovině nebo 3D. (15)

V dnešní době se CT během těhotenství užívá nejčastěji k diagnostice cévních anomálií a tumorů v lebce. Dále je využíváno kvůli plicní embolizaci. Z toho důvodu, že výpočetní tomografie využívá ionizující záření, pro ostatní indikace volíme metody využívající neionizující záření, tudíž ultrazvuk nebo magnetickou rezonanci. (18)

5.4 Magnetická rezonance

MR (magnetic resonance) nám zobrazuje tkáň bez využití ionizujícího záření. Využívá magnetického pole, ve kterém můžeme sledovat chování právě zobrazovaných tkání. (10) Atomové jádro se skládá z protonů a neutronů. Nás v tomto případě budou zajímat pouze protony, protože jsou to nabitě částice, které rotují a vytváří kolem sebe magnetické pole. Protony mají tendenci se párovat a tím se ruší magnetické moment, a proto můžeme magnetickou rezonanci využít pouze u atomů, které mají lichý počet protonů. Nejlepším prvkem je vodík, protože obsahuje pouze 1 proton v jádře. Vodík je součástí vody, a protože naše tělo je tvořeno převážně z vody, poskytuje nám tento prvek až 1000x větší MR signál. (17)

O charakteristice a lokalizaci protonu vodíku získáváme informace sériovým záznamem. Využívají se zde relaxační časy T1 (longitudinální) a T2 (transversální). Přičemž T1 relaxační čas je doba od aplikace radiofrekvenčního signálu a končí, když se protony opětovně seřadí v poli magnetickém. Doba kdy se protony vrátí do původního stavu, se nazývá relaxační čas T2. Oba časy jsou pro každou tkáň jiné a díky tomu nám vzniká vysoký kontrast, a díky tomu můžeme dobře rozlišit jednotlivé tkáně. (18)

Výhodou této metody je, že využívá neionizující záření a nejsou do dnešní doby známi žádné záporné účinky na organismus. Těhotenství je relativní kontraindikací pouze v prvním trimestru. V magnetické rezonanci nevyužíváme ionizující záření, a proto může těhotná žena vyšetření touto zobrazovací metodou podstoupit. MR v graviditě využíváme nejčastěji k zjišťování vrozených vývojových vad, pleurálních tumorů nebo tumorů v oblasti dutiny břišní a hrudníku. Další indikací je vyšetření kvůli poruchám vývoje CNS a nebo MRI spektroskopie (odhad maturity plic a to stanovením píku lecitinu). (18)

5.5 Nukleární medicína

Nukleární medicína využívá radioaktivní látky (radiofarmaka, radioizotopy) k zobrazování orgánů jako je štítná žláza, ledviny, kosti a jiné. Využívá se ke stanovení fyziologické funkce či dysfunkce orgánu. (6) Tato metoda je neinvazivní a alergická reakce zde téměř nehrozí. U radiodiagnostických metod je radiační zátěž pro pacienta přibližně stejná nebo o něco vyšší než na nukleární medicíně. Užíváme zde scintilační detektory, které slouží k detekování ionizujícího záření. Velkou nevýhodou však byla nízká specifita a proto došlo ke vzniku hybridních systémů, kdy mluvíme o kombinaci CT nebo MR s PET (pozitronová emisní tomografie). Výsledkem této kombinace je vysoká senzitivita i specifita vyšetření. (17)

V těhotenství závisí ozáření plodu na fyzikálních a biochemických vlastnostech radioizotopu. Nejčastěji užíváme izotop technecium^{99m}, který se užívá k vyšetření mozku, kostí, ledvin a srdce. V těhotenství se nejčastěji používá k vyšetření plic z důvodu detekce plicní embolie. Při tomto vyšetření je ozáření plodu menší než 5 mGy, což je považováno za bezpečnou dávku pro plod. Poločas rozpadu ^{99m}Tc je 6 hodin a jedná se o čistý gama zářič. V těhotenství nelze využívat veškeré radioizotopy. Radioaktivní jód v těhotenství nevyužíváme, protože volně prochází placentou a má poločas rozpadu 8 dní, což by mohlo nepříznivě ovlivnit štítnou žlázu plodu a to zejména pokud bychom ho aplikovali po 10 -12 týdnu těhotenství. (6)

6 KONTRASTNÍ LÁTKY

Kontrastní látky používáme tehdy, pokud v části těla, kterou potřebujeme zobrazit je špatný kontrast. Špatný kontrast vzniká proto, že většina anatomických struktur či orgánů absorbuje záření podobně, ale kontrastní látka nám pomůže tuto absorpci změnit. Pokud potřebujeme zvýraznit různé anatomické struktury, některý orgán nebo snad jeho funkci použijeme kontrastní látku. Kontrastní látky se liší podle zobrazovací metody, což znamená, že při rentgenovém vyšetření použijeme jinou kontrastní látku než na magnetické rezonanci apod. (17)

Kontrastní látky můžeme aplikovat do těla více způsoby, ať už intravenózně, intraarteriálně (cévní cestou – žíly, tepny), per os (ústy), intrathekálně (do páteře), nástříkem do dutin a jiné. Velkou nevýhodou jsou možné nežádoucí účinky, které mohou vzniknout po podání. (17)

Pokud není těhotná žena ohrožena na životě, tak se snažíme kontrastní látku nepodávat, protože kontrastní látka proniká skrz placentu a to může mít negativní vliv na plod. Proto je gravidita relativní kontraindikací. (19)

6.1 Kontrastní látky v RTG diagnostice

Kontrastní látky (KL) v RTG diagnostice můžeme rozdělit na pozitivní a negativní. Pozitivní kontrastní látka absorpci ionizujícího záření zvyšuje a řadíme sem baryové a jodové KL. (17)

Baryová KL se užívá při vyšetření gastrointestinálního traktu a jejím základem je síran barnatý – $BaSO_4$, který je nerozpustný ve vodě. Podává se nejčastěji per os ve formě suspenze. Na CT se nepoužívá, protože nám vytváří různé artefakty a znehodnocuje se tak vyšetření. (17)

Jodová KL se dále může dělit na vodnou a viskózní (olejovou). Vodná jodová KL se dále dělí na vysoko a nízkoosmolální, podle toho zda mají vyšší či nižší osmolaritu krve. Jodová KL je nejpoužívanější ze všech kontrastních látek. Aplikuje se hlavně intravaskulárně, což může vyvolat nežádoucí účinky. Z důvodů možného vzniku těchto nežádoucích účinků je důležité JKL aplikovat pouze na pracovišti, kde je potřebné lékařské vybavení pro léčbu nežádoucích reakcí a pro kardiopulmonální resuscitaci. Pokud měl

pacient předchozí alergii na KL nebo má astma, je nutné pacienta premedikovat kortikoidy, které se musí podat 6-12 hodin před aplikací samotné JKL. (17)

Pacientovi zajistíme dostatečnou hydrataci, dále nesmí 4 hodiny před podáním JKL jíst. Pít smí pouze vodu, ale pouze minimálně (100 ml/hod). Zjišťuje se i hladina kreatininu v séru, protože pokud by měl pacient nemocné ledviny, mohlo by dojít ke kontrastní nefropatii. (17) Po vyšetření s JKL pacienta předáme zdravotnickému personálu nebo jej 30 minut sledujeme. (12)

Relativní kontraindikací je například předchozí alergická reakce na JKL nebo kreatinin nad 300 mmol/l, kdy jsou pacienti ohroženi renální insuficiencí neboli selháním ledvin. (20)

Negativní kontrastní látkou je vzduch, oxid uhličitý a metylcelulóza. Samostatně se vesměs nepoužívají, užíváme je k dvojkontrastnímu vyšetření, kdy dochází ke kombinaci pozitivní a negativní KL. (17)

6.2 Kontrastní látky pro magnetickou rezonanci

Na magnetické rezonanci používáme takové kontrastní látky, které jsou schopny zkrátit relaxační časy T1 a T2. Tyto kontrastní látky mají paramagnetické a superparamagnetické vlastnosti. Nejsilnější paramagnetická látka je Gadolinium. Gadolinium je samo o sobě toxické a proto se používají pouze sloučeniny gadolinia. KL pro magnetickou rezonanci můžeme rozdělit na extracelulární (mimo buňku) a intracelulární (uvnitř buňky), podle místa jejich distribuce. (17)

Extracelulární nespecifické KL mohou způsobit poškození plodu, protože pronikají do placenty, proto je gravidita kontraindikací. (17)

Tabulka 1: KL pro MR

Obchodní název	Chemický název	Využití
Magnevist	Gd-DTPA	nespecifická extracelulární
Omniscan	gadodiamid	nespecifická extracelulární
ProHance	gadoteridol	nespecifická extracelulární
Dotarem	Gd-DOTA	nespecifická extracelulární
Gadovist	gadobutrol	nespecifická extracelulární
MultiHance	gadobenát dimeglumin	nespecifická extracelulární
Primovist	kyselina gadoxetová	hepatospecifická
Vaovist/Ablavar	gadofosveset	intravaskulární

Zdroj: (13)

6.3 Kontrastní látky v USG diagnostice

Kontrastní látky se v USG diagnostice aplikují žilní cestou a poté se šíří pouze cévní cestou (intravaskulárně). KL má účinek pouhých několik minut a poté se vylučuje plícemi, jelikož základem jsou mikrobubliny o průměru 2-4 μ m tvořené plynem. Tyto mikrobubliny musí být stabilizované fosfolipidy. (17)

Tyto kontrastní látky ve formě mikrobublin se užívají například k zvýraznění kontrastu srdečních dutin, u srdečního svalu k zobrazení perfuze, dále k diagnostice a hodnocení různých ložisek (např. v játrech). (17) Hlavní KL používanou při ultrasonografii je Levovist nebo novější SonoVue. (13)

7 TĚHOTNÁ RADIOLOGICKÁ ASISTENTKA

Pokud otěhotní radiologická asistentka, musí to nahlásit svému nadřízenému. Těhotná radiologická asistentka může i nadále vykonávat práci na radiodiagnostickém oddělení, pokud je nepravděpodobné, že by efektivní dávka překročila během těhotenství 1 mGy. Doporučení pro těhotné radiologické asistentky dále upravuje ICRP 84, ve kterém je napsáno, že pokud je radiologická asistentka těhotná, tak nemusí dojít k žádné změně pracovních úkonů, nebo že bude předělena na jiné oddělení, kde vystavení záření bude nižší než na tom současném pracovišti, například ze skiaskopie na CT nebo do nějaké oblasti, kde je méně rozptýlené záření. Poslední možností je změnit pracovní místo na takové, kde není v podstatě žádná možnost ozáření, což se dělá, pokud to těhotná radiologická asistentka sama požaduje, protože odmítá přijmout jakékoli riziko pro plod. (21)

Na nukleární medicíně se omezuje trávení času těhotných radiologických asistentek v místnosti, kde se vyrábí radiofarmaka, a snažíme se, aby nepracovali se sloučeninami radiojodu. V radioterapii se nemusí podílet na brachyterapii. (21)

Existuje mnoho situací, kdy si radiologická asistentka přeje pokračovat ve své práci nebo zaměstnavatel potřebuje, aby pokračovala ve stejné práci, aby byla zachována stejná úroveň péče o pacienty. Z hlediska radiační ochrany je to naprosto přípustné za předpokladu, že bude dodržen limit pro plod, tedy 1 mGy za dobu těhotenství. Tento limit není přímo srovnatelný s dávkou naměřenou na osobním dozimetru. Osobní dozimetr může vést k nadhodnocení dávky pro plod faktorem 10 nebo více a to v případě, že budeme mít dozimetr například mimo olovenou zástěru, pak je naměřená dávka asi tak 100krát vyšší, než je dávka plodu. (21)

V neposlední řadě je třeba zvážit i jiné faktory než je ozáření, musíme zvážit například i fyzickou zátěž – různé zvedání pacientů a jiné, ovšem to lze vyřešit pomocí sanitářů nebo jiných nelékařských pracovníků. (21)

Občas existují situace, kdy se rodinní příslušníci starají o pacienta, který je po aplikaci radionuklidu. Za takových okolností, není meze veřejné dávky. Pokud je nezbytné zapojit těhotnou ženu, tak by to mělo být provedeno takovým způsobem, aby fetální dávka nepřesáhla 1 mGy. (21)

PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části bakalářské práce se budeme zabývat definicí základních veličin, stanovením a hodnocením dávek u pacientů na RTG, CT a NM. Praktická část je dále zaměřena na výpočty efektivní dávky v děloze u těhotných žen z důvodu radiačního rizika pro embryo/plod a možnému vzniku deterministických účinků. Budeme se zabývat výpočtem typických dávek na embryo/plod na RTG, CT a NM, popíšeme si podrobně, jak jsme při výpočtu těchto typických dávek postupovali, programy se kterými jsme pracovali a k čemu jsme došli. V neposlední řadě budeme srovnávat všechny tyto typické dávky z hlediska jejich velikosti a možného rizika deterministických účinků na plod.

Naším cílem je tedy spočítat typické dávky v děloze v průběhu těhotenství, abychom mohli zjistit, zda jsou obavy o rizika využívání radiologických zobrazovacích metod v průběhu těhotenství opravdu tak vážné jak se zdají být a z toho odvodit zda je lepší vyšetření radiologickými zobrazovacími metodami těhotné ženy odložit ve snaze uchránit embryo/plod či nikoli.

Naším dalším cílem je zjistit, zda embryo/plodu hrozí riziko deterministických účinků při jakémkoli vyšetření těhotné ženy výpočetní tomografií.

Dalším cílem bakalářské práce je porovnání typické dávky při CT vyšetření břicha a pánve, předpokládáme, že při vyšetření pánve plod obdrží vyšší dávku než při CT vyšetření břicha. A dále předpokládáme, že se to typické dávky v děloze nebudou lišit dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103 a to i u ostatních vyšetření pomocí výpočetní tomografie.

Posledním cílem je zjistit, při jakém vyšetření, jakou metodou by embryo/plod mohl obdržet nejvyšší dávku a celkové porovnání radiologických zobrazovacích metod a zhodnocení z hlediska rizika vzniku negativních deterministických účinků pro plod. Domníváme se, že nejvyšší typickou dávkou v děloze by mohla těhotná žena obdržet při vyšetření na nukleární medicíně a nejnižší typickou dávkou v děloze by mohla těhotná žena obdržet při vyšetření za pomocí RTG.

Cíle a předpoklady:

C1: Stanovení typických dávek na embryo/plod při RTG, CT a NM vyšetřeních a následné porovnání těchto radiologických zobrazovacích metod z hlediska výše typických dávek v děloze a porovnání rizika vzniku negativních deterministických účinků.

P1: Předpokládáme, že nejvyšší typickou dávkou embryo/plod obdrží při vyšetření na NM a nejnižší typickou dávkou při vyšetření RTG a vznik negativních deterministických účinků pro plod hrozí při vyšetření těhotné ženy na RTG, CT i NM.

C2: Zjistit zda embryo/plod obdrží efektivní dávku při jakémkoli vyšetření těhotné ženy na CT.

P2: Předpokládáme, že embryo/plod obdrží dávku při jakémkoli vyšetření těhotné ženy na CT.

C3: Porovnat typické dávky v děloze (pro embryo/plod) při CT vyšetření břicha a pánve.

P3: Předpokládáme, že při vyšetření CT pánve plod obdrží vyšší dávku než při CT vyšetření břicha.

C4: Zjistit, zda se typické dávky v děloze při vyšetření těhotné ženy na CT, budou lišit dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103.

P4: Předpokládáme, že typické dávky v děloze při vyšetření těhotné ženy na CT se dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103 neliší.

