

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta

Radiační zatížení personálu na PET-CT

Bakalářská práce

Autor: Eva Bertová

Vedoucí práce: Mgr. Zuzana Freitinger Skalická

Odborní konzultanti: Ing. Jiří Vítovec, Karel Mařík

4. května 2009

Abstract

Staff radiation exposure in application of the PET-CT method

In my Bachelor-of Science work I have studied the issue of the PET-CT method application and its influence on the radiation exposure of nuclear medicine department staff at Faculty Hospital in Lochotín in Plzeň (FN Plzeň-Lochotín).

In the opening chapter, the origin and recent developments in the nuclear medicine is reviewed with special focus on the PET history in the world, the physical principles of PET and the first installations of PET and PET-CT in Czech Republic and FN Plzeň-Lochotín. Then the issue of radiation protection is taken up including its history, the recent status including the relevant legal regulations, the basic principles of radiation protection, the physical methods of protection, exposure monitoring programmes and protection against radiation at the PET-CT section of nuclear medicine department of FN Plzeň-Lochotín. The reason why I chose this subject is the high-energy radiation associated with PET-CT requiring special measures to ensure staff protection. The target of this work is comparison of the radiation exposure of the nuclear medicine department staff prior to and following introduction of the PET-CT method and verification of the organisation changes and radiation protection measures adopted.

In practical part of my work I compared the values of personal dose equivalents $H_p(10)$ detected with the department staff prior to and following the PET-CT method implementation. The values are shown in tables and graphs.

The monthly dose equivalent values detected prior to and following the PET-CT equipment installation have been compared using the statistical method of double-sample t-test.

The conclusions of this study have been used to verify the efficiency of the radiation protection measures adopted at FN Plzeň-Lochotín, and to compare the status of affairs in Plzeň with those in the Nuclear Medicine Clinic of Medical Faculty and Faculty Hospital in Olomouc and at the PET Centre of the Na Homolce hospital in Prague.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Radiační zatížení personálu na PET-CT vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích, 4. května 2009

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce paní Mgr. Zuzaně Freitinger Skalické a odborným konzultantům Ing. Jiřímu Vítovcovi a vedoucímu radiologickému asistentu Karlu Maříkovi z oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice Plzeň-Lochotín.

Obsah

Úvod.....	8
1 Současný stav	9
1.1 Historie oboru.....	9
1.2 Pozitronová emisní tomografie (PET)	10
1.2.1 Fyzikální princip PET.....	10
1.2.2 Historie PET ve světě.....	12
1.2.3 Instalace PET a PET-CT v České republice	13
1.3 Radiační ochrana na pracovištích NM.....	14
1.3.1 Historie radiační ochrany.....	14
1.3.2 Legislativa.....	15
1.3.3 Základní principy radiační ochrany.....	17
1.3.4 Zajištění radiační ochrany na pracovištích s ionizujícím zářením.....	18
1.4 Radiační ochrana na pracovišti PET-CT oddělení nukleární medicíny FN Plzeň-Lochotín.....	21
2 Cíle práce a hypotézy	25
3 Metodika	26
4 Výsledky	28
4.1 Výsledky osobní dozimetrie.....	28
4.1.1 Období před zavedením PET metodiky (1. 8. 2004 – 31. 7. 2005)	29
4.1.2 Provoz SPECT + PET-CT v provizoriu (1. 10. 2005 – 31. 4. 2006)	31
4.1.3 Provoz SPECT + PET-CT v def. umístění (1. 1. 2007 – 31. 12. 2007)	33
4.2 Vyhodnocení výsledků osobní dozimetrie	35
4.2.1 Počty výkonů provedených na pracovišti a počty pracovníků	35
4.2.2 Srovnání naměřených dávkových ekvivalentů za jednotlivá období pro lékaře a radiologické asistenty	35
4.2.3 Celkové vyhodnocení	37
4.3 Statistické zpracování výsledků vyhodnocení osobní dozimetrie.....	38
4.3.1 Statistické srovnání dávkových ekvivalentů lékařů	38

4.3.2	Statistické srovnání dávkových ekvivalentů radiologických asistentů	40
4.4	<i>Grafické porovnání dávkových ekvivalentů pro jednotlivá období a kategorie pracovníků.....</i>	<i>42</i>
5	Diskuse	43
6	Závěr	50
7	Seznam použité literatury	51
8	Klíčová slova	54
9	Příloha	55

Seznam zkratek

ALARA – As Low As Reasonably Achievable

BGO krystaly – bismut germanátové krystaly

CT – computed tomography

ČSAV – Československá akademie věd

FDG – fluorodeoxyglukóza

GSO krystaly – gadolinium oxyorthosilikátové krystaly

ICRP – International Commission on Radiological Protection

IZ – ionizující záření

KNV – krajský národní výbor

LF – lékařská fakulta

LSO krystaly – lutecium oxyorthosilikátové krystaly

MAAE – Mezinárodní agentura pro atomovou energii

MRI – Magnetic Resonance Imaging

MV – ministerstvo vnitra

NM – nukleární medicína

PET-CT – Positron Emission Tomography – Computed Tomography

PETT-I – Positron Emission Transaxial Tomography-I

RVHP – Rada vzájemné hospodářské pomoci

SPECT – Single photon emission computed tomography

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚRO – Státní ústav radiační ochrany

TLD – termoluminiscenční dozimetr

UFC detektory – ultra fast ceramic detektory

Úvod

V souvislosti se zvyšujícím se výpočetním výkonem počítačů prochází v současné době lékařská přístrojová technika bouřlivým rozvojem. Výpočetní technika umožňuje konstrukci lékařských zobrazovacích přístrojů, jež poskytují díky použitým algoritmům mnohem podrobnější diagnostické informace, než tomu bylo možné v minulosti. Jednou z metod, využívajících takovou techniku, je pozitronová emisní tomografie v kombinaci s výpočetní tomografií (PET-CT). Vyšetření pomocí PET-CT dokáže se značnou citlivostí rozeznat v organizmu tkáň či ložiska s vysokou metabolickou aktivitou, což lze s výhodou využít např. v diagnostice onkologických onemocnění. Nárůst počtu těchto onemocnění při stále snazší dostupnosti této metodiky vede ke zvyšování počtu vyšetření PET-CT. Jedná se však o vyšetřovací metodu využívající ionizujícího záření. Specifikem tohoto vyšetření je vysoká energie detekovaného záření, jež klade značné nároky na ochranu personálu před ionizujícím zářením. Ve své práci jsem se rozhodla zaměřit se právě na problematiku radiační ochrany na pracovišti pozitronové emisní tomografie.

1 Současný stav

1.1 Historie oboru

Nukleární medicína je lékařský obor zabývající se diagnostikou a léčbou nemocí pomocí ionizujícího záření z otevřených zářičů aplikovaných do vnitřního prostředí organismu.^[17]

Metody nukleární medicíny jsou založeny na tzv. stopovacím nebo indikátorovém principu, který objevil v roce 1913 maďarský chemik György Hevesy. Radioaktivní izotopy se chovají chemicky zcela shodně jako stabilní izotopy téhož prvku. Princip metody spočívá v možnosti sledovat sloučeniny označené radioaktivním izotopem pomocí ionizujícího záření, jež příslušný izotop vydává. V organismu pak lze označenou látku sledovat a měřit její množství pomocí detektorů záření gama. Za objev indikátorového principu získal Hevesy v roce 1943 Nobelovu cenu za chemii.^[17]

Rozvoj nukleární medicíny na přelomu třicátých a čtyřicátých let byl umožněn především objevem umělé radioaktivity v roce 1932. První umělý radionuklid ^{32}P připravili Frederic Joliot-Curie a jeho žena Irene v roce 1934. Ve stejném roce byl připraven i ^{128}I (Fermi) a později Livingoodem a Seaborgem také ^{131}I . Na základě Hevesyho experimentů s radionuklidem ^{32}P začali lékaři massachusettské všeobecné nemocnice v Bostonu využívat izotopy jódu ^{128}I a ^{131}I k diagnostice chorob štítné žlázy.^[17]

Zpočátku se metody nukleární medicíny omezovaly pouze na měření aktivity in vitro a in vivo. Prvním zařízením, které umožňovalo zobrazit distribuci radiofarmaka v organismu, byl pohybový scintigraf. Přístroj zkonstruoval Benedict Cassen se svými spolupracovníky v roce 1951.^[21] Zařízení se skládalo z detekční jednotky, elektronické aparatury, zapisovacího zařízení a stojanu s mechanickým zařízením zajišťujícím synchronní pohyb detekční jednotky nad vyšetřovaným a písátka nad papírem. Nevýhodou zařízení byla velmi nízká účinnost měření a zdlouhavost vyšetření; přístroj neumožňoval provádět dynamická vyšetření. Předchůdcem dnešní gamakamery byl přístroj, který sestrojil H. O. Anger v roce 1952.^[21] Zařízení používalo jednoděrový kolimátor a záznam scintilací na fotografickou desku. První scintilační kameru sestrojil Anger v roce

1958. Spojením scintilátoru s fotonásobiči došlo ke zlepšení kvality obrazu a rychlosti záznamu. První gamakamera pro medicínské využití byla vyrobena v roce 1964 americkou firmou Nuclear Chicago.^[5]

Metoda přípravy radiofarmak z neradioaktivní sloučeniny upravené pro značení radionuklidy (tzv. kity) byla zavedena již v roce 1937. Ve stejném roce byl připraven také radioizotop technecia ^{99m}Tc , který se později stal jedním z nejvíce využívaných radionuklidů. Medicínské využití radionuklidů se rozvíjelo v souladu s vývojem nových detekčních systémů, později spojených s výpočetní technikou, a dále výrobou a vývojem dalších radiofarmak. Tak vznikla nutnost spolupráce lékařů, farmaceutů, fyziků a chemiků, včetně nutnosti osamostatnění se nového vědního oboru – nukleární medicíny. V roce 1977 byla nukleární medicína v Československé republice uznána jako povinný pregraduální výukový předmět.^[18]

Základním přístrojem pro diagnostické zobrazování v nukleární medicíně jsou dnes rotační scintilační kamery Angerova typu, obvykle dvouhlavé, s digitálním záznamem dat, vybavené počítačovým vyhodnocovacím systémem. Výkonné vyhodnocovací systémy poslední doby umožňují tzv. fúzi obrazů, tj. spojení funkčního zobrazení ze scintilační kamery s morfologickým zobrazením z CT či MRI. Nejnovější metodou pro zobrazování distribuce radiofarmaka v organismu je pozitronová emisní tomografie (PET).

1.2 Pozitronová emisní tomografie (PET)

Pozitronová emisní tomografie (PET) je nukleárně medicínská zobrazovací metoda založená na detekci interakce pozitronů s hmotou při rozpadu β^+ (pozitronových) zářičů.

