

RADIAČNÍ ZÁTĚŽ PRACOVNÍKŮ NA KLINICE NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY A ENDOKRINOLOGIE 2. LF UK A FN MOTOL V LETECH 2006–2011

RADIATION BURDEN OF THE PERSONNEL OF THE CLINIC OF NUCLEAR
MEDICINE AND ENDOCRINOLOGY OF THE 2ND FACULTY OF MEDICINE,
CHARLES UNIVERSITY AND HOSPITAL MOTOL, IN YEARS 2006–2011

původní práce

Jana Hudzietzová¹
Dana Prchalová²
Jozef Sabol¹
Petr Vlček²

¹České vysoké učení technické
v Praze, Fakulta biomedicínského
inženýrství, Kladno

²Klinika nukleární medicíny
a endokrinologie, 2. LF UK
a FN Motol, Praha

Přijato: 30. 7. 2012.

Korespondenční adresa:

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

Konflikt zájmů: Autoři neuvádějí
žádný konflikt zájmů.

Referát byl připraven
za částečné podpory poskytnuté
v rámci projektu: Popularizace
VaV CZ.1.07/2.3.00/35.0046.

SOUHRN

Hudzietzová J, Prchalová D, Sabol J, Vlček P. Radiační zátěž pracovníků na Klinice nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a FN Motol v letech 2006–2011

Cíl. Záměrem práce bylo zhodnocení radiační zátěže pracovníků na Klinice nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a FN Motol (KNME) v letech 2006–2011 spolu s posouzením radiační ochrany pracoviště. Stanovení radiační zátěže na tomto pracovišti bylo vyhodnoceno na základě retrospektivní studie opírající se o příslušné údaje a výsledky monitorování.

Metoda. Výsledky monitorování pracovníků KNME se vztahují k období 2006–2011. Na základě osobních a prstových dozimetrů byla stanovena průměrná kolektivní efektivní dávka a průměrná kolektivní ekvivalentní dávka na ruce od prstů až po předloktí personálu. Vyhodnocení bylo prováděno do března 2009 firmou Celostátní služba osobní dozimetrie Praha, od dubna 2009 monitoring realizovala firma VF a.s., a to v obou případech po měsíčních intervalech. Průměrná roční zpracovaná aktivita radiofarmak (radionuklidy ^{99m}Tc, ¹¹¹In, ¹⁵³Sm, ¹²³I, ¹³¹I) se v tomto časovém období pohybovala v rozmezí 2,79–5900 GBq.

Výsledky. Průměrná kolektivní efektivní dávka činila v jednotlivých letech 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 a 2011 pro radiologické asistenty a sestry s atestací v oboru nukleární medicína na ambulanci hodnotu 1,14 mSv, 1,39 mSv, 1,29 mSv, 0,99 mSv, 1,17 mSv a 1,11 mSv. Pro pracovníky radiofarmaceutické laboratoře na ambulanci byla průměrná kolektivní efektivní dávka

SUMMARY

Hudzietzová J, Prchalová D, Sabol J, Vlček P. Radiation burden of the personnel of the Clinic of Nuclear Medicine and Endocrinology of the 2nd Faculty of Medicine, Charles University and Hospital Motol, in years 2006–2011

Aim. The intention of the paper was the assessment of radiation burden at the Clinic of Nuclear Medicine and Endocrinology 2nd LF UK and FN Motol (KNME) during the period of 2006–2011 together with the examination of the level of radiation protection. The determination of radiation burden at this workplace was based on the retrospective study relying on relevant monitoring data and results.

Method. Monitoring results of the personnel of the KNME are covering the period of 2006–2011. Using personal and finger dosimeters the average collective effective dose and average collective equivalent dose related to fingers up to forearms have been assessed. Until March 2009 the monitoring was carried out by the National Personal Dosimetry Service in Prague while as of April this monitoring was performed by VF Ltd. In both cases the monitoring interval was one month. The average activities of used radiopharmaceuticals (including ^{99m}Tc, ¹¹¹In, ¹⁵³Sm, ¹²³I, ¹³¹I) was in the range of 2.79–5.900 GBq.

