

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

**Srovnání radiační zátěže pracovníků oddělení nukleární medicíny
FNHK před a po zavedení PET/CT, možnosti monitorování**

Vedoucí práce:

MUDr. Ing. Jaroslav Vížd'a

Autor:

Martina Jansová

2010

Abstract

This Bachelor Thesis deals with the radiation load of Nuclear Medicine employees of University Hospital Hradec Králové before and after the introduction of PET/CT examinations. Compared with usual examinations with gamma emitters and therapy with open beta emitters, the PET/CT examination method uses positron emitters and is carried out at the Department of Nuclear Medicine of University Hospital Hradec Králové (DNM UHHK). The use of positron emitters leads to increased demand in respect of radiation protection and work organisation. I made an evaluation of doses from personal dosimetry from 2004 until 2008 prior to the introduction of the PET/CT examination methodology; and year 2009 is subsequently assessed in respect of the situation after the introduction of PET/CT examinations. The results of doses are provided in tables. Film dosimeters and thermoluminescence (TL) ring dosimeters had been used for personal dosimetry until 2008. Digital dosimeters have been also used for personal dosimetry since 2009, and they are further included in the comparison of the received radiation doses of employees. The results were used for an evaluation of optimisation of radiation protection at the DNM UHHK.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Srovnání radiační zátěže pracovníků oddělení nukleární medicíny FNHK před a po zavedení PET/CT, možnosti monitorování“ vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

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 elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 3.5.2010

.....

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji prim. MUDr. Ing. Jaroslavu Vížd'ovi za odborné vedení a poskytnutí cenných rad při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Jiřímu Kulířovi a pracovníkům ONM FNHK za poskytnutí informací a materiálů.

Obsah

Úvod.....	7
1 Současný stav	8
1.1 Historie nukleární medicíny.....	8
1.1.1 PET – pozitronová emisní tomografie.....	9
1.1.2 Vývoj PET a PET/CT.....	9
1.1.3 Klinické využití	10
1.1.4 Radiofarmaka	10
1.1.5 Fyzikální principy PET	11
1.1.6 Hybridní systémy PET/CT.....	11
1.1.7 Rušivé jevy.....	13
1.2 Radiační ochrana	14
1.2.1 Legislativa radiace ochrany	14
1.2.2 Principy radiace ochrany	15
1.2.3 Způsoby radiace ochrany před ionizujícím zářením.....	16
1.2.4 Limity dávek záření.....	17
1.3 Kategorizace pracovišť	19
1.4 Kontrolované a sledované pásmo na pracovištích se zdroji ionizujícího záření.....	20
1.4.1 Kontrolované pásmo	20
1.4.2 Sledované pásmo.....	20
1.5 Monitorování.....	21
1.5.1 Program monitorování.....	21
1.5.2 Monitorování pracoviště.....	21

1.5.3	Osobní monitorování.....	22
1.6	Radiační ochrana na oddělení nukleární medicíny FN Hradec Králové.....	23
2	Cíle práce.....	26
2.1	Hypotéza.....	26
3	Metodika práce	27
4	Výsledky.....	29
4.1	Filmové dozimetry 2004–2009.....	30
4.2	Pistýnkové dozimetry 2004–2009	43
5	Diskuse.....	60
6	Závěr.....	65
7	Klíčová slova.....	66
8	Seznam použité literatury	67
9	Přílohy	69

Úvod

V současné době dochází k velkému rozvoji přístrojové techniky díky zlepšujícím se počítačovým sestavám, které mají velkokapacitní paměť a výkonnější procesory. Díky novým počítačovým systémům dochází ve zdravotnictví k rozvoji různých přístrojových technik, které by bez těchto systémů nefungovaly. Jednou z takovýchto technik, je metoda nukleární medicíny a to pozitronová emisní tomografie (PET) využívající pozitronových zářičů. Díky PET vyšetření je možné diagnostikovat ložiska se zvýšenou metabolickou aktivitou. V rámci zobrazovacích metod patří pozitronová emisní tomografie kombinována s rtg. výpočetní tomografií PET/CT mezi nejmodernější. Hybridní zobrazování PET/CT slučuje výhody obou dvou vyšetření. PET/CT patří mezi metody, které se stále vyvíjejí. Významným přínosem je vyšetření PET/CT hlavně v onkologii, kde kromě zobrazení nádorů a jejich případných metastáz, umožňuje monitorovat úspěšnost léčby a včasné odhalovat recidivy. PET/CT se též uplatňuje v neurologii, kardiologii a diagnostice zánětů.

V roce 2009 byl PET/CT instalován ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové na oddělení nukleární medicíny. Využívání pozitronových zářičů s sebou přináší zvýšené nároky na radiační ochranu. Šetření pro tuto práci probíhalo právě na tomto pracovišti, srovnávala jsem radiační zátěž pracovníků před instalací PET/CT a po instalaci.

1 Současný stav

1.1 Historie nukleární medicíny

Nukleární medicína se zabývá diagnostikou a léčbou pomocí aplikace otevřeného radioaktivního zářiče do vnitřního prostředí organismu. Metody nukleární medicíny jsou založeny na tzv. indikátorovém nebo stopovacím principu, který objevil maďarský chemik György Hevesy (1885-1966) v roce 1913. Využil stejného chemického chování izotopů. Radioaktivní izotopy reagují chemicky stejně jako stabilní izotopy téhož prvku, ale oproti stabilním izotopům jsou radionuklidy viditelné prostřednictvím pronikavého záření, které vzniká při radioaktivních přeměnách jader atomů radionuklidu. Toto záření je vyzařováno do okolního prostředí. ⁽¹⁾ Molekuly označené radioaktivním izotopem lze proto detekovat, sledovat a měřit pomocí detektorů zaznamenávajících záření gama. Pro diagnostiku se převážně používají gama zářiče nebo pozitronové zářiče (se sekundárním vznikem anihilačního záření), pro léčbu pak beta či alfa zářiče.

Počátky využití radioizotopů v lékařské diagnostice se datují kolem čtyřicátých let dvacátého století. V nemocnici v Bostonu začali na základě pokusů G. Hevesyho s fosforem ³²P využívat ¹²⁸I a ¹³⁸I nejprve ke studiu fyziologie a později k diagnostice onemocnění štítné žlázy. Využívali k tomu detektor, který pohybem nad štítnou žlázou dokázal odhalit, zda hmatný uzel ve štítné žláze akumuluje jod. Výsledky měření přístroj zapisoval na papír, vznikla tak mapa rozložení aktivity ve štítné žláze. Následně došlo k zdokonalení techniky přidáním scintilačního detektoru s mnohaděrovým konvergentním kolimátorem. Přístroj se nazýval pohybový scintigraf (gamagraf). Dokonalejší zobrazení distribuce radionuklidu v organismu, včetně dynamiky, umožnila scintilační kamera (gamakamera) navržená Halem Angerem v roce 1958

V průběhu dalších let došlo k obrovským pokrokům ve vývoji přístrojové techniky a farmacie, rozšiřujících spektrum a zvyšujících kvalitu metod nukleární medicíny. Dnes jsou tyto metody využívány ve většině klinických oborů. ⁽¹⁾

1.1.1 PET – pozitronová emisní tomografie

PET (pozitronová emisní tomografie) je vyšetření, zobrazující trojrozměrně distribuci intravenózně podaného radiofarmaka značeného pozitronovým zářičem. Umožňuje získat tomografické řezy v různých rovinách.⁽⁶⁾ Vyšetřena může být vybraná oblast lidského těla, případně celé tělo.

1.1.2 Vývoj PET a PET/CT

V roce 1951 bylo poprvé popsáno využití anihilačního záření pozitronových zářičů pro lékařské účely. V tomto roce byl také vyvinut Sweetem a Wrennem první skener použitelný pro zobrazení mozku. Sondy skeneru byli na bázi jodidu sodného NaI. První vícedetektorový systém byl vyvinut v roce 1962, umožňoval pouze dvourozměrné zobrazení. Třetí rozměr byl odhadován dle ostrosti zobrazení.

V dalších několika letech byli vyvinuty zobrazovací přístroje, které ještě nepracovali na principech počítačové tomografie. Postupně byly zdokonalovány počítačové rekonstrukční algoritmy. Rok 1973 přinesl první pozitronový počítačový tomograf, přístroj nazvaný PETT-I (Positron Emission Transaxial Tomography). Sestavil ho Michael E. Phelps. O rok později dokončil PET-III, společně s Hoffmanem. Přístroj již umožňoval rekonstrukci více rovin. Přístroj měl 48 NaI(Tl) pohyblivých detektorů. Pohyb detektorů i lůžka řídil již počítač.

Detektory byly vyráběny z NaI(Tl), přes určité výhody se zjistilo, že mají nízkou absorpční schopnost pro anihilační záření s energií 511 keV. Po popsaní scintilačních vlastností bismuth-germanátu (BGO) se začali krystaly využívat pro použití v PET detektorech. Prvním komerčně využívaným skenerem se stal přístroj nazvaný NeuroECAT s BGO detektory. V osmdesátých letech byly vyvinuty bloky detektorů. Sestávaly se ze čtveřice fotonásobičů připojených k poli 32 krystalů. Po roce 2001 se začali využívat skenery na bázi LSO (lutecium oxyorthosilikát), které výrazně zkrátily délku scintilace. Dvacáté první století s sebou přineslo přístroje spojené PET s CT do jedné kamery, schopné zobrazovat funkční a anatomické detaily.⁽²⁾

1.1.3 Klinické využití

PET či PET/CT je vyšetřením v nukleární medicíně, které je nejdynamičtěji se rozvíjející zobrazovací metodou v medicíně.⁽²⁾ Metoda se využívá převážně v onkologii, při zobrazování zánětů, v neurologii, psychiatrii a v kardiologii. V současnosti je 80 – 90 % vyšetření PET či PET/CT z onkologických indikací. Vyšetření PET pomocí FDG (fluorodeoxyglukóza) slouží k diferenciální diagnostice maligních a benigních tkání, k sledování průběhu a výsledků léčby, k vyhledání a určení primárního tumoru k posouzení biologického chování tumoru a včasné diagnostice recidiv. V zobrazování zánětů má velký přínos pro objasnění horečky nejasného původu, pro odhalení chirurgické infekce či abscesu.

1.1.4 Radiofarmaka

Nukleární medicína jak již bylo zmíněno se zabývá aplikacemi radioaktivních látek do organismu pro diagnostiku a léčbu. Přípravky, vpravující se do těla a obsahující radionuklid jako zdroj ionizujícího záření, se nazývají radiofarmaka.

Radiofarmaka pro vyšetření pomocí PET doznala za čas svého vývoje velkých změn. Pozitronová emisní tomografie je závislá stejnou měrou na technice snímání, tak i na dostupnosti vhodných radiofarmak.⁽²⁾

Radionuklidů, které při radioaktivní přeměně produkují pozitrony, existuje 600 a řada z nich je potenciálně využitelná pro PET. Pro klinické účely se nejvíce používá radionuklid ^{18}F a s ním značená 2- ^{18}F -fluoro-2-deoxy-D-glukóza (FDG). Molekula ^{18}F -FDG je absorbována buňkami z extracelulárního prostoru stejně jako glukóza. V buňce je molekula FDG fosforylována, dále se již nemetabolizuje a dochází k jejímu hromadění v buňkách. V jádrech nestabilního fluoru ^{18}F dochází k přeměně nadbytku protonů na neutrony za emise pozitronů, které reagují s elektrony nejbližších tkání za vzniku 2 fotonů anihilačního záření o energii 511 keV.⁽⁴⁾

Hlavním důvodem používání ^{18}F pro vyšetření PET je relativně dlouhý fyzikální poločas rozpadu, který je 110 minut. Ten umožňuje dovážet radiofarmaka značená ^{18}F i na pracoviště nemající vlastní cyklotron. V České republice se ^{18}F vyrábí na dvou cyklotronech Ústavu jaderného výzkumu PET centrum nemocnice Na Homolce v Praze a PET centrum Masarykova onkologického ústavu v Brně), dále jednom cyklotronu Ústavu Jaderné fyziky v Řeži u Prahy.