1.2.1 Fyzikální princip PET

Rozpad β^+

V nestabilním jádře pozitronového zářiče dochází k přeměně protonu na neutron, což je provázeno vyzářením kladného náboje ve formě pozitronu – částice podobné svými vlastnostmi elektronu s kladným nábojem. Jedná se o jakousi formu antihmoty,

kteřá nemůžže trvale existovat v hmotném prostředí. Délka dráhy pozitronu závisí na jeho energii. Na konci dráhy pozitronu je setkání s elektronem okolní hmoty a jejich zánik – anihilace, provázená emisí dvou kvant záření gama o energii 511 keV. Obě kvanta se z místa anihilace pohybují po přímce opačným směrem.^[1]

Princip detekce

Z výše uvedeného vyplývá, že detekční systémy PET nejsou založeny na detekci samotných pozitronů, ale průvodního anihilačního záření. Při detekci se využívá skutečnosti, že oba vzniklé fotony letí po přímce. Zdánlivě nejsnazším způsobem, jak konstruovat PET kameru, je použít dvoudetektorovou scintilační kameru bez kolimátorů a vybavit ji koincidenčním obvodem, který vyhodnocuje scintilace současně vzniklé na obou detektorech. Poloha obou scintilačních bodů pak slouží k proložení přímky a umožňuje určit místo, v němž došlo k anihilaci. Znalost velkého množství takových přímek v mnoha směrech umožňuje rekonstruovat tomografické řezy; PET je tedy primárně tomografickou metodou. Problémem je však nízká detekční účinnost detektorů běžných SPECT kamer pro vysokoenergetické anihilační záření. Daleko vhodnější je pro PET používat specializované systémy. Konstrukčně blízký konvenčním scintilačním kamerám je systém s hexagonálně uspořádanými šesti silnými NaI (Tl) detektory. Tato geometrie výrazně zvyšuje citlivost. Standard dnes ovšem představují systémy s kruhově uspořádanými bizmut-germanátovými (BGO) detektory s počtem krystalů v řádu tisíců. Vysoká absorpční schopnost BGO detektorů a množství krystalů tak systémy činí vysoce citlivými s dobrým prostorovým rozlišením. V poslední době se do popředí zájmu dostávají systémy s krystaly z lutecium oxyorthosilikátu (LSO) a gadolinium oxyorthosilikátu (GSO), které mají kratší délku scintilace a umožňují tak zpracovávat vyšší fotonové toky.^[1]

Rušivé jevy

Při zpracování signálů z detektorů PET skeneru je třeba počítat s následujícími rušivými jevy, jež mohou být zdrojem artefaktů:

- absorpce – velké množství vyzářených fotonů je absorbováno již v těle pacienta, což vede k exponenciálnímu poklesu signálu se zvyšující se hloubkou zobrazované

struktury v těle. Proto je u PET významná korekce absorpce, kterou v současné době nabízí naprostá většina systémů.

- rozptyl – emitované fotony jsou v těle pacienta odchylovány od původního směru pohybu, což je provázeno snížením jejich energie (Comptonův rozptyl). V důsledku toho dochází k chybnému určení místa anihilace. Účinným nástrojem k potlačení tohoto jevu by bylo zvýšení dolní prahu energetického okna, ve kterém se snímá. Této možnosti ale nedostatečné energetické rozlišení používaných krystalů umožňuje využít jen z části.
- náhodné koincidence – jedná se o registraci jen jediného fotonu z jedné anihilace (druhý byl např. absorbován v těle pacienta) a zároveň registraci jiného fotonu z jiné anihilace, který dopadne na příslušný protilehlý krystal ve stejný okamžik. Náhodné koincidence můžeme korigovat zkrácením koincidenčního časového okna, což je ovlivněno konstrukcí přístroje (BGO krystaly méně než 12 ns, LSO krystaly méně než 6 ns).^[1]

1.2.2 Historie PET ve světě

První počítačový tomograf s původním názvem PETT-I (Positron Emission Transaxial Tomography) sestavil v roce 1973 Michael E. Phelps. O rok později spolu s Hoffmanem dokončili PET-III, který byl již vhodný pro humánní medicínu.^[21] Měl 48 NaI (Tl) pohyblivých detektorů hexagonálně uspořádaných po osmi v jediné rovině. NaI (Tl) detektory mají nízkou absorpční schopnost pro anihilační záření s energií 511 keV. V roce 1975 byly poprvé popsány scintilační vlastnosti bismuth-germanátu (BGO). Jeho vysoká hustota jej předurčila pro použití v PET. Prvním komerčně dostupným BGO skenerem se stal přístroj nazvaný NeuroECAT. V letech 1984–1985 byl vyvinut koncept bloku detektorů. Prstenčité uspořádané bloky BGO detektorů jsou dodnes jádrem specializovaných PET skenerů. Prstence bývají řazeny za sebou, čímž se v axiálním směru prodlužuje zorné pole a zvyšuje citlivost systému. Dalším milníkem ve vývoji klasických PET skenerů je rok 2001. Tehdy byl poprvé instalován PET skener na bázi LSO krystalů (lutecium oxyorthosilikát). Od BGO se liší především výrazně kratší délkou scintilace, což umožňuje efektivně zpracovávat větší fotonové toky.^[1]

Začátek století s sebou také přinesl spojení nejvýkonnějších PET a CT kamer do jediného přístroje, schopného zobrazovat funkční děje a anatomické detaily. Předností PET je zobrazení funkční charakteristiky tkáně, nevýhodou je ale velmi omezená možnost anatomické interpretace nálezu. Tuto nevýhodu odstraňuje spojení PET a CT přístroje do hybridního PET-CT systému. CT snímky poskytují nejen anatomickou informaci, ale informace o úbytku rtg záření při průchodu vyšetřovanou oblastí slouží i ke korekci na absorpci záření pro PET kameru.

1.2.3 Instalace PET a PET-CT v České republice

První instalací pozitronového emisního tomografu v České republice byla instalace PET skeneru firmy CTI/Siemens, model ECAT EXACT 922, v PET centru oddělení nukleární medicíny Nemocnice Na Homolce v Praze v roce 1990.^[6] Jednalo se o celotělový tomograf se zorným polem o délce 16,2 cm a průměru 56,2 cm a s maximální délkou skenu 195 cm. Přístroj byl osazen 24 prstenci BGO detektorů, celkem bylo ve skeneru 9216 detektorů. PET centrum v Nemocnici Na Homolce vzniklo jako první v České republice ve spolupráci s Ústavem jaderného výzkumu Řež, a. s. a za podpory Mezinárodní agentury pro atomovou energii.

V roce 2003 byl v PET centru Nemocnice Na Homolce instalován jako sedmý v Evropě a první v České republice nový hybridní PET-CT skener BIOGRAPH DUO LSO firmy Siemens sestavený z dvoudetektorového CT přístroje EMOTION DUO s UFC detektory a PET kamery ACCEL vybavené již moderními LSO detektory.^[19] První vyšetření na tomto přístroji bylo provedeno 3. června 2003.

V následujících letech dochází postupně k dalším instalacím PET-CT přístrojů. Např. v roce 2005 byl instalován hybridní PET-CT přístroj BIOGRAPH 16 firmy Siemens na Klinice nukleární medicíny a PET centru Fakultní nemocnice Olomouc.^[20] Radiofarmaka pro toto pracoviště se dováží z Ústavu jaderného výzkumu v Řeži u Prahy, proto se nejčastěji používá fluorodeoxyglukóza (FDG) pro svůj relativně dlouhý poločas rozpadu 110 minut.

Ve stejném roce byl hybridní přístroj BIOGRAPH 16 instalován i na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Plzeň. Vzhledem k tomu, že v době instalace nebyla dostavěna nová budova oddělení nukleární medicíny, byl přístroj dočasně insta-

lován ve stávajících prostorách oddělení. Po sedmi měsících provozu v provizoriu pak byl přístroj přemístěn do nově otevřené budovy.

Vyšetření pozitronovou emisní tomografií je specifické vysokou energií detekovaného záření (511 keV) a tedy i nutností důsledného dodržování radiační ochrany. Posouzení radiační zátěže personálu oddělení nukleární medicíny FN Plzeň-Lochotín v období před instalací a po instalaci PET-CT přístroje v provizorním i stávajícím umístění je předmětem praktické části této práce.

1.3 Radiační ochrana na pracovištích NM

1.3.1 Historie radiační ochrany

Všechny živé organizmy na Zemi byly od počátku své existence vystaveny působení ionizujícího záření. Předmětem zájmu vědců se však ionizující záření stalo až v roce 1895, resp. 1896, kdy W. C. Röntgen a H. Becquerel objevili ionizující záření pocházející z umělých a přírodních zdrojů. Intenzivní výzkum radioaktivních látek a pokusy s rentgenovými lampami byly prováděné z neznalosti účinků ionizujícího záření na živé organizmy bez jakýchkoli ochranných opatření. Již v roce 1897 byly popsány 23 případy onemocnění pracovníků s ionizujícím zářením.^[15] S rozvíjejícím se průmyslovým využitím ionizujícího záření docházelo k poškození zaměstnanců v průmyslu a také k poškození nemocných diagnostickou či léčebnou aplikací záření. První ochranná opatření začala být činěna ve dvacátých letech 20. století, kdy již měli vědci dostatek poznatků o vlivu ionizujícího záření na člověka.

První institucí v Československu zabývající se ionizujícím zářením byl Státní ústav radiologický RČS zřízený v roce 1919. Jedno z prvních doporučení v oblasti radiační ochrany formuloval MUDr. F. V. Novák v roce 1926 v článku uveřejněném v Časopise lékařů českých. Státní ústav radiologický byl v roce 1945 převeden pod ministerstvo zdravotnictví, v roce 1959 byl pak reorganizován na Ústav pro výzkum, výrobu a využití radioizotopů. Teprve v roce 1965 byl zřízen Výzkumný ústav hygieny záření se sídlem v Praze 10. Tento ústav pak byl spolu s dalšími pracovišti v roce 1971

začleněn do Institutu hygieny a epidemiologie (IHE) se sídlem v Praze. Při tomto institutu pak vzniklo Centrum hygieny záření, vedené MUDr. V. Klenerem.

V souvislosti se vznikem samostatné České republiky byl na místo dosavadní Čs. komise pro atomovou energii, zákonem č. 21 České národní rady ze dne 21. prosince 1992, zřízen Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Jeho náplní je dozor nad mírovým využíváním jaderné energie a ionizujícího záření. V roce 1995 pak vzniká v souvislosti s převedením kompetencí v oblasti radiační ochrany na SÚJB Státní ústav radiační ochrany (SÚRO) při SÚJB.^[15]

1.3.2 Legislativa

K vypracování potřebných předpisů a opatření zabezpečujících různé úseky ochrany před zářením se v Československu přistoupilo v 50. letech. Opíraly se především o zákon č. 4/1952 Sb. o hygienické a protiepidemické péči.

Hygienické poměry na dílčích pracovištích s ionizujícím zářením byly ošetřeny speciálními státními normami: ČSN 34 1720 Rentgenová zařízení a pracoviště z října 1952 a ČSN 34 1730 Předpisy pro pracoviště s radioaktivními látkami, která vyšla poprvé v roce 1952 a v roce 1956 byla zásadně přepracována. Vedle toho se hygienická služba opírala o vyhlášku ministerstva chemického průmyslu a ministerstva zdravotnictví č. 220/1959 Sb. o hospodaření s radioaktivními látkami.

V roce 1959 vydal hlavní hygienik ČSR Směrnici o hygienických podmínkách pro práci se svítivými radioaktivními barvami. Problematika kontaminace ^{90}Sr a ^{226}Ra u pracovníků jednoho čs. pracoviště s radioaktivními barvami v oblasti Prahy se v roce 1958 stala předmětem epidemiologické studie MUDr. J. Müllera, CSc., a RNDr. D. Březíkové *Chronic occupational exposure to ^{90}Sr and ^{226}Ra* , která vzbudila značnou pozornost na mezinárodním fóru. Zjištění několika případů radium-dermatitidy prstů u natěračů číselníků v továrně vedlo k průzkumu hygienických a zdravotních poměrů na podobných pracovištích. O této studii bylo referováno v roce 1961 Dr. Drášílem z Biofyzikálního ústavu ČSAV v Panelu o chronické toxicitě ^{90}Sr uspořádaném Mezinárodní agenturou pro atomovou energii ve Vídni. Na základě studie došlo k uzavření kontraktu mezi MAAE a MUDr. J. Müllerem, CSc. o dodání celotělového počítače za zhruba 60 tisíc dolarů do Československa.^[15]

K ochraně zdraví pracovníků s ionizujícím zářením i širokého obyvatelstva směřovala v 50. letech i další opatření. Nařízením ministerstva zdravotnictví z 25. října 1952 (Sb. oběžníků pro KNV č. 48) byla snížena na 36 hodin týdně pracovní doba zaměstnanců pracujících trvale pod vlivem rentgenového nebo radiového záření, jehož úhrnná týdenní dávka byla větší než 0,06 r měřených ve vzduchu, nebo na pracovištích, kde obsah radiové emanace (radonu) přesahoval dávku 10–12 Ci / l vzduchu. Pracovníků s ionizujícím zářením se týkala také zvláštní směrnice ministerstva zdravotnictví (nově vydaná v roce 1958), která stanovila povinné zdravotně preventivní prohlídky pracovníků na rizikových pracovištích (včetně pracovišť s ionizujícím zářením) a určila frekvenci prohlídek a doporučené druhy vyšetření v závislosti na druhu rizika. Z hlediska ekonomického zvýhodnění za rizikovou práci byl již zaměstnancům pracujícím trvale pod vlivem rentgenového nebo radiového záření, směrnicí ministerstva zdravotnictví z 26. října 1950 přiznán „nebezpečnostní příplatek“.