Results. The average collective effective dose of radiological assistants and nurses certified in nuclear medicine in individual years, namely 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 and 2012 was 1.14 mSv, 1.39 mSv, 1.29 mSv, 0.99 mSv, 1.17 mSv a 1.11 mSv, respectively. During the same period the personnel work-

za shodné časové období 0,29 mSv, 0,82 mSv, 0,52 mSv, 0,17 mSv, 0,36 mSv a 0,50 mSv. Sestry na 2. lůžkové stanici obdržely průměrnou kolektivní efektivní dávku v daném časovém období, 0,73 mSv, 0,35 mSv, 0,22 mSv, 0,21 mSv a 0,39 mSv. V radiojódové laboratoři získali pracovníci průměrnou kolektivní efektivní dávku 3,00 mSv, 3,04 mSv, 3,33 mSv, 3,85 mSv, 2,04 mSv a 2,84 mSv. Průměrná kolektivní ekvivalentní dávka na ruce od prstů až po předloktí pracovníků (stanovována v témže časovém rozmezí 2006–2011) ve farmaceutické laboratoři dosahovala 23,00 mSv, 23,99 mSv, 23,19 mSv, 55,75 mSv, 167,81 mSv a 136,00 mSv. Pro radiologické asistenty na ambulanci a sestry s atestací nukleární medicína na ambulanci činila průměrná kolektivní ekvivalentní dávka na končetiny 4,35 mSv, 2,86 mSv, 0,88 mSv, 1,99 mSv, 3,48 mSv a 6,24 mSv. V radiojódové laboratoři byla vyhodnocena průměrná kolektivní ekvivalentní dávka ruce od prstů až po předloktí na 20,70 mSv, 18,21 mSv, 22,79 mSv, 44,76 mSv, 44,98 mSv a 54,03 mSv.

Závěr. Hodnoty z osobních i prstových dozimetřů jsou pod dávkovými limity stanovenými dozorným orgánem, i když se ozáření pracovníků v jednotlivých letech mírně zvyšuje, což zřejmě souvisí s vyšším počtem a rozmanitostí prováděných diagnostických i léčebných úkonů. Na základě prezentovaných výsledků lze konstatovat, že radiační ochrana je na KNME zajištěna v souladu s požadavky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

Klíčová slova: nukleární medicína, osobní monitorování, ozáření pracovníků, radiační ochrana.

ing in the radioiodine laboratory received average collective effective dose 0.29 mSv, 0.82 mSv, 0.52 mSv, 0.17 mSv, 0.36 mSv a 0.50 mSv. The average collective effective dose of nurses at the 2nd Ward was reported to be in those years 0.73 mSv, 0.35 mSv, 0.22 mSv, 0.21 mSv a 0.39 mSv. With respect to extremities, the average collective equivalent dose of the personnel in the radiopharmaceutical laboratory was thought out the above mentioned period was as follows 23.00 mSv, 23.99 mSv, 23.19 mSv, 55.75 mSv, 167.81 mSv a 136.00 mSv while the average collective equivalent dose received by radiological assistants on ambulance and certified on ambulance nurses amounted to 4.35 mSv, 2.86 mSv, 0.88 mSv, 1.99 mSv, 3.48 mSv a 6.24 mSv. The average collective equivalent dose to extremities of workers from the radioiodine laboratory during the period of 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 a 2011 was 20.70 mSv, 18.21 mSv, 22.79 mSv, 44.76 mSv, 44.98 mSv a 54.03 mSv, respectively.

Conclusion. The results of personal as well as finger dosimeters have been found to be below the relevant dose limits set by the Regulatory Authority although over some of the recent years the exposure of workers has slightly been increasing which apparently is related to the increased number and variety of diagnostic and therapeutic procedures. Taking into account the results presented, it can be concluded that radiation protection at the KNME is in full compliance with the requirements of the State Office for Nuclear Security.

Key words: Nuclear medicine, personnel monitoring, exposure of the personnel, radiation protection.