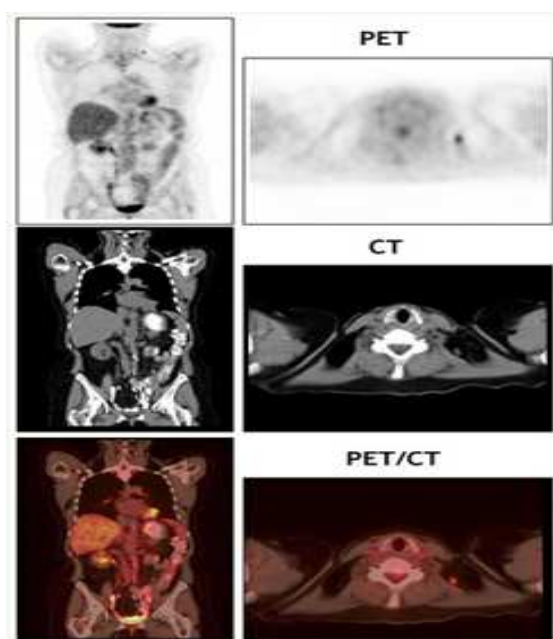
1.1.5 Fyzikální principy PET

U pozitronových zářičů dochází k přeměně protonu na neutron což má za následek vyzáření kladného náboje ve formě pozitronu. Pozitron nemůže existovat ve hmotném prostředí trvale. Délka dráhy pozitronu závisí na jeho energii. Na konci jejich dráhy je setkání s elektronem okolní hmoty a jejich zánik – anihilace, provázená emisí dvou kvant záření gama o energii 511 keV. Obě kvanta záření se z místa anihilace pohybují opačným směrem téměř po přímce.⁽⁵⁾

1.1.6 Hybridní systémy PET/CT

Hybridní systém znamená, že jeden přístroj obsahuje dva komplementy.⁽⁶⁾ V systému je nainstalován PET skener s plnohodnotným diagnostickým CT skenerem. Snímání je prováděno postupně oběma systémy bez změny polohy pacienta. Nejprve se vytvoří topogram, při kterém rentgenka nerotuje, ale je v předem určené poloze a lůžko s pacientem projíždí skrz CT gantry.⁽⁵⁾ Takto vzniklý obraz slouží k vymezení oblasti zájmu vyšetření. Oblast zájmu je následně důkladně vyšetřena pomocí CT a PET. Velkou výhodou hybridních systémů PET/CT je fúze obrazů, ta je zajištěna již hardwarovým uspořádáním, kdy je nejprve ve stejné poloze vytvořeno CT a potom PET. Fúze se provádí překrytím PET obrázků přes CT obraz. Lze tedy sledovat CT a PET obrazy zvlášť nebo fúzované.

Obr.1. Obrázky PET vyšetření, CT a výsledná fúze obrazů.



Na oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice v Hradci Králové (ONM FNHK) je nainstalován hybridní přístroj PET/CT Discovery VCT. Výrobce je firma GE. Jedná se o hybridní celotělový zobrazovací tomografický systém, který umožňuje provádění radionuklidových PET vyšetření a radiologických CT vyšetření, včetně kvantifikace anatomických a funkčních parametrů. Přístroj obsahuje 64-ti řadé spirální CT a PET scanner s detektory tvořenými BGO krystaly, součástí systému je jedna akviziční a tři vyhodnocovací stanice.



Obr. 2 Hybridní přístroj PET/CT Discovery VCT od firmy GE.

1.1.7 Rušivé jevy

Mezi rušivé jevy patří absorpce, rozptyl a náhodné koincidence.

Absorpce – u klasického snímání pacienta scintilačními krystaly detektoru by bylo ideální kdyby všechny vyzářené fotony byly zaregistrovány až v krystalu detektoru. Bohužel tomu tak není a velká část fotonů je absorbována už v těle pacienta. Při koincidenčním snímání, které využívá PET, musejí být oba fotony zaregistrovány současně – tzn. jedná se o pravděpodobnost, že jeden foton vyvolá scintilaci za situace, že i druhý foton vyvolá scintilaci, tzn. ani jeden z fotonů není v těle absorbován.⁽⁵⁾ Proto je u PET vyšetření nutná korekce absorpce, kterou naprostá většina systémů nabízí. U hybridních systémů PET/CT lze ke korekci absorpce využít diagnostického CT zobrazení. Tímto postupem se zkrátí doba snímání a je nižší úroveň šumu.

Rozptyl – emitované fotony nejsou v těle jen absorbovány, ale část z nich se interakcí s hmotou odchýlí z původního směru, což je provázeno snížením jejich energie. V důsledku toho dochází k chybnému určení místa anihilace.⁽⁵⁾

Náhodná koincidence – Koincidenční detekce je postavena na principu proložení spojnice dvou bodů kde došlo ke scintilaci ve vhodný okamžik.⁽²⁾ U BGO krystalů se považuje časové okno 12 ns. V daném časovém okně může dojít k registraci jen jediného fotonu z anihilace a zároveň k registraci fotonu z jiné anihilace v tom případě dojde k určení chybné koincidenční přímky. K omezení tohoto rušivého jevu je zapotřebí zkrátit časové okno koincidence. U BGO krystalů je toto hlavní nevýhodou. U krystalů z LSO je časové okno zkráceno na 6 ns což je jedna z jeho velkých předností.

1.2 Radiační ochrana

1.2.1 Legislativa radiační ochrany

Radiační ochrana se ve světě se opírá o doporučení Mezinárodní komise pro radiační ochranu (ICRP – International Commission on Radiological Protection). Jedná se o doporučení ICRP 60 z roku 1991 a ICRP 103 z roku 2007, dále o standardy vydané Mezinárodní atomovou agenturou (IAEA) a u nás také o legislativu Evropské unie (Directive No. 96/29/Euratom).⁽³⁾

V České republice byla vytvořena legislativa dle výše uvedených dokumentů, která stanovuje normy a požadavky na ochranu před ionizujícím zářením. Mezi nejdůležitější patří: zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů. Druhým nejdůležitějším dokumentem v naší legislativě je: Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. Existuje ještě řada vyhlášek upravujících a doplňujících legislativu radiační ochrany.

Hlavní institucí dohlízející nad jadernou bezpečností, radiační ochranou a havarijní připraveností je Státní úřad pro jadernou bezpečnost v Praze (SUJB). Jeho součástí jsou regionální centra. SUJB vydávající povolení k využívání jaderné energie nebo zdrojů ionizujícího záření.⁽³⁾

Výzkumnou základnu radiační ochrany tvoří Státní úřad radiační ochrany (SÚRO), který je rozpočtovou organizací. Prosazování požadavků radiační ochrany je uskutečňováno držitelem povolení, odpovědnost je delegována na osobu s nejvyšší pravomocí. K zajištění radiační ochrany využívá vzájemně se podporujících linií.

I. Využívá přirozených vztahů podřízenosti v rámci organizační struktury pracoviště. Osoba s největší pravomocí deleguje odpovědnost za zajištění radiační ochrany na své podřízené – vedoucí vybraných pracovišť. Ti vymezují odpovědnost svých podřízených (zaměstnanců)

II. Držitel povolení je povinen ustanovit další nezávislý dohled nad radiační ochranou. Tento dohled vykonávají kvalifikované osoby v radiační ochraně, které mají osvědčení SÚJB o zvláštní odborné způsobilosti. Nepřetržitý soustavný dohled na pracovišti provádějí osoby s přímou odpovědností tyto osoby jsou zapojeny do procesu lékařských ozáření a dalších pracovních procesů. Osoby s přímou odpovědností dohlíží na dodržování zásad radiační ochrany a metodicky vedou ostatní pracovníky na pracovišti.⁽³⁾

Supervizi v rámci soustavného dohledu provádějí tzv. dohlízející osoby. Dohlízející osoba zajišťuje dozor nad radiační ochranou pro držitele povolení.⁽³⁾ Dohlízející osobou může být i specializovaná firma, která je zajištěna smluvně.

1.2.2 Principy radiační ochrany

Hlavními principy radiační ochrany jsou: princip zdůvodnění, princip optimalizace, princip limitování a princip fyzické bezpečnosti zdrojů.

Princip zdůvodnění – Každá činnost vedoucí k ozáření nebo zásahy vedoucí k omezení ozáření z radiačních nehod musí být zdůvodněna přínosem, který vyváží rizika, jež při těchto činnostech vznikají či mohou vzniknout.

Princip optimalizace – Každý, kdo provádí činnost vedoucí k ozáření, je povinen dosáhnout a udržovat takovou úroveň radiační ochrany, aby riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek.⁽³⁾ Často je princip optimalizace označován jako princip ALARA(As Low As Reasonable Achievable), což lze přeložit jako ozáření má být tak nízké jak jen je možné rozumně dosáhnout.

Princip limitů – Při činnosti vedoucí k ozáření je povinností omezovat ozáření osob tak, aby celková dávka ozáření nepřesáhla v součtu za určité období (většinou 1 – 5 let) stanovené limity ozáření. Toto platí pro profesní ozáření osob. Neplatí to pro lékařské ozáření pacientů v rámci diagnostiky a léčby. Lékařské ozáření se řídí principy odůvodnění a optimalizace.⁽³⁾

Princip fyzické bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření – Jak napovídá název jde o zabezpečení zdrojů ionizujícího záření tak, aby nad nimi za běžných podmínek nemohlo dojít ke ztrátě kontroly. Jedná se o dobrý technický stav a bezpečnost zdrojů a o opatření, aby nemohlo dojít k odcizení a přístupu ke zdrojům nepovolaným osobám.⁽³⁾

1.2.3 Způsoby radiační ochrany před ionizujícím zářením

Hlavním úkolem radiační ochrany je snížení absorbované dávky ionizujícího záření v organismu na co nejnížší míru. Obdržená dávka je charakterizována intenzitou, druhem a energií emitovaného záření, dobou expozice, stíněním a vzdáleností. Způsoby radiační ochrany jsou tři základní: **čas, vzdálenost** a **stínění**. Pro práci s otevřenými zářiči lze zařadit ještě jeden způsob ochrany: **zabránění kontaminace**.

Ochrana časem – radiační zátěž pracovníka roste s dobou expozice, po kterou se nachází v poli záření neboli v blízkosti zdroje záření. Zkrácením doby v pobytu v poli záření můžeme snížit obdrženou dávku záření. Z toho vyplývá, že se zbytečně dlouho nezdržujeme v prostoru s ionizujícím zářením a práce s radioaktivními látkami musí být co možná nejrychlejší.⁽⁷⁾

Ochrana vzdáleností – intenzita záření a tím i dávkový příkon klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření. Důležité je zdržovat se co nejdále od zdroje záření (zdrojem je i naaplikovaný pacient radioaktivní látkou). Při práci s radioaktivními látkami je vhodné držet se co nejdále od těla a využívat všech dostupných pomůcek k dosažení co největší vzdálenosti.

Ochrana stíněním – velmi efektivní ochranou je odstínění záření vhodným absorbujícím materiálem.⁽⁷⁾ Umístěním stínění mezi pracovníka a zdroj z vhodného absorbujícího materiálu, můžeme dosáhnout podstatného snížení dávky záření. Materiál využívající se k odstínění se liší dle druhu záření a jeho energie. Pro záření gama a X jsou nejvhodnější materiály k odstínění s vysokým protonovým číslem především olovo.⁽⁷⁾ Ve stavebních materiálech pro odstínění používá beton s příměsí barytu. Kontejnery pro skladování zářičů a zástěny jsou tvořeny z olova nebo olověného plechu. Pro odstínění záření gama o energii cca 100 keV stačí vrstva olova tloušťky 2mm, čím vyšší je energie fotonů záření gama, tím silnější vrstvu stínění je nutné použít. Je možné využít pro odstínění různých materiálů jako je wolfram, ocel nebo ochuzený uran, ale nejvíce se používá olovo.

Ochrana zabránění kontaminaci – při práci s otevřenými zářiči je důležitou součástí pracovní náplně dodržování určitých standardů při manipulaci s radiofarmakem aby nedocházelo ke kontaminaci rukou nebo jiných částí těla nebo pracovních ploch.

