

ZHODNOCENÍ PRŮMĚRNÉ ROČNÍ EFEKTIVNÍ DÁVKY A PRŮMĚRNÉ ROČNÍ EKVIVALENTNÍ DÁVKY NA RUCE U PERSONÁLU KLINIKY NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY FAKULTNÍ NEMOCNICE OSTRAVA V LETECH 2006–2012

EVALUATION OF THE AVERAGE ANNUAL EFFECTIVE DOSE AND AVERAGE ANNUAL EQUIVALENT DOSE TO THE HANDS OF THE STAFF OF DEPARTMENT OF NUCLEAR MEDICINE UNIVERSITY HOSPITAL IN THE YEARS 2006–2012

původní práce

Jana Hudzietzová¹
Michal Koláček²
Lenka Ullmannová²
Jozef Sabol¹
Otakar Kraft^{2,3}

¹České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství

²Klinika nukleární medicíny FN, Ostrava

³Lékařská fakulta Ostravské univerzity, Ostrava

Přijato: 15. 5. 2013.

Korespondenční adresa:

Ing. Jana Hudzietzová
Fakulta biomedicínského inženýrství, ČVUT v Praze
Katedra lékařských a humanitních oborů
nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno
e-mail: hudzietzova@gmail.com

Konflikt zájmů: Autor neuvádí žádný konflikt zájmů.

Referát byl připraven za částečné podpory poskytnuté v rámci projektu SGS13/161/OHK4/2T/17.

SOUHRN

Hudzietzová J, Koláček M, Ullmannová L, Sabol J, Kraft O. Zhodnocení průměrné roční efektivní dávky a průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce u personálu Kliniky nukleární medicíny Fakultní nemocnice Ostrava v letech 2006–2012

Cíl: Cílem práce bylo na základě retrospektivní analýzy posoudit radiační zátěž ve smyslu průměrné roční efektivní dávky a průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce u jednotlivých skupin pracovníků Kliniky nukleární medicíny Fakultní nemocnice Ostrava (KNM FNO) v letech 2006–2012.

Metoda: Pro stanovení průměrné roční efektivní dávky byly využity výsledky monitorování pracovníků pomocí osobních dozimetrů. Pro určení průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce byly použity údaje monitorování z prstových dozimetrů personálu. V obou případech se vycházelo z jednoměsíčního monitorovacího intervalu.

Výsledky: Pro radiologické asistenty a sestry s atestací v oboru nukleární medicíny pracující na ambulanci KNM FNO činila průměrná efektivní dávka v jednotlivých letech 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 a 2012 hodnoty 2,1 mSv, 2,4 mSv, 1,7 mSv, 1,7 mSv, 1,6 mSv, 1,1 mSv a 1,1 mSv. Pro farmaceuty byla průměrná roční efektivní dávka za shodné časové období 1,4 mSv, 1,4 mSv,

SUMMARY

Hudzietzová J, Koláček M, Ullmannová L, Sabol J, Kraft O. Evaluation of the average annual effective dose and average annual equivalent dose to the hands of the staff of Department of Nuclear Medicine University Hospital in the years 2006–2012

Aim: The aim of the study was a retrospective analysis to assess the radiation burden in terms of annual average effective dose equivalent and average effective dose to the hands from the fingers to the forearm of some staff of Department of Nuclear Medicine University Hospital Ostrava (KNM FNO) in 2006–2012.

Method: For the assessment of the annual average effective dose, the results of personal monitoring have been used. To determine the average dose equivalent to hand from the fingers to the forearm monitoring data from finger dosimeters were used. In both cases one month monitoring period was applied.

Results: For radiological assistants and nurses with certification in the field of nuclear medicine working in the ER KNM FNO, the average effective dose in years 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 and 2012 was 2.1 mSv, 2.4 mSv, 1.7 mSv, 1.7 mSv, 1.6 mSv, 1.1 mSv and 1.1 mSv, respectively. In case of pharmacists, the average effective dose for the same period was 1.4 mSv, 1.4 mSv, 0.8 mSv,

0,8 mSv, 0,8 mSv, 1,0 mSv, 0,8 mSv a 0,9 mSv. Sestry na lůžkovém oddělení obdržely průměrnou roční efektivní dávku v daném časovém období 0,5 mSv, 1,0 mSv, 0,4 mSv, 0,4 mSv a 0,7 mSv, 0,5 mSv a 0,9 mSv. Lékaři na ambulanci získali průměrnou roční efektivní dávku 1,7 mSv, 1,8 mSv, 1,5 mSv, 1,7 mSv, 2,0 mSv, 1,8 mSv a 1,3 mSv. Průměrná roční efektivní dávka u pracovníků technicko-fyzikálního úseku byla 0,5 mSv, 0,6 mSv, 0,2 mSv, 0 mSv, 0 mSv, 0 mSv a 0,4 mSv. Průměrná roční ekvivalentní dávka na ruce pracovníků v letech 2006–2012 dosahovala u farmaceutů 66,7 mSv, 43,0 mSv, 71,9 mSv, 93,2 mSv, 100,4 mSv, 103,3 mSv a 115,00 mSv. U lékařů na ambulanci, kteří byli monitorováni od roku 2009 do současnosti byla vyhodnocena průměrná roční ekvivalentní dávka na ruce na 9,1 mSv, 8,0 mSv a 10,0 mSv.

Závěr: U všech sledovaných skupin (radiologičtí asistenti a sestry s atestací v oboru nukleární medicína, lékaři na ambulanci, farmaceuti i technicko-fyzikální úsek) vykazuje veličina průměrná roční efektivní dávka částečně klesající trend, přestože se na daném pracovišti každoročně zvyšuje počet provedených vyšetření, ale i terapií. Naopak u průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce dochází ke zvyšování hodnot, které jsou důsledkem narůstajícího množství zpracované aktivity na KNM FNO.