K zevrubnější úpravě hygienických předpisů v oblasti ionizujícího záření došlo v 60. letech Vyhláškou ministerstev zdravotnictví a chemického průmyslu č. 34/1963 Sb. ze dne 21. března o hygienické ochraně před ionizujícím zářením a o hospodaření se zdroji ionizujícího záření.

Dnem 1. ledna 1966 vstoupily v ČSSR v oblasti radiační hygieny a ochrany v platnost předpisy vypracované Stálou komisí pro mírové využívání atomové energie při RVHP pro členské státy.

K další úpravě a zpřísnění, v úzké návaznosti na mezinárodní doporučení, došlo Vyhláškou ministerstva zdravotnictví České socialistické republiky č. 59/1972 Sb. ze dne 30. června o ochraně zdraví před ionizujícím zářením.

K dalším výrazným změnám došlo v devadesátých letech zejména v souvislosti se vznikem České republiky. Zákonem České národní rady ze dne 21. prosince 1992 byl k 1. lednu 1993 zřízen Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) jako nový ústřední orgán státní správy a dozoru České republiky při mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (na místo dosavadního federálního orgánu Čs. komise pro atomovou energii). Obdobný úřad byl zřízen i ve Slovenské republice.

1. července 1995 vznikl Státní ústav radiační ochrany při SÚJB. Delimitace pracovišť radiační ochrany z resortu ministerstva zdravotnictví do SÚJB byla provedena na základě dohody mezi (obnoveným) Státním zdravotním ústavem (ředitel doc. MUDr. J. Kříž) a SÚJB (předseda Ing. J. Štuller) ze dne 26. května 1995.^[15]

Parlament ČR přijal zákon č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů (nabývající účinnosti dnem 1. července 1997). K zákonu bylo vydáno několik vyhlášek. Z hlediska radiační ochrany byly významné zejména vyhlášky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 146/1997 Sb., kterou se stanoví činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků, a č. 184/1997 Sb. o požadavcích na zajištění radiační ochrany.

V roce 2002 byla vydána řada vyhlášek Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, především Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně, dále pak vyhlášky SÚJB č. 315/2002 Sb., č. 317/2002 Sb., č. 319/2002 Sb., č. 419/2002 Sb., č. 318/2002 Sb. a vyhláška MV č. 380/2002 Sb., které obsahují požadavky na zabezpečení prací v prostředí ionizujícího záření na všech pracovištích se zdroji IZ včetně provozu našich jaderných elektráren.

1.3.3 Základní principy radiační ochrany

Radiační ochrana je systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí. Cílem radiační ochrany je vyloučit deterministické účinky záření a riziko stochastických účinků udržovat na rozumně přijatelné nízké úrovni.

Tyto požadavky jsou založeny na doporučeních různých mezinárodních institucí, zejména Mezinárodní komise pro radiační ochranu (ICRP). Jsou zapracovány do legislativy České republiky.^[13]

Doporučení ICRP zahrnují tři základní principy radiační ochrany:

- **odůvodnění**
 - žádná radiační činnost by neměla být povolena dříve, pokud se neprokáže, že užitek z jejího zavedení převazuje nad možnými ztrátami
- **optimalizace**
 - princip ALARA (As Low As Reasonably Achievable) – princip obsahující metody a nástroje, s jejichž pomocí lze udržovat všechny expozice tak nízké, jak lze dosáhnout s uvážením souvisejících ekonomických a sociálních podmínek
- **nepřekročení limitů**
 - každý jedinec by měl být chráněn proti nadměrnému riziku ozáření zavedením systému limitů pro omezování ozáření.

1.3.4 Zajištění radiační ochrany na pracovištích s ionizujícím zářením

Organizační opatření

Na pracovištích s ionizujícím zářením se vymezuje sledované či kontrolované pásmo.^[14]

- **sledované pásmo** se na pracovištích, kde se vykonávají radiační činnosti, vymezuje všude tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 1 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka by mohla být vyšší než jedna desetina limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny
 - sledované pásmo se vymezuje jako zpravidla stavebně oddělená označená část pracoviště. Ve sledovaném pásmu se zajišťuje pouze monitorování pracoviště. Provozovatel oznamuje SÚJB vymezení a změnu sledovaného pásma.
- **kontrolované pásmo** se na pracovištích se zdroji IZ vymezuje všude tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo kde by ekvivalentní dávka mohla být vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny.
 - stanovuje se tak, aby regulací pohybu osob, vytvořením ochranných bariér a případně i stavebními úpravami, režimem práce, rozsahem monitorování a dalšími opatřeními přiměřenými používaným zdrojům a způsobům nakládání s nimi bylo zajištěno, že se zdroji IZ budou nakládat jen osoby k tomu dostatečně odborně i zdravotně způsobilé, poučené o možném riziku práce a náležitě vybavené.

Fyzikální způsoby zajištění radiační ochrany

Existují tři základní faktory ochrany vůči účinkům vnějšího ozáření gama zářením: čas, vzdálenost a stínění.^[9]

- **čas**

- jedním z faktorů, který ovlivňuje velikost obdržené dávky je čas. Čím kratší je doba ozáření, tím nižší je výsledná dávka.

- **vzdálenost**

- společnou vlastností všech zdrojů záření je, že jejich dávkový příkon se snižuje se vzdáleností. Záření vycházející z bodového zdroje se bude snižovat se čtvercem vzdálenosti.

- **stínění**

- hodnota dávkového příkonu může být snížena pomocí použití vhodného stínění, protože v důsledku interakce záření s hmotou dochází k absorpci energie tohoto záření. Optimální tloušťka stínění závisí na energii záření a aktivitě zdroje záření.

Program monitorování

Program monitorování má podle způsobu a rozsahu nakládání se zdroji ionizujícího záření nebo s radioaktivními odpady zpravidla tyto části:

- a) monitorování pracoviště,
- b) osobní monitorování,
- c) monitorování výpustí,
- d) monitorování okolí

Program monitorování musí být navržen takovým způsobem a v takovém rozsahu, aby za provozu pracoviště umožňoval ověření požadavků limitování ozáření. Dále aby prokázal, že radiační ochrana je optimalizována, a zajistil další požadavky na bezpečný provoz pracovišť, zejména včasné zjištění odchylek od běžného provozu.

Monitorování se podle povahy věci navrhuje a zavádí buď jako rutinní, to je kontinuální nebo periodické, nebo jako operativní při určité činnosti s cílem zhodnotit a zajistit přijatelnost této činnosti z hlediska systému limitování. Dojde-li ke změnám v uspořádání pracoviště, ve zdrojích ionizujícího záření, způsobu a podmínkách naklá-

dání s nimi nebo ke změnám v monitorovacích metodách, program monitorování se aktualizuje.^[14]

- **monitorování pracoviště**

- monitorování pracoviště je sledování veličin charakterizujících pole ionizujícího záření (dávkový příkon, příkon ekvivalentní dávky)
- výskyt radionuklidů na pracovišti (povrchová kontaminace, objemová aktivita vzduchu)
 - kontrola výskytu radionuklidů se provádí za účelem kontroly dostatečné funkce jednotlivých fyzických ochranných bariér zabráňujících šíření radioaktivních látek. Monitorování pracoviště se zavádí vždy u pracovišť s otevřenými zdroji IZ klasifikovanými jako velmi významné zdroje.

- **osobní monitorování**

- osobní monitorování slouží k určení osobních dávek sledováním, měřením a hodnocením zevního a vnitřního ozáření.
- každá osoba vstupující do kontrolovaného pásma, respektive pracující mimo kontrolované pásmo se zdroji ionizujícího záření, musí být vybavena osobními dozimetry. Osobní dozimetr se nosí na stanoveném referenčním místě, zpravidla na levé straně hrudi (obvykle nejvíce ozařovaném místě těla). Použitý dozimetr musí umožňovat odhad efektivní a ekvivalentní dávky, a to od všech druhů záření, jež se na ozáření podílí.

1.4 Radiační ochrana na pracovišti PET-CT oddělení nukleární medicíny FN Plzeň-Lochotín

Na oddělení nukleární medicíny ve FN Plzeň-Lochotín se na PET-CT pracovišti aplikují všechny způsoby zajištění radiační ochrany. Stavební úpravy a vybavení pracoviště jsou voleny tak, aby byla zajištěna dostatečná ochrana personálu i ostatních osob, které se zde pohybují. PET-CT vyšetřovna má narozdíl od jiných pracovišť s ionizujícím zářením zesílené zdi ze želožobetonu s 50 mm silnou barytovou omítkou. Personál vchází do vyšetřovny tzv. labyrintem (Obr. 1), který zajišťuje ochranu stíněním i při otevřených dveřích. Vchod do vyšetřovny je umístěn tak, aby nedocházelo k ozařování ostatních pracovníků oddělení.

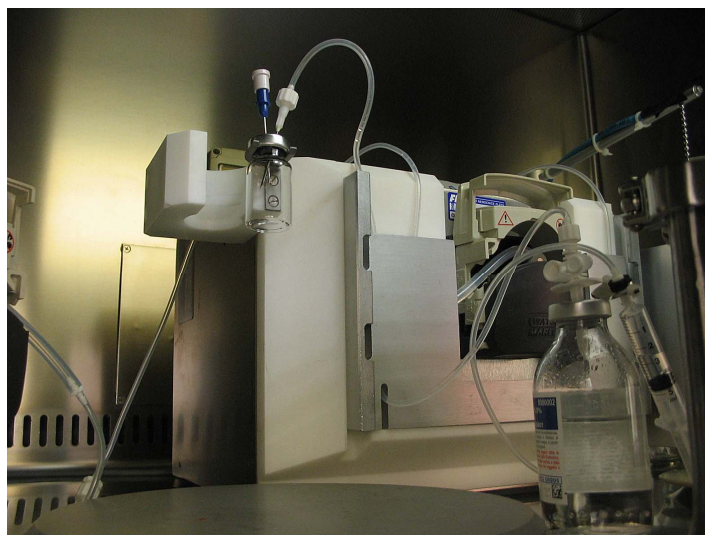


Obr. 1 Labyrint na vstupu do PET-CT vyšetřovny

Nemocní čekají po aplikaci radiofarmaka (FDG) na vyšetření v čekárně umístěné tak, aby běžný provoz pracoviště nezasahoval do tohoto prostoru. Pokud je v čekárně více pacientů, jsou před vzájemným ozařováním chráněni stínícími olověnými stěnami.

Správná organizace práce umožňuje vyvarovat se zbytečnému kontaktu s nemocnými po aplikaci radiofarmaka a zkrátit nutný kontakt s nemocným během vyšetření na dobu nezbytně nutnou – ochrana časem.

Při práci s otevřeným radionuklidem hrozí nebezpečí zevní i vnitřní kontaminace a také nebezpečí zvýšené radiační zátěže rukou při manipulaci s radiofarmakem, proto je nezbytné použití ochranných pomůcek manipulačních, stínících, jako jsou wolframová pouzdra na injekční stříkačky nebo laminární box pro přípravu FDG (Obr. 2 znázorňuje používaný box Manipulation Cell Mod. NMC 1/50-50 VF firmy TEMA SINERGIE), wolframové kontejnery pro její přepravu (Obr. 3) a osobních (olověné zástěry, brýle). Důležitá jsou také režimová opatření, která zakazují v kontrolovaném pásmu jíst a pít s cílem zabránit vnitřní kontaminaci pracovníků radionuklidy.