8 DEFINICE ZÁKLADNÍCH VELIČIN

Aktivita (A) – Aktivitou se rozumí určité množství radioaktivní látky, ve které je střední počet samovolných radioaktivních přeměn a k těmto přeměnám dojde za nějaký časový interval. (9)

Absorbovaná dávka (D) – Na základě této dávky se posuzují negativní – biologické účinky ionizujícího záření na organismus. Je to určitá energie záření vstřebaná v jednotce hmotnosti ozářené hmoty v určitém bodě. (9)

Ekvivalentní dávka (H_T) – Je to součin radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky v tkáni či orgánu způsobené ionizujícím zářením. Ekvivalentní dávka nelze měřit. (9)

Efektivní dávka (E) – Efektivní dávka je součet součinů tkáňových váhových faktorů a ekvivalentních dávek v ozářených orgánech či tkáních. Slouží nám k porovnávání ozáření v těle a to ve vztahu ke vzniku negativních stochastických účinků. (9)

Tkáňové váhové faktory (w_T)-Tyto faktory slouží k vyjádření rozdílné radiosenzitivity (citlivosti na ionizující záření) tkání a orgánů ke vzniku stochastických účinků. (9)

Radiační váhový faktor (w_R) – Je to bezrozměrná jednotka a vyjadřuje nám jak nebezpečný je určitý druh záření pro nás. Hodnoty radiačního váhového faktoru se liší pro různé druhy záření. Pro foton a elektron je radiační váhový faktor roven 1, neutrony 2-20 v závislosti na jejich energii, protony dle vyhlášky 422/2016 Sb. 5 a dle doporučení ICRP 103 2, a částice alfa, těžká jádra a štěpné fragmenty 20. (9)

9 STANOVENÍ A HODNOCENÍ DÁVEK PACIENTŮ

9.1 Stanovení dávek pacientů

Je to takový postup, při kterém můžeme stanovit typickou hodnotu efektivní dávky pro dané vyšetření, nebo můžeme stanovit hodnoty veličin, díky kterým můžeme hodnotit dávku pacientů a to například tak, že je porovnáme s DRÚ. Nás bude zajímat postup, při kterém stanovujeme hodnoty veličin, díky kterým můžeme posuzovat střední nebo maximální hodnotu absorbované dávky v orgánu či tkáni a díky tomu můžeme posoudit nežádoucí účinky ionizujícího záření. (22)

9.2 Hodnocení dávek pacientů

Dávky pacientů hodnotíme proto, abychom zjistili, zda je vyšetření v souladu s DRÚ nebo můžeme porovnat hodnotu uvedenou v různých mezinárodních dokumentech se stanovenou hodnotou efektivní dávky pro klasický průběh vyšetření. My se budeme zajímat o hodnocení dávek v orgánech a to konkrétně v děloze a tyto hodnoty srovnáme s prahem deterministických účinků, abychom zjistili případné nežádoucí riziko, které by mohlo ohrozit plod. (22)

9.3 Stanovení a hodnocení dávek pacientů v RTG diagnostice

V této kapitole praktické části bakalářské práce se budeme zabývat stanovením a hodnocením orgánových dávek. Tyto dávky stanovujeme, abychom mohli posoudit riziko deterministických účinků záření. Proto, abychom tyto orgánové dávky mohli stanovit, potřebujeme výpočetní program, protože orgánové dávky nelze změřit přímo. Orgánové dávky nám vypočítá radiologický fyzik a po výpočtu se tato vypočtená dávka srovná s tolerančním limitem pro daný orgán – v našem případě pro dělohu. (22)

Orgánové dávky se stanoví a hodnotí, pouze pokud je riziko vzniku deterministických účinků. Toto riziko vzniká, pokud je děloha vystavená přímému svazku záření, pokud není tak tyto dávky počítáme, pokud si o to sama pacientka zažádá nebo si o to zažádá její ošetřující lékař. Pacient si může zažádat i o zhodnocení rizika ze stochastických účinků. (22)

Pokud budeme vyšetřovat břicho či pánev u těhotné pacientky, tak vypočítáme odhad střední dávky v děloze. Pro stanovení a hodnocení dávky na embryo/plod musíme udělat co nejpřesnější odhad dávkové distribuce v těle těhotné pacientky a potřebujeme

použít všechny možné dostupné údaje. Pokud by došlo k tomu, že odhad hodnoty dávky v děloze v prvním trimestru nebo dávky v plodu v druhém a třetím trimestru je vyšší, než je toleranční dávka, je nutné informovat ošetřujícího lékaře a samotnou pacientku v graviditě. (22)

9.3.1 Doporučení ICRP 60 a ICRP 103

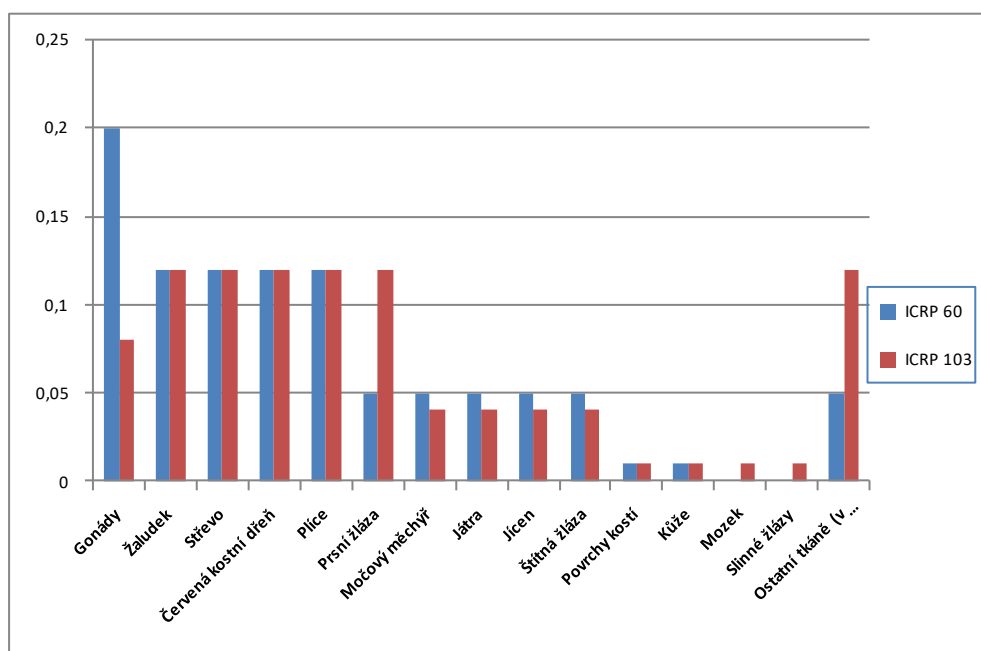
Doporučení ICRP 60 (z roku 1991) a ICRP 103 (z roku 2007) se liší v hodnotách tkáňových váhových faktorů w_T . Jak můžeme vidět v tabulce níže, došlo ke snížení w_T na gonády a ke zvýšení indexu u prsní žlázy. (9) (22) (23)

Tabulka 2: Porovnání doporučení ICRP 60 a ICRP 103

Orgán, tkáň	Tkáňový váhový faktor	
	ICRP 60	ICRP 103
Gonády	0.20	0.08
Žaludek	0,12	0,12
Střevo	0,12	0,12
Červená kostní dřeň	0,12	0,12
Plíce	0,12	0,12
Prsní žláza	0,05	0,12
Močový měchýř	0,05	0,04
Játra	0,05	0,04
Jícen	0,05	0,04
Štítná žláza	0,05	0,04
Povrchy kostí	0,01	0,01
Kůže	0,01	0,01
Mozek	-	0,01
Slinné žlázy	-	0,01
Ostatní tkáň (v součtu)	0,05	0,12

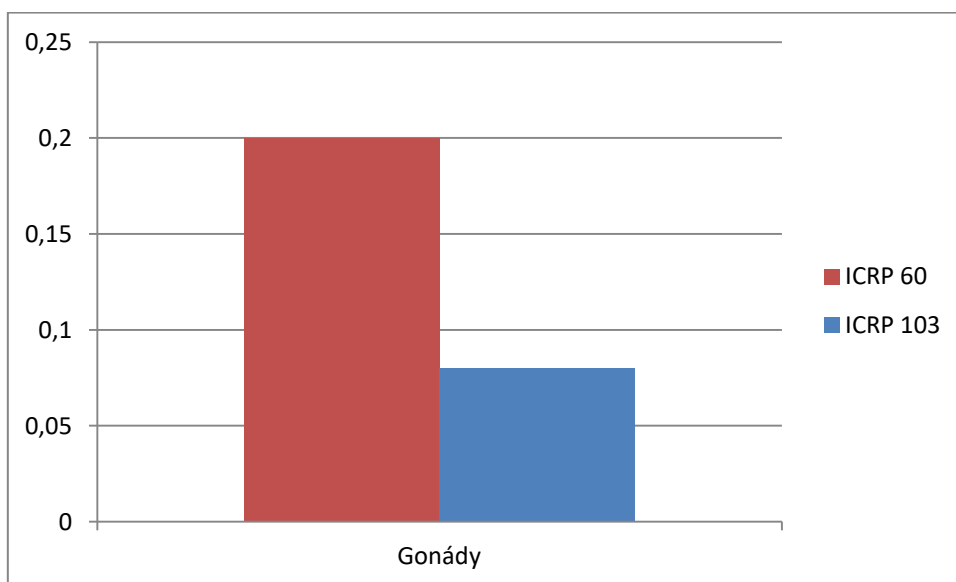
Zdroj: (11)

Graf 1: Doporučení ICRP 60 a ICRP 103 - porovnání



Zdroj: Vlastní

Graf 2: Porovnání tkáňového váhového faktoru gonád dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103



Zdroj: Vlastní

9.3.2 Program PCXMC

Program PCXMC slouží radiologickému fyzikovi pro výpočet efektivních a orgánových dávek, které pacient obdrží při skiagrafickém nebo skiaskopickém vyšetření rentgenovým zářením. Program nezohledňuje pohlaví, ale můžeme nastavit hmotnost i výšku pacienta. Přesný věk pacienta nelze zvolit. Vzhledem k tomu že nemůžeme zadat pohlaví, tak program používá průměr dávky ve vaječnících a ve varlatech a pak tomu říkáme gonádová dávka. (23)

Za pomoci tohoto programu, lze odhadnout v jednotlivých orgánech pravděpodobnost rizika vzniku rakoviny dělohy, prsu, štítné žlázy a jiné. Zde volíme národnost, věk i pohlaví pacienta. (23)

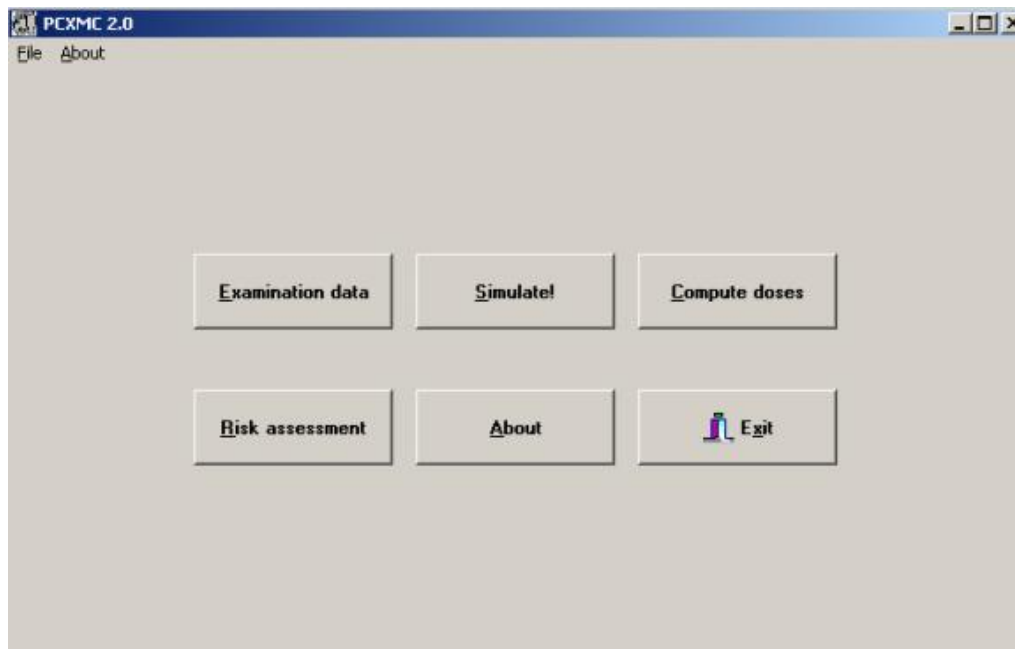
Pro výpočet je důležitých několik parametrů a to konkrétně věková skupina, výška a hmotnost pacienta, projekce, oblast zájmu, rozsah vyšetření, hodnota součinu kerny a plochy, ohnisková vzdálenost (ohnisko-kůže), napětí a celková filtrace. Poté tyto parametry zadáváme do úvodního okna programu. (23)

V programu ještě můžeme zvolit, zda chceme výpočet na základě souhrnných doporučení podle Publikace ICRP 60 nebo můžeme použít výpočty dle Publikace ICRP 103. (23)

9.3.3 Typické dávky pro RTG

Nyní si popíšeme přesný postup, jak jsme počítali typické dávky pro skiografická vyšetření. Nejdříve si otevřeme program PCXMC. Otevře se nám menu tohoto programu. Je zde několik voleb, nás v první řadě bude zajímat Examination data.

Obrázek 2: PCXMC - menu

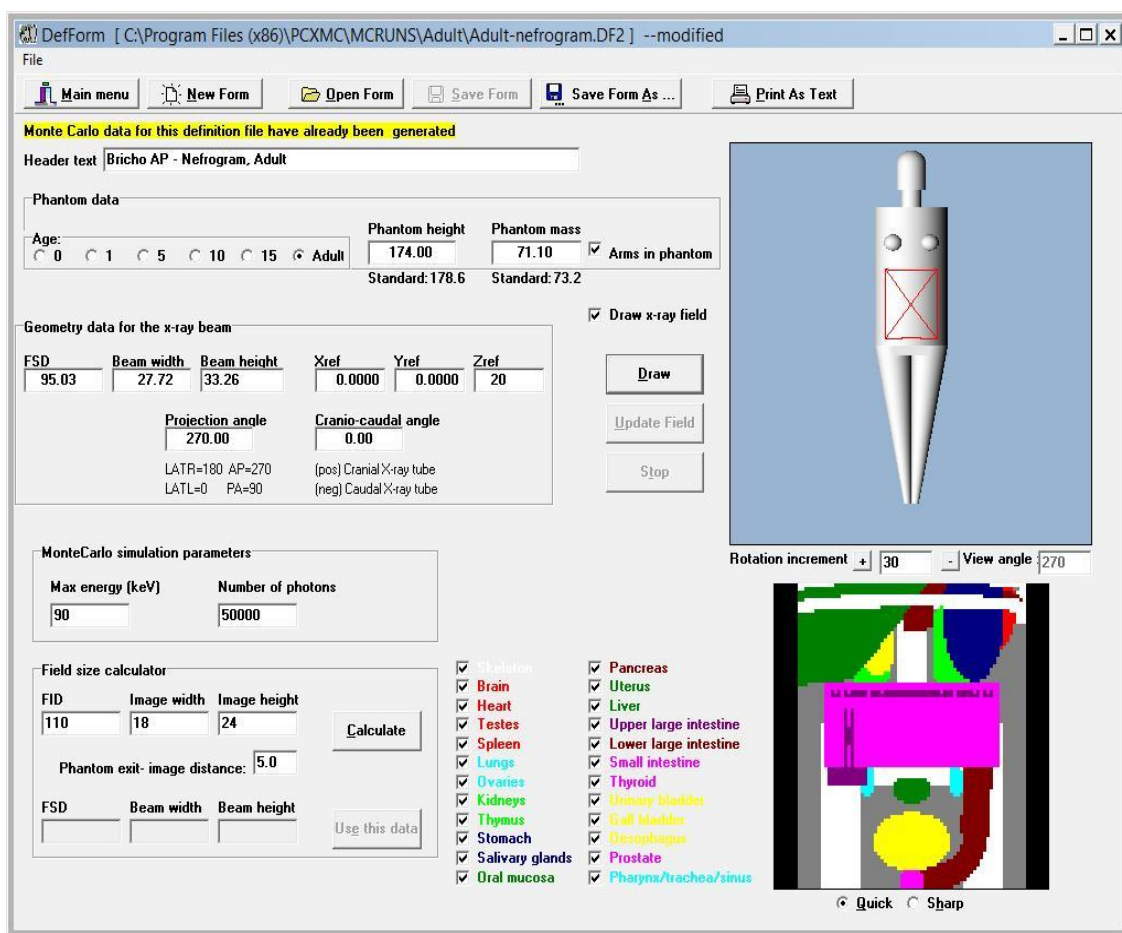


Zdroj: Vlastní

Po rozkliknutí se nám otevře v programu tabulka, do které zadáme informace o pacientovi. Zadáme sem věkovou skupinu, v našem případě klikneme na Adult (dospělí), dále výšku a váhu a zvolíme si vyšetření, pro které chceme spočítat typickou dávku. Na obrázku níže můžete vidět, že jsme si zvolili vyšetření Břicha AP – VUR, dospělého člověka o výšce 174 cm a váze 71 kg. V neposlední řadě zadáváme parametry jako je úhel sklonu osy primárního svazku, rozměry ozařované plochy a ohniskovou vzdálenost (rentgenka - povrch kůže pacienta).

Vpravo se nám objeví fantom, kde vidíme ozařovanou oblast. Pod tímto fantomem máme obrázek ozařovaných orgánů, nás zajímá děloha, která je znázorněna zelenou barvou.