Klíčová slova: nukleární medicína, monitorování pracovníků, efektivní dávka, ekvivalentní dávka, radiační ochrana.

0,8 mSv, 1,0 mSv, 0,8 mSv and 0,9 mSv. Nurses in the ward received the average effective dose in the same period 0,5 mSv, 1,0 mSv and 0,4 mSv, 0,4 mSv and 0,7 mSv, 0,5 mSv and 0,9 mSv. Doctors at the clinic received the average effective dose 1,7 mSv, 1,8 mSv, 1,5 mSv, 1,7 mSv, 2,0 mSv, 1,8 mSv and 1,3 mSv. The average effective dose for physicists and technicians was 0,5 mSv, 0,6 mSv, 0,2 mSv, 0 mSv, 0 mSv, 0 mSv and 0,4 mSv. The average dose equivalent to hand of pharmacists in the years 2006–2012 amounted to 66.7 mSv, 43.0 mSv, 71.9 mSv, 93.2 mSv, 100.4 mSv, 103.3 mSv and 115. 0 mSv. The doctors at the clinic, who were monitored from 2009 to the present, have received the average dose equivalent to hands 9.1 mSv, 8.0 mSv and 10.0 mSv.

Conclusion: In all groups (radiographers and nurses with the certification in the field of nuclear medicine, the clinicians, pharmacists, physicists and technicians) some downward trend in variable average effective dose was observed, despite the fact that the workload in terms of tests performed was showed annually increasing trend with a similar situation as far as radiotherapy was concerned. In contrast, the average equivalent dose to hands lead to the increase which can be attributed to the increasing amount of activities of radiopharmaceuticals processed at the KNM FNO.

Key words: nuclear medicine, personnel monitoring, effective dose, equivalent dose, radiation protection.

ÚVOD

Na oddělení nukleární medicíny přichází pracovníci do styku s radiofarmaky, která se řadí mezi tzv. otevřené zářiče, jež jsou uměle vyrobeny člověkem. Otevřeným radionuklidovým zářičem se rozumí zdroj ionizujícího záření, který není považován za uzavřený zářič (podle §2 vyhlášky č. 307/2002 Sb.). V důsledku používání těchto umělých zdrojů ionizujícího záření (ZIZ), které se mohou používat ve formě roztoků, suspenzí, aerosolů či plynů, jsou pracovníci nukleární medicíny vystaveni profesionálnímu ozáření, které je monitorováno dle požadavků Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) v souladu s Atomovým zákonem a vyhláškou č. 307/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů (1, 2). Z důvodu manipulace s těmito otevřenými zářiči je personál nukleární medicíny vystaven nejen externímu ozáře-

ní (ionizující záření je emitováno z radiofarmak či pacientů, jimž bylo dané radiofarmakum aplikováno), ale také možnosti vnitřní kontaminace, která je způsobena přítomností radionuklidu v těle, jenž se zde dostal inhalací. Vycházelo se přitom z předpokladu, že za normálních podmínek je u pracovníků nukleární medicíny příspěvek k efektivní či ekvivalentní dávce od vnitřní kontaminace oproti vnějšímu ozáření zanedbatelný.

Je proto velice žádoucí, aby mělo každé pracoviště se zdroji ionizujícího záření zabezpečeno osobní monitorování při činnostech vedoucích k vnějšímu ozáření (v souladu s Doporučením zabezpečení osobního monitorování při činnostech vedoucích k ozáření, část I. – zevní ozáření (3)), v případě manipulace s otevřenými zářiči také monitorování vnitřní-

ho ozáření (v souladu s Doporučením zabezpečení osobního monitorování při činnostech vedoucích k ozáření, část II. – vnitřní ozáření (4)). Monitorováním se rozumí měření veličin charakterizující radiační pole, stanovení dozimetrických veličin, jejich následná interpretace spolu s hodnocením ozáření radiačních pracovníků či dalších osob. Osobní monitorování je část systému radiačního monitorování na pracovišti se ZIZ (na pracovištích se ZIZ se rovněž monitoruje pracoviště samotné či jeho okolí a výpusti), které má za úkol sledovat osobní dávky (ve smyslu osobního dávkového ekvivalentu) a dodržovat požadavky kladené na limitování ozáření osob, dále je nutností u tohoto monitorování dokládat optimalizaci radiační ochrany, kontrolovat odchylky od normálního (běžného) provozu a dohlížet na bezpečný provoz těchto pracovišť.