Obr. 2 Vnitřní uspořádání aparatury v laminárním boxu

Na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Plzeň-Lochotín používají všichni pracovníci kategorie A termoluminiscenční (TLD) osobní dozimetry a prstenové dozimetry pro měření ekvivalentní dávky rukou.

K operativní detekci fotonového záření se používají elektronické osobní dozimetry řady DMC 2000, které umožňují měření, ukládání a zobrazení osobních dávek pracovníků vystavených působení ionizujícího záření v reálném čase. Signalizují překročení nastavených prahů kumulovaných osobních dávkových ekvivalentů Hp(10) a

Hp (0,07), jejich dávkových příkonů a časového intervalu. Dozimetry mohou být používány ve dvou režimech: autonomní pracovní režim dovoluje užívání dozimetrů typu DMC 2000 samostatně bez jakéhokoliv dalšího vybavení, systémový pracovní režim dovoluje užívání dozimetrů v dozimetrických systémech, které obsahují další vybavení, jež umožňuje počítačové zpracování výsledků, jako jsou čtečky dozimetrů a potřebný software.



Obr. 3 Kontejner pro přepravu fluorodeoxyglukózy

Dalším vyhodnocovacím systémem v oblasti detekce ionizujícího záření je na oddělení nukleární medicíny FN Plzeň Lochotín radiační monitorovací síť. Je určena k monitorování příkonu fotonového dávkového ekvivalentu na různých místech pracoviště v reálném čase stacionárními detekčními sondami a k přenosu naměřených hodnot do jednoho řídicího centra na pracovištích s ionizujícím zářením. Ve spojení s osobním počítačem umožňuje archivaci měřených hodnot zejména pro potřeby vyhodnocení radiační hygieny na daném pracovišti.

Ke kontrole povrchové kontaminace pracovníků oddělení během práce a po jejím skončení se používá radiometr ESM FHT LX Hand and Foot Monitor firmy THERMO Electron Corporation (Obr. 4).



Obr. 4 Radiometr pro kontrolu vnitřní kontaminace pracovníků

2 Cíle práce a hypotézy

Cílem práce je porovnání radiační zátěže personálu oddělení nukleární medicíny FN Plzeň-Lochotín před a po zavedení metodiky PET-CT.

Hypotéza: po zavedení metodiky PET-CT nedošlo k nárůstu radiační zátěže personálu na oddělení.

3 Metodika

Sledovaný soubor tvořily dvě kategorie pracovníků oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice Plzeň-Lochotín, lékaři a radiologičtí asistenti, resp. hodnoty osobních měsíčních dávkových ekvivalentů Hp (10) těchto kategorií pracovníků.

Podkladem k získání údajů potřebných k ověření hypotézy byla měsíční vyhodnocení dávek zevního ozáření jednotlivých pracovníků zpracovaná Celostátní službou osobní dozimetrie v Praze.

Porovnávala jsem hodnoty osobních dávkových ekvivalentů Hp (10) získaných vyhodnocením osobních termoluminiscenčních (TLD) dozimetrů jednotlivých pracovníků v období před zavedením metodiky PET-CT, v období provizorního provozu, kdy byl hybridní přístroj PET-CT dočasně instalován v prostorách oddělení z hlediska radiační ochrany pouze přizpůsobených, a nakonec v období po přestěhování oddělení NM do nové účelově projektované budovy. Období provizorního provozu trvalo pouze 7 měsíců a navazovalo na první sledovací období (období před zavedením metodiky PET-CT), jehož délku jsem stanovila na 12 měsíců. Také třetí sledovací období (období v definitivním umístění) trvalo 12 měsíců a jeho začátek jsem posunula o sedm měsíců od konce období provizoria s cílem eliminovat případné přechodné zvýšení radiační zátěže v průběhu zaškolování personálu.

Na jednom vyšetření se často podílí více pracovníků téže profese. Stává se tak jak při zaškolování nových pracovníků, při zavádění nových postupů a u nemocných v těžkém stavu či u dětí, tak i z důvodu plánované i operativní dělby činností. Vzhledem k tomu, že není možné zjistit jmenovitě podíl jednotlivých pracovníků na každém konkrétním vyšetření, bylo nutno při vyhodnocování radiační zátěže personálu pracovat se součtem naměřených osobních dávkových ekvivalentů všech pracovníků oddělení. Pracovala jsem proto se součtem změřených dávkových ekvivalentů Hp (10) za jednotlivé měsíce sledovacích období vždy pro celou kategorii pracovníků. Abych eliminovala vliv různého počtu výkonů provedených na oddělení během sledovacích období, přepočítala jsem tyto hodnoty na jeden provedený výkon.

Během sledovaného období se měnil počet pracovníků na oddělení – v souvislosti se zavedením metodiky PET-CT nastoupili na oddělení tři lékaři a tři radiologičtí asistenti. Proto jsem hodnoty kolektivního dávkového ekvivalentu vztaženého na jeden výkon dělila počtem pracovníků té které kategorie zaměstnaných na oddělení v daném období. Získané hodnoty průměrného měsíčního dávkového ekvivalentu vztaženého na jeden provedený výkon u pracovníků obou kategorií byly pak použity pro statistické zpracování. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) byly vyhodnoceny odděleně pro skupinu lékařů a asistentů, aby bylo možno porovnat radiační zátěž pracovníků těchto dvou profesí.

Výsledky získané vyhodnocením jsou uspořádány do tabulek a pro lepší přehlednost též do grafů. Hodnoty průměrných dávkových ekvivalentů vztažených na jeden výkon v období před zavedením metodiky PET-CT a po instalaci přístroje v definitivním umístění jsem porovnála statisticky metodou dvojvýběrového t-testu.

4 Výsledky

4.1 Výsledky osobní dozimetrie

Hodnoty osobních dávkových ekvivalentů Hp (10) jsem zapsala do tabulek. Pro výpočty jsem použila tabulkový kalkulátor Microsoft Excel.

Zaznamenávala jsem hodnoty naměřených dávkových ekvivalentů Hp (10) jednotlivých pracovníků vždy za jednotlivé měsíce příslušného sledovacího období. Hodnoty pro obě kategorie pracovníků (lékaře a radiologické asistenty) jsem vyhodnotila odděleně, aby je bylo možné porovnat. Výstupem je kolektivní dávkový ekvivalent^[7] pracovníků jednotlivých kategorií za příslušná sledovací období. Z hlediska statistického zpracování bylo nutné do vyhodnocení zahrnout všechny zaměstnance. Důvodem je skutečnost, že lze sice zpětně dohledat v lékařské dokumentaci každého pacienta pro dané vyšetření konkrétní personální účast pracovníků, nelze ale celkově zpětně ze žádné databáze zjistit statisticky podíl jednotlivých pracovníků na jednotlivých druzích diagnostických vyšetření. Činnost oddělení je z důvodu rovnoměrnosti rozložení expozic mezi všechny pracovníky oddělení organizována tak, že se pracovníci během jednoho sledovacího období podílejí na všech hlavních druzích vyšetření (střídají se v týdenních cyklech). Nejsou tedy k dispozici datové podklady k oddělení celkového podílu expozic z PET-CT vyšetření od expozic z ostatního provozu, tj. SPECT diagnostiky, natož dokonce na oddělení expozic z jednotlivých konkrétních druhů vyšetření.

Počty výkonů provedených na pracovišti v jednotlivých měsících příslušných sledovacích období jsou uvedeny v samostatných tabulkách a součet dávkových ekvivalentů jednotlivých kategorií pracovníků za příslušná období přepočítán vždy na počet provedených výkonů.

V souvislosti se zahájením provozu PET-CT došlo k navýšení počtu pracovníků, přičemž došlo též k nárůstu kolektivního dávkového ekvivalentu. Proto jsem výsledky pro závěrečné porovnání přepočítala na dávku na jednoho pracovníka příslušné kategorie.

4.1.1 Období před zavedením PET metodiky (1. 8. 2004 – 31. 7. 2005)

Tab. 1 Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) lékařů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
lékař 1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,20	0,05	0,15	0,05	0,05
lékař 2	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,18	0,05	0,16	0,18	0,05
lékař 3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,28	0,05	0,14	0,17	0,05

Tab. 2 Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) asistentů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
asistent 1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10	0,05	0,10	0,10	0,05
asistent 2	0,11	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,31	0,10	0,05
asistent 3	0,05	0,1	0,05	0,10	0,05	0,10	0,05	0,15	0,20	0,05	0,17	0,05
asistent 4	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,19	0,05	0,20	0,19	0,10

Tab. 3 Měsíční počty výkonů provedených na oddělení za jednotlivé měsíce

měsíc	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
výkony	424	550	532	630	481	554	514	559	525	518	578	464

Tab. 4 Celkové počty výkonů za sledovací období (12 měsíců)

běžné výkony	6329
PET-CT výkony	0
výkony celkem	6329

Průměrné a kolektivní dávkové ekvivalenty pro jednotlivé profese

Tab. 5 Průměrné a kolektivní měsíční dávkové ekvivalenty lékařů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
prům.	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,22	0,05	0,15	0,13	0,05
lék. celk.	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,15	0,66	0,15	0,45	0,40	0,15

Tab. 6 Průměrné měsíční dávkové ekvivalenty, celkové dávkové ekvivalenty jednotlivých lékařů a kolektivní dávkový ekvivalent lékařů za sledovací období (mSv)

	měs. prům.	celk. za sled. obd.
lékař 1	0,07	0,85
lékař 2	0,09	1,07
lékař 3	0,09	1,04
lékaři celkem		2,96

Tab. 7 Průměrné a kolektivní dávkové ekvivalenty asistentů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII
prům. as.	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,09	0,06	0,12	0,09	0,18	0,14	0,06
as. celk.	0,31	0,30	0,20	0,20	0,20	0,35	0,25	0,49	0,35	0,70	0,56	0,25

Tab. 8 Průměrné měsíční dávkové ekvivalenty, celkové dávkové ekvivalenty jednotlivých asistentů a kolektivní dávkový ekvivalent asistentů za sledovací období (mSv)

	měs. prům.	celk. za sled. obd.
asistent 1	0,07	0,85
asistent 2	0,08	0,97
asistent 3	0,09	1,12
asistent 4	0,11	1,23
asistenti		4,17

4.1.2 Provoz SPECT + PET-CT v provizoriu (1. 10. 2005 – 31. 4. 2006)

Tab. 9 Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) lékařů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	X	XI	XII	I	II	III	IV
lékař 1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,13	0,14
lékař 2	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,11	0,34
lékař 3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,12	0,15
lékař 4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
lékař 5	0,05	0,05	0,05	0,15	0,05	0,12	0,05
lékař 6	0,25	0,15	0,31	0,21	0,29	0,41	0,38

Tab. 10 Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) asistentů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	X	XI	XII	I	II	III	IV
asistent 1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,24
asistent 2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,14	0,05
asistent 3	0,13	0,05	0,18	0,05	0,12	0,10	0,12
asistent 4	0,05	0,11	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05
asistent 5	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,10	0,14
asistent 6	0,05	0,05	0,11	0,05	0,05	0,14	0,05
asistent 7	0,05	0,05	0,13	0,17	0,10	0,16	0,05

Tab. 11 Měsíční počty výkonů provedených na oddělení za jednotlivé měsíce

měsíc	X	XI	XII	I	II	III	IV
výkony	467	597	546	639	611	667	469

Tab. 12 Celkové počty výkonů za sledovací období

běžné výkony	3590
PET-CT výkony	406
výkony celkem	3996

Průměrné a kolektivní dávkové ekvivalenty pro jednotlivé profese

Tab. 13 Průměrné a kolektivní dávkové ekvivalenty lékařů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	X	XI	XII	I	II	III	IV
prům.	0,08	0,07	0,10	0,09	0,09	0,16	0,19
lék. celk.	0,50	0,40	0,61	0,56	0,54	0,94	1,11

Tab. 14 Průměrné měsíční dávkové ekvivalenty, celkové dávkové ekvivalenty jednotlivých lékařů a kolektivní dávkový ekvivalent lékařů za sledovací období (mSv)

	měs. prům.	celk. za sled. obd.
lékař 1	0,07	0,52
lékař 2	0,11	0,75
lékař 3	0,07	0,52
lékař 4	0,05	0,35
lékař 5	0,07	0,52
lékař 6	0,29	2,00
lékaři		4,66