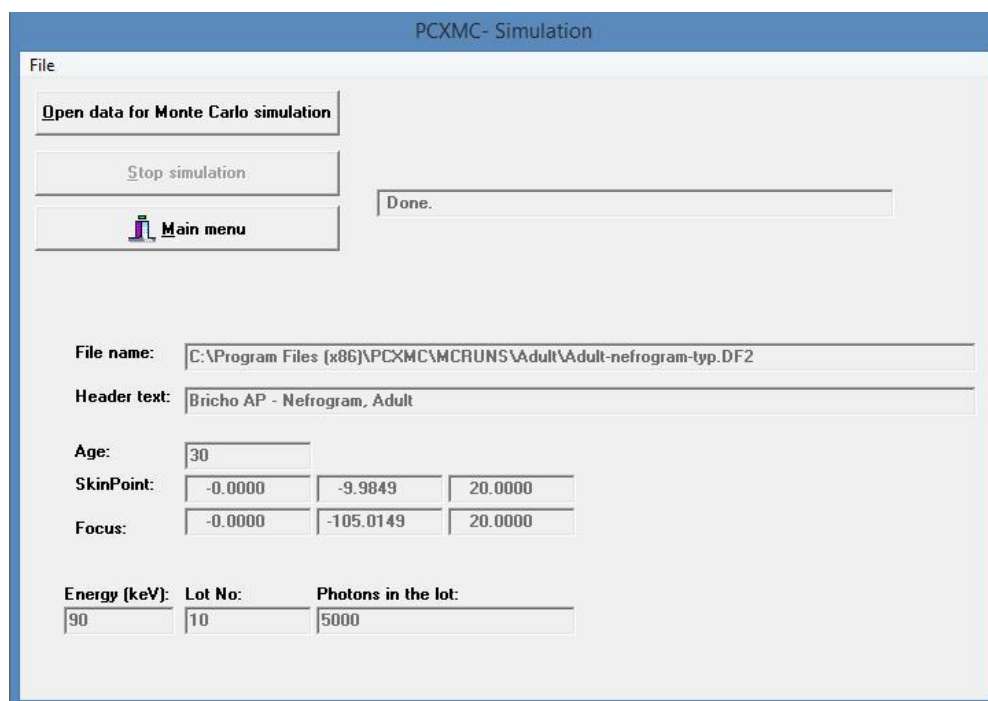
Obrázek 3: PCXMC - volba vyšetření



Zdroj: Vlastní

V dalším kroku klikneme na „Main menu“, čímž se vrátíme do hlavního menu a klikneme na „Simulate!“. Zde nám program nasimuluje výpočtem metodou Monte Carlo dávkové profily pro všechny zvolené energie. Až se nám v tabulce objeví „Done“, máme hotovo a můžeme přejít k dalšímu kroku.

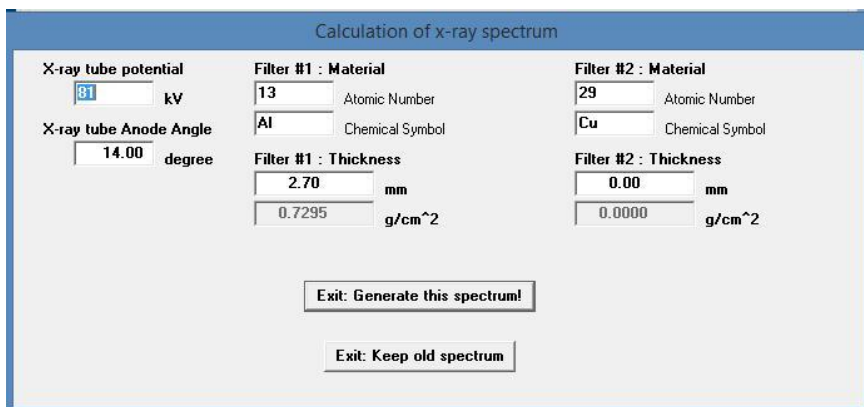
Obrázek 4: PCXMX - Simulace



Zdroj: Vlastní

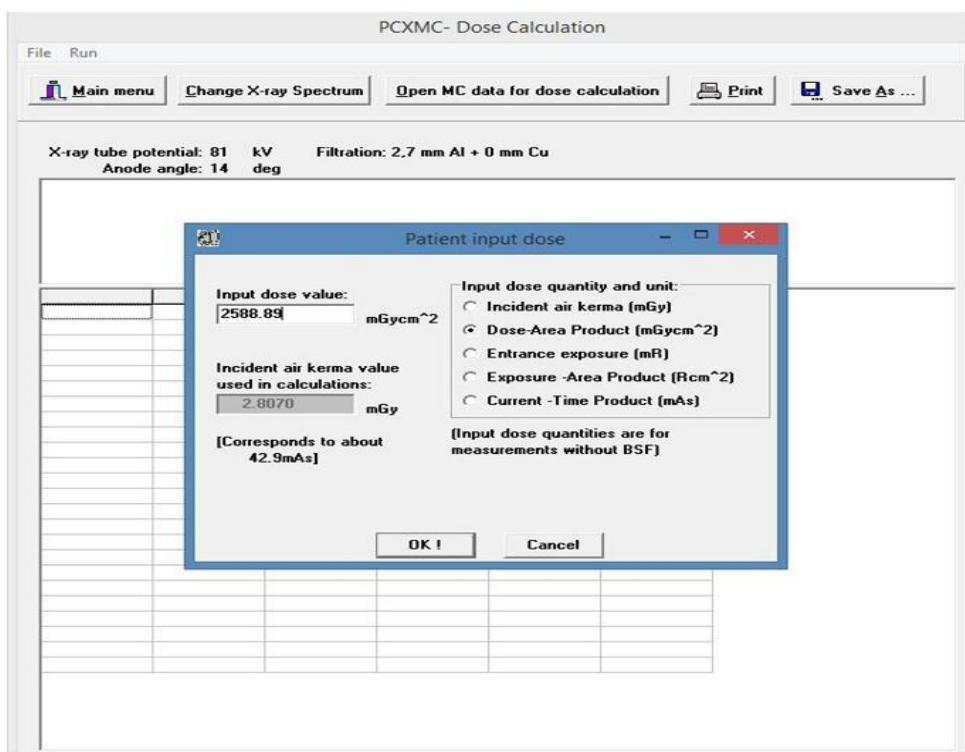
Nyní se opět dostaneme do hlavního menu a klikneme na „Compute doses“, zde už dochází k samotnému výpočtu. Zvolíme si napětí na rentgence, sklon anody a celkovou filtraci, dále se načtou data ze simulace a zadá se vstupní dávka pacienta – dopadající kerma, DAP nebo součin proudu a času.

Obrázek 5: PCXMC - výpočet



Zdroj: Vlastní

Obrázek 6: PCXMC - výpočet



Zdroj: Vlastní

Program dále dojde k výsledku dávky v jednotlivých orgánech, celkové efektivní dávce a dokonce nám zobrazí i procentuální možnost chyby ve výpočtu.

Obrázek 7: PCXMC - výsledek

X-ray tube potential: 81 kV Filtration: 2.7 mm Al + 0 mm Cu
Anode angle: 14 deg

File: C:\Program Files (x86)\PCXMC\MCRUNS\Adult\Adult-netrogram-tp.en2
Bricho AP - Netrogram, Adult Phantom: Adult , Arms included. Simulation: Photons/Energy level: 50000 Maximum energy: 90 keV
Projection angle (LATL=0,PA=90,LATR=180,AP=270): 270.000 Obl. angle: 0.000
Field width: 27.72 cm and height: 33.26 cm FSD: 95.030 cm Ref.point (x,y,z(cm)): (0.000, 0.000, 20.000)
Phantom height: 174.000 cm and mass: 71.100 kg Scaling factors sx(=sy): 0.999 and sz: 0.974
Incident air kerma:..... 2.807 mGy Tube voltage: 81 kV Filter:.....2.7 mm Al + 0 mm Cu

Organs	Dose (mGy)	Error (%)	Organs	Dose (mGy)	Error (%)
Active bone marrow	0,177265	0,7	(Scapulae)	0,009319	8,8
Adrenals	0,127743	10,2	(Clavicles)	0,001775	45,8
Brain	0,000053	90,1	(Ribs)	0,442597	1,4
Breasts	0,015606	7,3	(Upper arm bones)	0,003450	16,2
Colon (Large intestine)	1,133366	0,9	(Middle arm bones)	0,080124	3,8
(Upper large intestine)	1,329809	0,9	(Lower arm bones)	0,258076	2,4
(Lower large intestine)	0,873513	1,8	(Pelvis)	1,129127	1,0
Extrathoracic airways	0,000519	100,0	(Upper leg bones)	0,098992	2,6
Gall bladder	1,353979	2,4	(Middle leg bones)	0,002721	9,3
Heart	0,042739	4,2	(Lower leg bones)	0,000076	74,0
Kidneys	0,228063	2,5	Skin	0,293205	0,7
Liver	0,738654	0,8	Small intestine	1,098980	0,8
Lungs	0,030556	2,9	Spleen	0,331229	3,2
Lymph nodes	0,560376	0,8	Stomach	1,315967	1,1
Muscle	0,377465	0,1	Testicles	0,120495	7,9
Desophagus	0,056375	7,6	Thymus	0,005492	60,7
Oral mucosa	0,000000	NA	Thyroid	0,000057	100,0
Ovaries	0,888876	6,2	Urinary bladder	1,750721	1,6
Pancreas	0,569200	2,7	Uterus	1,059966	2,0
Prostate	0,945279	4,4			
Salivary glands	0,000046	75,8	Average dose in total body	0,359844	0,1
Skeleton	0,189165	0,6	Effective dose ICRP60 (mSv)	0,571797	1,1
(Skull)	0,000117	49,5	Effective dose ICRP103 (mSv)	0,520364	0,6
(Upper Spine)	0,000434	44,0			
(Middle Spine)	0,087416	3,6			
(Lower Spine)	0,571106	1,7	Abs. energy fraction (%)	71,534196	

Zdroj: Vlastní

Nás zajímá dávka na dělohu (uterus) z důvodu deterministických účinků na plod, které by mohli mít špatný dopad na vývoj plodu. Všechny typické dávky z různých vyšetření jsme počítali pro těhotnou pacientku, které je 30 let a je v prvním trimestru. Typická dávka z VUR(vylučovací urografie) nám činí 1,059968 mGy. Dávka je tak vysoká protože se jedná o skiaskopické vyšetření a tudíž zahrnuje více skiagrafičeských snímků na stejnou oblast. Typická dávka nám činí něco málo přes 1 mGy, což znamená, že jsme hluboce pod prahovou dávkou deterministických účinků, které by mohli jakýmkoliv způsobem poškodit plod.

Tabulka 3: Typická dávka - VUR

Bricho AP - VUR, Adult		
Projection:	270.0000	
Obl. Angle:	0.0000	
Age:	30	
Length:	174.0000	
Mass:	71.1000	
Arms in phantom:	1	
FSD:	95.0300	
X-ray beam width:	27.7200	
X-ray beam height	33.2600	
Xref:	0.0000	
Yref:	0.0000	
Zref:	20.0000	
E-levels (Max.en./10):	9	
NPhots:	50000	
XYscale:	0.9985	
Zscale:	0.9742	
X-ray tube voltage (kV):	81	
Filter:	2,7 mm Al + 0 mm Cu	
Incident air kerma:	2.8070	
Organ:	Dose (mGy) :	Error (%) :
Uterus	1.059968	2.0
Average dose in total body	0.359844	0.1
Effective dose ICRP60 (mSv)	0.571798	1.1
Effective dose ICRP103 (mSv)	0.520365	0.6
Abs. energy fraction (%)	71.534196	

Zdroj: Vlastní

Dále jsme v programu PCXMC počítali typickou dávku v děloze pro skiagrafická vyšetření hlavy (AP, LAT), hrudníku, břicha (AP), Th a LS páteře (AP, LAT). Pro RTG hlavy nám v obou projekcích vyšla dávka pro dělohu 0 mGy. U hrudníku nám typická dávka na dělohu vyšla o něco vyšší 0,000142 mGy. Pro břicho v projekci AP jsme stanovili dávku na dělohu 0.190995 mGy. Poté jsme si spočítali typickou dávku na dělohu pro RTG Th páteře, při AP projekci nám vyšla dávka 0.001272 mGy, v LAT projekci je dávka 0.000699 mGy. U RTG LS páteře, je typická dávka v děloze vyšší. Vyšlo nám v AP projekci 0.403353 mGy a při LAT projekci 0.103783 mGy.

Z těchto výpočtů nám plyne, že nejvyšší typická dávka v děloze je při vyšetření VUR, kde tato dávka dosahuje velikosti 1,059968 mGy a nejmenší dávku by těhotná žena v děloze obdržela při vyšetření hlavy, kdy se tato dávka rovná nule.

Obecně můžeme říci, že jsme zjistili, že ze skiaskopických vyšetření se typické dávky na dělohu ani zdaleka neblíží prahu pro vznik negativních deterministických účinků u plodu.

9.3.4 Program ImpACT

Program ImpACT je excelová tabulka, která slouží pro stanovení efektivní dávky, kterou pacient obdrží během CT vyšetření. V programu můžeme listovat mezi 12 listy, které po překladu zní: Úvod, Výpočet skenu, Pediatrický, Fantom, Skenery, Přirazování dat, Kolimace, Data Monte Carlo, Dávky, Výpočet dávky, Výběry a Verze. (24)

Nyní přejdeme k samotnému výpočtu. Po otevření programu ImpACT se nám načte list „ScanCalculations“, tento list vidíme na obrázku níže.

Obrázek 8: ImpACT - ScanCalculations

ImpACT CT Patient Dosimetry Calculator
 Version 1.0.4 27/05/2011

Scanner Model:

Manufacturer: Siemens ▼

Scanner: Siemens Definition AS ▼

kV: 100 ▼

Scan Region: Body ▼

Data Set: MCSET20

Current Data: MCSET20

Scan range

Start Position: -5 cm

End Position: 26 cm

Organ weighting scheme: ICRP 103 ▼

Acquisition Parameters:

Tube current	282	mA
Rotation time	0,5	s
Spiral pitch	1,18	
mAs / Rotation	141	mAs
Effective mAs	119,4915	mAs
Collimation	19.2 (64* x c ▼)	mm
Rel. CTDI	1,362725	1,36 at selected collimation
CTDI (air)	14,223	14,2 mGy/100mAs
CTDI (soft tissue)	15,2	mGy/100mAs
n CTDI _w	4,4425	4,4 mGy/100mAs

CTDI _w	6,3	mGy
CTDI _{vol}	5,3	mGy
DLP	165	mGy.cm

Organ	w _T	H _T (mGy)	w _T .H _T
Gonads	0,08	7,8	0,62
Bone Marrow	0,12	2,1	0,25
Colon	0,12	5,9	0,71
Lung	0,12	0,021	0,0026
Stomach	0,12	0,54	0,065
Bladder	0,04	8,6	0,34
Breast	0,12	0,013	0,0016
Liver	0,04	0,34	0,013
Oesophagus (Thymus)	0,04	0,0048	0,00019
Thyroid	0,04	0,002	0,000079
Skin	0,01	1,8	0,018
Bone Surface	0,01	2,9	0,029
Brain	0,01	5,6E-07	5,6E-09
Salivary Glands (Brain)	0,01	5,6E-07	5,6E-09
Remainder	0,12	1,6	0,2
Not Applicable	0	0	0
Total Effective Dose (mSv)			2,3

Remainder Organs	H _T (mGy)
Adrenals	0,11
Small Intestine	6
Kidney	0,64
Pancreas	0,27
Spleen	0,26
Thymus	0,0048
Uterus / Prostate (Bladder)	8
Muscle	2,5
Gall Bladder	1
Heart	0,03
ET region (Thyroid)	0,002
Lymph nodes (Muscle)	2,5
Oral mucosa (Brain)	5,6E-07
Other organs of interest	
Eye lenses	0
Testes	8,9
Ovaries	6,6
Uterus	7,4
Prostate	8,6

Scan Description / Comments

© Nicholas Keat for ImPACT, 2000-2011
 Imaging Performance Assessment of CT Scanners, an MHRA Evaluation centre
<http://www.impactscan.org>

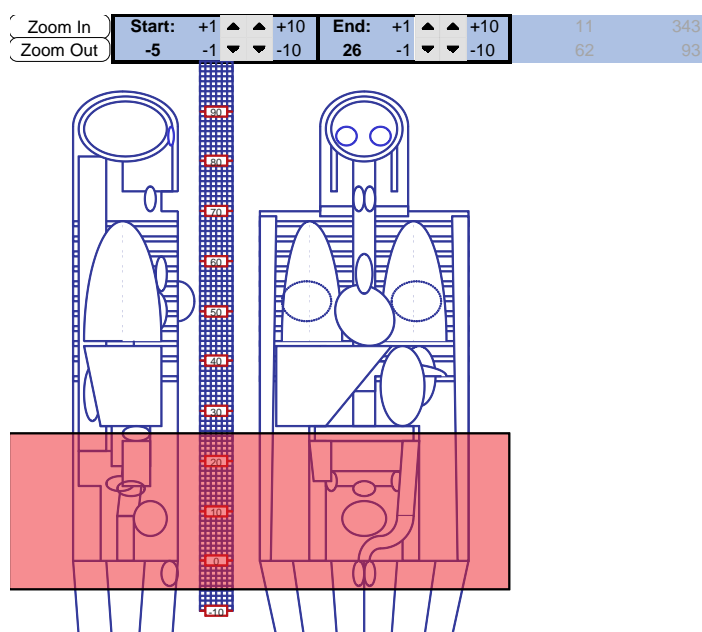
Zdroj: Vlastní

Zde v tabulce, která se nachází vlevo nahoře, vybereme výrobce, model skeneru, skenovací napětí [kV] a vyšetřovanou oblast – hlava nebo tělo. (Head nebo Body). Pod výběrem oblasti máme další dvě políčka: Data Set a Current Data. Data set nám zobrazuje název datového souboru, který bychom měli použít pro kombinaci zvoleného skeneru, napětí a části těla. Current data nám zobrazuje aktuálně zavedený soubor dat, pokud se liší od toho, co chceme, musíme kliknout na „Update Data Set“. (24)

Poté do tabulky, která se nachází vpravo nahoře, zadáváme skenovací data – mA, doba rotace, kolimace a pitch faktor. Po stisknutí buňky „Update Data Set“ jsou hodnoty CTDI převzaty z tabulky na listu „Scanners“. (24)

Dále musíme zadat odkud - kam vede skenovací série a to manuálně nebo pomocí fantomu na listu „Phantom“, kde nastavení vyšetřované oblasti provedeme pomocí šipek a po nastavení klikneme na buňku „Get From Phantom Diagram“ v listu „Scan Calculation“ a tato data se nám přenesou do buněk na tomto listu. Dále musíme ke konečné poloze přidat šířku skenu. (24)

Obrázek 9: ImpACT - nastavení vyšetřovací oblasti pomocí fantomu



Zdroj: Vlastní

Pokud máme v tabulce vyplněné vše, co jsme si výše popsali, tak si ještě zvolíme doporučení, podle kterého chceme vypočítat efektivní dávku. Zvolíme si tedy doporučení

ICRP 60 nebo ICRP 103. Poté se nám v dolních tabulkách objeví dávky pro jednotlivé orgány. Tyto dávky jsou stanoveny pro standardního pacienta. (24)

9.3.5 Typické dávky pro CT

V našem případě nás opět zajímá, jakou dávku by obdržela těhotná žena v prvním trimestru v děloze, čili jakou dávku by při daném vyšetření obdržel plod. Tuto dávku jsme stanovovali pro různá vyšetření. Zvolili jsme si CT hlavy, hrudníku, břicha a pánve a to vždy nejdříve pro doporučení ICRP 60 a poté dle doporučení ICRP 103.