1.2.4 Limity dávek záření

Limity ozáření jsou ukazatelem pro celkové ozáření osob z radiační činnosti. Překročení limitů není přípustné ve stanovených případech.⁽³⁾ Pracovníci v nukleární medicíně jsou vystavováni externímu i vnitřnímu ozáření z radionuklidů v jejich těle. Externí záření je emitováno z pacientů naaplikovaných radiofarmakem, tak i z radionuklidových zdrojů. Limity se rozlišují na limity obecné, limity pro radiační pracovníky, limity pro učně a studenty a limity odvozené, autorizované a limity pro omezování ozáření ve zvláštních případech.

Tab.č.1 Limity dávek

	Limity		
	obecné	pro radiační pracovníky	pro učně a studenty
Efektivní dávka za rok (mSv)	1	50	6
Efektivní dávka za 5 za sebou následujících let (mSv)	5	100	-
Ekvivalentní dávka v oční čočce za rok (mSv)	15	150	50
Průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm ² kůže za rok (mSv)	50	500	150
Ekvivalentní dávka na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky za rok (mSv)	-	500	150

Efektivní dávka je součet efektivních dávek ze zevních ozáření a efektivních dávek z vnitřního ozáření.

Obecné limity se vztahují na celkové ozáření ze všech radiačních činností pro obyvatelstvo.⁽¹⁾ V těchto limitech není zahrnuto ozáření z přírodních zdrojů, profesní ozáření učňů a studentů, lékařské ozáření, havarijní ozáření a ozáření ve zvláštních případech. Tyto limity jsou vztaženy na průměrné ozáření kritické skupiny obyvatel. Tato skupina reprezentuje nejvíce ozářené jednotlivce z obyvatelstva v okolí zdroje (např. v okolí jaderné elektrárny).⁽³⁾

Limity pro radiační pracovníky se vztahují na profesní ozáření, kterému jsou vystaveni při výkonu povolání, do profesní radiační zátěže se nezapočítává ozáření z přírodních zdrojů.

1.3 Kategorizace pracovišť

Pracoviště se dělí dle určitých kritérií vzestupně na pracoviště s ionizujícím zářením využívající výhradně nevýznamné zdroje na pracoviště I., II., III., a IV. kategorie. Dělí se na základě klasifikace zdrojů IZ, se kterými se bude na pracovišti nakládat, na očekávaném možném ozáření pracovníků a obyvatelstva v běžném provozu, na zaměření pracoviště (radiační činnosti) a na zajištění radiační ochrany, na vybavení pracoviště pro bezpečnost při práci, na možnosti radioaktivní kontaminace na pracovišti, na odpadech vznikajících při činnosti a na jeho zneškodnění, na riziku vzniku radiační nehody či havárie.

Pracoviště I. kategorie – patří sem pracoviště s drobnými zdroji IZ záření jako je kostní denzitometr, kabinový RTG, zubní RTG, pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči splňující podmínky vydané SÚJB.

Pracoviště II. kategorie – patří sem pracoviště využívající jednoduché zdroje IZ, které není pracovištěm I. kategorie. Pracoviště s RTG zařízením určeným k radiodiagnostice a radioterapii, kromě přístrojů patřících do I kategorie. Pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči, pokud vybavení zařízeními a provedení kanalizace splňuje minimální požadavky dané SÚJB. Patří sem i oddělení nukleární medicíny FNHK.

Pracoviště III. kategorie patří sem – pracoviště s urychlovačem částic, pracoviště s uzavřeným radionuklidovým zářičem určeným k radioterapii, pracoviště se stacionárním radionuklidovým ozařovačem, pracoviště pro těžbu a zpracování uranové rudy.

Pracoviště IV. kategorie jsou jaderné zařízení, uložistiště jaderného odpadu a pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči o vysokých aktivitách nespádající do kategorie III.

1.4 *Kontrolované a sledované pásmo na pracovištích se zdroji ionizujícího záření*

1.4.1 *Kontrolované pásmo*

Kontrolované pásmo se na pracovišti s ionizujícím zářením vymezuje všude tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo, kde by ekvivalentní dávka mohla být za rok vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny.⁽¹⁾ Kontrolované pásmo je účelné stanovit všude tam, kde se očekává, že dávkový příkon ze zevního ozáření na pracovním místě bude v průměru za rok při běžném provozu vyšší než 2,5 $\mu\text{Sv/h}$, a kde bude kontaminace povrchu na pracovních místech vyšší než směrné hodnoty pro radioaktivní kontaminaci pracovišť s otevřenými zářiči.

Kontrolované pásmo musí být viditelně označeno znakem radiačního nebezpečí a nápisem kontrolované pásmo se zdroji ionizujícího záření, vstup nepovolaným osobám zakázán. Musí být stavebně odděleno tak, aby sem neměli přístup nepovolané osoby.

Do kontrolovaného pásma smějí vstoupit jen osoby, které byli poučeny o chování v tomto pásmu, aby neohrozili své zdraví a zdraví ostatních osob. Dále pak pacienti, kteří se mají podrobit lékařskému ozáření a osoby, které se připravují na výkon povolání se zdroji ionizujícího záření.⁽³⁾ V kontrolovaném pásmu smějí pracovat jen pracovníci jež jsou vybaveni osobními dozimetry a ochrannými pomůckami. V případě pracoviště, kde může dávkový příkon překročit 1mSv/h musí být pracovníci vybaveni operativními dozimetry.

1.4.2 *Sledované pásmo*

Sledované pásmo se 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.⁽³⁾ Lze říci, že sledované pásmo se vymezuje v místech, kde by mohlo docházet k překročování některého z obecných limitů. Sledované pásmo se vymezuje jako ucelená část pracoviště, stavebně oddělená. Označuje se jako sledované pásmo se zdroji ionizujícího záření.

Nevymezuje se pokud jeho rozsah nepřesáhne vymezení kontrolovaného pásma. Ve sledovaném pásmu se zajišťuje monitorování pracoviště.

1.5 Monitorování

Všechny veličiny týkající se radiační ochrany se podrobují měření, zaznamenávání zjištěných hodnot a vyhodnocování. Toto všechno lze shrnout pod jeden název monitorování. Účelem je zjistit, jak jsou dodržovány požadavky systému limitování dávek, zda je radiační ochrana optimalizována a jestli je provoz zdrojů a pracoviště bezpečný.⁽³⁾ Je nutné, aby monitorování dokázalo bezprostředně varovat při vzniku mimořádné události.

1.5.1 Program monitorování

Program monitorování musí mít vypracované každé pracoviště využívající ionizující záření. V programu jsou stanoveny hodnoty měřených veličin dávkového příkonu, povrchové kontaminace, objemové aktivity odpadních vod, které nesmějí být během provozu pracoviště překročeny.⁽⁸⁾ V programu monitorování musejí být náležitosti jako jsou veličiny, které se měří a v jaké frekvenci, stručné návody pro vyhodnocení výsledků měření, referenční úrovně a opatření při překročení limitů, měřicí metody, přístroje a jejich parametry.⁽³⁾

1.5.2 Monitorování pracoviště

Na pracovištích s ionizujícím zářením se uskutečňuje měřením dávkového příkonu záření gama a monitorováním kontaminace povrchů radioaktivními látkami na řadě míst stanovených v kontrolovaném pásmu i mimo něj.⁽⁸⁾ K tomuto účelu se nejčastěji využívají přístroje vybavené GM detektory. Dále se provádí monitorování výpustí, kdy se měří objemová aktivita radionuklidů obsažených v odpadních vodách odcházejících z pracoviště do kanalizace.

1.5.3 Osobní monitorování

Pracovníci se zdroji ionizujícího záření musí být vybaveni osobními dozimetry k měření dávek. Toto měření je zajištěno pro všechny pracovníky kategorie A (pracovníci kategorie A jsou pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku vyšší než 0,3 limitu ozáření pro oční čočku nebo končetiny). Nejčastěji se používají filmové dozimetry. Období měření je zpravidla jeden měsíc, následně dojde k výměně dozimetrického filmu a k jeho odečtení (vyhodnocení), které provádí oprávněná dozimetrická služba. Výsledky zasílá zaměstnavateli a SÚJBu. Zaměstnavatel musí umožnit pracovníkům nahlédnutí do naměřených výsledků osobní dozimetrie.

Osobní dozimetr je pracovníkem nošen na levé přední straně oděvu v oblasti hrudníku (toto místo je určeno jako referenční) po dobu jednoho měsíce. Po uplynutí této doby je odeslán na vyhodnocení dozimetrické službě (u nás vyhodnocovací službu provádí CSOD – Celostátní služba osobní dozimetrie v Praze). Dozimetry měří osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$, který měří osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm pod povrchem těla. V CSOD se přepočítává na efektivní dávku. Pracovníci, u kterých lze očekávat zvýšenou expozici na ruce, jsou vybaveni též prstovými (prstýnkovými) termoluminiscenčními dozimetry. Prstové dozimetry se také jednou za měsíc odesílají k vyhodnocení. Účelem měření radiační zátěže je sledování, zda nebyl překročen roční limit efektivní dávky 20 mSv (resp. 50 mSv při dodržení limitu 100 mSv / 5let) a ekvivalentní dávky na ruce 500 mSv.⁽⁸⁾

Operativní dozimetr je nošen pracovníky vedle povinného osobního dozimetru v kategorii A v případech, kde je možné, že příkon dávkového ekvivalentu může překročit hodnotu 1 mSv/h nebo na pracovištích, kde nelze vyloučit nehody s jednorázovým vysokým zevním ozářením.⁽³⁾ Nejčastěji se používají elektronické dozimetry, které umožňují okamžitý odečet měřené dávky a signalizují překročení nastavené úrovně.

1.6 Radiační ochrana na oddělení nukleární medicíny FN Hradec Králové

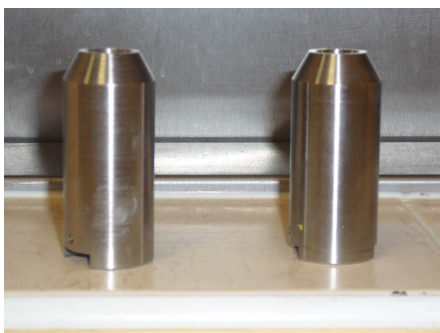
Na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové se aplikují všechny známé způsoby radiační ochrany. Stavební úpravy byly také zvoleny tak, aby byla zajištěna co možná největší radiační ochrana pracovníků a osob pohybujících se na tomto oddělení.

Pro vyšetřovny PET/CT byly na oddělení vytvořeny nové prostory z původní vyšetřovny, aplikační místnosti a malého sálku. Stěny celého úseku PET/CT zevní i vnitřní jsou stíněny litým barytovým betonem. Výpočet stínění provedla odborná firma tak, aby nebyly překročeny povolené hodnoty. Tloušťka stínění je od 60 mm do 120 mm barytového betonu. Stínění bylo voleno podle nutnosti radiační ochrany pracovníků a ostatních pacientů nebo osob. Např. stínění mezi kabinkami naaplikovaných pacientů není tak velké, jako je stínění mezi kamerou a ovladovnou, kde se naaplikovaný pacient zdržuje delší dobu a přichází do styku s radiologickými asistenty. Posuvné dveře, ovládané elektronicky, jsou stíněny olovem o síle od 3 mm do 13 mm. Dveře od kabinek, kde čekají na vyšetření naaplikovaní pacienti FDG jsou ovládány dálkově z ovladovny PET/CT. Dveře do vyšetřovny a vstup z ovladovny jsou označeny varovným nápisem před nebezpečím rentgenového záření při zapnutém CT. Pacienti jsou sledováni po celou dobu vyšetřovacího procesu kamerovým systémem. Dorozumívání s pacienty v kabinkách je řešeno „obousměrným dorozumívacím zařízením“.