Tab. 15 Průměrné a kolektivní dávkové ekviv. asistentů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	X	XI	XII	I	II	III	IV
prům. as.	0,06	0,06	0,09	0,08	0,07	0,11	0,10
as. celk.	0,43	0,41	0,62	0,57	0,47	0,74	0,70

Tab. 16 Průměrné měsíční dávkové ekvivalenty, celkové dávkové ekvivalenty jednotlivých asistentů a kolektivní dávkový ekvivalent asistentů za sledovací období (mSv)

	měs. prům.	celk. za sled. obd.
asistent 1	0,08	0,54
asistent 2	0,06	0,44
asistent 3	0,11	0,75
asistent 4	0,07	0,46
asistent 5	0,08	0,54
asistent 6	0,07	0,50
asistent 7	0,10	0,71
asistenti		3,94

4.1.3 Provoz SPECT + PET-CT v def. umístění (1. 1. 2007 – 31. 12. 2007)

Tab. 17 Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) lékařů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
lékař 1	0,05	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,43	0,05	0,05	0,05
lékař 2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
lékař 3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,36	0,14	0,1	0,16	0,05
lékař 4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
lékař 5	0,27	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
lékař 6	0,11	0,05	0,05	0,13	0,10	0,15	0,05	0,18	0,1	0,12	0,11	0,05

Tab. 18 Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) rad. asistentů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
asistent 1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,05	0,15	0,1	0,05	0,11	0,16	0,05
asistent 2	0,05	0,11	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,12	0,11	0,05	0,12	0,05
asistent 3	0,05	0,15	0,05	0,17	0,12	0,12	0,11	0,05	0,05	0,2	0,05	0,12
asistent 4	0,05	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,11	0,05	0,05	0,05	0,1
asistent 5	0,05	0,13	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
asistent 6	0,10	0,05	0,05	0,05	0,14	0,14	0,05	0,05	0,14	0,05	0,12	0,05
asistent 7	0,05	0,13	0,12	0,10	0,13	0,12	0,15	0,14	0,17	0,05	0,12	0,05

Tab. 19 Měsíční počty výkonů provedených na oddělení za jednotlivé měsíce

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
výkony	478	423	487	441	452	437	378	378	421	448	521	363

Tab. 20 Celkové počty výkonů za sledovací období

běžné výkony	4416
PET-CT výkony	811
výkony celkem	5227

Průměrné a kolektivní dávkové ekvivalenty pro jednotlivé profese

Tab. 21 Průměrné a kolektivní dávkové ekvivalenty lékařů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
prům.	0,10	0,06	0,05	0,06	0,06	0,08	0,05	0,12	0,14	0,07	0,08	0,05
lék. celk.	0,58	0,38	0,30	0,38	0,35	0,45	0,30	0,74	0,82	0,42	0,47	0,30

Tab. 22 Průměrné a kolektivní dávkové ekvivalenty lékařů za sledovací období (mSv)

	měs. prům.	celk. za sled. obd.
lékař 1	0,09	1,06
lékař 2	0,05	0,60
lékař 3	0,10	1,16
lékař 4	0,05	0,65
lékař 5	0,07	0,82
lékař 6	0,10	1,20
lékaři		5,49

Tab. 23 Průměrné a kolektivní dávkové ekviv. asistentů za jednotlivé měsíce (mSv)

měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
prům. as.	0,06	0,11	0,06	0,07	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,10	0,07
as. celk.	0,40	0,77	0,42	0,52	0,64	0,58	0,61	0,62	0,62	0,56	0,67	0,47

Tab. 24 Průměrné měsíční dávkové ekvivalenty, celkové dávkové ekvivalenty jednotliv. asistentů a kolektivní dávkový ekvivalent asistentů za sledovací období (mSv)

	měs. prům.	celk. za sled. obd.
asistent 1	0,08	0,97
asistent 2	0,07	0,86
asistent 3	0,10	1,24
asistent 4	0,07	0,81
asistent 5	0,06	0,68
asistent 6	0,08	0,99
asistent 7	0,11	1,33
asistenti		6,88

4.2 *Vyhodnocení výsledků osobní dozimetrie*

4.2.1 Počty výkonů provedených na pracovišti a počty pracovníků

Za jednotlivá sledovací období bylo provedeno na oddělení nukleární medicíny

- za 12 měsíců období před zavedením metodiky PET-CT (1. 8. 2004 – 31. 7. 2005) celkem 6329 výkonů
 - průměrný měsíční počet výkonů byl 527
- za 7 měsíců období provozu SPECT a PET-CT v provizoriu (1. 10. 2005 – 31. 4. 2006) celkem 3996 výkonů, z toho 406 PET-CT výkonů, tj. 10 % celkového počtu výkonů
 - průměrný měsíční počet výkonů byl 571
- za 12 měsíců období provozu SPECT a PET-CT v definitivním umístění (1. 1. 2007 – 31. 12. 2007) bylo provedeno 5227 výkonů, z toho 811 PET-CT výkonů, tj. 16 % z celkového počtu výkonů
 - průměrný měsíční počet výkonů byl 436

V souvislosti se zavedením metodiky PET-CT byl navýšen počet zaměstnanců na oddělení. Počet lékařů se zvýšil z 3 na 6 a počet laborantů se zvýšil ze 4 na 7. S navýšením počtu zaměstnanců došlo k navýšení kolektivní dávky. Vzhledem k této skutečnosti bylo třeba kolektivní dávkové ekvivalenty lékařů i asistentů přepočítat vždy na jednoho pracovníka.

4.2.2 Srovnání naměřených dávkových ekvivalentů za jednotlivá období pro lékaře a radiologické asistenty

Vypočtené hodnoty jsou přehledně uvedeny v tabulkách na str. 36. Grafické srovnání zjištěných hodnot je uvedeno v kapitole 4.4. Kolektivní a průměrné dávkové ekvivalenty pracovníků jednotlivých profesí jsou vyneseny vždy do samostatných grafů. Vyhotovala jsem pouze grafy průměrných ročních dávkových ekvivalentů vztažených na 1 výkon, grafy měsíčních hodnot by poskytovaly zavádějící představu s ohledem na rozdílný začátek jednotlivých sledovacích období vzhledem k období dovolených a svátků.

Tab. 25 Srovnání měsíčních kolektivních dávkových ekvivalentů lékařů vztažených na jeden výkon a dávkových ekvivalentů vztažených na 1 lékaře a 1 výkon za jednotlivé měsíce sledovacích období (nSv)

<i>před PET</i>	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	prům.
3 lékaři	472	273	282	238	312	361	292	1	286	869	692	323	465
pr. 1 lék.	157	91	94	79	104	120	97	394	95	290	231	108	155
<i>PET</i>	X	XI	XII	I	II	III	IV						prům.
6 lékařů	1	670	1	876	884	1	2						1 199
pr. 1 lék.	178	112	186	146	147	235	394						200
<i>PET def.</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	prům.
6 lékařů	1	898	616	862	774	1	794	1	1	938	902	826	1 063
pr. 1 lék.	202	150	103	144	129	172	132	326	325	156	150	138	177

Tab. 26 Srovnání měsíčních kolektivních dávkových ekvivalentů radiologických asistentů vztažených na jeden výkon a dávkových ekvivalentů vztažených na 1 asistenta a 1 výkon za jednotlivé měsíce sledovacích období (nSv)

<i>před PET</i>	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	prům.
4 asist.	731	545	376	317	416	632	486	877	667	1 351	969	539	659
pr. 1 as.	183	136	94	99	104	158	122	219	167	319	242	135	165
<i>PET prov.</i>	X	XI	XII	I	II	III	IV						prům.
7 asist.	921	687	1 136	892	769	1 109	1 493						1 001
pr. 1 as.	132	98	162	127	110	158	213						143
<i>PET def.</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	prům.
7 asist.	837	1 820	862	1 179	1 416	1 327	1 614	1 640	1 473	1 250	1 286	1 295	1 333
pr. 1 as.	120	260	123	168	202	190	231	234	210	179	184	185	190

4.2.3 Celkové vyhodnocení

Tab. 27 Srovnání počtu pracovníků, kolektivního dávkového ekvivalentu vztaženého na jeden výkon a průměrného dávkového ekvivalentu na 1 pracovníka a 1 výkon (nSv)

	počet lékařů	prům. dávkový ekvivalent na 1 lék. a 1 výkon	počet asist.	prům. dávkový ekvivalent na 1 as. a 1 výkon	kol. dáv. ekv. lék. na 1 výkon	kol. dáv. ekv. as. na 1 výkon
před PET-CT	3	155	4	165	465	659
proviz. PET-CT	6	200	7	143	1 199	1 001
PET-CT def.	6	177	7	190	1 063	1 333

Tab. 28 Srovnání počtu pracovníků, kolektivního dávkového ekvivalentu vztaženého na jeden výkon a průměrného dávkového ekvivalentu na 1 pracovníka a 1 výkon (%)

	počet lékařů	prům. dávkový ekvivalent na 1 lék. a 1 výkon	počet asist.	prům. dávkový ekvivalent na 1 as. a 1 výkon	kol. dáv. ekv. lék. na 1 výkon	kol. dáv. ekv. as. na 1 výkon
před PET-CT	100 %	100 %	100	100 %	100 %	100 %
proviz. PET-CT	200 %	129 %	175	87 %	258 %	152 %
PET-CT def.	200 %	114 %	175	116 %	229 %	202 %

Z vyhodnocení výsledků osobní dozimetrie vyplývá, že se na pracovišti oddělení nukleární medicíny po zavedení metodiky PET-CT zvýšila celková hodnota naměřeného měsíčního dávkového ekvivalentu přibližně na dvojnásobek (u lékařů na 229 %, u asistentů na 202 %) při současném zdvojnásobení počtu lékařů na oddělení a navýšení počtu asistentů ze 4 na 7. Za těchto okolností lze konstatovat, že se jen velmi mírně zvýšila průměrná radiační zátěž vztažená na jednoho pracovníka a výkon (s výjimkou poklesu průměrné zátěže u radiologických asistentů v období sedmiměsíčního provozu skeneru v provizorních prostorách). Významnost tohoto nárůstu bylo třeba posoudit statisticky, výpočet jsem provedla v kapitolách 4.3.1 a 4.3.2. Období provozu v provizoriu nebylo statisticky posuzováno.

Z výsledků současně vyplývá, že radiační zátěž obou kategorií pracovníků, tj. lékařů i radiologických asistentů, se příliš neliší – poněkud větší efektivní dávku obdrželi v období před zavedením a v období po zavedení metodiky PET-CT již

v definitivním umístění v nové budově oddělení nukleární medicíny radiologičtí asistenti; v období provizorního provozu PET-CT skeneru ve starých prostorách tomu bylo naopak. Statistická významnost rozdílu mezi obdrženyými dávkami pro obě kategorie pracovníků nebyla posuzována, neboť obě kategorie pracovníků nejsou z hlediska radiační zátěže zcela srovnatelné. Lékaři i radiologičtí asistenti vykonávají v průběhu vyšetření jinou činnost a z toho vyplývá i jiné rozložení dávky (větší zátěž rukou u lékařů, kteří aplikují radiofarmakum nemocnému).

4.3 *Statistické zpracování výsledků vyhodnocení osobní dozimetrie*

K ověření hypotézy práce jsem použila dvojnásobný t-test pro testování hypotézy o rovnosti středních hodnot na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Předpokladem k užití tohoto testu je normální rozdělení hodnot a přibližně stejné rozptyly σ_1^2 a σ_2^2 obou souborů.

Hypotézou práce je, že po zavedení metodiky PET-CT na oddělení nukleární medicíny se radiační zátěž personálu nezměnila. Ke statistickému zpracování jsem vybrala dvanáctiměsíční období před zavedením metodiky PET-CT a dvanáctiměsíční období po zavedení metodiky PET-CT v definitivním umístění PET-CT skeneru. Přechodné období nebylo statisticky zpracováno.