Jako příklad si zde uvedeme vyšetření CT břicha a CT pánve a tato vyšetření poté zhodnotíme a porovnáme výsledné typické dávky pro tyto vyšetření. Tyto typické dávky budeme porovnávat z hlediska vzniku negativních deterministických účinků pro plod a závěrem zjistíme, zda se potvrdil náš předpoklad, že při vyšetření CT pánve bude tato typická dávka na dělohu vyšší než při vyšetření CT břicha a zda se nám potvrdí i druhý předpoklad, že se typické dávky v děloze budou lišit dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103.

Nejprve si tedy popíšeme stanovení typické dávky v děloze z CT břicha. Jak můžeme vidět na obrázku níže, zvolili jsme výrobce Siemens, model skenu Siemens Definition AS, skenovací napětí 100 kV a skenovaná oblast je tělo. Dále jsme zadali skenovací data a to 280 mA, doba rotace 0,5 s a pitch 0,65. Vyšetřovanou oblast jsme zadali za pomoci fantomu. Startovací pozice je -4 cm a konečná pozice je 46 cm.

Obrázek 10: ImPACT - CT břicha

ImPACT CT Patient Dosimetry Calculator			
Version 1.0.4 27/05/2011			
Scanner Model:			
Manufacturer:	Siemens	▼	
Scanner:	Siemens Definition AS	▼	
kV:	100	▼	
Scan Region:	Body	▼	
Data Set	MCSET20		
Current Data	MCSET20		
Scan range			
Start Position	-4	cm	
End Position	46	cm	
Organ weighting scheme ICRP 103 ▼			
Acquisition Parameters:			
Tube current	280	mA	
Rotation time	0,5	s	
Spiral pitch	0,65		
mAs / Rotation	140	mAs	
Effective mAs	215,3846	mAs	
Collimation	19.2 (64* x C	mm	▼
Rel. CTDI	1,362725	1,36	at selected collimation
CTDI (air)	14,223	14,2	mGy/100mAs
CTDI (soft tissue)	15,2		mGy/100mAs
n CTDI _w	4,4425	4,4	mGy/100mAs
CTDI _w	6,2	mGy	
CTDI _{vol}	9,6	mGy	
DLP	478	mGy.cm	
Organ	w_T	H_T (mGy)	w_T·H_T
Gonads	0,08	14	1,1
Bone Marrow	0,12	5,9	0,71
Colon	0,12	13	1,6
Lung	0,12	3,5	0,42
Stomach	0,12	14	1,7
Bladder	0,04	16	0,62
Breast	0,12	0,65	0,078
Liver	0,04	13	0,52
Oesophagus (Thymus)	0,04	0,51	0,02
Thyroid	0,04	0,052	0,0021
Skin	0,01	5,1	0,051
Bone Surface	0,01	8,9	0,089
Brain	0,01	0,0018	0,000018
Salivary Glands (Brain)	0,01	0,0018	0,000018
Remainder	0,12	8,7	1
Not Applicable	0	0	0
Total Effective Dose (mSv)			7,9
Remainder Organs			H_T (mGy)
Adrenals			12
Small Intestine			13
Kidney			16
Pancreas			12
Spleen			13
Thymus			0,51
Uterus / Prostate (Bladder)			15
Muscle			6,7
Gall Bladder			14
Heart			4,7
ET region (Thyroid)			0,052
Lymph nodes (Muscle)			6,7
Oral mucosa (Brain)			0,0018
Other organs of interest			H_T (mGy)
Eye lenses			0,00048
Testes			15
Ovaries			12
Uterus			14
Prostate			16

Zdroj: Vlastní

Program nám stanovil dávky v jednotlivých orgánech, ale nás zajímá pouze dávka v děloze a ta je 14 mGy, jak dle doporučení ICRP 60, tak i pro doporučení ICRP 103. Tato dávka v děloze čili na plod, je hluboce pod prahem deterministických účinků (0,1 Gy) a z toho plyne, že je nulová pravděpodobnost poškození plodu vlivem negativních deterministických účinků ionizujícího záření.

Nyní si popíšeme stanovení typické dávky v děloze při vyšetření CT pánve. Jak můžete vidět na obrázku níže, zvolili jsme stejného výrobce Siemens, model skenu Siemens Definition AS, skenovací napětí také 100 kV a skenovaná oblast je tělo. Dále jsme zadali skenovací data a to 260 mA, doba rotace 0,5 s a pitch 0,65. Vyšetřovanou oblast jsme zadali za pomoci fantomu. Startovací pozice je -5,5 cm a konečná pozice je 22 cm.

Obrázek 11: ImPACT - CT pánve

ImPACT CT Patient Dosimetry Calculator			
Version 1.0.4 27/05/2011			
Scanner Model:			
Manufacturer:	Siemens	▼	
Scanner:	Siemens Definition AS	▼	
kV:	100	▼	
Scan Region:	Body	▼	
Data Set	MCSET20		
Current Data	MCSET20		
Scan range			
Start Position	-5,5	cm	
End Position	22	cm	
Organ weighting scheme			
	ICRP 103	▼	
Acquisition Parameters:			
Tube current	260	mA	
Rotation time	0,5	s	
Spiral pitch	0,65		
mAs / Rotation	130	mAs	
Effective mAs	200	mAs	
Collimation	19.2 (64* x (▼) mm		
Rel. CTDI	1,362725	1,36	at selected collimation
CTDI (air)	14,223	14,2	mGy/100mAs
CTDI (soft tissue)	15,2		mGy/100mAs
nCTDI _w	4,4425	4,4	mGy/100mAs
CTDI _w	5,8	mGy	
CTDI _{vol}	8,9	mGy	
DLP	244	mGy.cm	
Organ	w_T	H_T (mGy)	w_T·H_T
Gonads	0,08	13	1
Bone Marrow	0,12	3,2	0,38
Colon	0,12	7,2	0,87
Lung	0,12	0,015	0,0018
Stomach	0,12	0,37	0,044
Bladder	0,04	14	0,57
Breast	0,12	0,013	0,0016
Liver	0,04	0,22	0,0089
Oesophagus (Thymus)	0,04	0,0026	0,0001
Thyroid	0,04	0,0024	0,000095
Skin	0,01	2,8	0,028
Bone Surface	0,01	4,4	0,044
Brain	0,01	4E-08	4E-10
Salivary Glands (Brain)	0,01	4E-08	4E-10
Remainder	0,12	2,2	0,27
Not Applicable	0	0	0
Total Effective Dose (mSv)			3,2
Remainder Organs			H_T (mGy)
Adrenals			0,078
Small Intestine			6,6
Kidney			0,41
Pancreas			0,19
Spleen			0,17
Thymus			0,0026
Uterus / Prostate (Bladder)			13
Muscle			3,8
Gall Bladder			0,74
Heart			0,022
ET region (Thyroid)			0,0024
Lymph nodes (Muscle)			3,8
Oral mucosa (Brain)			4E-08
Other organs of interest			H_T (mGy)
Eye lenses			0
Testes			15
Ovaries			10
Uterus			12
Prostate			14

Zdroj: Vlastní

Program nám stanovil dávky v jednotlivých orgánech, ale nás zajímá pouze dávka v děloze a ta je 12 mGy, jak dle doporučení ICRP 60, tak i pro doporučení ICRP 103. Tato dávka v děloze čili na plod, je hluboce pod prahem deterministických účinků (0,1 Gy) a z toho plyne, že je nulová pravděpodobnost poškození plodu vlivem negativních deterministických účinků ionizujícího záření.

Pokud tedy porovnáme tyto dvě CT vyšetření, dojdeme k tomu, že při CT břicha je dávka na dělohu vyšší o 2 mGy než při CT pánve, ale můžeme říct, že dávka u obou vyšetření je velice vzdálená prahu vzniku deterministických účinků jelikož jejich práh vzniku je 100 mGy a proto můžeme říct, že ani u CT břicha ani u CT pánve těhotné ženy, nehrozí u plodu riziko vzniku deterministických účinků. Dále můžeme říci, že se tyto typické dávky v jednotlivých vyšetřeních neliší dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103, jsou stejné.

CT vyšetření hlavy a CT vyšetření hrudníku nalezneme v příloze. Typická dávka v děloze při CT hlavy je 0 mGy a je stejná dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103. Typická dávka v děloze při CT hrudníku je 0,032 mGy dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103.

9.4 Stanovení a hodnocení dávek pacientů na NM

9.4.1 Diagnostická aplikace RF

Radiační zátěž zde stanovujeme pomocí veličin efektivní dávky pacienta a ekvivalentní dávky v jeho orgánech. Abychom radiační zátěž mohli stanovit, musíme znát diagnostický výkon, pohlaví, věk a hmotnost pacienta, dále druh aplikovaného RF a způsob jeho aplikace do těla a v neposlední řadě aktivitu aplikovaného RF. (22)

Ke stanovení radiační zátěže potřebujeme tabulky, platné pro referenčního dospělého člověka (70 kg) a referenční děti (1 rok - 9,8 kg, 5 let – 19 kg, 10 let – 32 kg) Tyto tabulky jsou uváděné v publikacích ICRP 53, ICRP 80 a ICRP 106. (22)

Když vynásobíme hodnoty normalizovaných ekvivalentních dávek v mSv.MBq-1 s aktivitou aplikovaného RF získáme hodnoty ekvivalentních dávek v orgánech těla při daném vyšetření. Abychom stanovenou dávku mohli hodnotit, potřebujeme DRÚ, avšak zde se to velice odlišuje od rentgenové diagnostiky. Když budeme v nukleární medicíně mluvit o DRÚ mluvíme vlastně o doporučené úrovni aplikované aktivity. Hodnota DRÚ pro určité vyšetření je právě tím množstvím aktivity, které máme aplikovat 70 kg pacientovi. Pokud pacient váží více nebo méně, tak se upravuje aplikovaná aktivita odpovídajícím způsobem. (22)

9.4.2 Léčebná aplikace RF

Zde vyjadřujeme radiační zátěž pacienta pomocí absorbované dávky. Je zde důležité znát základní údaje jako je pohlaví věk, hmotnost, výška, jaké RF aplikujeme a jakým způsobem, dále údaje o biokinetice RF v těle pacienta a v neposlední řadě objem (hmotnost) například tumoru nebo tkáně pro kterou je dávka stanovena. (22)

Pokud aplikujeme RF v rámci léčby, tak je důležité znát pacient-specifickou biokinetiku RF, protože zde nelze použít standardní modely jako při diagnostické aplikaci (neboť ty jsou vytvářeny z údajů od zdravých osob). Pokud chceme vypočítat absorbovanou dávku tak postupujeme dle metodiky MIRD, která využívá tabelované nebo pacient-specifické S-faktory. Dávka se zde hodnotí tak, že hodnotíme odezvu onemocnění ke vztahu k absorbované dávce. (22)

9.4.3 Typické dávky na NM

Typické dávky ionizujícího záření z radiofarmaka pro pacienty nukleární medicíny, jsme počítali přes program „Kalkulace dávek ionizujícího záření z RF pro pacienty NM (dle ICRP 103)“ v Excelu. Zdrojem dat byly příbalové letáky získané od výrobců radiofarmak. Výpočet dávky je dle doporučení ICRP 103. V programu můžeme listovat mezi 4 listy a to: Výpočet, Tabulka 99mTc, Tabulka RFost a Návod k použití. Po otevření programu, provedeme výběr konkrétního druhu radiofarmaka, které bylo aplikováno pacientovi. Konkrétní radiofarmakum vybereme v menu, které vyvoláme stiskem CTRL + R. Kliknutím na námi vybrané RF se vloží označení RF a jeho dozimetrické parametry do prvního listu „Výpočet“. Do tabulky na listu „Výpočet“ si zadáme pacienta, pohlaví, jeho rodné číslo bez lomítka, hmotnost, skutečně aplikovanou aktivitu a případné těhotenství – ano nebo ne. Věk si program stanovuje automaticky ze zadaného rodného čísla.

V našem případě jsme počítali typickou dávku v děloze z různých RF. Vše jsme počítali pro těhotnou pacientku. Na příkladu si ukážeme přesný postup.

Nejprve jsme na klávesnici zmáčkli CTRL + R a objevilo se nám menu, které vidíte na obrázku níže.

Obrázek 12: Typické dávky na NM - menu



Zdroj: Vlastní

Poté jsme si rozklikli RF na bázi ^{99m}Tc a zvolili jsme si ze 112 možných RF s číslem 15 čili [^{99m}Tc] DTPA.