Pacienti přicházejí do místnosti, kde se aplikuje FDG z čekárny, kde jsou s ostatními pacienti, kteří čekají na scintigrafická vyšetření. Pacientovi se podají veškeré informace před aplikací FDG. Po aplikaci radiofarmaka FDG lékař vyzve pacienta aby si přešel do čekacích boxů, které jsou již stíněny a jsou umístěny ve vyšetřovacím traktu PET/CT. Důležitá je správná organizace práce tak, aby se pracovníci nevystavovali zbytečně záření. Uplatňuje se zde ochrana časem (co nejkratší pobyt v místnosti s pacientem po aplikaci FDG, při ukládání pacienta na vyšetřovací stůl a po dobu vyšetření).

Radiofarmakum k aplikaci připravuje farmaceut, který je v místnosti přípravy FDG. Zde je umístěn laminární box (stíněný 50 mm olova) s elektronicky řízeným dilutorem, což je uzavřený systém pro ředění a natažení radiofarmaka do injekční stříkačky. Aktivita radiofarmaka odpovídá hmotnosti pacienta. Farmaceuti využívají všech ochranných pomůcek při přípravě a následném transportu FDG k pacientovi, k tomu se využívá wolframové stínění stříkaček a olověný kontejner pro převoz radiofarmaka k pacientovi – ochrana stíněním.

Obr.3. Wolframové stínění stříkaček



Obr.4. Olověný vozík k přepravě FDG z přípravy k pacientovi



Všichni pracovníci kategorie A na oddělení nukleární medicíny jsou vybaveni osobními filmovými dozimetry a termoluminiscenčními prstovými dozimetry. Prstové dozimetry mají všichni pracovníci podílející se na přípravě a aplikaci radiofarmak. Pracovníci pracující na PET/CT jsou vybaveni ještě osobními digitálními dozimetry, které jsou schopné okamžitého měření dávkových ekvivalentů v čase. Jejich nastavení dovoluje signalizaci při překročení nastavené úrovně osobního dávkového ekvivalentu a okamžitého příkonu dávkového ekvivalentu. Hodnoty jsou v případě potřeby vyhodnocovány v souladu s činnostmi, které pracovník v daném dni prováděl. Pro osobní operativní dozimetrii jsou stanoveny alarmové a referenční úrovně pro pracovníky a farmaceuty pracoviště PET/CT

K operativnímu monitorování příkonu dávkového ekvivalentu jsou používány přístroje FH 40G-L. Citlivost přístroje je od 30 keV a rozsah od 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ až po 100mSv/h. Pro rutinní operativní monitorování radiační situace jsou prostory vybaveny monitorovací sítí MS 2000 měřící interval je 3 sec. a rozsah od 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ až 10 mSv/h (sondy GMS3).

2 Cíle práce

1. Srovnání radiační zátěže pracovníků od diagnostických gama-záříčů a terapeutických betazáříčů, před zavedením PET/CT.

2. Změny radiační zátěže pracovníků po zavedení PET/CT a pozitronových radiofarmak.

2.1 Hypotéza

Po zavedení PET/CT došlo ke zvýšení radiační zátěže pracovníků na oddělení nukleární medicíny FNHK

3 Metodika práce

V práci jsou zpracována data z osobní dozimetrie prováděné na oddělení nukleární medicíny FNHK. Nejprve jsou zpracována data před zavedením vyšetření PET/CT a pak data po zavedení vyšetření. Zvlášť jsou zpracována data z filmových dozimetrů a prstýnkových termoluminiscenčních dozimetrů od roku 2004 do konce roku 2008. Od roku 2009, kdy bylo zavedeno vyšetření PET/CT jsou zvlášť vyhodnoceny filmové, prstýnkové a digitální dozimetry, které byly zavedeny s vyšetřením PET/CT.

Sledovaným souborem byly pracovníci oddělení nukleární medicíny FNHK. Pracovníky jsem rozdělila do tři skupin, na lékaře, radiologické asistenty (mezi radiologické asistenty jsem zařadila i všeobecné sestry s atestací v nukleární medicíně) a farmaceuty, u kterých jsem porovnávala měsíční dávkové ekvivalenty Hp(10). K porovnání jsem využila hodnoty vyhodnocené Celostátní službou osobní dozimetrie v Praze, kam se každý měsíc zasílají osobní dozimetry a termoluminiscenční prstýnkové dozimetry na vyhodnocení obdržených dávek zevního ozáření. Využila jsem data od roku 2004 do konce roku 2008, kdy byla na pracovišti prováděna vyšetření pomocí gamakamery SPECT/CT - Infinia Hawkeye 4, gamakamery SPECT - Varicam a gamakamery Nucline Pac. V těchto letech také byla prováděna terapie otevřenými betazářiči. Dále jsem porovnávala dávky z osobní dozimetrie naměřené v roce 2009, kdy byl na pracovišti již k stávajícím přístrojům a terapii nainstalován PET/CT a k osobnímu monitorování pracovníků pracujících na PET/CT začal být využíván osobní digitální dozimetr Dosicard.

Na oddělení nukleární medicíny ve FNHK nelze přesně určit na jakých vyšetřeních se v daném sledovaném období pracovník podílel. Lékaři i radiologičtí asistenti se mohou podílet na jednom vyšetření ve větším počtu (např. při vyšetřování malých dětí, při nutnosti udržet dítě v nehybné poloze, při vyšetřování špatně pohyblivých lidí nebo starých lidí, kteří potřebují pomoci a v neposlední řadě při zaučování nových pracovníků). Oddělení NM FNHK se dá rozdělit na dílčí pracoviště, dle jednotlivých gamakamer.

Pracovníci se na oddělení střídají na jednotlivých pracovištích (gamakamerách). Lékaři se střídají na pracovištích každý den. V týdnu vystřídají všechny gamakamery , radiologičtí asistenti se střídají v nejlepším případě v týdenních cyklech, nelze to ale vždy uskutečnit, ať už z důvodu personálních nebo při zaučování nových pracovníků, kdy se zdržuje nový pracovník na jednom pracovišti delší dobu, aby si osvojil vyšetřovací metody prováděné na daném přístroji.

V průběhu sledovaného období se počet pracovníků na oddělení měnil. Ke změnám v počtu pracovníků docházelo už v průběhu sledovaného období (2004 – 2008). Po zavedení PET/CT byl počet pracovníků navýšen.

Výsledky vyhodnocených dávek jsem uspořádala do tabulek pro lepší přehlednost. Vyhodnotila jsem zvlášť výsledky osobních dávkových ekvivalentů lékařů, radiologických asistentů a farmaceutů z důvodu rozdílných pracovních náplní a podílení se na jednotlivých vyšetření.

4 Výsledky

Výsledky jsou uspořádány do tabulek. Pro lepší přehlednost jsou zvlášť vyhodnoceny dávkové ekvivalenty lékařů, radiologických asistentů a farmaceutů. Tabulky jsou uspořádány od roku 2004 do roku 2009. Nejprve jsou zaznamenány hodnoty z filmových dozimetrů a dále hodnoty z termoluminiscenčních prstýnkových dozimetrů. Hodnoty dávkových ekvivalentů Hp (10) jsou zaznamenány dle jednotlivých měsíců v roce. Výstupem je průměrný dávkový ekvivalent za jednotlivý měsíc na pracovníka. Dále je uváděna suma, což by bylo možné označit, jako kolektivní dávku pracovníků v daném měsíci. Pro srovnání výsledků z roků 2004 – 2008 s rokem 2009 jsem kolektivní dávku neuváděla, protože je to zavádějící veličina s ohledem na změny personálního obsazení pracoviště ONM FNHK během sledovaného období. Celostátní služba osobní dozimetrie, z jejichž vyhodnocených dat jsem zpracovávala výsledky, hodnoty nižší než 0,10 mSv (podprahové) vyhodnocuje jako 0,00. Nelze tedy zcela jednoznačně určit jaké hodnoty, který z pracovníků dosáhl. Rozmezí se může pohybovat od 0,00 do 0,10 mSv, kdy už je hodnota zaznamenána. Z tohoto důvodu jsem hodnoty nižší označila jako $< 0,1$ a při výpočtech jsem počítala s hodnotou 0,1 mSv. Je to tedy maximální hodnota, které mohl pracovník dosáhnout, než byla dávka zaznamenána. Rozmezí se může pohybovat od 0,00 do 0,1 mSv, kdy už je hodnota zaznamenána. Výsledky jsou uvedeny také se znaménkem méně, protože hodnota uvedena ve výsledku je maximální možná pro dané období dle výsledků měření.

Suma dávkového ekvivalentu dosažená v daném měsíci, tuto hodnotu lze nazvat též kolektivní dávkou pro daný počet lékařů vyhodnocenou pro každý měsíc zvlášť. Průměr značí průměrnou hodnotu dávkového ekvivalentu na jednoho lékaře v daném měsíci. Hodnoty jsou uváděny v mSv.

4.1 Filmové dozimetry 2004 – 2009

Tab.1. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) lékařů za sledované období 12 měsíců v roce 2004 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	< 0,1	0,24	0,24	<0,1	0,21	0,20	0,26	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	< 0,1
Lékař 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	< 0,1
Lékař 3	< 0,1	< 0,1	0,21	< 0,1	< 0,1	0,20	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 4	0,33	0,39	0,33	0,23	0,23	0,28	0,20	< 0,1	< 0,1	0,19	0,33	< 0,1

Tab.2. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 lékaře v r. 2004

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,63	<0,83	<0,88	<0,53	<0,64	0,87	<0,66	<0,4	<0,4	<0,49	<0,81	<0,4
Průměr	<0,16	<0,21	<0,22	<0,13	<0,15	0,22	<0,17	<0,1	<0,1	<0,12	<0,20	<0,1

Tab.3. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) radiologických asistentů za sledované období 12 měsíců v roce 2004 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	< 0,1	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 2	0,25	0,28	0,24	< 0,1	0,23	0,42	< 0,1	< 0,1	0,35	< 0,1	0,29	< 0,1
Ra 3	< 0,1	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,20	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 5	< 0,1	0,23	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,20	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 6	< 0,1	< 0,1	0,21	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 7	0,23	0,21	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,21	< 0,1	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 8	< 0,1	0,20	0,19	< 0,1	< 0,1	0,25	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.4. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 Ra v r. 2004 v mSv

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<1,08	<1,48	<1,14	<0,8	<1,03	<1,45	<0,91	<0,8	<1,12	<0,8	<0,99	<0,8
Průměr	<0,14	<0,19	<0,14	<0,1	<0,13	<0,18	<0,11	<0,1	<0,14	<0,1	<0,12	<0,1

Tab.5. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) farmaceutů za sledované období 12 měsíců v roce 2004 v mSv

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	< 0,1	0,17	0,38	<0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Far. 2.	0,21	0,27	< 0,1	< 0,1	0,25	0,26	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1

Tab.6. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 farmaceuta v r. 2004

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,31	<0,44	<0,48	<0,2	<0,35	<0,36	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,28	<0,2
Průměr	<0,15	<0,22	<0,24	<0,1	<0,18	<0,18	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,14	<0,1

Tab.7. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) lékařů za sledované období 12 měsíců v roce 2005 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	0,23	0,28	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,21	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,16	< 0,1	0,19	< 0,1
Lékař 4	0,22	< 0,1	< 0,1	0,24	0,21	0,39	0,21	0,21	0,31	0,22	0,18	< 0,1

Tab.8. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 lékaře v r. 2005

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,65	<0,58	<0,4	<0,61	<0,51	<0,8	<0,6	<0,51	<0,67	<0,52	<0,57	<0,4
Průměr	<0,16	<0,15	<0,1	<0,15	<0,13	<0,2	<0,15	<0,13	<0,17	<0,13	<0,14	<0,1

Tab.9. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) radiologických asistentů za sledované období 12 měsíců v roce 2005 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 2	0,23	< 0,1	0,19	< 0,1	0,32	< 0,1	0,19	< 0,1	0,21	< 0,1	0,20	< 0,1
Ra 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	< 0,1
Ra 7	< 0,1	0,23	< 0,1	0,21	< 0,1	0,17	< 0,1	< 0,1	0,20	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.10. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 Ra v r. 2005

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,93	<0,93	<0,89	<0,91	<1,02	<0,87	<0,89	<0,8	<1,08	<0,82	<0,9	<0,8
Průměr	<0,12	<0,12	<0,11	<0,11	<0,13	<0,11	<0,11	<0,1	<0,14	<0,1	<0,11	<0,1