Budu tedy srovnávat střední hodnoty dávkových ekvivalentů Hp (10) obdrženyých pracovníky obou kategorií (lékařů a radiologických asistentů) za jednotlivé měsíce příslušných sledovacích období vztahované vždy na jednoho pracovníka a jeden výkon. Hodnoty pro období před zavedením metodiky PET jsou označeny indexem 1, pro období po zavedení této metodiky indexem 2.

4.3.1 *Statistické srovnání dávkových ekvivalentů lékařů*

Vypočetla jsem střední hodnoty dávkových ekvivalentů pro obě srovnávaná období:

Střední hodnota dávkových ekvivalentů před zavedením metodiky PET-CT je

$$\mu_1 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1860}{12} = 155,00,$$

střední hodnota dávkových ekvivalentů po zavedení metodiky je PET v definitivním umístění je

$$\mu_2 = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{2127}{12} = 177,25.$$

Rozptyl hodnot v období před zavedením metodiky PET-CT je

$$\sigma_1'^2 = \frac{1}{n-1} \sum n_i (x_i - \mu_1)^2 = \frac{1}{12-1} \sum (x_i - 155)^2 = 9792,6,$$

v období po zavedení této metodiky

$$\sigma_2'^2 = \frac{1}{n-1} \sum n_i (y_i - \mu_2)^2 = \frac{1}{12-1} \sum (y_i - 177,25)^2 = 5369,8$$

Nyní jsem ověřila rovnost rozptylů. Stanovila jsem nulovou a alternativní hypotézu:

$$H_0: \sigma_1'^2 = \sigma_2'^2$$

$$H_a: \sigma_1'^2 > \sigma_2'^2$$

Pro ověření rovnosti rozptylů jsem použila dvojnásobný F-test

$$F_{\text{exp}} = \frac{\sigma_1'^2}{\sigma_2'^2} = \frac{9792,6}{5369,8} = 1,8236$$

Kritický obor:

$$W = \langle F_{n_1-1, n_2-1}(\alpha), \infty \rangle$$

Ve statistických tabulkách kritických hodnot F-testu jsem našla pro $n_1 - 1 = 11$, $n_2 - 1 = 11$ a hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ hodnotu $F = 2,85$.

$$W = \langle 2,85, \infty \rangle$$

Jelikož $F_{\text{exp}} \notin W$, přijala jsem nulovou a zamítla alternativní hypotézu. Mezi rozptyly obou souborů není statisticky významný rozdíl a ke srovnání středních hodnot lze použít dvojnásobný t-test.

Stanovila jsem nulovou a alternativní hypotézu:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Experimentální t kritérium pro dvojvýběrový t -test:

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1 - 1)\sigma_1'^2 + (n_2 - 1)\sigma_2'^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{155 - 177,25}{\sqrt{(12 - 1)9792,6 + (12 - 1)5369,8}} \sqrt{\frac{12 \cdot 12 (12 + 12 - 2)}{12 + 12}} = -0,6262$$

Kritický obor W :

$$W = (-\infty, -t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2)) \cup (t_{n_1+n_2-2}(\alpha/2), \infty).$$

Kritickou hodnotu t -testu jsem vyhledala ve statistických tabulkách;^[4] pro hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ a počet stupňů volnosti $n_1 + n_2 - 2 = 22$ jsem našla hodnotu $t = 2,07$. Kritický obor je tedy v našem případě

$$W = (-\infty, -2,07) \cup (2,07, \infty)$$

Jelikož $t_{\text{exp}} \notin W$, přijímám nulovou hypotézu a zamítám hypotézu alternativní.

Po zavedení metodiky PET-CT nedošlo u lékařů oddělení nukleární medicíny ke statisticky významnému nárůstu měsíčních dávkových ekvivalentů Hp (10) vztažených na jednoho lékaře a výkon.

4.3.2 Statistické srovnání dávkových ekvivalentů radiologických asistentů

Vypočteme střední hodnoty dávkových ekvivalentů pro obě srovnávaná období:

Střední hodnota dávkových ekvivalentů před zavedením metodiky PET-CT je

$$\mu_1 = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1978}{12} = 164,83,$$

střední hodnota dávkových ekvivalentů po zavedení metodiky PET-CT je

$$\mu_2 = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{2286}{12} = 190,50.$$

Rozptyl hodnot dávkových ekvivalentů před zavedením metodiky PET-CT je

$$\sigma_1'^2 = \frac{1}{n-1} \sum n_i (x_i - \mu_1)^2 = \frac{1}{12-1} \sum (x_i - 164,83)^2 = 4513,24,$$

po zavedení této metodiky

$$\sigma_2'^2 = \frac{1}{n-1} \sum n_i (y_i - \mu_2)^2 = \frac{1}{12-1} \sum (y_i - 190,50)^2 = 1737,55.$$

Je třeba ověřit rovnost rozptylů. Stanovila jsem nulovou a alternativní hypotézu:

$$H_0: \sigma_1'^2 = \sigma_2'^2$$

$$H_a: \sigma_1'^2 > \sigma_2'^2$$

Pro ověření rovnosti rozptylů jsem použila dvojnásobný F-test

$$F_{\text{exp}} = \frac{\sigma_1'^2}{\sigma_2'^2} = \frac{4513,24}{1737,55} = 2,5975$$

Kritický obor:

$$W = \langle F_{n_1-1, n_2-1}(\alpha), \infty \rangle$$

Ve statistických tabulkách kritických hodnot F-testu jsem našla pro $n_1 - 1 = 11$, $n_2 - 1 = 11$ a hladinu významnosti $\alpha = 0,05$ hodnotu $F = 2,85$.

$$W = \langle 2,85, \infty \rangle$$

Jelikož $F_{\text{exp}} \notin W$, přijímám nulovou hypotézu a zamítám hypotézu alternativní. Mezi rozptyly obou souborů není statisticky významný rozdíl. Pro posouzení rovnosti středních hodnot jsem opět použila t-test.

Stanovila jsem nulovou a alternativní hypotézu:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Vypočítala jsem experimentální t kritérium pro dvojnásobný t-test:

$$t_{\text{exp}} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{(n_1-1)\sigma_1'^2 + (n_2-1)\sigma_2'^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

$$t_{\text{exp}} = \frac{164,83 - 190,50}{\sqrt{(12-1)4513,24 + (12-1)1737,55}} \sqrt{\frac{12 \cdot 12 (12 + 12 - 2)}{12 + 12}} = -1,1247$$

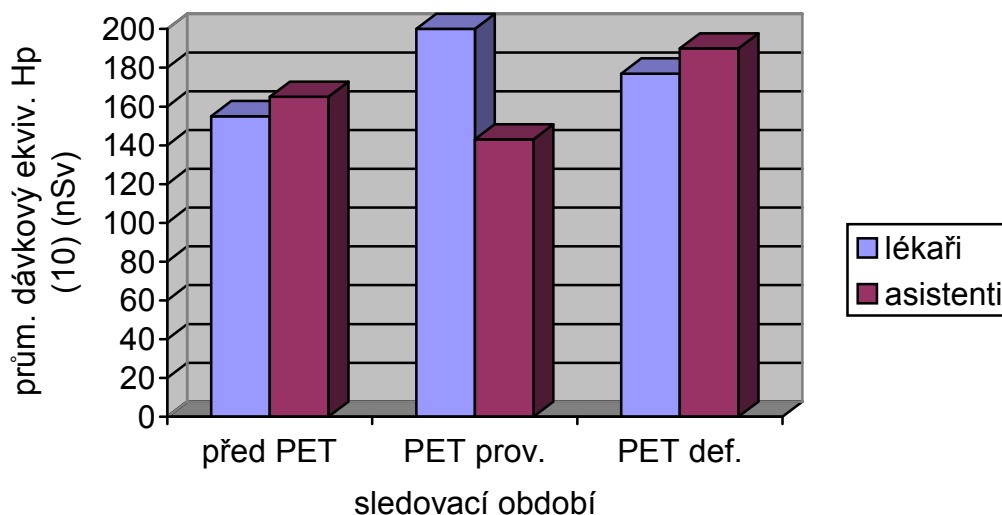
Kritický obor W je opět

$$W = (-\infty, -2,07) \cup \langle 2,07, \infty \rangle$$

Jelikož $t_{\text{exp}} \notin W$, přijímám nulovou hypotézu a zamítám hypotézu alternativní.

Po zavedení metodiky PET-CT nedošlo ani u radiologických asistentů oddělení nukleární medicíny ke statisticky významnému nárůstu dávkových ekvivalentů Hp (10) vztažených na jednoho radiologického asistenta a výkon.

4.4 Grafické porovnání dávkových ekvivalentů pro jednotlivá období a kategorie pracovníků



Graf 1 Srovnání dávkových ekvivalentů $H_p(10)$ lékařů a radiologických asistentů vztahovaných na 1 pracovníka a 1 výkon v jednotlivých sledovacích obdobích

Z grafu je patrný nevýznamný nárůst dávkových ekvivalentů $H_p(10)$ vztahovaných na jednoho pracovníka a výkon po zahájení provozu PET-CT v nové budově oddělení. Dále je zřejmé, že v přechodném období došlo k většímu nárůstu této hodnoty u lékařů. Navzdory navýšení počtu lékařů po zahájení provozu PET-CT se domnívám, že nárůst dávky lékařů v tomto období mohl být způsoben teprve postupnou adaptací lékařů na odlišný způsob aplikace FDG oproti běžným radiofarmakům nemocným a na potřebu seznámit se s používanými ochrannými pomůckami. Pokles hodnot u radiologických asistentů si vysvětluji jako důsledek navýšení jejich počtu při současně ještě nízkém procentu PET-CT vyšetření v rámci provozu v provizoriu.

5 Diskuse

Cílem této práce bylo posoudit vliv zavedení metodiky PET-CT na radiační zátěž personálu oddělení nukleární medicíny FN Plzeň-Lochotín. Je však třeba si uvědomit, že PET-CT skener nebyl instalován náhradou za jiné zařízení do původních prostor oddělení, nýbrž jako nové zařízení rozšiřující kapacitu a kvalitativní spektrum prováděných vyšetření do nové budovy (s výjimkou krátkého období provozu v provizorních prostorách), kam se přemístilo celé oddělení nukleární medicíny. Nelze tedy posoudit samotný vliv zavedení této metodiky na radiační zátěž personálu, neboť se současně změnily i celkově podmínky pro ostatní výkony na oddělení. Změnila se tak zcela situace. Došlo ke změně nejen v rozšíření o PET-CT diagnostiku, ale i v úrovni radiační ochrany a došlo i ke změnám v organizaci práce. Dále je třeba připomenout, že v souvislosti se zavedením nové metodiky byl navýšen počet zaměstnanců oddělení. Počet radiologických asistentů se zvýšil ze čtyř na sedm a došlo také k významnému nárůstu počtu lékařů – počet se zdvojnásobil ze tří na šest lékařů. Všech šest lékařů se podílí a střídá při práci s pacienty při diagnostice PET (3 radiologové s CT specializací a 3 lékaři se specializací NM), ale na ostatním NM provozu se podílí jen původní lékaři NM. Vzhledem k nárůstu ročního kolektivního dávkového ekvivalentu pracovníků po zavedení PET-CT přibližně na dvojnásobek lze s vysokou pravděpodobností předpokládat, že k nárůstu jejich radiační zátěže došlo v důsledku zavedení této diagnostiky. Tento předpoklad však není možné z dostupných dat v rámci této práce ověřit.

Pro potřeby této práce nebylo možné získat údaje o době strávené zaměstnanci v pracovní neschopnosti či na dovolené. Myslím, že toto zanedbání nemělo na výsledek vliv. Žádný ze zaměstnanců nebyl v průběhu sledovacích období nemocný dlouhodobě.

Nejmenší měřitelnou hodnotou dávkového ekvivalentu Hp (10) je při použití TLD 0,1 mSv/měsíc. Z hlediska výpočtů byl jistým problémem poměrně velký počet podprahových měření. Za podprahové výsledky (hodnoty Hp (10) < 0,1 mSv) jsem dosadila hodnotu 0,05 mSv (s ohledem na normální rozdělení).