Každá osoba, která je vystavena profesnímu ozáření, je radiačním pracovníkem. Tito pracovníci se rozdělují dle očekávaného ozáření za běžného provozu včetně předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu (výjimku tvoří ozáření v důsledku radiační nehody či havárie) na pracovníky kategorie A nebo B. Do kategorie A spadají radiační pracovníci, u nichž by mohla být podle Vyhlášky o radiační ochraně efektivní dávka větší než 6 mSv/rok nebo ekvivalentní dávka větší než $\frac{3}{10}$ limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny (2). Všichni ostatní radiační pracovníci jsou zařazeni do kategorie B. U pracovníků kategorie A je povinnost osobního monitorování pomocí osobních dozimetrů, jež jsou nošeny na referenčním místě (levá horní část hrudníku) po dobu monitorovacího období, která ve většině případů činí 1 měsíc. V případě nukleární medicíny je pracovník vybaven osobním dozimetrem citlivým na záření beta a gama, pomocí něhož se vyhodnocuje osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ z pronikavého vnějšího ozáření, který se následně přepočítá na veličinu efektivní dávka E , na jejímž základě je stanoven dávkový limit pro pracovníky kategorie A (roční dávkový limit pro vnější ozáření činí 50 mSv, v pěti po sobě jdoucích letech však mohou pracovníci obdržet pouze 100 mSv) vztahující se ke stochastickým účinkům ionizujícího záření. U personálu, kde se předpokládá, že jejich ruce budou vystaveny zvýšené expozici, má daný jedinec také prstový termoluminiscenční dozimetr (TLD), na jehož základě se stanovuje osobní dávkový ekvivalent $H_p(0,07)$ z vnějšího ozáření potřebný pro přepočet na veličinu ekvivalentní dávka H_T na ruce (dle Vyhlášky o radiační ochraně je ekvivalentní dávka na ruce chápána jako ekvivalentní dávka na ruce od konečků prstů až po předloktí (2)) a zhodnocení, zda nedošlo k překročení ročního dávkového limitu pro radiační pracovníky kategorie A ve smyslu ekvivalentní dávky na ruce (roční dávkový limit na ruce činí 500 mSv).

ZIZ jsou na základě Atomového zákona roztrženy podle míry ohrožení zdraví osob a životního prostředí do jednotlivých kategorií. Konkrétní druhy ZIZ jsou přiřazeny do daných tříd dle Vyhlášky SÚJB č. 184/1997 Sb. a dle vyhlášky č. 307/2002 Sb. (2, 5, 6). Z hlediska míry nebezpečnosti zdroje jsou definovány příslušné požadavky na zabezpečování jakosti. Pracoviště se ZIZ by měla mít kvalitní zabezpečení radiační ochrany, které vyloučí neodůvodněné a nežádoucí účinky ionizujícího záření na osoby (pracovníky i obyvatelstvo) i životního prostředí, přičemž hledá možnosti snížení stávající úrovně ozáření (5).

Pracoviště nukleární medicíny spadají do I. (drobné zdroje ZIZ), II. (jednoduché ZIZ jako jsou radionuklidové generátory ^{99}Mo – $^{99\text{m}}\text{Tc}$, či radionuklidy ^{67}Ga , ^{111}In atd.) nebo III. ka-

tegorie (pracoviště s lůžkovým oddělením provádějící terapii pomocí radioaktivních izotopů, např. léčba onemocnění štítné žlázy pomocí radionuklidu ^{131}I o vysoké aktivitě).

V roce 2005 byla vydána studie zabývající se přehledem a hodnocením profesionální radiační zátěže a ochranných opatření v nukleární medicíně v ČR za rok 2003 (7, 8). Průměrná roční efektivní dávka na jednoho pracovníka oddělení nukleární medicíny činila 1,12 mSv (7). Průměrná roční efektivní dávka na jednoho pracovníka činila v roce 2003 u lékařů (při počtu pracovníků $n = 159$) 0,99 mSv, v případě pracovníků připravujících radiofarmaka ($n = 116$) 1,2 mSv, pro ambulantní pracovníky ($n = 332$) byla hodnota této veličiny 1,45 mSv, personál na lůžkovém oddělení ($n = 65$) obdržel průměrnou efektivní dávku 0,85 mSv a fyzici ($n = 40$) získali průměrnou efektivní dávku 0,51 mSv (7).

V této studii byla rovněž analyzována průměrná roční dávka na ruce u jednoho pracovníka, která u lékařů ($n = 68$) činila 4,73 mSv, u pracovníků připravujících radiofarmaka ($n = 93$) byla průměrná roční dávka na ruce na jednoho pracovníka 25,39 mSv a u ambulantních pracovníků ($n = 180$) byla stanovena průměrná roční dávka na ruce na jednoho pracovníka na hodnotu 6,43 mSv (7).

METODIKA

Specifikace monitorovaných osob

Monitorovanou skupinu tvořili radiační pracovníci kategorie A z Kliniky nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Ostrava (radiologičtí asistenti a sestry s atestací v oboru nukleární medicína pracující na ambulanci, lékaři na ambulanci, technicko-fyzikální úsek (radiologičtí fyzici) a radiofarmaceuti). Radiační pracovníci kategorie B (sekretářka, uklízečky) nebyli ve studii za roky 2006–2012 hodnoceni z hlediska radiační zátěže ve smyslu průměrné roční efektivní dávky a průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce. Počet pracovníků v jednotlivých kategoriích, které byly ve vybraných letech 2006–2012 sledovány, má snižující se charakter, neboť u některých sledovaných skupin došlo k poklesu počtu pracovníků (tab. 1). Tabulka 1 uvažuje všechny jedince, kteří byli v hodnoceném období zaměstnání na daném pracovišti po dobu delší než 1 měsíc.

Specifikace pracoviště a přístrojové vybavení

Dle nebezpečnosti zdroje je podle vyhlášky č. 307/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů ambulance Kliniky nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Ostrava (KNM FNO) pracovištěm II. kategorie. KNM FNO má rovněž povolení provádět léčbu pomocí radioaktivních izotopů v lůžkové části oddělení, které spadá do pracoviště III. kategorie.