Tab.11. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) farmaceutů za sledované období 12 měsíců v roce 2005 v mSv

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Far 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.12. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 farmaceuta. v r. 2005

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Průměr	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tab.13. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) lékařů za sledované období 12 měsíců v roce 2006 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	< 0,1	0,20	< 0,1	< 0,1	0,19	0,18	< 0,1	< 0,1	0,26	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 2	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,23	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 4	0,22	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,23	< 0,1	< 0,1	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.14. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 lékaře. v r. 2006

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,61	<0,5	<0,4	<0,4	<0,49	<0,61	<0,4	<0,4	<0,85	<0,4	<0,4	<0,4
Průměr	<0,15	<0,13	<0,1	<0,1	<0,12	<0,15	<0,1	<0,1	0,21	<0,1	<0,1	<0,1

Tab.15. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) r. asistentů za sledované období 12 měsíců v roce 2006 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1	0,18	< 0,1
Ra 2	0,20	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,27	0,16	< 0,1	< 0,1
Ra 4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,26	< 0,1	< 0,1	0,16	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 5	< 0,1	< 0,1	0,23	< 0,1	0,20	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 7	0,23	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,20	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,21	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,21	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 9	0,24	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,26	< 0,1	< 0,1	0,35	0,24	< 0,1	< 0,1

Tab.16. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 r. asistenta. v r. 2006

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<1,03	<0,9	<1,03	<0,9	<1,1	<1,22	<0,9	<0,9	<1,76	<1,1	<0,98	<0,9
Průměr	<0,13	<0,1	<0,11	<0,1	<0,12	<0,14	<0,1	<0,1	<0,20	<0,12	<0,11	<0,1

Tab.17. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) farmaceutů za sledované období 12 měsíců v roce 2006 v mSv

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Far 2.	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.18. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 farmaceuta. v r. 2006

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Průměr	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tab.19. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) lékařů za sledované období 12 měsíců v roce 2007 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	0,24	0,17	0,23	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1	< 0,1	0,18	0,34	< 0,1	< 0,1
Lékař 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,17	< 0,1	0,22	0,18	< 0,1	< 0,1
Lékař 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 4	< 0,1	< 0,1	0,22	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,23	0,21	0,30	0,21
Lékař 5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.20. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 lékaře v r. 2007

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,64	<0,57	<0,75	<0,5	<0,5	<0,58	<0,57	<0,5	<0,92	<0,93	<0,7	<0,61
Průměr	<0,13	<0,11	<0,15	<0,1	<0,1	<0,12	<0,11	<0,1	<0,18	<0,19	<0,14	<0,12

Tab.21. Osobní dávkové ekvivalenty $H_p(10)$ r. asistentů za sledované období 12 měsíců v roce 2007 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 3t	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 4	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,22	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 5	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,30	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 7	< 0,1	< 0,1	0,43	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,21	0,21	0,22	< 0,1	< 0,1
Ra 8	0,16	< 0,1	0,18	< 0,1	< 0,1	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 9	0,25	< 0,1	0,23	0,28	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,16	< 0,1	< 0,1

Tab.22. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 r. asistenta v r. 2007

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	1,18	0,9	1,52	1,08	0,9	0,99	1,09	1,01	1,21	1,08	0,9	0,9
Průměr	<0,13	<0,1	<0,17	<0,12	<0,1	<0,11	<0,12	<0,11	<0,13	<0,12	<0,1	<0,1

Tab.23. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) farmaceutů za sledované období 12 měsíců v roce 2007 v mSv

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	0,23	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Far 2.	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.24. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 farmaceuta v r. 2007

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	0,33	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Průměr	<0,17	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tab.25. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) lékařů za sledované období 12 měsíců v roce 2008 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lék.1	< 0,1	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,27	< 0,1	<0,1
Lék.2	0,21	< 0,1	0,23	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,22	< 0,1	<0,1
Lék.3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lék.4	< 0,1	0,24	0,22	< 0,1	0,16	< 0,1	< 0,1	0,19	0,24	0,28	< 0,1	<0,1
Lék.5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lék.6	-----	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,28	0,22	0,23	< 0,1	0,17	0,22	< 0,1	<0,1

Tab.26. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 lékaře v r. 2008

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	0,61	0,83	0,85	0,6	0,84	0,72	0,73	0,69	0,81	1,19	0,6	0,6
Průměr	<0,12	<0,13	<0,14	<0,1	<0,14	<0,12	<0,12	<0,12	<0,14	<0,2	<0,1	<0,1

Tab.27. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) r. asistentů za sledované období 12 měsíců v roce 2008 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,21	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,33	0,32	< 0,1	< 0,1
Ra 4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,20	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,29
Ra 5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,24	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,32	< 0,1	< 0,1
Ra 8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 9	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	0,26	0,24	< 0,1	0,25	< 0,1	< 0,1
Ra 10	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.28. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 r. asistenta v r. 2008

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,14	<1,09	<1,26	<1,14	<1,34	<1,59	<1,0	<1,19
Průměr	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,11	<0,11	<0,13	<0,11	<0,13	<0,16	<0,1	<0,12

Tab.29. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) farmaceutů za sledované období 12 měsíců v roce 2008 v mSv

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Far. 2.	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.30. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 farmaceuta v r. 2008

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,28	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Průměr	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,14	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tab.31. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) lékařů za sledované období 12 měsíců v roce 2009 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	< 0,1	0,22	0,24	< 0,1	0,26	< 0,1	< 0,1	0,23	0,18	< 0,1	0,17	<0,1
Lékař 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1	< 0,1	0,22	< 0,1	0,21	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,23	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,24	< 0,1	< 0,1	0,20	< 0,1	< 0,1	0,16
Lékař 7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1

Tab.32. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 lékaře v r. 2009

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,7	<0,82	<0,84	<0,78	<0,86	<0,84	<0,82	<1,04	<0,77	<0,7	<0,77	<0,76
Průměr	<0,1	<0,12	<0,12	<0,11	<0,12	<0,12	<0,12	<0,15	<0,11	<0,1	<0,11	<0,11

Tab.33. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) r. asistentů za sledované období 12 měsíců v roce 2009 v mSv

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,16	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,58	0,22	< 0,1	< 0,1
Ra 4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,16
Ra 6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,17	< 0,1	0,24	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 9	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,21	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 10	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 11	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.34. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 r. asistenta v r. 2009

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,2	<1,36	<1,31	<1,34	<1,81	<1,32	<1,2	<1,36
Průměr	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,11	<0,11	<0,11	<0,15	<0,11	<0,1	<0,11

Tab.35. Osobní dávkové ekvivalenty Hp (10) farmaceutů za sledované období 12 měsíců v roce 2009 v mSv

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Far. 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Far. 3	-----	-----	-----	-----	-----	-----	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab.36. Suma a průměrná možná dosažená ekvivalentní dávka na 1 farmaceuta v r. 2009

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Průměr	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

4.2 Prstýnkové dozimetry 2004 – 2009

Tab.38. Dávky na prstýnkových dozimetrech lékařů v r.2004

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,15	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 2	0,22	0,22	0,19	0,20	0,22	0,15	0,39	0,16	0,20	0,12	0,23	0,13
Lékař 3	< 0,1	< 0,1	0,28	< 0,1	0,12	0,15	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 4	< 0,1	0,14	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,12	<0,1

Tab. 39. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 lékaře v r. 2004

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,52	<0,56	<0,67	<0,50	<0,54	<0,56	<0,69	<0,46	<0,50	<0,42	<0,55	<0,43
Průměr	<0,13	<0,14	<0,17	<0,13	<0,14	<0,14	<0,17	<0,12	<0,13	<0,11	<0,14	<0,11

Tab.40. Dávky na prstýnkových dozimetrech r. asistenti v r.2004

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	0,39	0,69	0,53	0,47	0,66	0,44	0,22	0,13	0,45	< 0,1	0,46	0,14
Ra 2	< 0,1	0,62	0,11	0,20	0,11	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 3	0,13	0,19	0,14	0,11	0,21	< 0,1	0,14	< 0,1	0,14	< 0,1	0,11	< 0,1
Ra 4	0,22	0,26	< 0,1	0,17	0,54	0,17	0,41	< 0,1	0,32	0,81	< 0,1	< 0,1
Ra 5	0,67	0,22	1,18	0,17	0,23	1,20	0,15	0,48	0,57	0,18	0,56	0,51
Ra 6	0,12	1,24	< 0,1	< 0,1	0,18	< 0,1	0,16	0,18	0,33	< 0,1	0,11	< 0,1
Ra 7	0,18	0,76	0,47	0,68	0,95	0,90	0,37	0,44	1,07	0,97	0,54	0,70
Ra 8	1,44	0,22	0,80	0,14	0,46	0,90	0,25	0,64	0,23	0,60	0,61	< 0,1

Tab. 41. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 asistenta v r. 2004

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<3,21	4,2	<3,43	<2,04	3,34	<3,91	<1,8	<2,19	<3,21	<2,96	<2,59	<1,85
Průměr	<0,41	0,53	<0,43	<0,26	0,42	<0,49	<0,23	<0,27	<0,40	<0,37	<0,32	<0,23

Tab.42. Dávky na prstýnkových dozimetrech farmaceutů v r.2004

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	0,32	2,70	0,99	0,95	0,86	0,76	2,18	1,67	1,50	1,56	1,28	1,15
Far. 2	1,61	2,38	1,35	1,16	2,22	3,12	0,84	1,32	1,09	2,06	1,17	0,22

Tab. 43. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 farmaceuta v r. 2004

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	1,93	5,08	2,34	2,11	3,08	3,88	3,02	2,99	2,59	3,62	2,45	1,37
Průměr	0,97	2,54	1,17	1,06	1,54	1,94	1,51	1,50	1,30	1,81	1,23	0,69

Tab.44. Dávky na prstýnkových dozimetrech lékařů v r.2005

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 2	0,18	0,11	0,13	0,17	0,24	0,15	0,15	< 0,1	0,18	0,18	0,25	0,14
Lékař 3	< 0,1	< 0,1	0,11	0,11	0,11	< 0,1	0,12	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	< 0,1
Lékař 4	< 0,1	< 0,1	0,26	0,11	< 0,1	0,14	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	< 0,1

Tab. 45. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 lékaře v r. 2005

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	0,48	0,41	0,6	0,49	0,55	0,49	0,47	0,4	0,48	0,52	0,55	0,44
Průměr	<0,12	<0,1	<0,15	<0,12	<0,14	<0,12	<0,12	<0,1	<0,12	<0,13	<0,14	<0,11

Tab.46. Dávky na prstýnkových dozimetrech r. asistentů v r.2005

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	0,47	< 0,1	0,44	0,43	0,23	0,96	0,14	0,57	0,16	0,12	0,32	0,20
Ra 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,44	< 0,1	0,37	0,42	0,31	0,63
Ra 3	< 0,1	< 0,1	0,25	0,11	0,14	0,21	0,16	< 0,1	0,16	0,14	0,11	< 0,1
Ra 4	< 0,1	0,47	0,28	0,60	0,46	0,32	0,46	0,12	0,46	0,64	0,37	0,72
Ra 5	0,14	0,16	< 0,1	0,39	0,36	0,57	0,16	0,49	0,54	0,16	0,13	0,19
Ra 6	< 0,1	0,12	< 0,1	0,72	< 0,1	0,66	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 7	1,89	0,63	0,77	0,94	1,55	0,61	0,39	0,51	< 0,1	0,58	0,77	0,51
Ra 8	1,24	0,22	1,16	0,45	0,30	1,02	0,13	1,17	0,46	1,33	0,19	0,1

Tab. 47. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 r. asistenta r. 2005

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<4,14	<1,9	<3,2	<3,74	<3,24	<4,45	<1,88	<3,16	<2,37	<3,49	<2,3	<2,55
Průměr	<0,52	<0,24	<0,4	<0,47	<0,41	<0,56	<0,27	<0,4	<0,3	<0,44	<0,29	<0,32