Obrázek 13: Typické dávky na NM - výběr radiofarmaka

Kadiotarmaka na bázi ^{99m}Tc

R.č.	Nuklid	Název radiofarmaka	Způsob užití - pozn.	Účinná látka	Výrobce - zdroj
1	^{99m}Tc	Amerscan Hepatate II	normální játra - adult	Stannosi fluoridum USP	GE Amersham
2	^{99m}Tc	Amerscan Hepatate II	normální játra - 15 years	Stannosi fluoridum USP	GE Amersham
3	^{99m}Tc	Amerscan Hepatate II	normální játra - 10 years	Stannosi fluoridum USP	GE Amersham
4	^{99m}Tc	Amerscan Hepatate II	normální játra - 5 years	Stannosi fluoridum USP	GE Amersham
5	^{99m}Tc	Amerscan Hepatate II	normální játra - 1 years	Stannosi fluoridum USP	GE Amersham
6	^{99m}Tc	Amerscan Hepatate II	střední difusní onem. - adu	Stannosi fluoridum USP	GE Amersham
7	^{99m}Tc	Amerscan Hepatate II	pokročilé difusní onem - ad	Stannosi fluoridum USP	GE Amersham
8	^{99m}Tc	DMSA	ledviny	Dimerkaptosuccimerová kys.	ICRP 80
9	^{99m}Tc	DMSA kit	ledviny	Dimerkaptosuccimerová kys.	ÚJV Řež
10	^{99m}Tc	TechneScan DMSA	ledviny	Succimerum	Mallinckrodt
11	^{99m}Tc	[^{99m}Tc] DMSA	Průměr ^{99m}Tc DMSA		
12	^{99m}Tc	DTPA	ledviny, plíce, mozek	DietylenTriaminoPentAoctová ky:	ICRP 80
13	^{99m}Tc	DTPA kit inj.	ledviny, plíce, mozek	Calcii trinitrii pentetas	ÚJV Řež
14	^{99m}Tc	TechneScan DTPA	normální fce ledvin	Calcii trinitrii pentetas	Mallinckrodt
15	^{99m}Tc	[^{99m}Tc] DTPA	Průměr ^{99m}Tc DTPA		
16	^{99m}Tc	DTPA aerosol	plíce ventilace		ICRP 80
17	^{99m}Tc	TechneScan DTPA/aerosol	plíce ventilace	Calcii trinitrii pentetas	Mallinckrodt
18	^{99m}Tc	[^{99m}Tc] DTPA aerosol	Průměr ^{99m}Tc DTPA aei		
19	^{99m}Tc	ECD		Ethyl Cystenate Dimer	ICRP 80
20	^{99m}Tc	Neurolite	mozek perfuze	Bicisatum dihydrochloricum	Bristol-Myers
21	^{99m}Tc	[^{99m}Tc] ECD	Průměr ECD		
22	^{99m}Tc	Oxidronat		Oxidronát sodný	ICRP 80
23	^{99m}Tc	TechneScan HDP	kosti osteogeneze	Natrii oxidronas	Mallinckrodt
24	^{99m}Tc	[^{99m}Tc] HDP	Průměr ^{99m}Tc HDP		
25	^{99m}Tc	HIG		Imunoglobulin lidský	ICRP 80
26	^{99m}Tc	TechneScan HIG	Artritida	Imunoglobulinum humanum	Mallinckrodt
27	^{99m}Tc	[^{99m}Tc] HIG	Průměr ^{99m}Tc HIG		
28	^{99m}Tc	Diethyl-HIDA			ICRP 80
29	^{99m}Tc	Trimethyl-HIDA	žlučové cesty	Trimetyl-HIDA	ÚJV Řež
30	^{99m}Tc	HIBIDA kit	žlučové cesty	Bromtrimetyl-HIDA	ÚJV Řež
31	^{99m}Tc	[^{99m}Tc] HIDA	Průměr ^{99m}Tc HIDA		
32	^{99m}Tc	HMPAO	WBC - leukocyty	Exametazinum	ICRP 80
33	^{99m}Tc	Leuco-Scint kit	WBC - infekce, záněty	Exametazinum	Medi-Radiopharma
34	^{99m}Tc	Ceretec	WBC - infekce, záněty	Exametazinum	GE Amersham
35	^{99m}Tc	[^{99m}Tc] HMPAO	Průměr WBC		
36	^{99m}Tc	HMPAO	mozek perfuze	Exametazinum	ICRP 80
37	^{99m}Tc	Ceretec	mozek perfuze	HMPAO - exemetazinum	GE Amersham
38	^{99m}Tc	Brain-SPECT Kit	mozek perfuze	HMPAO - exemetazinum	Medi-Radioph.
39	^{99m}Tc	NeuroScan	mozek perfuze	HMPAO - exemetazinum	Rotop
40	^{99m}Tc	HM-PAO kit	mozek perfuze	HMPAO - exemetazinum	ÚJV Řež

Zdroj: Vlastní

Po vložení potřebných údajů o pacientovi a skutečně aplikované dávky 400 MBq nám program stanovil výrobcem udávané absorbované dávky v orgánech a tkáních a po pravé straně nám stanovil výrobcem doporučenou aplikovanou aktivitu. Vše můžeme vidět na dalším obrázku.

Obrázek 14: Typické dávky na NM - základní údaje

Kalkulace dávek ionizujícího záření z RF pro pacienty NM (dle ICRP 103)						
Jméno:	Pacient			Červeně vyplňte!	Hmotnost M_p :	70 kg
Rodné číslo:	9556162099			Skutečně aplikovaná aktivita A_{ap} :	400,0 MBq	
Pohlaví (f/m):	f	Těhotenství:	ano	Věk:	21,8	let
Radionuklid:	Název radiofarmaka:	Poznámka:	Výrobce:	Věkový koeficient K_s :	1,00	-
99mTc	[99mTc] DTPA	Průměr 99mTc DTPA		Váhový koeficient K_m :	1,00	-
Dávkování:	$A_{min} = 0,764$	$A_{max} = 9,571$	MBq/kg, tj. dle hmotnosti pacienta:	$A_p = 53,5$	až 670,0	MBq

Zdroj: Vlastní

Obrázek 15: Typické dávky na NM - tabulka

1a. Výrobce udávané absorbované dávky v orgánech a tkáních							1b. Výrobce doporučená aplikovaná aktivita					
Orgány:	w_r (ICRP 103)	H_T (mGy/MBq)	$A_0 \cdot H_T$ (mGy)	$w_r \cdot A_0 \cdot H_T$ (mSv)	$K_m \cdot w_r \cdot A_0 \cdot H_T$ (mSv)	$K_s \cdot w_r \cdot A_0 \cdot H_T$ (mSv)	Věk (roky)	Hmotnost M_p (kg)	Koeficient EANM (-)	Průměr dle EANM (MBq)	Max. dle M_p $A_{70} \cdot (M_p)^{0,7} / 70^{0,7}$ (MBq)	Normaliz. ef.dáv.kj (mSv/MBq)
Základní orgány a tkáně							0	3	0,10	36,2	73,9	3,00E-02
Gonády (Testes)		2,90E-03					4	0,14	50,6	90,4		
Gonády (Ovaria)	0,080	3,90E-03	1,560	0,125	0,125		6	0,19	68,7	120,0		
Kostní dřevě červená	0,120	2,50E-03	1,000	0,120	0,120		8	0,23	83,2	146,8		
Tlusté střevo (dolní)	0,120	4,20E-03	1,680	0,202	0,202		10	0,27	97,7	171,6	2,300E-02	
Plicce	0,120	1,00E-03	0,400	0,048	0,048		12	0,32	115,8	195,0		
Žaludek	0,120	1,30E-03	0,520	0,062	0,062		14	0,38	130,2	217,2		
Močový měchýř	0,040	5,75E-02	23,000	0,920	0,920		16	0,40	144,7	238,4		
Prsní žlázy	0,120	9,40E-04	0,376	0,045	0,045		18	0,44	159,2	258,9		
Játra	0,040	1,30E-03	0,520	0,021	0,021		20	0,46	166,4	278,8	1,300E-02	
Jícen (brzlík)	0,040			-	-		22	0,50	180,9	288,0		
Štítná žláza	0,040	7,90E-04	0,316	0,013	0,013		24	0,53	191,7	316,7		
Kůže	0,010			-	-		26	0,56	202,6	335,0		
Kostní povrch	0,010	1,70E-03	0,680	0,007	0,007		28	0,58	209,8	352,8		
Základní orgány celkem:			30,052	1,562	1,562		30	0,62	224,3	370,2		
Zbývající orgány a tkáně							10	32	0,65	235,1	387,4	9,600E-03
Nadledvinky	0,0086	1,40E-03	0,560	0,005	0,005		34	0,68	246,0	404,1		
Ledviny	0,0086	6,20E-03	2,480	0,021	0,021		36	0,71	256,8	420,6		
Slinivka	0,0086	1,50E-03	0,600	0,005	0,005		38	0,73	264,1	436,9		
Slezina	0,0086	1,40E-03	0,560	0,005	0,005		40	0,76	274,9	452,8		
Žlučník	0,0086			-	-		42	0,78	282,2	468,6		
Tenké střevo	0,0086	2,60E-03	1,040	0,009	0,009		44	0,80	289,4	484,1		
Tračník horní	0,1200	2,20E-03	0,880	0,106	0,106		46	0,82	296,6	499,4		
Děloha	0,0086	7,90E-03	3,160	0,027	0,027		48	0,85	307,5	514,5		
Mozek	0,0100			-	-		50	0,88	318,3	529,4		
Srdce	0,0086			-	-		53	0,90	325,6	551,4		
Svaly	0,0086			-	-		57	0,92	332,8	580,3	7,000E-03	
Ostatní	0,0529	1,70E-03	0,680	0,036	0,036		61	1,00	361,8	608,5		
Zbývající orgány celkem:			9,960	0,214	0,214		65	1,00	361,8	636,1		
Orgán s max. zatížením: Močový měchýř				23,00 mGy			68	1,00	361,8	656,5		
E_{ORG} - efektivní dávka = suma vážených příspěvků z absorbovaných dávek v jednotlivých orgánech				1,78	1,78		20	70	1,00	361,8	670,0	5,367E-03
Diference $E_{RF} - E_{ORG}$ (podíl nespecifikovaných orgánů, příp. neshoda metod / dat)				0,37	0,37		80	1,00	361,8	735,6		
							90	1,19	430,5	798,9		
							100	1,28	463,0	860,0		

Zdroj: Vlastní

Pokud se podíváme níže, narazíme na odhad efektivní dávky z radiofarmaka na základě normalizovaných efektivních dávek. Pod touto tabulkou vpravo vidíme ještě stanovení rizika stochastických účinků, kterými se ovšem nebudeme dále zabývat.

Obrázek 16: Typické dávky na NM - Odhad efektivní dávky z RF

2. Odhad efektivní dávky E_{RF} z radiofarmaka na základě normalizovaných efektivních dávek (k)			
Odhad efektivní dávky z aplikované aktivity pro referenčního dospělého muže 70 kg:	$E_{RF} =$	2,15	mSv
Odhad efektivní dávky z aplikované aktivity pro referenční dospělou ženu 57 kg:	$E_{RF} =$	2,64	mSv
Odhad efektivní dávky s korekcí na hmotnost - obsahuje též korekci na pohlaví:	nad 40 kg	$E_{RF} =$	2,15 mSv
Odhad efektivní dávky s korekcí na věk - při stáří pacienta:	pod 20 let	$E_{RF} =$	- mSv
Odhad efektivní dávky daného pacienta z aplikované aktivity:		$E_{RF} =$	2,15 mSv
Odhad rizika stochastických účinků z efektivní dávky - druh rizika R1 ; R2 ; R :		0,0250%	0,0009% 0,0259%

Zdroj: Vlastní

Nás bude zajímat až tabulka níže, kde je odhad efektivní dávky radiofarmaka v embryu – plodu. Tento odhad se liší podle stáří plodu: 0-2 měsíc, 3-5 měsíc, 6-7 měsíc, 8-9měsíc. Pokud údaje o koeficientech pro výpočet dávky v embryu/plodu nejsou výrobcem udána, pak se musíme spokojit s dávkou v děloze (relevantní hodnota platná většinou pouze v 1. trimestru.

Dávka v děloze činí 3,160 mGy a odhadovaná efektivní dávka RF v plodu je 0-2 měsíc 4,80 mGy, 3-5 měsíc 3,48 mGy, 6-7 měsíc 1,88 mGy, 8-9 měsíc 1,64 mGy. Na základě tohoto odhadu můžeme říci, že se v tomto případě velikost odhadu efektivní dávky z RF v plodu se stářím plodu snižuje a také že dávka je opět hluboce pod prahem deterministických účinků, a proto nehrozí žádné negativní účinky na plod z hlediska deterministických účinků.

Obrázek 17: Typické dávky na NM - Odhad efektivní dávky radiofarmaka v zárodku/plodu

3. Odhad efektivní dávky E_{RF} radiofarmaka v zárodku - plodu				
Stáří plodu (měsíce)	w_T	H_T 0,021	$A_s * H_T$ (mGy)	$E_{RF} = w_T * A_s * H_T$ (mSv)
0 - 2	8,000	1,20E-02	4,80	38,40
3 - 5	4,000	8,70E-03	3,48	13,92
6 - 7	3,000	4,70E-03	1,88	5,64
8 - 9	3,000	4,10E-03	1,64	4,92

Zdroj: Vlastní

Dále jsme počítali typickou dávku v děloze na NM, pokud bychom si zvolili RF na bázi ^{99m}Tc konkrétně [^{99m}Tc] MAA. Zvolili jsme skutečně aplikovanou aktivitu 140 MBq pro 21letou těhotnou, 70 kg pacientku. Dávka v děloze činí 0,322 mGy a odhadované efektivní dávky z RF pro plod, jsou dle stáří plodu: 0-2 měsíc 0,39 mGy, 3-5 měsíc 0,56 mGy, 6-7 měsíc 0,7 mGy, 8-9 měsíc 0,56 mGy. Tyto typické dávky pro plod v různých měsících, jsou také pod prahem deterministických účinků, a proto nehrozí riziko jejich vzniku.

Dále jsme počítali typickou dávku v děloze, pokud bychom použili RF ^{18}F [FDG] a aplikovali bychom aktivitu 175 MBq (opět pro stejného pacienta). Dávka v děloze v tomto případě činí 3,78 mGy, což je více než u předchozích dvou RF. Odhadované efektivní dávky z tohoto RF pro plod jsou: 0-2 měsíc 3,85 mGy, 3-5 měsíc 3,85 mGy, 6-7 měsíc 2,98 mGy, 8-9 měsíc také 2,98 mGy. Tyto odhadované dávky jsou i přes to, že jsou větší než u předchozích dvou RF, také hluboce pod prahem deterministických účinků a tím pádem zde nehrozí riziko jejich vzniku.

Jako poslední jsme počítali typickou dávku v děloze s RF na bázi ^{99m}Tc konkrétně [^{99m}Tc] HMPAO. Zadali jsme skutečně aplikovanou aktivitu 800 MBq pro 21letou těhotnou, 70 kg pacientku a vyšlo nám, že dávka v děloze činí 5,28 mGy. Odhadované efektivní dávky z RF pro plod jsou: 0-2 měsíc 6,96 mGy, 3-5 měsíc 5,36 mGy, 6-7 měsíc 3,84 mGy, 8-9 měsíc 2,88 mGy. Odhadovaná efektivní dávka z RF pro plod, se nám s nabývajícím měsíci snižuje, ale ani v prvních dvou měsících kdy je dávka 6,96 mGy čili o ještě něco větší než u předchozích RF, tak ani přesto zde nehrozí riziko vzniku deterministických účinků pro plod, neboť práh jejich vzniku je 100 mGy.

Všechny tyto výpočty naleznete v příloze.

9.4.4 Porovnání typických dávek na RTG, CT a NM

V této kapitole si porovnáme typické dávky v děloze pro jednotlivé radiologické zobrazovací metody. Tyto typické dávky v děloze budeme porovnávat z hlediska jejich velikosti a z hlediska možného vzniku negativních deterministických účinků. Zhodnotíme, která radiologická zobrazovací metoda je v průběhu těhotenství pro embryo/plod nejvíce nebezpečná a která nejméně.

Zjistili jsme, že při vyšetření na RTG jsou typické dávky na dělohu velice nízké. Nejnižší typickou dávkou v děloze jsme stanovili při vyšetření hlavy, kdy je tato dávka rovná nule. Nejvyšší dávky v děloze dosáhneme při vyšetření RTG břicha AP – VUR, naštěstí je dávka jen o něco vyšší než 1 mGy.

Při vyšetření těhotné ženy na CT jsou již typické dávky na dělohu vyšší. Nejnižší typická dávka v děloze by byla při vyšetření hlavy, kdy je tato dávka rovna nule, stejně jako při RTG hlavy. Při CT vyšetření jiných částí těla, nám vyšli typické dávky na dělohu v rozmezí 0,032 – 14 mGy. Nejvyšší typická dávka v děloze nám vyšla při vyšetření CT břicha.

Při vyšetření těhotné ženy na NM jsou typické dávky pro plod, nejvyšší převážně v prvních dvou měsících těhotenství a s narůstajícími měsíci těhotenství dochází ke snižování této dávky. Nejvyšší typická dávka pro plod nám vyšla při vyšetření s RF [99mTc] HMPAO mezi 0-2 měsícem, kdy tato dávka vyšla 6,96 mGy. Nejnižší dávka vyšla u RF [99mTc] MAA, kdy tato typická dávka pro plod v rozmezí 0-2 měsíce byla 0,322 mGy.

Nejbezpečnější radiologická zobrazovací metoda pro plod je RTG, kde se typické dávky v děloze pohybují nanejvýš něco málo přes 1 mGy, kdežto nejvyšší dávky vyšli při vyšetření na CT. Na NM nám vyšli typické dávky v děloze o něco nižší než při vyšetření CT, ale i přes to je NM je pro plod daleko více nebezpečná, neboť než se RF vyloučí z těla, akumuluje se v močovém měchýři matky a to by způsobovalo nepřetržité ozařování plodu až do vyloučení RF, což by mohlo mít negativní vliv na plod.

Dle výše typických dávek v děloze v jednotlivých radiologických zobrazovacích metodách, můžeme říci, že ani u jedné nehrozí riziko vzniku negativních deterministických účinků, protože jsou všechny pod prahem jejich vzniku (0,1 Gy). Přesto musíme být při

využívání radiologických zobrazovacích metod velice opatrní a rozvážní, riziko musí být vždy menší než přínos. Pokud však budeme nuceni radiologické zobrazovací metody využít, je velice malá pravděpodobnost, že by došlo ke vzniku deterministických účinků.

DISKUZE

Dosud neexistuje názorný souhrn, který by celistvě zmapoval rizika a možnosti využívání radiologických zobrazovacích metod v průběhu těhotenství, práce jsou cíleny spíše na možnosti a rizika využívání radiologických zobrazovacích metod obecně a jak se postupuje v případě těhotenství, je zmíněno jen velmi okrajově, a proto se nebudeme v diskuzi zabývat porovnáváním naší bakalářské práce s ostatními odbornými pracemi, články či internetovými zdroji.

V bakalářské práci jsme si stanovili hned několik cílů a předpokladů. Stanovení typických dávek v děloze u těhotné ženy nám umožnilo potvrzení nebo vyvrácení stanovených předpokladů. Předpoklady vycházely z informací získaných z odborných publikací a internetových zdrojů.