Do roku 2010 disponovala KNM FNO celkem čtyřmi planárními gama kamerami, třemi SPECT kamerami (dvě SPECT kamery byly umístěny přímo na ambulantní části kliniky nukleární medicíny a jedna SPECT kamera na detašovaném pracovišti na lůžkovém monobloku FNO), RIA laboratoří a lůžkovou částí pro terapii radioaktivními izotopy, kterou tvořilo devět dvoulůžkových pokojů a jeden třílůžkový. Po rekonstrukci, která proběhla v roce 2010, je KNM FNO vybavena čtyřmi planárními kamerami, třemi SPECT kame-

Tab. 1. Počet pracovníků jednotlivých skupin pracujících na KNM FNO v letech 2006–2012

Table 1. The number of workers in individual groups at KNM FNO in the years 2006–2012

Rok	RA + sestry v oboru nukleární medicína na ambulanci	Lékaři na ambulanci	Sestry na lůžkovém oddělení	Farmaceuti	Technicko-fyzikální úsek
2006	11	10	8	5	4
2007	11	9	7	5	4
2008	11	8	7	5	4
2009	11	8	7	5	4
2010	10	7	6	5	4
2011	13	7	7	4	4
2012	12	8	7	4	4

RA – radiologický asistent, RA – radiology assistant

rami a jednou hybridní SPECT/CT kamerou. Tétoho roku se laboratoře RIA oddělily od Kliniky nukleární medicíny FNO. Nyní oficiálně spadají pod Ústav laboratorní diagnostiky, Oddělení klinické biochemie, Úsek imunoanalytických metod, Úsek speciální a izotopové imunoanalýzy.

Díky přístrojům na ambulantní části pracoviště KNM FNO je možné sledovat efekt léčby, provádět diagnostiku onkologických chorob, onemocnění ledvin, kardiovaskulárních onemocnění, neurologických postižení, endokrinologických chorob, osteologických a zánětlivých postižení, detekci sentinelových uzlin u vybraných typů nádorů, detekci jaterních hemangiomů, stanovení přežívání erytrocytů a objem erytromasy, stanovení vstřebávání vitamínu B₁₂, diagnostiku plicních chorob a postižení žilního systému, scintigrafickou diagnostiku mozkové smrti či diagnostiku feochromocytomů. Výše uvedená vyšetření se uskutečňují pomocí radiofarmak ⁶⁷Ga, ^{81m}Kr, ^{99m}Tc, ¹¹¹In, ¹²³I.

Na lůžkové části KNM FNO jsou hospitalizováni pacienti z důvodu terapie hypertyreózy, funkční autonomie štítné žlázy, eufunkční strumy, endokrinní orbitopatie po strumektomii či diferencovaného karcinomu štítné žlázy, kteří jsou léčeni pomocí radioizotopu ¹³¹I v podobě kapsle (aktivita kapsle činí 3,7 GBq či 7,4 GBq) nebo roztoku Na¹³¹I, který může mít různou aktivitu. Rovněž zde probíhá léčba onemocnění kloubů (léčba pomocí radioizotopů ⁹⁰Y, ¹⁶⁹Er, ¹⁸⁶Re) nebo paliativní analgetická léčba kostních metastáz (terapie na základě radioizotopu ¹⁸⁶Re). Lůžková část je tvořena deseti pokoji (jeden pokoj je třílůžkový a devět dvoulůžkových) s vlastním sociálním vybavením.

Do značné míry je radiační zátěž pracovníků (hodnota průměrné roční efektivní dávky i hodnota průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce) závislá také na množství provedených vyšetření či terapií na daném oddělení nukleární medicíny. Tabulka 2 shrnuje počet provedených diagnostických a léčebných úkonů na KNM FNO v letech 2006–2012.

Specifikace používaných osobních a prstových dozimetrů

Pro stanovení osobního dávkového ekvivalentu $H_p(10)$, který aproximuje efektivní dávku od vnějšího záření, byly použity údaje z osobních dozimetrů, jimiž byli všichni pracovníci kategorie A vybaveni. Do prosince roku 2008 bylo měření $H_p(10)$ prováděno pomocí filmových dozimetrů, následně se určení dané veličiny uskutečňovalo díky dozimetru s opticky stimulovanou luminiscencí (monitorování pracovníků od měsíce ledna roku 2009 po současnost). Osobní dozimetr

Tab. 2. Počet provedených diagnostických a léčebných úkonů na KNM FNO v letech 2006–2012

Table 2. The number of diagnostic and therapeutic procedures at KNM FNO in 2006–2012

Rok	Počet diagnostických výkonů	Počet terapeutických výkonů
2006	14 971	1 838
2007	16 356	2 069
2008	18 920	1 977
2009	20 996	2 052
2010	20 887	2 622
2011	15 488	2 454
2012	15 334	2 760

byl povinně nošen na předepsaném místě dle platné legislativy a vyhodnoceny v měsíčních intervalech. Filmové dozimetry byly vyhodnoceny v rámci Celostátní služby osobní dozimetrie, CSOD, kdežto dozimetry s opticky stimulovanou luminiscencí vyhodnocovala firma VF a.s.

Měření osobního dávkového ekvivalentu $H_p(0,07)$ probíhalo pouze u pracovníků, kteří byli vybaveni jedním prstovým dozimetrem, který nosili na ruce, u níž se předpokládalo větší ozáření během pracovních činností. Do této kategorie monitorovaných pracovníků se řadili farmaceuti a lékaři na ambulanci.