ÚVOD

Oddělení nukleární medicíny se řadí mezi pracoviště, na kterých jsou pracovníci vystaveni určitým účinkům ionizujícího záření. Z hlediska radiační ochrany je velmi žádoucí, aby bylo zabráněno vzniku deterministických účinků, jež se projeví po překročení určitého dávkového prahu a stochastické účinky byly sníženy na co nejnížší možnou míru pro jednotlivce i obyvatelstvo, v žádném případě by ozáření nemělo překročit úroveň překračující příslušné dávkové limity předepsané dozorným orgánem (Státní úřad pro jadernou bezpečnost). S deterministickými účinky se v normálních (plánovaných) situacích na odděleních nukleární medicíny nesetkáme, pouze v případě závažných radiačních nehod nebo havárií. Na druhou stranu, stochastické účinky se vyskytují s určitou

pravděpodobností úměrnou ozáření jedince a jsou kvantifikovány pomocí efektivní dávky, veličiny, která je základním stavebním pilířem v oblasti radiační ochrany. Jak známo, efektivní dávka E je definována vztahem:

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R},$$

kde D_{TR} je střední dávka ve tkáni nebo orgánu T od záření typu R , w_R je radiační váhový faktor, který souvisí s relativní biologickou účinností daného druhu záření v závislosti na druhu záření a jeho energii a w_T je tkáňový váhový faktor, přičemž platí:

$$\sum W_T = 1.$$

V roce 1977 stanovila ICRP (International Commission on Radiological Protection, neboli Mezinárodní komise pro ochranu před zářením) pouze sedm tkáňových váhových faktorů (ICRP 26) (1), přičemž o 14 let později, v roce 1991, byly tyto tkáňové váhové faktory doplněny o dalších šest tkáňových váhových faktorů a také byly upraveny hodnoty některých původních faktorů (ICRP 60) (2). K poslednímu přizpůsobení faktorů došlo v roce 2007 (ICRP 103) (3), kde byly rovněž změněny některé váhové faktory, což souvisí se zohledněním posledních výsledků epidemiologických studií. Přehled jednotlivých hodnot tkáňových váhových faktorů, jež se v průběhu let optimalizovaly, uvádí tabulka 1. Je nutné podotknout, že výpočet efektivní dávky na základě tkáňových váhových faktorů dle ICRP 26 se může v některých případech významně lišit od efektivní dávky kvantifikované na základě nejnovějších tkáňových váhových faktorů podle ICRP 103.

V souladu s UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vědecký výbor Spojených národů pro účinky atomového záření) byla v roce 2000 odhadována celosvětová průměrná efektivní dávka na obyvatele z přírodního radiačního pozadí 2,4 mSv s rozpětím 1–10 mSv (4). Určitá část světové populace obdržela mnohem vyšší efektivní dávky, které dosahovaly hodnot v rozmezí 10–20 mSv (4). Pokud jde o lékařské expozice, činila celosvětová průměrná efektivní dávka na jednoho obyvatele 0,4 mSv s rozsahem 0,04–1 mSv v závislosti na úrovni zdravotní péče.

V České republice je hodnota průměrného přírodního pozadí pro jednotlivce z obyvatelstva odhadována na 3,4 mSv/r (5). Lékařské expozice přispívají v průměru téměř 11 % k celkové efektivní dávce obyvatel v České republice (6). K lékařským ozáření dochází na pracovištích radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny. Průměrná radiační zátěž jednotlivce z obyvatelstva z vyšetření na oddělení radiodiagnostiky představuje téměř čtvrtinu dávky z celkového radiačního pozadí (0,92 mSv/r) z výkonů na radioterapeutickém oddělení 0,3 mSv/r a z výkonů na nukleární medicíně 0,1 mSv/r (7). V tomto případě se jedná o dávku rozprostřenou mezi všechny obyvatele, tedy i na ty, kteří nikdy na žádném vyšetření nebyli.

Z hlediska radiační ochrany je žádoucí, aby ozáření pacientů i zaměstnanců bylo v souladu se základním principem ALARA (As Low as Reasonable Achievable), tj. tak nízké, jak je rozumně dosažitelné). V případě lékařských expozic, které nejsou limitovány, je radiační zátěž usměrňována na základě diagnostických referenčních úrovní, v případě profesních expozic jsou státem stanovené dávkové limity, jež by neměly být překročeny. Díky těmto směrodatným ukazatelům nemůže při standardních postupech při vyšetření a běžném provozu dojít ke vzniku deterministických účinků a riziko stochastických účinků je přijatelné pro jednotlivce i obyvatelstvo. Základní dávkové limity shrnuje tabulka 2.