Prvním cílem bylo: Stanovení typických dávek na embryo/plod při RTG, CT a NM vyšetřeních a následné porovnání těchto radiologických zobrazovacích metod z hlediska výše typických dávek v děloze a porovnání rizika vzniku negativních deterministických účinků. Náš předpoklad byl: Předpokládáme, že nejvyšší typickou dávkou embryo/plod obdrží při vyšetření na NM a nejnižší typickou dávkou při vyšetření RTG a vznik negativních deterministických účinků pro plod hrozí při vyšetření těhotné ženy na RTG, CT i NM. Náš předpoklad se potvrdil jen z části. Správně jsme předpokládali, že nejnižší typická dávka pro embryo/plod bude při vyšetření těhotné ženy na RTG. Typické dávky ze skiagrafičeských a skiaskopických vyšetření rentgenovým zářením dosahovaly velikostí od nuly do něco málo přes 1 mGy a proto zde nehrozí riziko vzniku negativních deterministických účinků, neboť jsme hluboce pod prahem jejich vzniku (100 mGy). Špatně jsme předpokládali, že nejvyšší typické dávky v děloze dosáhneme při vyšetření těhotné ženy na NM. Nejvyšší typická dávka v děloze je při vyšetření na CT, ale i přesto je podle nás vyšetření na NM nejvíce nebezpečné ze všech těchto vyšetřovacích modalit. Nukleární medicína využívá radiofarmaka a ty v těle pacienta zůstávají určitou dobu i po vyšetření. Dochází k akumulaci RF v močovém měchýři. Močový měchýř se nachází v bezprostřední blízkosti dělohy a mohlo by dojít k neustálému ozařování embrya/plodu dokud by se RF nevyloučilo z těla. Nukleární medicína je podle nás z toho důvodu nejvíce nebezpečnou radiologickou zobrazovací metodou v průběhu těhotenství a RTG nejvíce bezpečnou radiologickou zobrazovací metodou v průběhu těhotenství. V druhé části našeho předpokladu, jsme došli k tomu, že ani u jedné z radiologických zobrazovacích

metod nehrozí riziko vzniku negativních deterministických účinků, neboť nejvyšší typická dávka v děloze činila 14 mGy. Typická dávka v děloze je u RTG, CT i NM vyšetření hluboce pod prahem vzniku negativních deterministických účinků (100 mGy). Druhá část našeho předpokladu se tedy nepotvrdila, ale i přesto musíme s využíváním radiologických zobrazovacích metod v průběhu těhotenství zacházet opatrně, neboť je zde riziko vzniku stochastických účinků, které jsou bezprahové a vyvíjející se plod je na tyto účinky násobně citlivější než dospělý jedinec.

Druhým cílem bylo: Zjistit zda embryo/plod obdrží efektivní dávku při jakémkoli vyšetření těhotné ženy na CT. Náš předpoklad byl: Předpokládáme, že embryo/plod obdrží dávku při jakémkoli vyšetření těhotné ženy na CT. Náš předpoklad se nepotvrdil, neboť vyšetření na CT v průběhu těhotenství, nemusí vždy znamenat určitou dávku pro embryo/plod. Při vyšetření CT hlavy nám vyšla typická dávka v děloze (pro embryo/plod) 0 mGy. Je to z toho důvodu, že děloha těhotné ženy nebyla v přímém svazku ionizujícího záření a ani v jeho blízkosti.

Třetím cílem bylo: Porovnat typické dávky v děloze (pro embryo/plod) při CT vyšetření břicha a pánve. Náš předpoklad byl: Předpokládáme, že při vyšetření CT pánve plod obdrží vyšší dávku než při CT vyšetření břicha. Náš předpoklad se zde nepotvrdil, neboť typická dávka při vyšetření CT pánve byla 12 mGy a při vyšetření CT břicha 14 mGy. Znamená to, že je typická dávka pro embryo/plod o 2 mGy vyšší při vyšetření CT břicha než u CT pánve. Náš předpoklad byl zvolen na základě toho, že při vyšetření CT pánve je celá děloha v přímém svazku ionizujícího záření a u vyšetření CT břicha je děloha zasažena přímým svazkem zářením jen okrajově. Nevzali jsme v úvahu to, že při vyšetření CT břicha musíme použít větší proud (280 mA) než u CT pánve (260 mA). Výše zvoleného proudu ovlivňuje výslednou typickou dávku a proto i přesto, že při vyšetření CT pánve je děloha v přímém svazku záření celá a u CT břicha jen okraj dělohy, vychází nám typická dávka v děloze vyšší při vyšetření CT břicha.

Čtvrtým cílem bylo: Zjistit, zda se typické dávky v děloze při vyšetření těhotné ženy na CT, budou lišit dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103. Náš předpoklad byl: Předpokládáme, že typické dávky v děloze při vyšetření těhotné ženy na CT se dle doporučení ICRP 60 a ICRP 103 neliší. S příchodem nové legislativy se mezi odbornou veřejností objevil mylný názor, že tkáňové váhové faktory ovlivní i ekvivalentní dávky, tedy např. dávku v děloze. Tento názor bychom chtěli vyvrátit důkazem, a proto jsme si

tento předpoklad stanovili. Tento předpoklad jsme tedy stanovili, i když se hodnoty tkáňové váhových faktorů w_T pro ostatní tkáně liší (tedy i pro dělohu). Tkáňové váhové faktory se týkají pouze stochastických účinků a na efektivní dávku nemá vliv. Ekvivalentní dávka je absorbovaná dávka korigovaná radiačním váhovým koeficientem. Jelikož se tkáňové faktory týkají pouze citlivosti na účinky stochastické, předpokládali jsme podle doporučení ICRP 60 a ICRP 103 stejný výsledek typických dávek v děloze u jednotlivých vyšetření na CT. Náš předpoklad se potvrdil, neboť nám při stanovování dávek pro jednotlivá vyšetření na CT, vyšly typické dávky v děloze vždy stejné pro doporučení ICRP 60 i ICRP 103.

Je třeba dodat, že výsledné, námi vypočítané dávky nemusí být zcela přesné. Je to především z důvodu výpočtu pouze typických dávek v děloze u referenčního pacienta s použitím standardních hodnot pro dané vyšetření (velikost ozařovaného pole, proud, napětí a jiné). Přesto jsme se pokusili podmínky nasimulovat s maximální přesností a výsledné dávky tedy můžeme považovat za reálné.

ZÁVĚR

V naší bakalářské práci na téma „*Rizika a možnosti využití radiologických zobrazovacích metod v průběhu těhotenství*“ jsme se v teoretické části okrajově zabývali tím, co je těhotenství, vývojem plodu, rizikovým a patologickým těhotenstvím. Ozáření plodu může vyvolat stochastické i deterministické účinky a proto jsme se v další kapitole zaměřili na ionizující záření a jeho účinky a na to jsme navázali radiační ochranou u těhotných žen. Dále jsme se zabývali radiologickými zobrazovacími metodami (USG, RTG, CT, MR, NM) a popsali jsme si, v jakých případech je můžeme nebo musíme využít a jaké jsou rizika pro embryo/plod. Dále jsme si popsali, jak postupovat v případě, kdy otěhotní radiologická asistentka.

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, jaké jsou možnosti a rizika využívání radiologických zobrazovacích metod a proto jsme se v praktické části bakalářské práce zabývali převážně stanovením typických dávek v děloze při využívání jednotlivých radiologických zobrazovacích metod. K stanovení typické dávky v děloze jsme využívali programy PCXMC pro skiagrafická a skiaskopická vyšetření, ImPACT pro CT vyšetření a pro nukleární medicínu jsme využívali program Kalkulace dávek ionizujícího záření z RF pro pacienty NM (dle ICRP 103). Popsali jsme si postup stanovování těchto dávek a poté jsme porovnávali výši typických dávek v děloze při RTG, CT a NM vyšetřeních z hlediska jejich velikosti a zjišťovali jsme, u jaké radiologické zobrazovací metody hrozí vznik deterministických účinků u embrya/plodu. Zjistili jsme, že nejbezpečnější radiologickou zobrazovací metodou, kterou můžeme využít v průběhu těhotenství je RTG a největší riziko pro embryo/plod hrozí při vyšetření těhotné ženy na nukleární medicíně, neboť se RF v těle těhotné ženy akumuluje v močovém měchýři, který je v bezprostřední blízkosti dělohy a docházelo by tak k neustálému ozařování plodu dokud by nedošlo k úplnému vyloučení RF z těla těhotné ženy. Dle výše typických dávek v děloze v jednotlivých radiologických zobrazovacích metodách, můžeme říci, že ani u jedné nehrozí riziko vzniku negativních deterministických účinků, neboť jsou všechny pod prahem jejich vzniku (0,1 Gy). Přesto musíme být při využívání radiologických zobrazovacích metod velice opatrní a rozvážní, riziko musí být vždy menší než přínos. Pokud však budeme nuceni radiologické zobrazovací metody využít, je velice malá pravděpodobnost, že by došlo ke vzniku deterministických účinků, ale stále je zde riziko vzniku stochastických účinků, které jsou bezprahové a vyvíjející se plod je na tyto účinky násobně citlivější než dospělý jedinec.

LITERATURA A PRAMENY

1. **Dufková, Jana.** Dugy. *Těhotenství*. [Online] Grand Protag, s.r.o., 2017. [Citace: 5. 3 2017.] <http://www.dugy.cz/tehotenstvi>.
2. **Gymnázium Horákové, Milady.** *Vznik a vývoj lidského jedince*. [Dokument] Praha : Gymnázium Milady Horákové, 25. 4 2013.
3. **Hourová, Martina.** Maminka. *Přehled měsíc po měsíci*. [Online] Copyright CN Invest a.s. a dodavatelé obsahu, 8. 1 2009. [Citace: 5. 3 2017.] <http://www.maminka.cz/clanek/prehled-mesic-po-mesici.1213-8991>.
4. **Gregorová, Radka.** Rizikové těhotenství: Co přesně to znamená? *Babyweb*. [Online] Copyright 2008-2014 Media Park s.r.o., 7. 10 2015. [Citace: 5. 3 2017.] <http://www.babyweb.cz/rizikove-tehotenstvi-co-presne-znamenaa>.
5. **HÁJEK, Zdeněk.** *Rizikové a patologické těhotenství*. Praha : Grada, 2004. 80-247-0418-8.
6. **PROCHÁZKA, Martin, Radovan PILKA, Štěpánka BUBENÍKOVÁ, et al.** *Porodnictví pro studenty všeobecného lékařství a porodní asistence*. Olomouc : Olomouc: AED, 2016. 978-80-906280-0-7.
7. **Svobodová, Zdeňka.** zdravi.euro. *Diabetes mellitus a těhotenství*. [Online] Copyright 2017 Mladá fronta a. s., 13. 6 2011. [Citace: 5. 3 2017.] <http://zdravi.euro.cz/clanek/sestra/diabetes-mellitus-a-tehotenstvi-460357>.
8. **Málek, Otakar.** *Epidemiologie a vyhledávání rizikových skupin těhotných žen v prevenci*. [Diplomová práce] Praha : UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, 10 2009. Vedoucí práce: MUDr. Petr Velebil, CSc..
9. **Ministerstvo zdravotnictví České republiky.** *Medicína založená na důkazu. khshk*. [Online] Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 25. 3 2014. [Citace: 5. 3 2017.] http://www.khshk.cz/e-learning/kurs1b/kapitola_33__screening.html. CZ.1.04/4.1.00/48.00039.
10. **Agency, International Atomic Energy.** *Pregnancy and Radiation Protection in Diagnostic Radiology. IAEA Radiation Protection of Patients*. [Online] Copyright, 2013. [Citace: 9. 3 2017.]

https://rpop.iaea.org/RPoP/RPoP/Content/SpecialGroups/1_PregnantWomen/PregnancyAndRadiology.htm.

11. **HEYMAN, B.** *Risk age and pregnancy a case study of prenatal genetic screening and testing.* místo neznámé : Palgrave, 2001. str. 242s. 0-333-73940-X.
12. **HUŠÁK, Václav.** *Radiační ochrana pro radiologické asistenty.* Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. 978-80-244-2350-0.
13. **FERDA Jiří, MÍRKA Hynek, BAXA Jan, MALÁN Alexander.** *Základy zobrazovacích metod.* Praha : Galén, 2015. 978-80-7492-164-3.
14. **bezpečnost, Státní úřad pro jadernou.** Používání rentgenů - lékařské ozáření. *Státní úřad pro jadernou bezpečnost.* [Online] FormaX Design, s.r.o., 2017. [Citace: 9. 3 2017.] <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/pouzivani-rentgenu-lekarske-ozareni/>.
15. **HEŘMAN, Miroslav.** *Základy radiologie.* Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 978-80-244-2901-4.
16. **VOMÁČKA, Jaroslav.** *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty.* Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. 978-80-244-4508-3.
17. **CITTEBART, Karel.** *Gynekologie.* Praha : Galén, 2001. 80-7262-094-0 .
18. **inženýrství, Fakulta Biomedicínského.** Ultrazvuk (4): Jak vzniká ultrazvukové vlnění? *Popularizace vědy a výzkumu ČVUT.* [Online] Investice do rozvoje vzdělávání. [Citace: 17. 3 2017.] <http://popular.fbmi.cvut.cz/biomedicina/Stranky/Ultrazvuk-4---Jak-vznika-ultrazvukove-vlneni.aspx>. CZ.1.07/2.3.00/35.0021.
19. **NEKULA, Josef.** *Radiobiologie.* Olomouc : Univerzita Palackého, 2005. 80-244-1011-7.
20. **HÁJEK, Zdeněk, Milan MACEK a Eduard KULOVANÝ.** *Základy prenatální diagnostiky.* Praha : Grada, 2000. 80-7169-391-x.
21. **SEIDL, Zdeněk.** *Radiologie pro studium i praxi.* Praha : Grada, 2012. 978-80-247-4108-6.
22. **ROZTOČIL, Aleš.** *Moderní porodnictví.* Praha : Grada, 2008. 978-80-247-1941-2.

23. **Jan Žižka, Josef Vymazal, Marek Mechl, Ľudovít Klzo, Jaroslav Tintěra.** Doporučení pro aplikaci gadoliniových kontrastní látek se zřetelem na minimalizaci rizika vzniku nefrogenní systémové fibrózy. *České radiologická společnost*. [Online] ČLS JEP, WebStep, s.r.o., water & stone, Matthias Gallas, 2017. [Citace: 5. 3 2017.] <http://www.crs.cz/cs/dokumenty/doporuceni-prehled/doporuceni-pro-aplikaci-gadoliniovych-kontrastni-latek-se-zretelem-na-minimalizaci-rizika-vzniku-nefrogenni-systemove-fibrozy.html>.
24. **FERDA, Jiří.** *CT angiografie*. Praha : Galén, 2004. 80-7262-281-1.
25. **ČR, Ministerstvo zdravotnictví.** *Věstník MZ ČR*. [Dokument] Praha : Ministerstvo zdravotnictví ČR, 29. 5 2015.
26. **Hábrová, Olga.** *Hodnocení patientských dávek z lékařského ozáření v radiodiagnostice*. [Diplomová práce] Plzeň : ZČU, 11. 5 2011. vedoucí práce: Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc. .
27. **Fakultní nemocnice, Plzeň.** *Fyzikální část radiologických standardů pro CT*. [Standard] Plzeň : FNL Plzeň.
28. **ROZTOČIL, Aleš.** *Vyšetřovací metody v gynekologii a porodnictví*. Brno : Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1998. 80-7013-255-8.