Specifikace používaných veličin průměrná roční efektivní dávka a průměrná roční ekvivalentní dávka

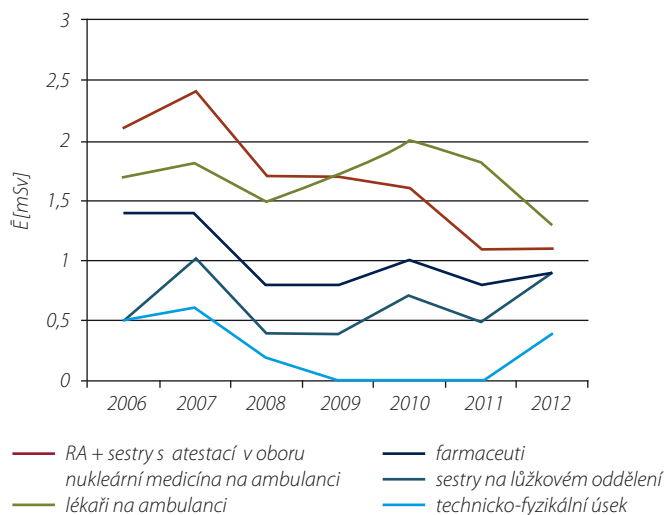
Veličina ekvivalentní dávka H_T a efektivní dávka E jsou stěžejními veličinami radiační ochrany, neboť právě v těchto veličinách jsou definovány hodnoty dávkových limitů.

Veličina ekvivalentní dávka byla zavedena pro vyjádření dávky jednotlivých tkání či orgánů. Pro záření druhu R je pak ekvivalentní dávka vypočtena na základě vztahu:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{TR},$$

kde w_R je radiační váhový faktor, který souvisí s relativní biologickou účinností daného druhu záření a D_{TR} je střední dávka ve tkáni nebo orgánu T od záření typu R.

Pro hodnocení celotělového ozáření z hlediska stochastických účinků byla stanovena veličina efektivní dávka, která je definována jako součet ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních či orgánech, vážených tkáňovým váhovým faktorem w_T a lze ji vypočítat pomocí vztahu:



Graf 1. Průměrné roční efektivní dávky jednotlivých skupin pracovníků KNM FNO v letech 2006–2012

Graph 1. The average annual effective dose of each group of workers at KNM FNO in years 2006–2012

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{TR}$$

Průměrná roční ekvivalentní dávka na ruce u jednotlivých skupin pracovníků KNM FNO byla stanovena jako podíl součtu všech ekvivalentních dávek pracovníků v daném roce a počtem pracovníků n v témže roce:

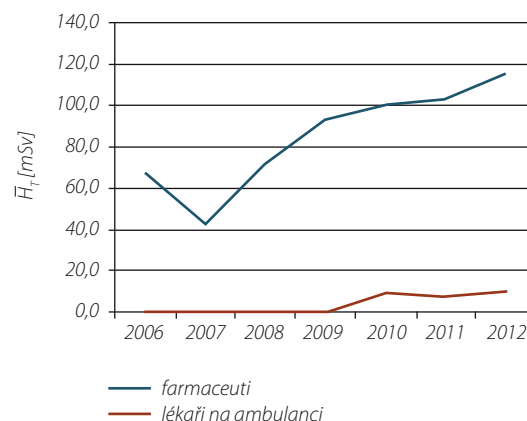
$$\bar{H}_T = \frac{\sum H_T}{n}$$

Průměrná roční efektivní dávka u sledovaných kategorií pracovníků KNM FNO byla vypočtena jako podíl součtu všech efektivních dávek pracovníků v příslušném roce a počtem pracovníků n v tomtéž roce:

$$\bar{E} = \frac{\sum E}{n}$$

VÝSLEDKY

Z výsledků získaných na základě vyhodnocovací služby provádějící monitoring radiačních pracovníků (do prosince 2008 firma CSOD, od ledna roku 2009 firma VF a.s.) byly stanoveny průměrné roční efektivní dávky vybraných skupin pracovníků v jednotlivých letech 2006, 2007, 2008, 2009, 2010,



Graf 2. Průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce jednotlivých skupin pracovníků KNM FNO v letech 2006–2012

Graph 2. The average annual equivalent dose to the hands to individual groups of workers at KNM FNO in the years 2006–2012

2011 a 2012. Průměrné roční efektivní dávky radiologických asistentů a sester v oboru nukleární medicíny na ambulanci KNM FNO činily hodnoty 2,1 mSv, 2,4 mSv, 1,7 mSv, 1,7 mSv, 1,6 mSv, 1,1 mSv a 1,1 mSv. V případě lékařů na ambulanci byly průměrné roční efektivní dávky 1,7 mSv, 1,8 mSv, 1,5 mSv, 1,7 mSv, 2,0 mSv, 1,8 mSv a 1,3 mSv. U sester na lůžkovém oddělení se průměrné roční efektivní dávky rovnaly 0,5 mSv, 1,0 mSv, 0,4 mSv, 0,4 mSv, 0,7 mSv, 0,5 mSv a 0,9 mSv. Pro farmaceuty představovala průměrná roční efektivní dávka hodnoty 1,4 mSv, 1,4 mSv, 0,8 mSv, 0,8 mSv, 1,0 mSv, 0,8 mSv a 0,9 mSv. Poslední monitorovanou skupinou byli pracovníci technicko-fyzikálního úseku, jejichž průměrné roční efektivní dávky byly stanoveny na 0,5 mSv, 0,6 mSv, 0,2 mSv, 0 mSv, 0 mSv, 0 mSv a 0,4 mSv. Minimální detekovatelná hodnota pomocí filmového dozimetru byla 0,1 mSv, v případě dozimetru s opticky stimulovanou luminiscencí pak 0,05 mSv. Pokud se tedy ozáření pracovníka pohybovalo pod úrovní minimální detekovatelné hodnoty, vyhodnotila příslušná dozimetrická služba hodnotu sledované veličiny (efektivní dávka, ekvivalentní dávka) v daném monitorovacím období jako „nulovou“.

Průměrné hodnoty roční efektivní dávky (v jednotkách mSv) v daných letech u jednotlivých skupin pracovníků jsou uvedeny v tabulce 3 a ilustrovány v grafu 1.