Určitým metodickým problémem při přepočtu dávek se stala skutečnost, že je třeba rozlišovat mezi vyšetřením a výkonem. Vyšetření nemocného může sestávat z několika výkonů. Situace se komplikuje tím, že ne každému výkonu je přítomen pracovník aplikující radiofarmakum. Pro zcela přesné vyhodnocení radiační zátěže v přepočtu na počet výkonů či vyšetření by bylo třeba provést rozsáhlou studii s použitím elektronické operativní dozimetrie a zaznamenávat konkrétní podíl každého pracovníka na příslušném výkonu. To však nebylo v rámci této práce proveditelné.

Z výsledků práce vyplývá, že po zavedení metodiky PET-CT na pracovišti NM FN Plzeň-Lochotín nedošlo ke statisticky významnému nárůstu průměrného dávkového ekvivalentu Hp (10) lékařů ani radiologických asistentů. Zvýšila se kolektivní dávka, avšak při současném navýšení počtu pracovníků. Pokud by nedošlo k tomuto personálnímu posílení pracoviště, průměrná radiační zátěž jednoho pracovníka by se téměř s jistotou po zavedení metodiky PET-CT zvýšila. Tuto hypotézu však není možné matematicky v rámci této práce potvrdit, z uvedených skutečností je však tento závěr přirozeně vyplývající. Větší nárůst kolektivní dávky u lékařů je dán tím, že lékaři jsou bezprostředně v kontaktu s radiofarmakem při aplikaci pacientovi, kdežto radiologičtí asistenti následně pak jsou s pacientem v kontaktu standardním způsobem a mají možnost uplatňovat radiační ochranu zkrácováním doby pobytu s pacientem.

Výsledky mé práce jsem měla možnost srovnat s daty poskytnutými Ing. Jaroslavem Ptáčkem z Kliniky nukleární medicíny LF a FN Olomouc^[12] a Ing. Pavlem Mácou z PET centra Nemocnice Na Homolce^[8] a s údaji ze zahraniční literatury.^[3]

Aby bylo možné porovnat radiační zátěž pracovníků jednotlivých nemocnic, bylo třeba přepočítat výsledky uvedené v hodnotách dávkového ekvivalentu Hp (10) na hodnoty efektivní dávky. Pro přepočet jsem zvolila koeficient $k = 0,9$ používaný k výpočtům efektivní dávky Celostátní službou osobní dozimetrie (dle ICRP 74).^[2]

$$E = Hp (10) \times 0,9$$

Hodnoty získané přepočtem ročních kolektivních dávkových ekvivalentů na kolektivní efektivní dávku pracovníků oddělení nukleární medicíny plzeňské nemocnice jsou uvedeny v tabulkách na str. 45.

Tab. 29 Průměrné efektivní dávky, počty lékařů a provedených výkonů na oddělení nukleární medicíny FN Plzeň-Lochotín

	průměrná ef. dávka (mSv)	počet lékařů	počet výk. celkem	počet PET výkonů	procento PET výk.	ef. dávka na 1 výkon (nSv)
8. 04–7. 05	0,888	3	6329	0	0,00	140,31
10. 05–4. 06	0,699	6	3996	406	10,16	174,92
2007	0,8235	6	5227	811	15,52	157,55

Tab. 30 Průměrné efektivní dávky, počty radiologických asistentů a provedených výkonů na oddělení nukleární medicíny FN Plzeň-Lochotín

	průměrná ef. dávka (mSv)	počet asistentů	počet výk. celkem	počet PET výkonů	procento PET výk.	ef. dávka na 1 výkon (nSv)
8. 04–7. 05	0,93825	4	6329	0	0,00	148,25
10. 05–4. 06	0,5065714	7	3996	406	10,16	126,77
2007	0,8845714	7	5227	811	15,52	169,23

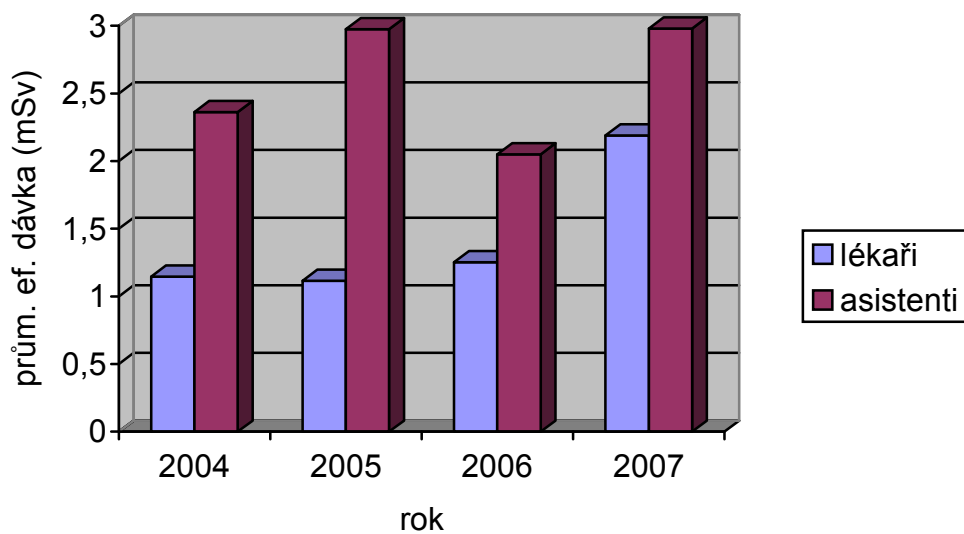
V následujících tabulkách a grafech jsou uvedeny průměrné efektivní dávky lékařů a radiologických asistentů z Kliniky nukleární medicíny LF a FN Olomouc.

Tab. 31 Průměrné efektivní dávky, počty lékařů a provedených vyšetření na Klinice nukleární medicíny LF a FN Olomouc

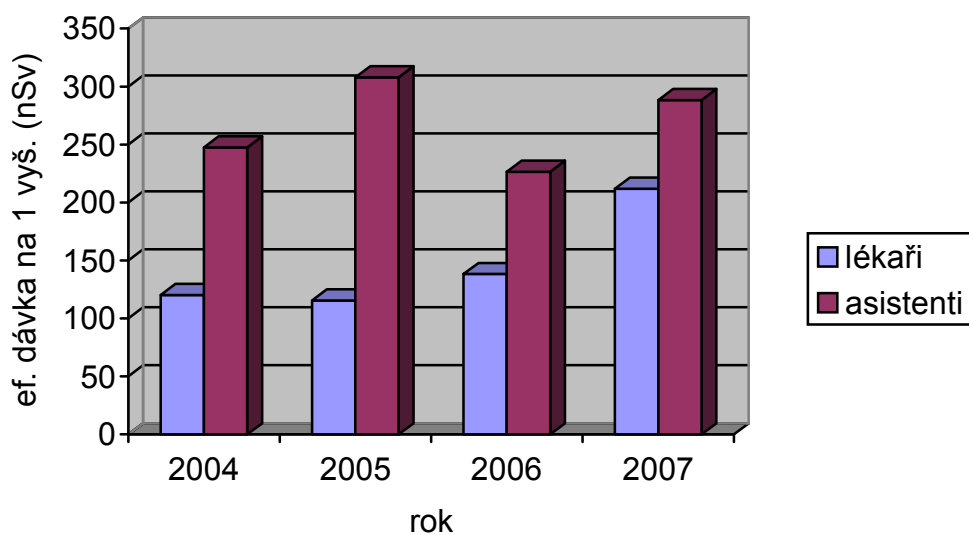
	průměrná ef. dávka (mSv)	počet lékařů	počet vyš. celkem	počet PET vyšetření	procento PET vyš.	ef. dávka na 1 vyš. (nSv)
2004	1,1471	7	9547	0	0,00	120,16
2005	1,1157	7	9659	10	0,10	115,51
2006	1,2520	10	9054	1579	17,44	138,28
2007	2,1900	10	10341	3191	30,86	211,78

Tab. 32 Průměrné roční efektivní dávky, počty radiologických asistentů a provedených vyšetření na Klinice nukleární medicíny LF a FN Olomouc

	průměrná ef. dávka (mSv)	počet asistentů	počet vyš. celkem	počet PET vyšetření	procento PET vyš.	ef. dávka na 1 vyš. (nSv)
2004	2,3618	11	9547	0	0,00	247,39
2005	2,9744	9	9659	10	0,10	307,95
2006	2,0493	14	9054	1579	17,44	226,34
2007	2,9800	13	10341	3191	30,86	288,17



Graf 2 Průměrné roční efektivní dávky na Klinice nukleární medicíny LF a FN Olomouc (plný provoz PET-CT od konce roku 2005)



Graf 3 Efektivní dávky vztážené na 1 pracovníka a vyšetření na Klinice nukleární medicíny LF a FN Olomouc (plný provoz PET-CT od konce roku 2005)

Z hodnot uvedených v tabulkách je patrný nárůst radiační zátěže u lékařů kliniky nukleární medicíny v Olomouci částečně kompenzovaný navýšením jejich počtu v období po zavedení PET-CT metodiky na pracovišti v roce 2006. Na plzeňském pracovišti nedošlo k tak výraznému nárůstu průměrných dávek lékařů jako v Olomouci. Jedním z důvodů bylo dvojnásobné navýšení jejich počtu oproti 143% navýšení počtu lékařů v Olomouci a také menší procentuelní zastoupení výkonů PET-CT na celkovém počtu provedených výkonů na plzeňském oddělení.

Z grafů není zřejmý významný rozdíl v radiační zátěži radiologických asistentů vztahované na 1 výkon. I v případě radiologických asistentů však došlo k posílení počtu pracovníků, což plně kompenzovalo vliv zvýšení počtu výkonů.

Ze srovnání údajů z oddělení NM FN Plzeň-Lochotín a kliniky NM LF a FN Olomouc vyplývá shodně nárůst kolektivní dávky lékařů a radiologických asistentů. Nárůst hodnot průměrné efektivní dávky jednoho pracovníka však byl částečně kompenzován zvýšením jejich počtu.

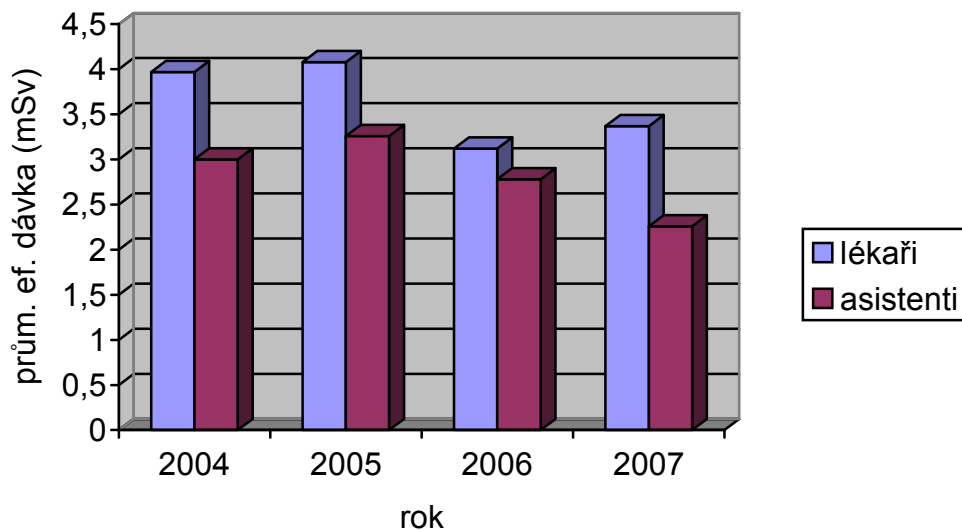
V následujících tabulkách jsou uvedeny roční průměrné efektivní dávky lékařů a radiologických asistentů a počty výkonů^[10] PET centra Nemocnice Na Homolce.