SEZNAM ZKRATEK

AP	Anterioposteriorní (Předozaďní)
CNS	Centrální nervová soustava
CT	Computer tomography (výpočetní tomografie)
DRÚ	Diagnostická referenční úroveň
DTPA	Diethylentriaminpentaacetát
FDG	Fluorodeoxyglukosa
HMPAO	Hexametylpropylenaminoxim
ICRP	International Commission on Radiological Protection
JKL	Jodová kontrastní látka
KL	Kontrastní látka
LAT	Laterální (boční)
LS	Lumbosakrální
MAA	Makroagregát albuminu
MR	Magnetická rezonance
NM	Nukleární medicína
PA	Posterior-anterior (zadopřední)
PCXMC	PC program for X-ray Monte Carlo
PET	Pozitronová emisní tomografie
RF	Radiofarmakum
RTG	Rentgen (zahrnuje skiaskopické i skiagrafické vyšetření)
Th	Thorakální

USG..... Ultrasonografie

UZ..... Ultrazvuk

VUR..... Vylučovací urografie

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: KL pro MR	28
Tabulka 2: Porovnání doporučení ICRP 60 a ICRP 103	34
Tabulka 3: Typická dávka - VUR	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Závislost biologického účinku na velikosti absorbované dávky záření.....	17
Obrázek 2: PCXMC - menu	37
Obrázek 3: PCXMC - volba vyšetření.....	38
Obrázek 4: PCXMC - Simulace	39
Obrázek 5: PCXMC - výpočet	40
Obrázek 6: PCXMC -výpočet	40
Obrázek 7: PCXMC - výsledek.....	41
Obrázek 8: ImPACT - ScanCalculations.....	44
Obrázek 9: ImPACT - nastavení vyšetřovací oblasti pomocí fantomu.....	45
Obrázek 10: ImPACT - CT břicha	47
Obrázek 11: ImPACT - CT pánve.....	48
Obrázek 12: Typické dávky na NM - menu	51
Obrázek 13: Typické dávky na NM - výběr radiofarmaka.....	52
Obrázek 14: Typické dávky na NM - základní údaje.....	53
Obrázek 15: Typické dávky na NM - tabulka	53
Obrázek 16: Typické dávky na NM - Odhad efektivní dávky z RF.....	54
Obrázek 17: Typické dávky na NM - Odhad efektivní dávky radiofarmaka v zárodku/plodu	55

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Typická dávka - břicho AP	70
Příloha 2: Typická dávka - hrudník PA	71
Příloha 3: Typická dávka - hlava AP	72
Příloha 4: Typická dávka - hlava LAT	73
Příloha 5: Typická dávka - Th páteř AP	74
Příloha 6: Typická dávka - Th páteř LAT	75
Příloha 7: Typická dávka -LS páteř AP	76
Příloha 8: Typická dávka - LS páteř LAT	77
Příloha 9: ImPACT - CT hlavy	78
Příloha 10: ImPACT - CT hrudníku	79
Příloha 11: Typické dávky na NM - MAA	80
Příloha 12: Typické dávky na NM - FDG	81
Příloha 13: Typické dávky na NM - HMPAO	82
Příloha 14: Povolení sběru dat ve FN Plzeň	83

PŘÍLOHA A – TYPICKÉ DÁVKY PRO RTG

Příloha 1: Typická dávka - břicho AP

Břicho AP, Adult		
Projection:	270.0000	
Obl. Angle:	0.0000	
Age:	30	
Length:	174.0000	
Mass:	71.1000	
Arms in phantom:	1	
FSD:	75.0300	
X-ray beam width:	26.2600	
X-ray beam height	32.2600	
Xref:	0.0000	
Yref:	0.0000	
Zref:	19.9900	
E-levels (Max.en./10):	9	
NPhots:	50000	
XYscale:	0.9985	
Zscale:	0.9742	
X-ray tube voltage (kV):	90	
Filter:	2,7 mm Al + 0 mm Cu	
Incident air kerma:	0.4486	
Organ:	Dose (mGy) :	Error (%) :
Uterus	0.190995	2.6
Average dose in total body	0.058502	0.1
Effective dose ICRP60 (mSv)	0.097154	1.1
Effective dose ICRP103 (mSv)	0.088092	0.7
Abs. energy fraction (%)	69.551738	

Zdroj: Vlastní

Příloha 2: Typická dávka - hrudník PA

Typical chest PA, Adult			
Projection:			90.0000
Obl. Angle:			0.0000
Age:			30
Length:			178.6000
Mass:			73.2000
Arms in phantom:			1
FSD:			125.0000
X-ray beam width:			33.3300
X-ray beam height			32.0800
Xref:			0.0000
Yref:			0.0000
Zref:			55.0000
E-levels (Max.en./10):			15
NPhotos:			100000
XYscale:			1.0000
Zscale:			1.0000
X-ray tube voltage (kV):			125
Filter:		2,7 mm Al + 0,2 mm Cu	
Incident air kerma:			0.0795
Organ:	Dose (mGy) :		Error (%) :
Uterus	0.000142		14.2
Average dose in total body	0.018965		0.1
Effective dose ICRP60 (mSv)	0.021010		0.3
Effective dose ICRP103 (mSv)	0.023032		0.3
Abs. energy fraction (%)	53.730486		

Zdroj: Vlastní

Příloha 3: Typická dávka - hlava AP

Typical head AP, Adult			
Projection:			270.0000
Obl. Angle:			0.0000
Age:			30
Length:			178.6000
Mass:			73.2000
Arms in phantom:			1
FSD:			75.0000
X-ray beam width:			17.6000
X-ray beam height			22.0600
Xref:			0.0000
Yref:			0.0000
Zref:			87.0000
E-levels (Max.en./10):			8
NPhotos:			100000
XYscale:			1.0000
Zscale:			1.0000
X-ray tube voltage (kV):			73
Filter:		2,7 mm Al + 0 mm Cu	
Incident air kerma:			0.6148
	Organ:	Dose (mGy) :	Error(%) :
	Uterus	0.000000	NA
	Average dose in total body	0.018195	0.1
	Effective dose ICRP60 (mSv)	0.007640	0.8
	Effective dose ICRP103 (mSv)	0.011508	0.6
	Abs. energy fraction (%)	46.404811	

Zdroj: Vlastní

Příloha 4: Typická dávka - hlava LAT

Typical head LATleft, Adult			
Projection:			0.0000
Obl. Angle:			0.0000
Age:			30
Length:			178.6000
Mass:			73.2000
Arms in phantom:			1
FSD:			80.0000
X-ray beam width:			21.8000
X-ray beam height			18.2000
Xref:			0.0000
Yref:			0.0000
Zref:			88.5000
E-levels (Max.en./10):			8
NPhots:			100000
XYscale:			1.0000
Zscale:			1.0000
X-ray tube voltage (kV):			66
Filter:		2,7 mm Al + 0 mm Cu	
Incident air kerma:			0.6465
	Organ:	Dose (mGy) :	Error(%) :
	Uterus	0.000000	NA
	Average dose in total body	0.018363	0.1
	Effective dose ICRP60 (mSv)	0.006989	0.6
	Effective dose ICRP103 (mSv)	0.009361	0.5
	Abs. energy fraction (%)	49.830632	

Zdroj: Vlastní

Příloha 5: Typická dávka - Th páteř AP

Typical Th pater AP, Adult			
Projection:			270.0000
Obl. Angle:			0.0000
Age:			30
Length:			178.6000
Mass:			73.2000
Arms in phantom:			1
FSD:			75.0000
X-ray beam width:			20.0000
X-ray beam height			40.0000
Xref:			0.0000
Yref:			0.0000
Zref:			50.6909
E-levels (Max.en./10):			10
NPhotos:			100000
XYscale:			1.0000
Zscale:			1.0000
X-ray tube voltage (kV):			83
Filter:		2,7 mm Al + 0 mm Cu	
Incident air kerma:			0.3875
Organ:	Dose (mGy) :		Error(%) :
Uterus	0.001272		11.3
Average dose in total body	0.041475		0.1
Effective dose ICRP60 (mSv)	0.075553		0.4
Effective dose ICRP103 (mSv)	0.084863		0.4
Abs. energy fraction (%)	68.686799		

Zdroj: Vlastní

Příloha 6: Typická dávka - Th páteř LAT

Typical Th LL, Adult			
Projection:			0.0000
Obl. Angle:			0.0000
Age:			30
Length:			178.6000
Mass:			73.2000
Arms in phantom:			1
FSD:			75.0000
X-ray beam width:			20.0000
X-ray beam height			40.0000
Xref:			10.0000
Yref:			5.2546
Zref:			50.6909
E-levels (Max.en./10):			10
NPhotos:			100000
XYscale:			1.0000
Zscale:			1.0000
X-ray tube voltage (kV):			90
Filter:		2,7 mm Al + 0 mm Cu	
Incident air kerma:			0.4338
Organ:	Dose (mGy) :		Error(%) :
Uterus	0.000699		17.2
Average dose in total body	0.034062		0.1
Effective dose ICRP60 (mSv)	0.028470		0.6
Effective dose ICRP103 (mSv)	0.027693		0.5
Abs. energy fraction (%)	45.657485		

Zdroj: Vlastní

Příloha 7: Typická dávka -LS páteř AP

Typical LS pater AP, Adult			
Projection:			0.0000
Obl. Angle:			0.0000
Age:			30
Length:			178.6000
Mass:			73.2000
Arms in phantom:			1
FSD:			75.0000
X-ray beam width:			15.6000
X-ray beam height			39.2000
Xref:			0.0000
Yref:			0.0000
Zref:			27.0000
E-levels (Max.en./10):			13
NPhotos:			100000
XYscale:			1.0000
Zscale:			1.0000
X-ray tube voltage (kV):			105
Filter:		2,7 mm Al + 0 mm Cu	
Incident air kerma:			1.6336
	Organ:	Dose (mGy) :	Error(%) :
	Uterus	0.103783	3.2
	Average dose in total body	0.158127	0.1
	Effective dose ICRP60 (mSv)	0.157180	0.7
	Effective dose ICRP103 (mSv)	0.146274	0.5
	Abs. energy fraction (%)	62.332711	

Zdroj: Vlastní

Příloha 8: Typická dávka - LS páteř LAT

Typical LS pater LAT, Adult			
Projection:			0.0000
Obl. Angle:			0.0000
Age:			30
Length:			178.6000
Mass:			73.2000
Arms in phantom:			1
FSD:			75.0000
X-ray beam width:			15.6000
X-ray beam height			39.2000
Xref:			0.0000
Yref:			0.0000
Zref:			27.0000
E-levels (Max.en./10):			13
NPhotos:			100000
XYscale:			1.0000
Zscale:			1.0000
X-ray tube voltage (kV):			105
Filter:		2,7 mm Al + 0 mm Cu	
Incident air kerma:			1.6336
Organ:	Dose (mGy) :		Error(%) :
Uterus	0.103783		3.2
Average dose in total body	0.158127		0.1
Effective dose ICRP60 (mSv)	0.157180		0.7
Effective dose ICRP103 (mSv)	0.146274		0.5
Abs. energy fraction (%)	62.332711		

Zdroj: Vlastní

PŘÍLOHA B – TYPICKÉ DÁVKY PRO CT

Príloha 9: ImPACT - CT hlavy

ImPACT CT Patient Dosimetry Calculator			
Version 1.0.4 27/05/2011			
Scanner Model:			
Manufacturer:	Siemens		
Scanner:	Siemens Definition AS		
kV:	100		
Scan Region:	Head		
Data Set	MCSET20		
Current Data	MCSET20		
Scan range			
Start Position	77	cm	
End Position	94	cm	
Organ weighting scheme ICRP 103			
Acquisition Parameters:			
Tube current	195	mA	
Rotation time	1	s	
Spiral pitch	0,63		
mAs / Rotation	195	mAs	
Effective mAs	309,5238	mAs	
Collimation	19.2 (64* x C	mm	
Rel. CTDI	1,362725	1,36	at selected collimation
CTDI (air)	14,253	14,3	mGy/100mAs
CTDI (soft tissue)	15,3		mGy/100mAs
n CTDI _w	9,4437	9,4	mGy/100mAs
CTDI _w	18,4	mGy	
CTDI _{vol}	29,2	mGy	
DLP	497	mGy.cm	
Organ			
Organ	w _T	H _T (mGy)	w _T ·H _T
Gonads	0,08	0	0
Bone Marrow	0,12	1,8	0,21
Colon	0,12	0,00018	0,000021
Lung	0,12	0,083	0,01
Stomach	0,12	0,0024	0,00028
Bladder	0,04	0	0
Breast	0,12	0,021	0,0026
Liver	0,04	0,0052	0,00021
Oesophagus (Thymus)	0,04	0,062	0,0025
Thyroid	0,04	2	0,081
Skin	0,01	2,1	0,021
Bone Surface	0,01	8,3	0,083
Brain	0,01	23	0,23
Salivary Glands (Brain)	0,01	23	0,23
Remainder	0,12	2,1	0,25
Not Applicable	0	0	0
Total Effective Dose (mSv)			1,1
Remainder Organs			
Remainder Organs			H _T (mGy)
Adrenals			0,0059
Small Intestine			0,00019
Kidney			0,0014
Pancreas			0,0042
Spleen			0,0049
Thymus			0,062
Uterus / Prostate (Bladder)			0
Muscle			0,85
Gall Bladder			0,0017
Heart			0,021
ET region (Thyroid)			2
Lymph nodes (Muscle)			0,85
Oral mucosa (Brain)			23
Other organs of interest			H_T (mGy)
Eye lenses			27
Testes			0
Ovaries			0
Uterus			0
Prostate			0

Zdroj: Vlastní

Příloha 10: ImPACT - CT hrudniku

ImPACT CT Patient Dosimetry Calculator			
Version 1.0.4 27/05/2011			
Scanner Model:			
Manufacturer:	Siemens	▼	
Scanner:	Siemens Definition AS	▼	
kV:	100	▼	
Scan Region:	Body	▼	
Data Set	MCSET20		
Current Data	MCSET20		
Scan range			
Start Position	37,5	cm	
End Position	71,5	cm	
Organ weighting scheme ICRP 103 ▼			
Acquisition Parameters:			
Tube current	240	mA	
Rotation time	0,5	s	
Spiral pitch	0,7		
mAs / Rotation	120	mAs	
Effective mAs	171,4286	mAs	
Collimation	19.2 (64* x C	mm	
Rel. CTDI	1,362725	1,36	at selected collimation
CTDI (air)	14,223	14,2	mGy/100mAs
CTDI (soft tissue)	15,2		mGy/100mAs
n CTDI _w	4,4425	4,4	mGy/100mAs
CTDI _w	5,3	mGy	
CTDI _{vol}	7,6	mGy	
DLP	259	mGy.cm	
Organ	w_T	H_T (mGy)	w_T·H_T
Gonads	0,08	0,02	0,0016
Bone Marrow	0,12	3,6	0,43
Colon	0,12	0,15	0,018
Lung	0,12	12	1,5
Stomach	0,12	3,9	0,47
Bladder	0,04	0,0078	0,00031
Breast	0,12	9,3	1,1
Liver	0,04	5,6	0,22
Oesophagus (Thymus)	0,04	14	0,56
Thyroid	0,04	7,3	0,29
Skin	0,01	2,8	0,028
Bone Surface	0,01	7,5	0,075
Brain	0,01	0,12	0,0012
Salivary Glands (Brain)	0,01	0,12	0,0012
Remainder	0,12	4,7	0,56
Not Applicable	0	0	0
Total Effective Dose (mSv)			5,3
Remainder Organs			H_T (mGy)
Adrenals			8,6
Small Intestine			0,16
Kidney			1,4
Pancreas			5,3
Spleen			4,8
Thymus			14
Uterus / Prostate (Bladder)			0,02
Muscle			2,9
Gall Bladder			1,4
Heart			12
ET region (Thyroid)			7,3
Lymph nodes (Muscle)			2,9
Oral mucosa (Brain)			0,12
Other organs of interest			H_T (mGy)
Eye lenses			0,19
Testes			0,00038
Ovaries			0,04
Uterus			0,032
Prostate			0,0078

Zdroj: Vlastní

PŘÍLOHA C – TYPICKÉ DÁVKY PRO NM

Příloha 11: Typické dávky na NM - MAA

Kalkulace dávek ionizujícího záření z RF pro pacienty NM (dle ICRP 103)					
Jméno:	Pacient	Červené vyplňte!		Hmotnost M_p :	70 kg
Rodné číslo:	9556162099			Skutečně aplikovaná aktivita A_{ap} :	140,0 MBq
Pohlaví (f/m):	f	Těhotenství:	ano	Věk:	21,8 let
Radionuklid:	Název radiofarmaka:	Poznámka:	Výrobce:	Věkový koeficient K_s :	1,00 -
99mTc	[99mTc] MAA	Průměr 99mTc MAA		Váhový koeficient K_m :	1,00 -
Dávkování:	$A_{min} =$ 0,532	$A_{max} =$ 2,518	MBq/kg, tj. dle hmotnosti pacienta:	$A_p =$ 37,3 až 176,3	MBq