U kategorií pracovníků, kteří byli vybaveni prstovým dozimetrem, byla stanovena průměrná roční ekvivalentní dávka na ruce v jednotlivých letech 2006–2012 jako 66,7 mSv, 43,0 mSv, 71,9 mSv, 93,2 mSv, 100,4 mSv, 103,3 mSv a 115,0 mSv pro případ farmaceutů. Lékaři na ambulanci začali být monitorováni až od roku 2010 a jejich průměrná roční ekvivalentní dávka na ruce činila v letech 2010, 2011 a 2012 hodnotu 9,1 mSv, 8,0 mSv a 10,0 mSv.

Tab. 3. Průměrné hodnoty roční efektivní dávky jednotlivých skupin pracovníků KNM FNO v letech 2006–2012

Table 3. The average values of the annual effective dose of each group of workers at KNM FNO in the years 2006–2012

Období	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Profese	$\bar{E}$ (mSv)	$\bar{E}$ (mSv)	$\bar{E}$ (mSv)	$\bar{E}$ (mSv)	$\bar{E}$ (mSv)	$\bar{E}$ (mSv)	$\bar{E}$ (mSv)
sestry na lůžkovém oddělení	0,5	1,0	0,4	0,4	0,7	0,5	0,9
RA* + sestry s atestací v oboru nukleární medicíny	2,1	2,4	1,7	1,7	1,6	1,1	1,1
lékaři na ambulanci	1,7	1,8	1,5	1,7	2,0	1,8	1,3
farmaceuti	1,4	1,4	0,8	0,8	1,0	0,8	0,9
technicko-fyzikální úsek	0,5	0,6	0,2	0	0	0	0,4

RA – radiologický asistent, RA – radiology assistant

Tab. 4. Průměrné hodnoty roční ekvivalentní dávky na ruce jednotlivých skupin pracovníků KNM FNO v letech 2006–2012

Table 4. The average value of the annual dose equivalent to hand from fingers to forearm in individual groups of employees at KNM FNO in the years 2006–2012

Období	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Profese	$\bar{H}_T$ (mSv)	$\bar{H}_T$ (mSv)	$\bar{H}_T$ (mSv)	$\bar{H}_T$ (mSv)	$\bar{H}_T$ (mSv)	$\bar{H}_T$ (mSv)	$\bar{H}_T$ (mSv)
farmaceuti	66,7	43,0	71,9	93,2	100,4	103,3	115,0
lékaři na ambulanci	x	x	x	x	9,1	8,0	10,0

Průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce (v jednotkách mSv) ve shodném časovém období u monitorovaných skupin pracovníků shrnuje tabulka 4 a demonstruje graf 2.

Z výše uvedených výsledků získaných na základě vyhodnocení osobních i prstových dozimetrů je patrné, že se během sledovaného období 2006–2012 pohybuje průměrná roční efektivní dávka i průměrná roční ekvivalentní dávka na ruce u jednotlivých skupin pracovníků pod hodnotami dávkových limitů ve smyslu efektivní dávky i ekvivalentní dávky na ruce u všech pracovníků, u nichž byly stanoveny výše zmíněné veličiny za každý rok (tj. rok 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 a 2012).

Jako nejvíce zatěžovanou skupinou pracovníků z hlediska průměrné roční efektivní dávky však byla na KNM FNO stanovena skupina lékařů na ambulanci, jejichž průměrná efektivní dávka za posledních 5 let jdoucích za sebou (roky 2007–2012) činila 14,8 mSv. Naopak nejméně exponovanou skupinou pracovníků kategorie A byl personál z technicko-fyzikálního úseku, jehož průměrná efektivní dávka za posledních 5 let jdoucích za sebou byla 0,5 mSv. Ostatní monitorované skupiny měly stanoveny průměrnou efektivní dávku za posledních 5 let jdoucích za sebou (roky 2007–2012) na 8,1 mSv (radiologičtí asistenti a sestry v oboru nukleární medicína na ambulanci), 5,8 mSv (farmaceuti) a 3,4 mSv (sestry na lůžkovém oddělení). Hodnoty průměrné efektivní dávky za posledních 5 let jdoucích za sebou (roky 2007–2012) jsou shrnuty v tabulce 5 a ilustrovány v grafu 3.

Tab. 5. Hodnoty průměrné efektivní dávky u jednotlivých skupin pracovníků za posledních 5 let jdoucích za sebou (2007–2012)

Table 5. The values of the average annual effective dose in the individual groups of workers over the past 5 consecutive years (2007–2012)

Profese	$\bar{E}$ za 5 let jdoucích za sebou (mSv)
RA + sestry s atestací nukleární medicína na ambulanci	8,1
lékaři na ambulanci	14,8
sestry na lůžkovém oddělení	3,4
farmaceuti	5,8
technicko-fyzikální úsek	0,5

RA – radiologický asistent, RA – radiology assistant

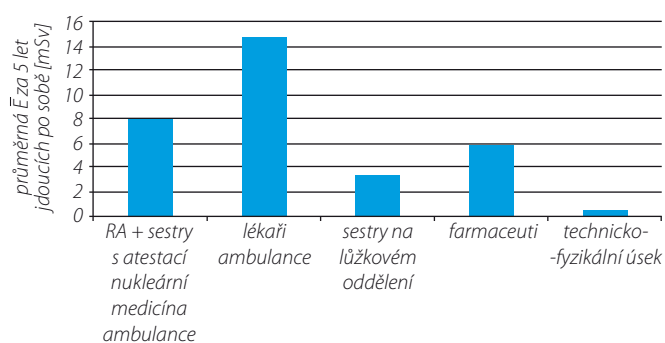
Tab. 6. Hodnoty průměrné ekvivalentní dávky na ruce u jednotlivých skupin pracovníků za posledních 5 let jdoucích za sebou (roky 2007–2012)

Table 6. Values of the average equivalent dose to hand from the forearm finger at individual groups of employees for the past 5 consecutive years (years 2007–2012)

Profese	$\bar{H}_T$ za 5 let jdoucích za sebou (mSv)
lékaři na ambulanci*	19,4
farmaceuti	280,4

*Hodnoty průměrné ekvivalentní dávky na ruce u lékařů na ambulanci za poslední 3 roky jdoucích za sebou (roky 2010–2012).