Tab.48. Dávky na prstýnkových dozimetrech farmaceutů v r.2005

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	1,13	0,88	0,73	1,50	0,62	1,21	1,25	1,10	5,00	1,03	0,64	1,00
Far. 2.	2,70	0,86	1,21	0,14	0,64	0,90	0,93	0,85	0,50	2,51	1,55	2,83

Tab. 49. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 farmaceuta v r. 2005

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	3,83	1,74	1,94	1,64	1,26	2,11	2,18	1,95	5,5	3,54	2,19	3,83
Průměr	<1,92	<0,87	<0,97	<0,82	<0,63	<1,06	<1,09	<0,98	<2,75	<1,77	<1,1	<1,92

Tab.50. Dávky na prstýnkových dozimetrech lékařů v r.2006

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	< 0,1	< 0,1	0,11	<0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 2	0,25	0,13	0,18	0,12	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	0,12	< 0,1
Lékař 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 4	0,12	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tab. 51. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 lékaře v r. 2006

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,57	<0,43	<0,49	<0,42	<0,47	<0,4	<0,4	<0,4	<0,43	<0,4	<0,42	<0,4
Průměr	<0,14	<0,11	<0,12	<0,11	<0,12	<0,1	<0,1	<0,1	<0,11	<0,1	<0,11	<0,1

Tab.52. Dávky na prstýnkových dozimetrech r. asistentů v r.2006

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	0,30	0,33	0,21	0,48	0,38	0,64	< 0,1	0,54	0,53	0,41	3,21	0,17
Ra 2	0,10	< 0,1	0,30	< 0,1	0,47	< 0,1	< 0,1	0,32	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 3	0,18	< 0,1	0,13	< 0,1	0,19	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,25	0,26	0,16	< 0,1
Ra 4	0,77	< 0,1	1,20	0,28	0,39	0,79	0,45	0,11	0,68	0,13	1,54	< 0,1
Ra 5	0,42	0,28	1,86	0,15	0,79	< 0,1	0,24	0,24	< 0,1	0,79	0,29	0,12
Ra 6	0,39	0,14	0,16	0,67	0,31	0,41	0,61	0,21	1,02	0,16	0,54	0,25
Ra 7	0,17	< 0,1	< 0,1	0,14	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 8	1,01	0,74	0,76	0,46	0,43	0,76	0,30	0,47	0,74	0,55	1,64	< 0,1
Ra 9	0,14	1,39	0,27	0,39	0,11	0,51	0,27	0,23	0,23	0,57	0,14	1,05

Tab. 53. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 r. asistenta v r. 2006

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	3,48	<3,28	<4,99	<2,77	<3,18	<3,51	<2,27	<2,32	<3,75	<3,07	<7,72	<2,09
Průměr	0,39	<0,36	<0,55	<0,31	<0,35	<0,39	<0,25	<0,26	<0,42	<0,34	<0,86	<0,23

Tab.54. Dávky na prstýnkových dozimetrech farmaceutů v r.2006

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	0,89	1,06	0,72	1,02	1,37	1,02	1,47	1,65	3,81	1,06	1,65	2,14
Far. 2.	1,60	2,98	2,02	1,14	2,09	1,41	0,57	0,69	1,11	3,25	1,72	0,30

Tab. 55. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 farmaceuta v r. 2006

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	2,49	4,04	2,74	2,16	3,46	2,43	2,04	2,34	4,92	4,31	3,37	2,44
Průměr	1,25	2,02	1,37	1,08	1,73	1,22	1,02	1,17	2,46	2,16	1,69	1,22

Tab.56. Dávky na prstýnkových dozimetrech lékařů v r.2007

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	< 0,1	< 0,1	0,15	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,11	0,14	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,13	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,19	< 0,1	0,11	< 0,1
Lékař 3	0,15	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,14	0,19	< 0,1	0,11
Lékař 4	< 0,1	< 0,1	0,15	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,11	0,14	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lékař 5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,20	< 0,1	1,00	0,26	0,15	0,62

Tab. 57. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 lékaře v r. 2007

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,55	<0,5	<0,61	<0,5	<0,53	<0,5	<0,6	<0,52	<1,61	<0,75	<0,56	<1,03
Průměr	<0,11	<0,1	<0,12	<0,1	<0,11	<0,1	<0,12	<0,1	<0,32	<0,15	<0,11	<0,20

Tab.58. Dávky na prstýnkových dozimetrech r. asistentů v r.2007

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	0,31	0,56	0,55	0,82	0,19	0,81	0,44	0,41	0,39	0,76	0,93	0,75
Ra 2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,15	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 3	0,13	< 0,1	0,12	< 0,1	0,18	0,62	0,51	< 0,1	0,28	0,31	0,13	0,40
Ra 4	0,28	0,67	0,78	0,59	0,69	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,56	0,61	0,85	0,19
Ra 5	1,39	< 0,1	0,59	0,90	0,69	0,23	0,30	0,25	0,71	0,37	0,54	0,59
Ra 6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,77	0,90	0,22	< 0,1	0,63	< 0,1	0,42	< 0,1	0,16
Ra 7	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,16	0,55
Ra 8	1,33	0,39	0,48	0,87	0,37	1,51	< 0,1	0,48	0,35	0,60	0,52	0,79
Ra 9	0,28	0,21	0,70	0,61	0,11	2,24	0,50	0,40	0,20	0,22	0,65	0,41

Tab. 59. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 lékaře v r. 2007

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<4,02	<2,33	<3,54	<4,86	<3,33	<5,98	<2,25	<2,57	<2,79	<3,49	<3,98	<3,94
Průměr	<0,45	<0,26	<0,39	<0,54	<0,37	<0,66	<0,25	<0,29	<0,31	<0,39	<0,44	<0,44

Tab.60. Dávky na prstýnkových dozimetrech farmaceutů v r.2007

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	1,30	1,09	0,87	1,34	1,97	3,19	1,66	1,35	2,58	1,29	1,39	0,99
Far. 2.	1,41	2,19	1,57	2,02	2,22	1,78	0,67	1,10	0,41	1,14	1,05	1,22

Tab. 61. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 farmaceuta v r. 2007

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	2,71	3,28	2,44	3,36	4,19	4,97	2,33	2,45	2,99	2,43	2,44	2,21
Průměr	1,36	1,64	1,22	1,68	2,1	2,49	1,17	1,23	1,5	1,22	1,22	1,11

Tab.62. Dávky na prstýnkových dozimetrech lékařů v r.2008

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,27	< 0,1	< 0,1	0,12	< 0,1	<0,1
Lékař 2	< 0,1	< 0,1	0,11	0,13	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,22	0,14	0,15	< 0,1	<0,1
Lékař 5	0,14	1,46	0,61	0,66	1,17	< 0,1	0,28	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 6	< 0,1	0,13	0,24	0,66	0,40	0,25	0,27	0,11	0,28	0,48	0,26	<0,1

Tab. 63. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 lékaře v r. 2008

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<0,64	<1,99	<1,26	<1,75	<1,97	<0,76	<1,12	<0,73	<0,82	<1,05	<0,76	<0,6
Průměr	<0,11	<0,33	<0,21	<0,29	<0,33	<0,13	<0,19	<0,12	<0,14	<0,18	<0,13	<0,1

Tab.64. Dávky na prstýnkových dozimetrech r. asistentů v r.2008

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	0,68	1,14	0,62	1,22	0,43	1,15	0,31	0,16	0,68	0,43	1,44	0,64
Ra 2	< 0,1	0,54	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,14	< 0,1	< 0,1	0,31	< 0,1	< 0,1
Ra 3	0,50	< 0,1	0,50	0,49	0,40	0,99	0,12	0,40	0,56	0,25	1,01	0,23
Ra 4	1,03	0,34	1,00	< 0,1	0,78	0,48	0,95	< 0,1	0,1	0,39	0,31	1,24
Ra 5	0,15	0,38	1,40	0,95	1,06	0,27	0,10	0,48	0,36	0,50	1,23	< 0,1
Ra 6	0,43	< 0,1	< 0,1	0,88	< 0,1	< 0,1	0,11	0,35	< 0,1	0,42	< 0,1	< 0,1
Ra 7	< 0,1	< 0,1	0,89	0,17	< 0,1	0,26	0,35	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,82	1,19	0,22	0,91	0,51
Ra 9	0,20	0,91	0,32	0,65	0,25	< 0,1	< 0,1	0,32	0,14	0,52	0,31	0,29
Ra 10	0,19	0,19	1,20	< 0,1	0,60	2,33	0,37	0,38	1,16	0,51	< 0,1	0,31

Tab. 65. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 r. asistenta v r. 2008

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<3,48	<3,9	<6,23	<4,76	<3,92	<5,88	<3,66	<3,21	<4,5	<3,65	<5,61	<3,62
Průměr	<0,35	<0,39	<0,62	<0,48	<0,39	<0,59	<0,37	<0,32	<0,45	<0,37	<0,56	<0,36

Tab.66. Dávky na prstýnkových dozimetrech farmaceutů v r.2008

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	1,06	2,71	2,55	1,08	2,07	1,91	4,04	5,47	1,94	4,56	4,47	3,00
Far.2.	2,26	1,84	0,97	0,15	2,38	0,87	1,30	0,98	0,64	0,69	2,02	0,52

Tab. 67. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 farmaceuta v r. 2008

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	3,32	4,55	3,52	1,23	4,45	2,78	5,34	6,45	2,58	6,49	6,49	3,52
Průměr	1,66	2,78	1,76	0,62	2,23	1,39	2,67	3,23	1,29	3,25	3,25	1,76

Tab.68. Dávky na prstýnkových dozimetrech lékařů v r.2009

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Lékař 1	0,49	0,25	0,35	0,11	0,37	0,25	< 0,1	0,17	0,12	0,17	0,44	<0,1
Lékař 2	0,12	< 0,1	0,15	0,29	< 0,1	0,11	0,24	0,11	< 0,1	< 0,1	0,24	0,27
Lékař 3	< 0,1	0,20	0,20	< 0,1	0,15	< 0,1	< 0,1	0,34	0,19	0,29	0,12	<0,1
Lékař 4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,11	< 0,1	< 0,1	0,16	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,45	0,21
Lékař 5	< 0,1	< 0,1	0,27	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Lékař 6	< 0,1	0,13	0,28	0,49	0,83	0,59	0,23	0,14	0,41	1,46	< 0,1	0,76
Lékař 7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,18	0,98	0,29	0,56	< 0,1	< 0,1	0,14	<0,1

Tab. 69. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 lékaře v r. 2009

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	<1,11	<0,98	<1,45	<1,3	<1,83	<2,23	<1,22	<1,52	<1,12	<2,32	<1,59	<1,64
Průměr	<0,16	<0,14	<0,21	<0,19	<0,26	<0,32	<0,17	<0,22	<0,16	<0,33	<0,23	<0,23

Tab.70. Dávky na prstýnkových dozimetrech r. asistentů v r.2009

Měsíc	I.	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ra 1	0,67	0,57	2,08	0,81	2,06	1,89	0,21	0,15	0,85	0,35	0,59	0,57
Ra 2	0,38	< 0,1	< 0,1	0,35	0,12	0,31	0,24	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ra 3t	0,41	0,12	1,09	0,39	0,28	0,76	0,52	< 0,1	0,79	0,93	0,33	0,79
Ra 4	0,26	< 0,1	0,78	0,25	0,41	0,23	0,29	< 0,1	0,38	0,33	0,47	< 0,1
Ra 5	0,55	< 0,1	0,84	< 0,1	0,58	0,20	0,31	0,63	0,26	0,37	0,28	0,58
Ra 6	0,16	0,58	0,49	< 0,1	0,43	0,22	< 0,1	0,65	< 0,1	< 0,1	0,44	0,13
Ra 7	1,07	0,73	0,21	0,23	< 0,1	0,46	0,13	0,43	< 0,1	< 0,1	1,53	< 0,1
Ra 8	0,54	0,29	0,84	0,43	0,45	0,99	0,23	0,14	0,75	< 0,1	0,64	0,47
Ra 9	0,56	0,29	0,66	1,44	0,17	0,38	0,27	0,81	0,24	0,22	0,79	< 0,1
Ra 10	0,73	0,23	0,22	0,20	< 0,1	0,19	0,13	0,30	0,32	0,54	0,14	< 0,1