V České republice aplikují radiojód ^{131}I specializovaná pracoviště nukleární medicíny. V některých případech podávají toto radiofarmakum ambulantně, tudíž není zapotřebí lůžkové části na oddělení. Terapeutické oddělení s lůžkovou částí má v České republice pouze sedm pracovišť, jmenovitě se jedná o zdravotnická zařízení Fakultní nemocnice Motol, Fakultní nemocnice Ostrava, Fakultní nemocnice Olomouc,

Tab. 1. Hodnoty tkáňových váhových faktorů (1–3)

Table 1. Values of tissue weighting factors (1–3)

Tkáň/orgán	Tkáňový váhový faktor w_T		
	ICRP 26	ICRP 60	ICRP 103
gonády	0,25	0,20	0,08
mléčná žláza	0,15	0,05	0,12
červená kostní dřeň, plíce	0,12	0,12	0,12
štítná žláza	0,03	0,05	0,04
povrch kostí	0,03	0,01	0,01
konečník	–	0,12	0,12
močový měchýř, játra, jícen	–	0,05	0,04
kůže	–	0,01	0,01
žaludek	–	0,12	0,12
slinné žlázy	–	–	0,01
ostatní tkáně a orgány	0,3	0,05	0,12

Tab. 2. Základní dávkové limity

Table 2. Basic dose limits

Velikost	Obecné limity (obyvatelstvo)	Limity pro studenty a učně	Limity pro radiační pracovníky	
	1 rok (mSv)	1 rok (mSv)	1 rok (mSv)	5 let jdoucích za sebou (mSv)
ΣE	1	6	50	100
H_T oční čočka	15	50	150	–
H_T 1 cm ² kůže	50	150	500	–
H_T na ruce od prstů až po předloktí	–	150	500	–

Tab. 3. Ochrana pracovníků před vnějším zářením při přípravě roztoků a kapslí pro aplikaci nemocným (8)

Table 3. Protection of workers from external radiation during the preparation of solutions and capsules for the application to patients (8)

Místo měření dávkového příkonu	Aktivita ^{131}I	Příkon prostorového dávkového ekvivalentu
skleněná nádoba o objemu 50 ml na povrchu (naplněna 25 ml ^{131}I)	1 MBq	0,22 mSv/h
10 cm od kapsle ^{131}I	3,7 GBq	20 mSv/h
10 cm od kapsle ^{131}I v Pb kontejneru (stínění 19 mm)	3,7 GBq	480 $\mu\text{Sv/h}$
povrch injekční stříkačky o objemu 5 ml (naplněna 2,5 ml ^{131}I)	1 MBq	1,1 mSv/h
pacient po aplikaci ^{131}I (ve vzdálenosti 1 m)	1 GBq	45–60 $\mu\text{Sv/h}$

Tab. 4. Směrné hodnoty pro kontaminaci povrchů ^{131}I (8)Table 4. Reference values for the surface contamination due to ^{131}I (8)

Místo měření	Povrchová aktivita
kontrolované pásmo	30 Bq/cm ²
mimo kontrolované pásmo	3 Bq/cm ²
povrch těla	3 Bq/cm ²

Krajská zdravotní, a.s., Masarykova nemocnice v Ústí nad Labem, p.o., Nemocnice České Budějovice a.s., Nemocnice Blansko a Fakultní nemocnice Hradec Králové.

Požadavky SÚJB (Státní úřad pro jadernou bezpečnost) na provádění terapie štítné žlázy pomocí radiojodu, která představuje značnou radiační zátěž pro personál z důvodu aplikace vysokých aktivit ^{131}I , i nároky kladené na oddělení nukleární medicíny definují tabulky 3 a 4 (8).

METODA

Soubor

Do skupiny byli zahrnuti radiační pracovníci kategorie A pracující na Klinice nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a FN Motol (KNME) v letech 2006–2011. Počet pracovníků v jednotlivých letech shrnuje tabulka 5, přičemž je nutné poznamenat, že tyto údaje zahrnují všechny pracovníky, kteří byli v jednotlivých letech na KNME zaměstnáni po dobu delší než 1 měsíc. Jedná se tedy o počet osob, které se vystřídaly na pracovních pozicích, a jsou proto zahrnuty do statistiky radiační zátěže tohoto oddělení.