*Values of the average equivalent dose to hand from the forearm finger at doctors at the ambulance for the past 3 consecutive years (years 2010–2012).



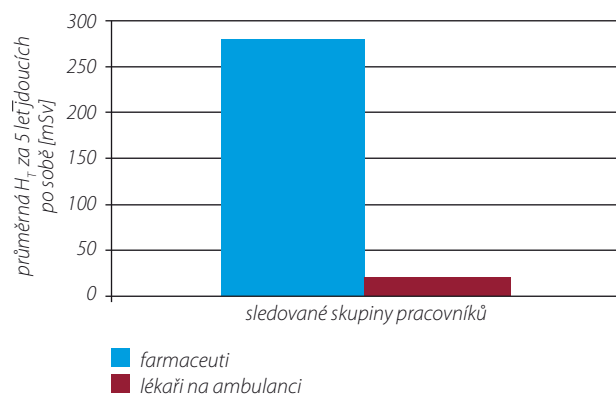
Graf 3. Hodnoty průměrné efektivní dávky u jednotlivých skupin pracovníků za posledních 5 let jdoucích za sebou (2007–2012)

Graph 3. The values of the average effective dose in the individual groups of workers over the past 5 consecutive years (2007–2012)

U pracovníků monitorovaných prstovými dozimetry byla největší hodnota průměrné ekvivalentní dávky na ruce pracovníků za posledních 5 let jdoucích za sebou (roky 2007–2012) stanovena u farmaceutů (280,4 mSv). Druhou monitorovanou skupinou byli lékaři na ambulanci. Důležité je ovšem podotknout, že expozice lékařů na ambulanci ve smyslu průměrné ekvivalentní dávky na ruce byla uvažována pouze za roky 2010–2012, neboť dříve se monitorování těchto pracovníků na KNM FNO neprovádělo. Průměrná ekvivalentní dávka na ruce za roky 2007–2012 u lékařů na ambulanci činila hodnotu 19,4 mSv. Hodnoty průměrné ekvivalentní dávky na ruce za posledních 5 let jdoucích za sebou (roky 2007–2012) uvádí tabulka 6 spolu s grafem 4.

DISKUSE

Výsledky studie ukazují, že radiační ochrana pracovníků na KNM FNO je na dobré úrovni, která je plně v souladu s požadavky příslušné vyhlášky SÚJB. Téměř u všech sledovaných skupin (radiologičtí asistenti a sestry s atestací v oboru nukleární medicína na ambulanci, lékaři na ambulanci, farmaceuti i technicko-fyzikální úsek) vykazuje částečně klesající trend veličiny průměrné roční efektivní dávky do roku 2010, přestože se na daném pracovišti každoročně do roku 2010 zvyšuje počet provedených vyšetření, ale i terapií.



Graf 4. Hodnoty průměrné ekvivalentní dávky na ruce u jednotlivých skupin pracovníků za posledních 5 let jdoucích za sebou (2007–2012)

*Hodnoty průměrné ekvivalentní dávky na ruce u lékařů na ambulanci za poslední 3 roky jdoucích za sebou (roky 2010–2012)

Graph 4. The values of the average equivalent dose to hand for each group of workers over the past 5 consecutive years (2007–2012)

*Values of the average equivalent dose to hand from the forearm finger at doctors at the ambulance for the past 3 consecutive years (years 2010–2012)

V roce 2010 byly u monitorovaných skupin zjištěny větší hodnoty této sledované veličiny, neboť právě v tomto roce bylo uskutečněno nejvíce diagnostických výkonů za analyzované období 2006–2012. Rovněž v tomto roce 2010 proběhla na KNM FNO rozsáhlá rekonstrukce oddělení, kdy byl provoz kliniky zachován, ovšem v provizorních podmínkách. Radiační ochrana za těchto okolností nebyla příliš optimální, ale i přesto splňovala nejdůležitější požadavky dozorného orgánu. Během rekonstrukce KNM FNO byl na pracoviště pořízen taktéž nový přístroj SPECT/CT. Skener CT se tedy stal dalším zdrojem ionizujícího záření na klinice, který mohl být potenciální příčinou vnějšího ozáření pracovníků.

V roce 2011 bylo na KNM FNO provedeno nejméně diagnostických výkonů na ambulantní části kliniky, což mohlo být rovněž důsledkem i menší hodnoty průměrné kolektivní efektivní dávky pracovníků u všech monitorovaných skupin.