1a. Výrobce udávané absorbované dávky v orgánech a tkáních							1b. Výrobce doporučená aplikovaná aktivita					
Orgány:	w_T (ICRP 103)	H_T (mGy/MBq)	$A_2 * H_T$ (mGy)	$w_T * A_2 * H_T$ (mSv)	$K_m * w_T * A_2 * H_T$ (mSv)	$K_s * w_T * A_2 * H_T$ (mSv)	Věk (roky)	Hmotnost M_p (kg)	Koeficient EANM (-)	Průměr dle EANM (MBq)	Max. dle M_p $A_{70} * (M_p^{0,7} / 70^{0,7})$ (MBq)	Normaliz. ef.dáv. k_i (mSv/MBq)
Základní orgány a tkáně							0	3	0,10	10,7	19,4	1,690E-01
Gonády (Testes)		1,41E-03					4	0,14	14,9	23,8		
Gonády (Ovaria)	0,080	1,95E-03	0,273	0,022	0,022		6	0,19	20,3	31,6		
Kostní dřevě červená	0,120	4,00E-03	0,560	0,067	0,067		8	0,23	24,6	38,6		
Tlusté střevo (dolní)	0,120	1,60E-03	0,224	0,027	0,027		10	0,27	28,8	45,1	6,600E-02	
Plic	0,120	6,60E-02	9,234	1,108	1,108		12	0,32	34,2	51,3		
Žaludek	0,120	3,90E-03	0,546	0,066	0,066		14	0,36	38,4	57,1		
Močový měchýř	0,040	1,64E-02	2,293	0,092	0,092		16	0,40	42,7	62,7		
Prsní žlázy	0,120	5,40E-03	0,756	0,091	0,091		18	0,44	47,0	68,1		
Játra	0,040	1,21E-02	1,700	0,068	0,068		20	0,46	49,1	73,3	3,600E-02	
Jícen (brzlík)	0,040	6,10E-03	0,854	0,034	0,034		22	0,50	53,4	78,4		
Štítná žláza	0,040	2,17E-03	0,303	0,012	0,012		24	0,53	56,6	83,3		
Kůže	0,010	1,50E-03	0,210	0,002	0,002		26	0,56	59,8	88,1		
Kostní povrch	0,010	4,03E-03	0,565	0,006	0,006		28	0,58	61,9	92,8		
Základní orgány celkem:			17,518	1,594	1,594		30	0,62	66,2	97,4		
Zbývající orgány a tkáně							10	32	0,65	69,4	101,9	2,400E-02
Nadledvinky	0,0086	6,13E-03	0,859	0,007	0,007		34	0,68	72,6	106,3		
Ledviny	0,0086	6,22E-03	0,871	0,007	0,007		36	0,71	75,8	110,7		
Slinivka	0,0086	5,73E-03	0,803	0,007	0,007		38	0,73	77,9	114,9		
Slezina	0,0086	4,44E-03	0,622	0,005	0,005		40	0,76	81,1	119,1		
Žlučník	0,0086	5,60E-03	0,784	0,007	0,007		42	0,78	83,3	123,3		
Tenké střevo	0,0086	2,07E-03	0,289	0,002	0,002		44	0,80	85,4	127,3		
Tračník horní	0,1200	2,20E-03	0,308	0,037	0,037		46	0,82	87,5	131,4		
Děloha	0,0086	2,30E-03	0,322	0,003	0,003		48	0,85	90,7	135,3		
Mozek	0,0100	9,20E-04	0,129	0,001	0,001		50	0,88	93,9	139,3		
Srdce	0,0086	9,60E-03	1,344	0,012	0,012		53	0,90	96,1	145,1		
Svaly	0,0086	2,80E-03	0,392	0,003	0,003		57	0,92	98,2	152,6	1,700E-02	
Ostatní	0,0529	2,87E-03	0,401	0,021	0,021		61	1,00	106,8	160,1		
Zbývající orgány celkem:			7,123	0,113	0,113		65	1,00	106,8	167,3		
Orgán s max. zatížením:		Plic		9,23 mGy			68	1,00	106,8	172,7		
E_{OR0} - efektivní dávka = suma vážených příspěvků z absorbovaných dávek v jednotlivých orgánech							20	70	1,00	106,8	176,3	9,848E-03
Diference $E_{RF} - E_{OR0}$							80	1,00	106,8	193,5		
(podíl nespecifikovaných orgánů, příp. neshoda metod / dat)							90	1,19	127,0	210,2		
							100	1,28	136,6	226,2		

3. Odhad efektivní dávky E_{RF} radiofarmaka v zárodku - plodu				
Stáří plodu (měsíce)	w_T	H_T 0,021	$A_2 * H_T$ (mGy)	$E_{RF} = w_T * A_2 * H_T$ (mSv)
0 - 2	8,000		2,80E-03	0,39
3 - 5	4,000		4,00E-03	0,56
6 - 7	3,000		5,00E-03	0,70
8 - 9	3,000		4,00E-03	0,56

Zdroj: Vlastní

Príloha 12: Typické dávky na NM - FDG

Kalkulace dávek ionizujícího záření z RF pro pacienty NM (dle ICRP 103)					
Jméno:	Pacient	Červené vyplňte!		Hmotnost M_p :	70 kg
Rodné číslo:	9556162099			Skutečně aplikovaná aktivita A_{ap} :	175,0 MBq
Pohlaví (f/m):	f	Těhotenství:	ano	Věk:	21,8 let
Radionuklid:	Název radiofarmaka:	Poznámka:	Výrobce:	Věkový koeficient K_s :	1,00 -
18F	[18F] FDG	Průměr scintigrafie nádorů		Váhový koeficient K_m :	1,00 -
Dávkování:	$A_{min} = 1,732$	$A_{max} = 6,321$	MBq/kg, tj. dle hmotnosti pacienta:	$A_p =$	121,3 až 442,5 MBq

1a. Výrobce udávané absorbované dávky v orgánech a tkáních							1b. Výrobce doporučená aplikovaná aktivita					
Orgány:	w_T (ICRP 103)	H_T (mGy/MBq)	$A_B * H_T$ (mGy)	$w_T * A_B * H_T$ (mSv)	$K_m * w_T * A_B * H_T$ (mSv)	$K_s * w_T * A_B * H_T$ (mSv)	Věk (roky)	Hmotnost M_p (kg)	Koeficient EANM (-)	Průměr dle EANM (MBq)	Max. dle M_p $A_{70} * (M_p)^{0,7} / 70^{0,7}$ (MBq)	Normaliz. ef.dáv.k ₁ (mSv/MBq)
Základní orgány a tkáně							0	3	0,10	28,2	48,8	2,300E-01
Gonády (Testes)		1,28E-02					4	0,14	39,5	59,7		
Gonády (Ovaria)	0,080	1,64E-02	2,864	0,229	0,229		6	0,19	53,6	79,3		
Kostní dřevň červená	0,120	1,23E-02	2,147	0,258	0,258		8	0,23	64,8	96,9		
Tlusté střevo (colon)	0,120	1,61E-02	2,818	0,338	0,338	1	10	0,27	76,1	113,3		
Plic	0,120	1,29E-02	2,258	0,271	0,271		12	0,32	90,2	128,8		
Žaludek	0,120	1,20E-02	2,091	0,251	0,251		14	0,36	101,5	143,4		
Močový měchýř	0,040	1,77E-01	30,931	1,237	1,237		16	0,40	112,8	157,5		
Prsní žlázy	0,120	8,60E-03	1,505	0,181	0,181		18	0,44	124,0	171,0		
Játra	0,040	1,31E-02	2,298	0,092	0,092	5	20	0,46	129,7	184,1		
Jícen (brzlík)	0,040						22	0,50	140,9	196,8		
Štítná žláza	0,040	1,09E-02	1,899	0,076	0,076		24	0,53	149,4	209,2		
Kůže	0,010	8,00E-03	1,400	0,014	0,014		26	0,56	157,9	221,2		
Kostní povrch	0,010	1,33E-02	2,319	0,023	0,023		28	0,58	163,5	233,0		
Základní orgány celkem:			52,529	2,970	2,970		30	0,62	174,8	244,5		
Zbývající orgány a tkáně							10	32	0,65	183,2	255,8	3,225E-02
Nadledvinky	0,0086	1,27E-02	2,223	0,019	0,019		34	0,68	191,7	266,9		
Ledviny	0,0086	2,12E-02	3,716	0,032	0,032		36	0,71	200,1	277,8		
Slinivka	0,0086	1,30E-02	2,275	0,020	0,020		38	0,73	205,8	288,5		
Slezina	0,0086	1,95E-02	3,407	0,029	0,029		40	0,76	214,2	299,1		
Žlučník	0,0086	1,20E-02	2,100	0,018	0,018		42	0,78	219,9	309,5		
Tenké střevo	0,0086	1,39E-02	2,424	0,021	0,021		44	0,80	225,5	319,7		
Tračník horní	0,1200	1,31E-02	2,284	0,274	0,274		46	0,82	231,1	329,8		
Děloha	0,0086	2,16E-02	3,780	0,032	0,032		48	0,85	239,6	339,8		
Mozek	0,0100	2,75E-02	4,813	0,048	0,048		50	0,88	248,1	349,6		
Srdce	0,0086	6,04E-02	10,570	0,091	0,091		53	0,90	253,7	364,2		
Svaly	0,0086	1,10E-02	1,925	0,017	0,017		57	0,92	259,3	383,2		
Ostatní	0,0529	1,27E-02	2,223	0,117	0,117		61	1,00	281,9	401,9		
Zbývající orgány celkem:			41,738	0,718	0,718		65	1,00	281,9	420,1		
Orgán s max. zatížením:	Močový měchýř			30,93 mGy			68	1,00	281,9	433,6		
E_{DRO} - efektivní dávka = suma vážených příspěvků z absorbovaných dávek v jednotlivých orgánech				3,69	3,69		20	70	1,00	281,9	442,5	2,138E-02
Diference $E_{RF} - E_{DRO}$ (podíl nespecifikovaných orgánů, příp. neshoda metod / dat)				0,05	0,05			80	1,00	281,9	485,9	
								90	1,19	335,4	527,6	
								100	1,28	360,8	568,0	

3. Odhad efektivní dávky E_{RF} radiofarmaka v zárodku - plodu				
Stáří plodu (měsíce)	w_T	H_T 0,021	$A_B * H_T$ (mGy)	$E_{RF} = w_T * A_B * H_T$ (mSv)
0 - 2	8,000		2,20E-02	3,85
3 - 5	4,000		2,20E-02	3,85
6 - 7	3,000		1,70E-02	2,98
8 - 9	3,000		1,70E-02	2,98

Zdroj: Vlastní

Příloha 13: Typické dávky na NM - HMPAO

Kalkulace dávek ionizujícího záření z RF pro pacienty NM (dle ICRP 103)					
Jméno:	Pacient	Červeně vyplňte !		Hmotnost M_p :	70 kg
Rodné číslo:	9556162099			Skutečně aplikovaná aktivita A_{ap} :	800,0 MBq
Pohlaví (f/m):	f	Těhotenství:	ano	Věk:	21,8 let
Radionuklid:	Název radiofarmaka:	Poznámka:	Výrobce:	Věkový koeficient K_s :	1,00 -
99mTc	HMPAO	mozek perfuze	ICRP 80	Váhový koeficient K_m :	1,00 -
Dávkování:	$A_{min} =$ 7,857	$A_{max} =$ 15,714	MBq/kg, tj. dle hmotnosti pacienta:	$A_p =$ 550,0 až 1 100,0	MBq

1a. Výrobce udávané absorbované dávky v orgánech a tkáních							1b. Výrobce doporučená aplikovaná aktivita					
Orgány:	w_T (ICRP 103)	H_T (mGy/MBq)	$A_s \cdot H_T$ (mGy)	$w_T \cdot A_s \cdot H_T$ (mSv)	$K_m \cdot w_T \cdot A_s \cdot H_T$ (mSv)	$K_s \cdot w_T \cdot A_s \cdot H_T$ (mSv)	Věk (roky)	Hmotnost M_p (kg)	Koeficient EANM (-)	Průměr dle EANM (MBq)	Max. dle M_p $A_{70} \cdot (M_p^{0,7}/70^{0,7})$ (MBq)	Normaliz. ef.dáv. k_i (mSv/MBq)
Základní orgány a tkáně							0	3	0,10	82,5	121,3	1,200E-01
Gonády (Testes)				-	-		4	0,14	115,5	148,3		
Gonády (Ovaria)	0,080			-	-		6	0,19	156,8	197,0		
Kostní dřevň červená	0,120			-	-		8	0,23	189,8	241,0		
Tlusté střevo (dolní)	0,120			-	-	1	10	0,27	222,8	281,7		
Plicce	0,120			-	-		12	0,32	264,0	320,1		
Žaludek	0,120			-	-		14	0,36	297,0	356,5		
Močový měchýř	0,040			-	-		16	0,40	330,0	391,5		
Prsní žlázy	0,120			-	-		18	0,44	363,0	425,1		
Játra	0,040			-	-	5	20	0,46	379,5	457,7		
Jícen (brzlík)	0,040			-	-		22	0,50	412,5	489,2		
Štítná žláza	0,040			-	-		24	0,53	437,3	520,0		
Kůže	0,010			-	-		26	0,56	462,0	549,9		
Kostní povrch	0,010			-	-		28	0,58	478,5	579,2		
Základní orgány celkem:			0,000	0,000	0,000		30	0,62	511,5	607,9	1,700E-02	
Zbývající orgány a tkáně							10	32	0,65	536,3		636,0
Nadledvinky	0,0086			-	-		34	0,68	561,0	663,5		
Ledviny	0,0086	3,40E-02	27,200	0,233	0,233		36	0,71	585,8	690,6		
Slinivka	0,0086			-	-		38	0,73	602,3	717,3		
Slezina	0,0086			-	-		40	0,76	627,0	743,5		
Žlučník	0,0086			-	-		42	0,78	643,5	769,3		
Tenké střevo	0,0086			-	-		44	0,80	660,0	794,8		
Tračník horní	0,1200			-	-		46	0,82	676,5	819,9		
Děloha	0,0086	6,60E-03	5,280	0,045	0,045		48	0,85	701,3	844,7		
Mozek	0,0100			-	-		50	0,88	726,0	869,2		
Srdce	0,0086			-	-		53	0,90	742,5	905,4		
Svaly	0,0086			-	-	15	57	0,92	759,0	952,7		
Ostatní	0,0529			-	-		61	1,00	825,0	999,0		
Zbývající orgány celkem:			32,480	0,278	0,278		65	1,00	825,0	1 044,4		
Orgán s max. zatížením:			Ledviny	27,20 mGy			68	1,00	825,0	1 077,9		
E_{ORG} - efektivní dávka = suma vážených příspěvků z absorbovaných dávek v jednotlivých orgánech				0,28	0,28		20	70	1,00	825,0	1 100,0	9,300E-03
Diference $E_{RF} - E_{ORG}$ (podíl nespecifikovaných orgánů, příp. neshoda metod / dat)				7,16	7,16			80	1,00	825,0	1 207,8	
								90	1,19	981,8	1 311,6	
								100	1,28	1 056,0	1 412,0	

3. Odhad efektivní dávky E_{RF} radiofarmaka v zárodku - plodu				
Stáří plodu (měsíce)	w_T	H_T 0,021	$A_s \cdot H_T$ (mGy)	$E_{RF} = w_T \cdot A_s \cdot H_T$ (mSv)
0 - 2	8,000		6,96	55,68
3 - 5	4,000	6,70E-03	5,36	21,44
6 - 7	3,000	4,80E-03	3,84	11,52
8 - 9	3,000	3,60E-03	2,88	8,64

Zdroj: Vlastní

PŘÍLOHA D -OSTATNÍ

Příloha 14: Povolení sběru dat ve FN Plzeň



Vážená paní
Martina Paterová
Studentka oboru Radiologický asistent
Fakulta zdravotnických studií - Katedra záchranářství a technických oborů
Západočeská univerzita v Plzni

Povolení sběru informací ve FN Plzeň

Na základě Vaší žádosti Vám jménem Útvaru náměstkyně pro ošetrovatelskou péči FN Plzeň **uděluji souhlas** se sběrem anonymizovaných informací pro Vaše analytické šetření ve FN Plzeň, na *Klinice zobrazovacích metod (KZM)*, v souvislosti s vypracováním Vaší bakalářské práce s názvem „*Rizika a možnosti využití radiologických zobrazovacích metod v průběhu těhotenství*“.

Podmínky, za kterých Vám bude umožněna realizace Vašeho šetření ve FN Plzeň:

- Vrchní radiologický asistent KZM souhlasí s Vaším postupem.
- Vaše šetření osobně povedete.
- Vaše šetření nenaruší chod pracoviště ve smyslu provozního zajištění dle platných směrnic FN Plzeň, ochrany dat pacientů a dodržování Hygienického plánu FN Plzeň. Vaše šetření bude provedeno za dodržení všech legislativních norem, zejména s ohledem na platnost zákona č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování, v platném znění.
- **Sběr informací** pro Vaši bakalářskou práci budete provádět v době Vašich, školou schválených, praktik, **pod přímým vedením Ing. Tomáše Pokorného, Ph. D., radiologického fyzika Oddělení radiologické fyziky – OTO FN Plzeň.**
- Jakékoliv údaje ze zdravotnické dokumentace pacientů, které budou uvedeny ve Vaší práci, musí být zcela anonymizovány.
- Po zpracování Vámi zjištěných údajů poskytnete Zdravotnickému oddělení / klinice či Organizačnímu celku FN Plzeň závěry Vašeho šetření, pokud o ně projeví oprávněný pracovník ZOK / OC zájem a budete se aktivně podílet na případné prezentaci výsledků Vašeho šetření na vzdělávacích akcích pořádaných FN Plzeň.

Toto povolení nezakládá povinnost zdravotnických pracovníků s Vámi spolupracovat, pokud by spolupráce s Vámi narušovala plnění pracovních povinností zaměstnanců, jejich soukromí či pokud by spolupráce s Vámi zaměstnanci pociťovali jako újmu. Účast zdravotnických pracovníků na Vašem šetření je dobrovolná.

Přeji Vám hodně úspěchů při studiu.

Mgr., Bc. Světluše Chabrová
manažerka pro vzdělávání a výuku NELZP
zástupkyně náměstkyně pro oš. péči

Útvar náměstkyně pro oš. péči FN Plzeň
tel.: 377 103 204, 377 402 207
e-mail: chabrovas@fnplzen.cz

1. 11. 2016