Popis pracoviště

KNME má tři úseky, na kterých se pracuje s ionizujícím zářením: ambulanci nukleární medicíny a dvě lůžkové stanice – diagnostickou a terapeutickou. Z radiačního hlediska je dle závažnosti ambulance pracovištěm II. kategorie podle vyhlášky 307/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů, tzn. s prostorem vymezeného kontrolovaného pásma a s přítomností maximálně jednoduchých zdrojů ionizujícího záření (ZIZ). Na tomto oddělení je k dispozici jedna SPECT/CT a dvě SPECT kamery, přičemž na těchto přístrojích probíhá diagnostika pomocí radiofarmak ^{99m}Tc , ^{111}In , ^{123}I a paliativní terapie ^{153}Sm . Diagnostická 1. stanice lůžkového oddělení je pracovištěm II. kategorie. Jsou zde hospitalizováni pacienti po diagnostické aplikaci ^{131}I (74–150 MBq) nebo i po terapeutické aplikaci ^{131}I (např. pro hypertyreózu), přičemž vždy se jedná o pacienty s celotělovou aktivitou menší než 550 MBq.

Terapeutická 2. stanice je pracovištěm III. kategorie a slouží výhradně k hospitalizaci pacientů léčených pro karcinom štítné žlázy pomocí radionuklidu ^{131}I , případně pro léčbu pomocí ^{131}I -MIBG. Aplikovaná aktivita pro jednoho pacienta činí 3–7 GBq, v ojedinělých případech i 10 GBq. Týdně je zpracována aktivita až 80 GBq současně na jednom místě.

Hodnoty souhrnných aplikovaných aktivit na KNME v jednotce GBq, ať už za účelem diagnostiky či terapie, v letech 2006–2011 definuje tabulka 6.

Technické parametry osobních a prstových dozimetrů

Pracovníci KNME byli monitorováni do konce března roku 2009 pomocí filmových dozimetrů CSOD (Celostátní služba osobní dozimetrie), jež se skládaly z dozimetrické kazety s kompenzačními filtry a dozimetrického filmu (Foma Personal Monitoring Film). Dozimetr byl nošen na standardním místě (levá horní strana hrudníku), přičemž délka jednoho monitorovacího období činila 1 měsíc, po jehož uplynutí zajistil zodpovědný pracovník výměnu dozimetrického filmu u jednotlivých pracovníků. Na základě tohoto typu dozimetru bylo možné získat informace o osobním dávkovém ekvivalentu, jak z fotonového, tak i z elektronového záření a rovněž mohl být principiálně stanoven také údaj o druhu a energii záření, směru a časovém ozáření, případně i o kontaminaci. Výsledky vyhodnocených filmů byly po vyhodnocení firmou CSOD zaslány zodpovědnému pracovníkovi na dané pracoviště i do CRPO (Centrálního registru profesních ozáření). Během monitorovacího období 2006–2011 nebyly v žádném případě přesaženy povolené hodnoty stanovené dozorným orgánem ČR ve vyhlášce 307/2002 Sb., tj. hodnota efektivní

Tab. 5. Počet pracovníků v letech 2006–2011

Table 5. Number of workers in 2006–2011

Rok	Počet pracovníků na KNME										
	Profese										
	RA + sestry s atestací v oboru NM amb.	lékaři amb.	farmaceuti amb.	ostatní amb.	sestry 2. l.s.	lékaři 2. l.s.	RJ lab.	ORF	ostatní 2. l.s.	sestry 1. l.s.	ostatní 1. l.s.
2006	11	7	2	3	6	8	3	3	5	8	5
2007	9	7	2	3	8	9	3	3	5	7	7
2008	8	5	2	4	8	9	4	3	5	7	7
2009	7	5	2	3	7	10	2	3	5	10	3
2010	7	4	2	3	8	10	3	3	5	7	4
2011	7	5	2	5	10	11	3	4	5	8	6

RA – radiologický asistent, amb. – ambulance, l.s. – lůžková stanice, RJ lab. – radiojodová laboratoř, ORF – oddělení radiologické fyziky, ostatní – do této skupiny zařazeny sanitářky, recepce a úklid, NM – nukleární medicína

RA – radiology assistant, amb. – ambulance, l.s. – patient ward, RJ Lab. – radioiodine laboratory, ORF – Department of Radiological Physics, others (ostatní) – in this group, included scrub nurse, reception and cleaning staff, NM – Nuclear Medicine