Tab. 71. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 r. asistenta v r. 2009

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	5,33	<3,11	<7,31	<4,3	<4,7	5,63	<2,43	<3,41	<3,89	<3,14	<5,31	<3,04
Průměr	0,53	<0,31	<0,73	<0,43	<0,47	0,56	<0,24	<0,34	<0,39	<0,31	<0,53	<0,30

Tab.72. Dávky na prstýnkových dozimetrech farmaceutů v r.2009

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Far. 1	6,91	3,58	5,96	3,67	4,17	4,74	3,84	5,96	1,69	0,78	3,28	2,31
Far. 2.	0,47	6,90	8,47	6,85	5,58	7,02	1,94	3,32	3,56	2,29	4,05	3,02
Far. 3	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2,57	7,45	4,32	3,08	4,65	2,53

Tab. 73. Suma a průměr dávky na prstýnkovém dozimetru na 1 farmaceuta v r. 2009

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Suma	7,38	10,48	14,43	10,52	9,75	11,76	8,35	16,73	9,57	6,15	11,98	7,86
Průměr	3,69	5,24	7,22	5,26	4,88	5,88	2,78	5,58	3,19	2,05	3,99	2,62

Tab. 74 Přehled dávek filmových dozimetrů lékařů za 12 měsíců jednoho roku. Průměr značí průměrnou měsíční hodnotu na lékaře v daném roce (mSv)

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Suma	<7,54	<6,82	<5,86	<7,77	<9,07	<9,7
Průměr	<0,63	<0,57	<0,49	<0,65	<0,76	<0,81

Tab. 75 Porovnání dávek z filmových dozimetrů lékařů za období pěti let a roku 2009, kdy byl zaveden PET/CT (mSv)

Průměr 2004 - 2008	Průměr 2009
<0,62	<0,81

Tab. 76 Přehled dávek filmových dozimetrů radiologických asistentů za 12 měsíců jednoho roku. Průměr značí průměrnou měsíční hodnotu na r. asistenta v daném roce (mSv)

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Suma	<12,4	<10,84	<12,72	<12,76	<13,75	<15,7
Průměr	<1,03	<0,90	<1,06	<1,06	<1,15	<1,31

Tab. 77 Porovnání dávek z filmových dozimetrů r. asistentů za období pěti let a roku 2009, kdy byl zaveden PET/CT (mSv)

Průměr rok 2004 - 2008	Průměr rok 2009
<1,04	<1,31

Tab. 78 Přehled dávek filmových dozimetrů farmaceutů za 12 měsíců jednoho roku. Průměr značí průměrnou měsíční hodnotu na farmaceuta v daném roce (mSv)

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Suma	<3,42	<2,4	<2,4	<2,53	<2,48	<3
Průměr	<0,29	<0,2	<0,2	<0,21	<0,21	<0,25

Tab. 79 Porovnání dávek z filmových dozimetrů farmaceutů za období pěti let a roku 2009, kdy byl zaveden PET/CT (mSv)

Průměr rok 2004 - 2008	Průměr rok 2009
<0,22	<0,25

Tab. 80 Přehled dávek prstových dozimetrů lékařů za 12 měsíců jednoho roku. Průměr značí průměrnou měsíční hodnotu na lékaře v daném roce (mSv)

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Suma	<6,4	<5,88	<5,23	<8,26	<13,45	<18,31
Průměr	<0,53	<0,49	<0,44	<0,69	<1,12	<1,53

Tab. 81 Porovnání dávek z prstových dozimetrů lékařů za období pěti let a roku 2009, kdy byl zaveden PET/CT (mSv)

Průměr rok 2004 - 2008	Průměr rok 2009
<0,65	<1,53

Tab. 82 Přehled dávek prstových dozimetrů r. asistentů za 12 měsíců jednoho roku. Průměr značí průměrnou měsíční hodnotu na r. asistenta v daném roce (mSv)

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Suma	<34,73	<36,42	<42,43	<43,08	<52,42	<51,6
Průměr	<2,89	<3,04	<3,54	<3,59	<4,37	<4,3

Tab. 83 Porovnání dávek z filmových dozimetrů lékařů za období pěti let a roku 2009, kdy byl zaveden PET/CT (mSv)

Průměr rok 2004 - 2008	Průměr rok 2009
<3,49	<4,3

Tab. 84 Přehled dávek prstových dozimetrů farmaceutů za 12 měsíců jednoho roku. Průměr značí průměrnou měsíční hodnotu na farmaceuta v daném roce (mSv)

Rok	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Suma	34,46	31,71	36,74	35,8	50,72	124,96
Průměr	2,87	2,64	3,06	2,98	4,23	10,41

Tab. 85 Porovnání dávek z prstových dozimetrů farmaceutů za období pěti let a roku 2009, kdy byl zaveden PET/CT (mSv)

Průměr rok 2004 - 2008	Průměr rok 2009
3,16	10,41

Tab. 86 Hodnoty naměřené na digitálních dozimetrech lékařů za rok 2009 v μSv . Výsledky jsou uváděny v tříměsíčních obdobích z důvodu vyhodnocovacího systému, který je takto nastaven.

2009	1. kvartál	2. kvartál	3. kvartál	4. kvartál	Celkem μSv
Lékař 1	82	76	77	59	294
Lékař 2	130	120	206	168	624
Lékař 3	232	137	84	84	537
Lékař 4	141	182	180	137	640
Lékař 5	304	75	178	121	678
Lékař 6	113	280	143	234	770

Tab. 87 Hodnoty naměřené na digitálních dozimetrech r. asistentů za rok 2009 v μSv .

2009	1. kvartál	2. kvartál	3. kvartál	4. kvartál	Celkem μSv
R. asistent 1	36	41	95	87	259
R. asistent 2	53	32	116	17	218
R. asistent 3	137	181	135	108	561
R. asistent 4	338	209	193	380	1120
R. asistent 5	64	33	112	51	260
R. asistent 6	183	149	136	183	651
R. asistent 7	22	121	79	90	312
R. asistent 8	225	53	155	163	596
R. asistent 9	227	295	303	208	1033
R. asistent 10	118	120	163	188	589

5 Diskuse

Prvním cílem této práce bylo srovnání radiační zátěže pracovníků oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové od diagnostických gama-záříčů a terapeutických beta-záříčů před zavedením PET/CT. Druhým cílem bylo určit změny radiační zátěže pracovníků po zavedení PET/CT a pozitronových radiofarmak. Kamera PET/CT byla spuštěna v lednu roku 2009 jako nový přístroj na oddělení nukleární medicíny, touto kamerou nebylo nahrazeno žádné ze stávajících vyšetření. Prostory oddělení se nezvětšovali, proběhly pouze stavební úpravy pro umístění PET/CT skeneru a prostorů spojených s vyšetřením na PET/CT. Stavební úpravami došlo ke změně radiační ochrany. Důležitým faktem tedy je, že prostory se nijak nerozšířili ale došlo k navýšení počtu prováděných vyšetření a ke změně spektra používaných záříčů. S novým vyšetřením PET/CT došlo na oddělení k navýšení pracovníků na pozicích lékařů, radiologických asistentů a farmaceutů. Počet lékařů se zvýšil ze šesti na sedm (z nich pouze 6 s atestací se střídá na PET/CT), u farmaceutů došlo k navýšení ze dvou na tři pracovníky. Počet radiologických asistentů se nenavýšil, k navýšení došlo až v roce 2010, což nebylo zahrnuto do této práce. Na oddělení, jako na detašované pracoviště docházejí čtyři lékaři (radiologové), kteří se nepodílí na samotném vyšetření PET/CT ale jen na vyhodnocování výsledků.

Při výpočtech průměrných osobních dávkových ekvivalentů $H_p(10)$ jednotlivých pracovníků bylo problémem podprahové měření, kdy nelze přesně říci jakou dávku pracovník pod touto hranicí obdržel rozpětí je od hodnot 0,00 – 0,10 mSv. CSOD, kde se data vyhodnocují, takto malé obdržené dávky pod 0,10 mSv značí jako 0,00. V práci jsem užívala hodnotu $< 0,1$ mSv, z důvodu jak jsem napsala výše. Při výpočtech jsem v těchto případech použila hodnotu 0,1 mSv, což je nejvyšší dávka, kterou mohl pracovník dosáhnout. Dalším rozhodujícím faktorem ovlivňujícím hodnotu dávek je podíl jednotlivého pracovníka na vyšetření. Na jednom vyšetření se může podílet více lékařů ale i radiologických asistentů, což není možné v rámci této práce zhodnotit. V práci také nejsou hodnoceny absence jednotlivých pracovníků (dovolené, nemoci).

Žádný z pracovníků však ve sledovaném období let 2004 – 2008 a roku 2009 nebyl dlouhodobě nepřítomen.

Od roku 2004 do roku 2008 bylo v průměru ročně provedeno 7500 scintigrafických vyšetření a 240 terapií otevřenými zářiči. Za 5 let je to cca 37500 scintigrafických vyšetření a 1200 terapií otevřenými zářiči, kdy průměrný dávkový ekvivalent $H_p(10)$ na lékaře za rok činil $< 0,64$ mSv. Důležitým faktem je, že v průběhu těchto let, došlo k navýšení lékařů ze čtyř na šest, proto nelze přesně stanovit v rozmezí těchto let kolektivní dávku, z důvodu nestejného počtu lékařů. Osobní dávkový ekvivalent u radiologických asistentů za období čtyř let činil $< 1,04$ mSv. V tomto období u radiologických asistentů také došlo k navýšení pracovníků z osmi na deset. Přehled jednotlivých průměrných dávek lékařů za rok je uveden v tabulce č. 74 a radiologických asistentů v tab. č. 76. U farmaceutů nebyla celotělová dávka zvýšena skoro vůbec, jen nepatrně z průměrných dávek $< 0,22$ na $< 0,25$ mSv. Farmaceuti jsou celotělovému ozáření vystavováni minimálně, protože pracují s radiofarmakem v chráněných (odstíněných) laminárních boxech a do styku s pacientem naaplikovaným radiofarmakem přijdou minimálně. Průměrné dávkový ekvivalent u farmaceutů se tedy zvýšil úplně nepatrně o $< 0,03$ mSv. O tomto zvýšení se nedá s určitostí říci, že je to následkem zavedení vyšetření PET/CT.

V přehledu dávek termoluminiscenčních prstových dozimetrů je ve sledovaném období let 2004 – 2008 průměrná dávka na lékaře za pět let 0,69 mSv. U radiologických asistentů je tato dávka skoro čtyřikrát větší a její hodnota je 3,49 mSv za pět let, kdy docházelo k personálním změnám v počtu pracovníků. Dávka je skoro shodná s dávkou farmaceutů která činí v průměru 3,16 mSv za pět let, kdy se počet farmaceutů neměnil oproti asistentům. Farmaceuti mají větší radiační zátěž na prsty, z důvodu přípravy radiofarmak, kdy vystavují ruce blízkému kontaktu s radionuklidem. Vyšší dávku si vysvětlují tím, že radiologičtí asistenti natahují radiofarmaka pro scintigrafická vyšetření v digestoři pro jednotlivé pacienty a přijdou tak do velmi blízkého kontaktu prstů s radiofarmakem.