Tab. 33 Průměrné roční efektivní dávky, počty lékařů a provedených výkonů v PET centru Nemocnice Na Homolce

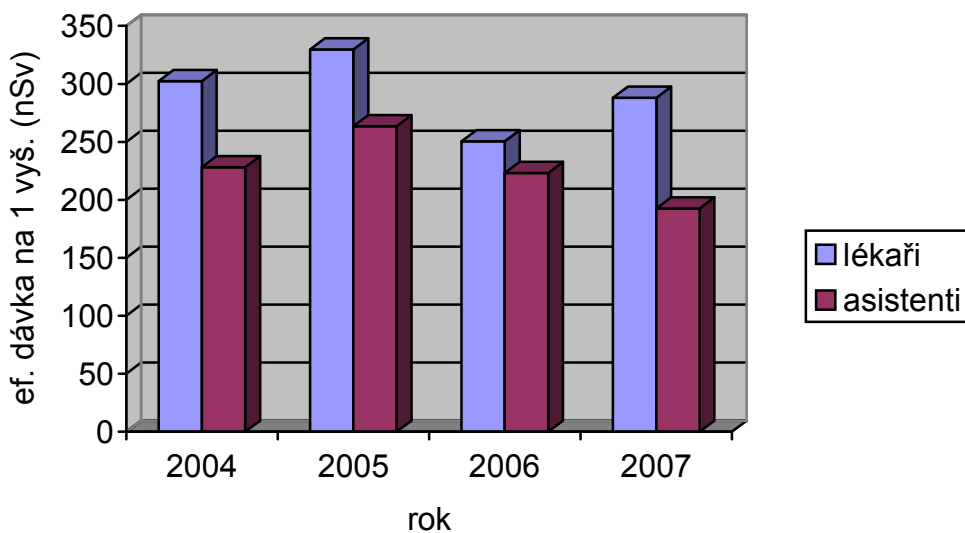
	průměrná ef. dávka (mSv)	počet lékařů	počet výk. celkem	počet PET výkonů	procento PET výk.	ef. dávka na 1 výkon (nSv)
2004	3,97	7	13142	5803	44,16	302,41
2005	4,08	7	12384	6298	50,86	329,57
2006	3,12	7	12450	6181	49,65	250,60
2007	3,37	7	11720	6196	52,87	287,91

Tab. 34 Průměrné roční efektivní dávky, počty radiologických asistentů a provedených výkonů v PET centru Nemocnice Na Homolce

	průměrná ef. dávka (mSv)	počet asistentů	počet výk. celkem	počet PET výkonů	procento PET výk.	ef. dávka na 1 výkon (nSv)
2004	3,00	17	13142	5803	44,16	228,19
2005	3,26	17	12384	6298	50,86	263,58
2006	2,78	15	12450	6181	49,65	223,29
2007	2,26	17	11720	6196	52,87	192,53



Graf 4 Průměrné roční efektivní dávky pracovníků PET centra Nemocnice Na Homolce (od r. 2004 provoz PET a PET-CT skeneru)



Graf 5 Efektivní dávky PET centra Nemocnice Na Homolce vztažené na 1 pracovníka a výkon (od r. 2004 provoz PET a PET-CT skeneru)

Vyšší kolektivní efektivní dávky pracovníků a vyšší průměrné efektivní dávky vztahované na počet výkonů u lékařů PET centra souvisí pravděpodobně s vysokým procentuelním zastoupením PET-CT vyšetření na celkovém počtu vyšetření provedených na pracovišti.

Obdobnou studii zpracoval K. Dalianis a kolektiv z PET-CT oddělení Diagnostic and Therapeutic Center of Athens HYGEIA – Harvard Medical International.^[3] Navzdory odlišné metodice této studie jako i organizaci práce na pracovišti bylo možné provést částečné srovnání. V sedmičlenném kolektivu PET-CT pracoviště jsou zastoupeni dva lékaři, dva radiologičtí asistenti, dvě zdravotní sestry a administrativní pracovnice. Radiofarmakum připravují k aplikaci zdravotní sestry, aplikaci nemocnému provádí lékaři.

Autoři sledovali efektivní a ekvivalentní dávky všech pracovníků po dobu 10 měsíců od zahájení provozu. Ze studie nepřímě vyplývá, že na popisovaném pracovišti provádí pouze PET-CT vyšetření. Pro účely srovnání uvádím efektivní dávky lékařů a radiologických asistentů. Přesný přepočít efektivních dávek na jeden provedený výkon není možný, neboť autoři studie neuvádí celkový počet provedených výkonů, pouze udávají průměrně 10–15 vyšetřených pacientů týdně.

Tab. 35 Efektivní dávky lékařů PET-CT oddělení Diagnostic and Therapeutic Center of Athens HYGEIA (mSv)

ef. dávka lék. 1 za 10 měs.	ef. dávka lék. 2 za 10 měs.	kolektivní efektivní dávka za 10 měsíců	přepočít kolektivní dávky na 12 měsíců	průměrná efektivní dávka za 10 měsíců	přepočít prům. efektivní dávky na 12 měsíců
1,45	1,67	3,12	3,744	1,56	1,872

Tab. 36 Efektivní dávky radiologických asistentů PET-CT oddělení Diagnostic and Therapeutic Center of Athens HYGEIA (mSv)

ef. dávka as. 1 za 10 měs.	ef. dávka as. 2 za 10 měs.	kolektivní efektivní dávka za 10 měsíců	přepočít kol. dávky na 12 měsíců	průměrná efektivní dávka za 10 měsíců	přepočít prům. efektivní dávky na 12 měsíců
0,70	0,64	1,34	1,608	0,67	0,804

6 Závěr

Ve své práci jsem ověřila vliv zavedení metodiky PET-CT na radiační zátěž pracovníků oddělení nukleární medicíny ve FN Plzeň-Lochotín. Výsledky mé práce ukazují, že i přes vysokou energii záření, kterému je personál při vyšetření na PET-CT vystaven, nedošlo u pracovníků ke statisticky významnému nárůstu průměrné efektivní dávky jednoho pracovníka a výkon. Došlo přibližně k dvojnásobnému nárůstu kolektivní efektivní dávky vztažené na jeden výkon u lékařů (na 229 %) i u radiologických asistentů (na 202 %), což bylo však z hlediska radiační ochrany kompenzováno současným navýšením jejich počtu.

Tyto výsledky svědčí o provedených specifických opatřeních v radiační ochraně a správné organizaci práce při vyšetřeních. Je nutno též poznamenat, že ani po zavedení PET diagnostiky na oddělení NM (bez lůžkové části s terapií štítné žlázy) nepřekračují efektivní dávky personálu hodnotu 20 % a až na výjimky jsou pod 10 % ročních hygienických limitů.

Výsledky studie posloužily v praxi k ověření účinnosti přijatých opatření v radiační ochraně pracovníků ve FN Plzeň-Lochotín a dále pak ke srovnání situace na pracovištích nukleární medicíny LF a FN Olomouc a Nemocnice na Homolce.

7 Seznam použité literatury

- [1] BĚLOHLÁVEK, Otakar, et al. *Atlas of Positron Emission Tomography – Atlas pozitronové emisní tomografie*. 1. vyd. Praha: Lacomed spol. s r. o., 2003, 72 s., ISBN 80-902873-8-7
- [2] CSOD. *Termoluminiscenční dozimetrie*. Dostupné on line: http://www.csod.cz/files/termoluminiscencni_dozimetrie.pdf. Celostátní služba osobní dozimetrie, Praha: 2007
- [3] DALIANIS, K., et al. Dosimetric evaluation of the staff working in a PET/CT department. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 569, 2006. s. 548–550. Dostupné on line: www.sciencedirect.com
- [4] HAVRÁNEK, Jiří, et al. *Základy zdravotnické statistiky*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zdravotně sociální fakulta, 2004. 100 s. ISBN 80-7040-663-1
- [5] HUŠÁK, Václav, et al. *Fyzikální základy zobrazování v nukleární medicíně a radiační ochrana*. Dostupné on line: <http://www.upol.cz/fakulty/lf/struktura/pracoviste/klinika-nuklearni-mediciny/pedagogicka-cinnost/fyzikalni-zaklady-zobrazovani-v-nuklearni-medicine-a-radiacni-ochrana>. LF Univerzity Palackého, Olomouc: 2007. Cit. 14. ledna 2009
- [6] JANEBA, D., BĚLOHLÁVEK, O. První instalace pozitronového emisního tomografu v České republice. *Česká radiologie*. Praha: 2000. Roč. 54, č. 6, s. 362–365. ISSN 1210-7883
- [7] KONEČNÝ, Jiří. *Radiační ochrana II*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zdravotně sociální fakulta, 2007. 22 s. Dostupné on line: http://www.zsf.jcu.cz/struktura/katedry/radio/informace-pro-studenty/ucebni_texty/ochrana-obyvateľstva-se-zamerenim-na-cbrne-aplikovana-radiobiologie-a-toxikologie-krizova-radiobiologie-a-toxikologie/radiacni-ochrana-ii.doc. Cit. 27. 4. 2009
- [8] Máca, Pavel. *RE: Radiační zátěž personálu*. On line. pavel.maca@homolka.cz

- [9] MARCELISOVÁ, Z.; BLÁHOVÁ, S.. Ochrana při práci s ionizujícím zářením. *Praktická radiologie*. 2007. Roč. 12, č. 4, s. 20–22. ISSN 1211-5053
- [10] Nemocnice Na Homolce. Výroční zprávy Oddělení nukleární medicíny a PET centra. Dostupné on line:
http://www.homolka.cz/cz/oddeleni_nuklearni_mediciny_-_pet_centrum/?p=2137
 Cit. 26. 4. 2009
- [11] NOVOTNÁ, Markéta. PET/CT – hybridní zobrazovací systém. *Praktická radiologie*. 2004. Roč. 9, č. 4, s. 6–8. ISSN 1211-5053
- [12] Ptáček, Jaroslav. *RE: Bakalářská práce-téma:Radiační zatížení personálu na PET-CT*. On line. Jaroslav. Ptacek@fnol.cz
- [13] SINGER, Jan; HEŘMANSKÁ, Jindřiška. Principy radiační ochrany. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zdravotně sociální fakulta, 2004. 111 s. ISBN 80-7040-708-5
- [14] SÚJB. *Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně*, ve znění pozdějších předpisů
- [15] TĚŠÍNSKÁ, Emilie; KUNZ, Emil. *Státní úřad radiační ochrany a jeho předchůdci*. In: DRÁBKOVÁ, Alena a kol. *Historie radiační ochrany v ČR*. Praha: SÚRO, 2006. 86 s. ISBN 80-239-6594-8
- [16] ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření*. Dostupné on line: <http://astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>. Cit. 20. ledna 2009
- [17] URBÁNEK, Jan, et al. *Nukleární medicína*. 4. vyd. Jilemnice: Gentiana, 2002. 154 s. ISBN 80-86527-05-0
- [18] URBANOVÁ, E.; VIŽĎA, J. Nukleární medicína: minulost, současnost a trendy do budoucna. *Praktická radiologie*. 2003. Roč. 8, č. 4, s. 4–6. ISSN 1211-5053
- [19] VOTRUBOVÁ, J., FENCL, P. Hybridní zobrazování PET-CT. *Česká radiologie*. Praha: 2004. Roč. 58, č. 5, s. 333–337. ISSN 1210-7883
- [20] VYBÍRAL, Petr. PET/CT – zobrazování hybridním přístrojem. *Praktická radiologie*. 2007. Roč. 12, č. 1, s. 31–33. ISSN 1211-5053

- [21] 50-Year Commitment to Improved Healthcare through Nuclear Medicine. *Medical Science Technology*. Dostupné on line:
<http://www.doemedicalsciences.org/pubs/sc0033/vital.shtml>. Cit. 10. dubna 2009

8 Klíčová slova

nukleární medicína, pozitronová emisní tomografie, radiační ochrana, osobní dávkový ekvivalent, program monitorování

9 Příloha

Půdorys části oddělení nukleární medicíny FN Plzeň-Lochotín s PET-CT vyšetřovnou