Tab. 6. Souhrnné aktivity radiofarmak aplikované na KNME v letech 2006–2011

Table 6. The summary activity of radiopharmaceuticals used at KNME in 2006–2011

Celková aplikovaná aktivita radiofarmaka (GBq)						
Rok	^{99m}Tc	^{111}In	^{153}Sm	^{131}I	^{123}I	^{131}I -MIBG
2006	5260	4,87	11,60	2386	19,79	96,20
2007	5900	10,33	29,63	2386	22,84	92,50
2008	5740	7,53	18,40	2571	28,83	77,70
2009	5530	6,07	28,32	2442	24,74	85,10
2010	5729	4,43	44,57	2458	29,56	88,80
2011	5267	2,79	41,03	2203	28,24	85,10

Tab. 7 **Technické parametry dozimetřů (9, 10)**Table 7. **Technical parameters of the dosimeters (9, 10)**

Značka dozimetru	filmový dozimetr (CSOD)	prstový TLD (CSOD)	OSL (VF)	prstový TLD (VF)
Měřená veličina	$H_p(10)$ $H_p(0,07)$	H_T	$H_p(10)$ $H_p(0,07)$ $H_p(0,3)$	H_T
Rozsah pracovních teplot	0–45 °C	0–40 °C	0–40 °C	0–40 °C
Rozsah energií záření	10 keV – 15 MeV pro fotonové záření 0,5– 15 MeV pro elektrony	30 keV – 15 MeV pro fotonové záření	od 15 keV pro fotonové záření od 0,25 MeV pro elektrony	od 15 keV pro fotonové záření od 0,2 MeV pro elektrony
Rozsah měření	0,1 mSv – 2 Sv	0,1 mSv – 5 Sv	0,05 mSv – 10 Sv	0,1 mSv – 10 Sv
Nejistota měření	do $\pm 25\%$ (rozsah 0,1 mSv – 2 Sv) pod 0,1 mSv nejistota vzrůstá (u 0,05 mSv převyšuje $\pm 50\%$)	$\pm 25\%$	u hodnoty 0,1 mSv $\pm 25\%$ od 0,2 mSv $\pm 10\%$	$\pm 25\%$ od 0,2 mSv

Tab. 8. **Průměrné roční kolektivní efektivní dávky exponovaných skupin na KNME 2006–2011**Table 8. **The average annual collective effective dose of exposed groups at KNME 2006–2011**

Rok	Průměrná kolektivní efektivní dávka (mSv)										
	Profese										
	RA + sestry s atestací v oboru NM amb.	lékaři amb.	farmaceuti amb.	ostatní amb.	sestry 2. l.s.	lékaři 2. l.s.	RJ lab.	ORF	ostatní 2. l.s.	sestry 1. l.s.	ostatní 1. l.s.
2006	1,14	0	0,29	0	0,7	0	3	0	0,11	0	0
2007	1,39	0,28	0,82	0	0,73	0	3,04	0	0,27	0	0
2008	1,29	0	0,52	0,13	0,35	0	3,33	0	0	0	0
2009	0,99	0,05	0,17	0,05	0,22	0	3,85	0	0	0	0
2010	1,17	0,07	0,36	0,08	0,21	0	2,04	0,32	0,05	0	0
2011	1,11	0,07	0,5	0	0,39	0,01	2,84	0,14	0,05	0,01	0,03

RA – radiologický asistent, amb. – ambulance, l.s. – lůžková stanice, RJ lab. – radiojódová laboratoř, ORF – oddělení radiologické fyziky, ostatní – do této skupiny zařazeny sanitářky, recepce a úklid, NM – nukleární medicína

RA – radiology assistant, amb. – ambulance, l.s. – patient ward, RJ Lab. – radioiodine laboratory, ORF – Department of Radiological Physics, others (ostatní) – in this group, included scrub nurse, reception and cleaning staff, NM – Nuclear Medicine