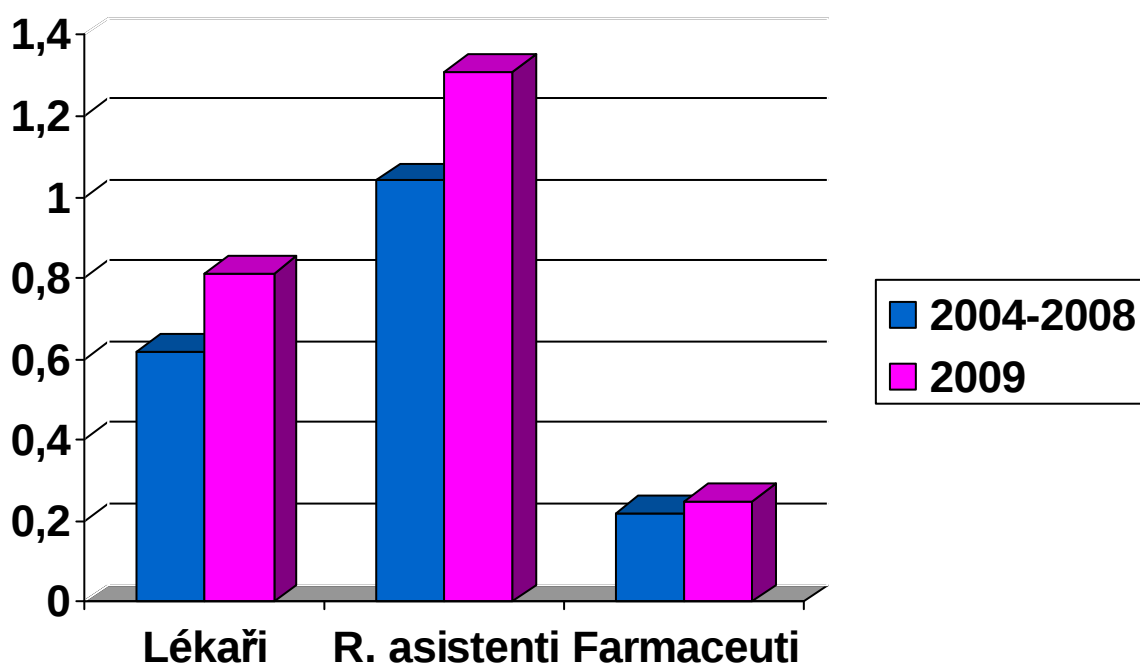
Zavedením PET/CT se zvýšil počet vyšetření na nukleární medicíně FNHK. Za rok 2009 bylo provedeno 1446 vyšetření pomocí pozitronových zářičů, s nejčastěji používanou ^{18}F -FDG. Pracovníci, kteří pracují na PET/CT, jak jsem již psala, mají osobní digitální dozimetry, které měří operativně dávku a je možné je kdykoliv odečíst. Vyhodnocovací systém digitálních dozimetrů je nastaven k přehledu vyhodnocení obdržených dávek v tříměsíčních cyklech. U lékařů se dávky pohybovaly v rozmezí od 75 μSv do 304 μSv za období tří měsíců, celková dávka lékařů činila 3540 μSv při počtu šesti lékařů, což odpovídá průměrně 590 μSv (0,59 mSv) na lékaře za rok. Samozřejmě dávky lékařů se odvíjejí od rychlosti aplikace pozitronového zářiče, na manuální zručnosti a postupu, který lékař volí při aplikaci pozitronového zářiče. Náplní práce radiologického asistenta na vyšetření PET/CT je zajistit žilní vstup s následnou péčí o něj, vysvětlení postupu vyšetření, které pacienty čeká, uložení pacienta do vyšetřovací polohy a po vyšetření pacientovy odstraní žilní vstup. Při všech těchto činnostech (mimo zavádění žilního vstupu) je v blízkosti s naaplikovaným pacientem. Lékaři po aplikaci pozitronového zářiče vyzvou pacienta, aby si přešel do čekacích boxů.

Ke zvýšení dávek na ruce došlo nejvíce u farmaceutů, kteří připravují pozitronové zářiče v digestoři pro jednotlivé pacienty dle jejich váhy. Mají k dispozici laminární box ve, kterém je zářič (^{18}F FDG) připravován pomocí elektronického dilutoru, ale přesto jejich ruce jsou vystaveny vyšším dávkám. V letech 2004 – 2008 byla průměrná dávka farmaceutů za tyto čtyři roky 3,16 mSv, Dávky na termoluminiscenčních prstýnkových dozimetrech byli v rozmezí 2,87 až 4,23. V roce 2009 se dávka zvýšila v průměru na 10,41 mSv. Dalo by se říci, že u farmaceutů došlo k navýšení skoro o třikrát. U lékařů byla dávka na ruce navýšena z $< 0,65$ na $< 1,53$ mSv tedy o dva a půl násobek. Radiologičtí asistenti neměli zaznamenány přílišné zvýšení dávek, k nárůstu došlo cca o 1 mSv z $< 3,49$ na $< 4,3$ mSv. Dle výsledků se dá tedy říci, že na oddělení nukleární medicíny FNHK nedošlo k výraznému celotělovému zvýšení ekvivalentních dávek pracovníků po zavedení vyšetření PET/CT ve srovnání s předchozími pěti lety. Jediným významným nárůstem byli dávky, které obdrželi farmaceuti na prsty po zavedení

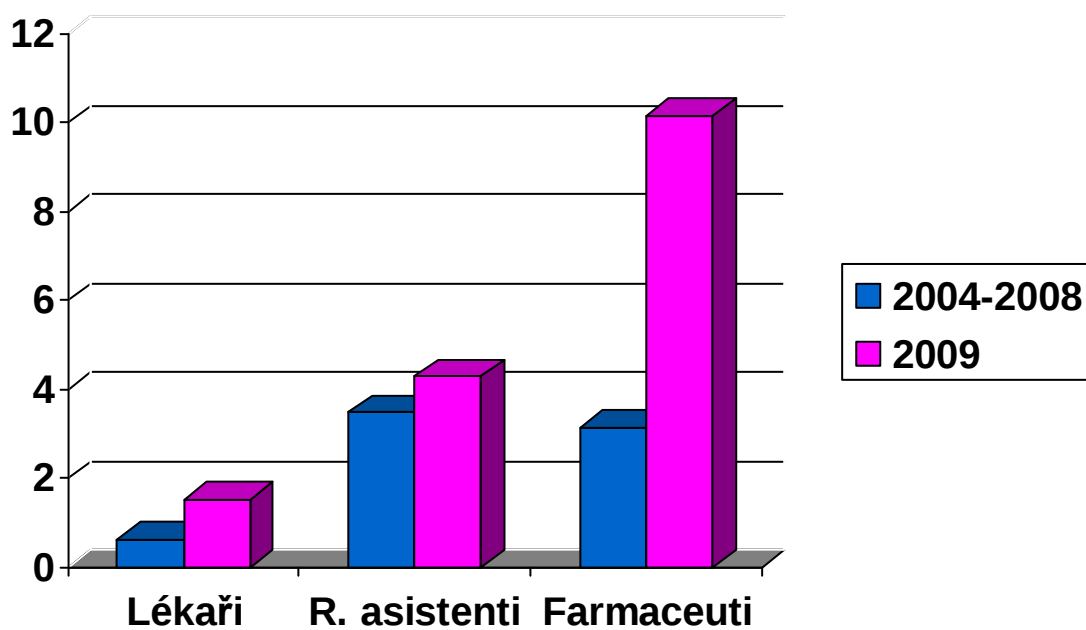
vyšetření. Ve všech případech jde o dávky hluboko pod povolenými limity pro pracovníky s ionizujícím zářením.

Pro lepší přehlednost porovnání dávek jednotlivých skupin pracovníků jsem vypracovala grafy.

Graf č.1. Vyjadřuje srovnání celotělové radiační zátěže pracovníku jednotlivých skupin. Modré sloupce značí průměrné dávky pracovníků obdržené za pět let (2004 – 2008). Růžové sloupce značí průměrné dávky obdržené za rok 2009. Dávky jsou uváděny v mSv.



Graf č.2. Vyjadřuje radiační zatížení prstů pracovníků. Modré sloupce značí obdržené dávky pracovníků za období pěti let (2004 – 2008) a růžové sloupce značí obdržené dávky pracovníků v roce 2009. Dávky jsou v mSv.



6 Závěr

V bakalářské práci jsem srovnávala radiační zátěž pracovníků nukleární medicíny FNHK před zavedením PET/CT a po zavedení vyšetření. Dospěla jsem k závěrům, že nedošlo k výrazným nárůstům průměrných radiačních dávkových ekvivalentů Hp (10) po zavedení metody PET/CT i přesto že, je k tomuto vyšetření využíváno pozitronových zářičů se sekundární emisí vysokoenergetického anihilačního záření.

U všech tří skupin nedošlo k výraznému nárůstu osobních dávkových ekvivalentů ohledně celotělového radiačního zatížení. V průměru došlo ke zvýšení o cca $< 0,20$ mSv oproti předchozím pěti rokům. Radiační zátěž na prsty se v průměru zvýšila u všech tří skupin pracovníků. Největší nárůst dávek na prsty byl zaznamenán u farmaceutů, činil přibližně trojnásobek předchozí průměrné dávky. U radiologických asistentů byl nárůst 23% a u lékařů 54 %.

Z výsledků vyplývá, že na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové došlo k nepatrnému průměrnému nárůstu celotělové radiační zátěže pracovníků. Výrazněji se zvýšila radiační zátěž prstů pracovníků, hlavně farmaceutů, ale zdaleka nepřekračujících povolené limity. Výsledky ukazují na správnou techniku provádění vyšetření a na správně volené prvky radiační ochrany.

Výsledky byli využity na oddělení nukleární medicíny FNHK k hodnocení optimalizace radiační ochrany.

7 Klíčová slova

Dávka

Dávkový ekvivalent

Dozimetrie

Nukleární medicína

Pozitronová emisní tomografie

Radiační ochrana

Radiační zátěž

8 Seznam použité literatury

- 1, KUPKA K., KUBINYI J., ŠÁMAL M., a kol. Nukleární medicína. 1. vyd. Příbram, P3K, 2007, 185s., ISBN 978-80-903584-9-2
- 2, BĚLOHLÁVEK O., et. al. Atlas of Positron Emission Tomography – Atlas pozitronové emisní tomografie 1.vyd. Praha, Lacomed spol s.r.o., 2003, 72s., ISBN 80-902873-8-7
- 3, HUŠÁK Václav a kol., Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1 vyd., Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci. Fakulta zdravotnických věd. 2009, 138s., ISBN 978-80-244-2350-0
- 4, BELADOVÁ G., VÍŽĎA J., Thymom jako náhodný nález na PET/CT vyšetření. Praktická radiologie. 2009, Roč. 14, č.4.
- 5, VOTRUBOVÁ Jana et al., Klinické PET a PET/CT. 1. vyd., Praha, Galén 2009, 207s., ISBN 978-80-7262-619-9
- 6, VYBÍRAL Petr, PET/CT – zobrazování hybridním přístrojem. Praktická radiologie. 2007, Roč. 12, č.1, ISSN 1211 – 5053
- 7, ULLMANN Vojtěch, Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření. Dostupné online: <http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>. Cit. 4.3.2010
- 8, LÉKAŘSKÁ FAKULTA UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI., Technické součásti PET. Dostupné online:
<http://www.upol.cz/fakulty/lf/struktura/pracoviste/klinika-nuklearni-mediciny/pedagogicka-cinnost/fyzikalni-zaklady-zobrazovani-v-nuklearni-medicine-a-radiacni-ochrana/pozitronova-emisni-tomografie/technicke-soucasti-pet/>., cit. 18.2.2010
- 9, SÚJB. Zákon č. 18/1997 Sb. Dostupné online: http://www.sujb.cz/?c_id=229. cit. 30.3.2010

10, CSOD., Seznam služeb. Dostupné online: <http://www.csod.cz/sluzby/>., cit 3.4.2010

11, HUŠÁK V., PTÁČEK J., MYSLIVEČEK M., KLEINBAUER K., Radiační zátěž a radiační ochrana pacienta v diagnostické nukleární medicíně. Praha, 2004, 40s

12, Sbírka zákonů. Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně, ze dne 13. června 2002

9 Přílohy

Příloha č.1. Seznam zkratk

ALARA – As Low As Reasonably Achievable

BGO – bismut germanátové krystaly

CT – computed tomography

CSOD – Celostátní služba osobní dozimetrie

FDG – fluorodeoxyglukóza

FNHK – Fakultní nemocnice Hradec Králové

ICRP – International Commission on Radiological Protection

IZ – ionizující záření

LSO – lutecium oxyorthosilikát

NM – nukleární medicína

PET/CT – Positron Emission Tomography / Computed Tomography

SPETCT – Single Photon Emission Computed Tomography

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚRO – Státní ústav radiační ochrany