Nejvíce terapeutických aplikací (především pomocí radionuklidu ^{131}I) bylo provedeno v roce 2012, na jejichž základě mohou být odůvodněny mírně zvýšené hodnoty průměrné roční efektivní dávky u sester z lůžkového oddělení, které o léčené pacienty pečují a zároveň jim podávají terapii (terapeutický roztok Na^{131}I jehož aktivita je připravena farmaceuty na základě požadavku ošetřujícího lékaře nebo léčebné kapsle ^{131}I o aktivitě 3,7 GBq nebo 7,4 GBq). Rovněž v tomto roce byly částečně zvýšené hodnoty průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce u farmaceutů, kteří jak již bylo zmíněno výše, připravují potřebné radiofarmakum pro terapie (zejména ^{131}I , v menší míře pak ^{90}Y , ^{169}Er , ^{186}Re) ale též radiofarmaka pro diagnostiku na ambulantní části kliniky (především $^{99\text{m}}\text{Tc}$, dále také ^{67}Ga , $^{81\text{m}}\text{Kr}$, ^{111}In , ^{123}I).

V roce 2012 byl pořízen nový hardware – Smartzoom kolimátor pro SPECT kameru, díky kterému může být podáno pacientovi radiofarmakum o menší aktivitě, přičemž nedojde ke zhoršení výsledného obrazu, na jehož základě je stanovena patřičná diagnóza či terapie. Tato výhoda je umožněna díky větší citlivosti tohoto kolimátoru spolu s používáním nového vyhodnocovacího softwaru. Dle výrobce je možno 4krát snížit množství aplikovaného radiofarmaka nebo 4krát zkrátit dobu vyšetření (9, 10). Na KNM FNO využívají především druhou možnost, kdy

je pacientovi podáno radiofarmakum o aktivitě, jenž se podává u běžně používaného paralelního kolimátoru pro nízké energie (LEHR), ovšem na základě větší citlivosti Smartzoom kolimátoru mohla být snížena doba akvizice obrazu. Je zde vhodné podotknout, že kratší čas vyšetření díky Smartzoom kolimátoru představuje pro pacienta větší komfort a samozřejmě je zde větší pravděpodobnost, že pacient vydrží ležet během této vyšetřované doby nehnutě. Výsledný obraz tudíž nedegradují pohybové artefakty. Navíc díky kratšímu času vyšetření může být vyšetřeno více pacientů za den, čímž zároveň roste požadavek na větší počet příprav potřebných radiofarmak pro vyšetření pacientů, čímž může potenciálně dojít ke zvýšení průměrné roční ekvivalentní dávky na končetiny pracovníků připravujících radiofarmaka, ale také pracovníků, kteří svými končetinami manipulují nad tělem pacienta, jemuž bylo aplikováno radiofarmakum. S rostoucím počtem vyšetření může také dojít ke zvýšení průměrné roční efektivní dávky pracovníků na ambulanci (sestry v oboru nukleární medicína a radiologičtí asistenti obsluhující přístroje, lékaři).

Poklesu průměrné roční efektivní dávky u jednotlivých monitorovaných skupin bylo docíleno striktním dodržováním základních způsobů ochrany před vnějším zářením gama i beta (vzdálenost, čas, stínění), organizací pracovních úkonů mezi jednotlivými pracovníky (střídání pracovníků, rozdělení pracovních činností mezi jednotlivé pracovníky), ale také stavebními úpravami na pracovišti, které proběhly v roce 2010.

ZÁVĚR

U všech monitorovaných skupin pracovníků, jmenovitě radiologičtí asistenti a sestry v oboru nukleární medicína na ambulanci, lékaři na ambulanci, sestry na lůžkovém oddělení, farmaceuti a pracovníci technicko-fyzikálního úseku v průběhu sledovaných let 2006–2012 byly hodnoty veličiny průměrné roční efektivní dávky i průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce všech zúčastněných jednotlivců pod dávkovými limity stanovenými dozorným orgánem.

LITERATURA

1. Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využití jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění.
2. Vyhláška o radiační ochraně č. 307/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů.
3. Zabezpečení osobního monitorování při činnostech vedoucích k ozáření: část I. – zevní ozáření. Radiační ochrana. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost 2007. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiační-ochrana/28-dozimetrie_zevní_2007.pdf
4. Zabezpečení osobního monitorování při činnostech vedoucích k ozáření: část II. – vnitřní ozáření. Radiační ochrana. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost 2005 (online) (cit. 2013-04-12). Dostupné z: <http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/>
5. Zpracování programu zabezpečování jakosti pro používání zdrojů ionizujícího záření v lékařských aplikacích. Pracoviště nukleární medicíny. Radiační ochrana. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost 2002 (online) (cit. 2013-04-12). Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/Nukl_med.pdf
6. Sbírka zákonů České republiky: Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o požadavcích na zajištění radiační ochrany. Sbírka zákonů č. 184 / 1997. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost 1997 (online) (cit. 2013-04-12). Dostupné z: <http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/sb066-97.pdf>
7. Hušák V, Ptáček J. Přehled a hodnocení profesionální radiační zátěže a ochranných opatření v nukleární medicíně v České republice v roce 2003. Zpráva pro SÚJB Praha podle smlouvy u objednatele 164/04/05. Olomouc 2005.
8. Hušák V, Ptáček J, Petrová K, Pašková Z, Mysliveček M. Radiation exposure of nuclear medicine workers in the Czech Republic in 2003 and its relation to various factors – results of questionnaire survey I (abstrakt). Eur J Nucl Med Mol Imag 2006; 33(Suppl 2): S 285.
9. Siemens. Minimum Dose, Maximum Speed (online) (cit. 2013-05-09). Dostupné z: <http://healthcare.siemens.com/molecular-imaging/iq-spect-technology>
10. Hawman P, Ghosh P. IQ SPECT: A Technical and Clinical Overview (online). USA 2012 (cit. 2013-05-09). Dostupné z: http://healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_ssxa_websites-context-root/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@molecular/documents/download/mdaw/ntqw/~edisp/iq-spect_white_paper_2012-00377989.pdf