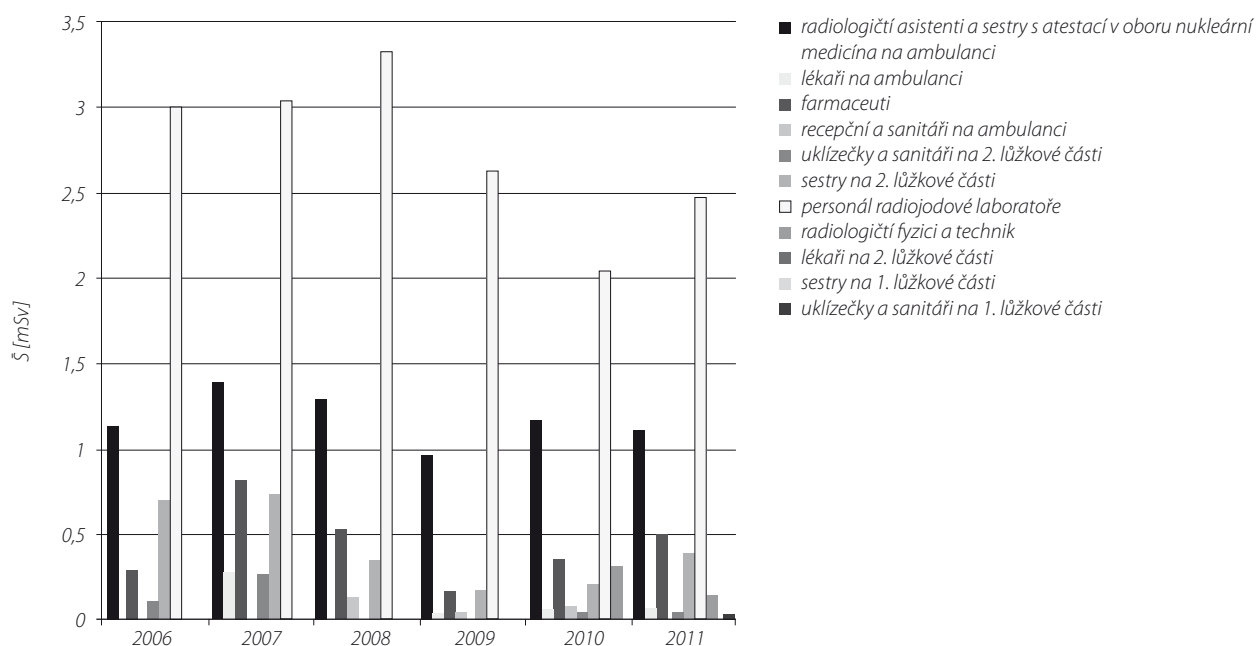
dávky nepřesáhla hodnotu 20 mSv. Za měsíční vyhodnocovací období byly v protokolu CSOD uvedeny hodnoty $H_p(10)$ vyšší než 0,1 mSv (záznamová úroveň), v případě ročního vyhodnocení efektivní dávky byly v protokolu zahrnuty rovněž i $H_p(10)$ v intervalu do 0,1 mSv. Někteří pracovníci (laboranti v radiojódové či radiofarmaceutické laboratoři, farmaceuti, radiologičtí asistenti, sestry aplikující radiofarmaka, radiologičtí fyzici i radiologický technik) byli na pracovišti KNME vybaveni také dvěma prstovými TL (termoluminiscenčními) dozimetry (pravá a levá ruka), u nichž nebyly v měsíčním protokolu hodnoty H_T (ekvivalentní dávka na ruce od prstů až po předloktí) nižší než 0,1 mSv uváděny, a to vzhledem k nejistotě měření. V případě ročního vyhodnocení ekvivalentní dávky na ruce od prstů až po předloktí byly v protokolu zahrnuty rovněž i H_T v intervalu do 0,1 mSv. Základní parametry použitých filmových a TL prstových dozimetřů CSOD shrnuje tabulka 7.

Od dubna roku 2009 byly osobní dávky pracovníků KNME zjišťovány pomocí dozimetřů na bázi OSL (opticky stimulovaná luminiscence). Tento dozimetr se skládá z nosiče dozimetřů OSL $Al_2O_3:C$, dozimetrické kazety, identifikačního štítku, kontrolního prvku a krytu. Vyhodnocení provádí firma VF a.s., která ve vyhodnocovacím protokolu stanovuje dávky $H_p(10)$ vyšší než 0,05 mSv. Pro ekvivalentní dávku na končetiny sloužily prstové TL dozimetry se záznamovou úrovní 0,1 mSv. Základní parametry použitých OSL a TL dozimetřů VF shrnuje tabulka 7.

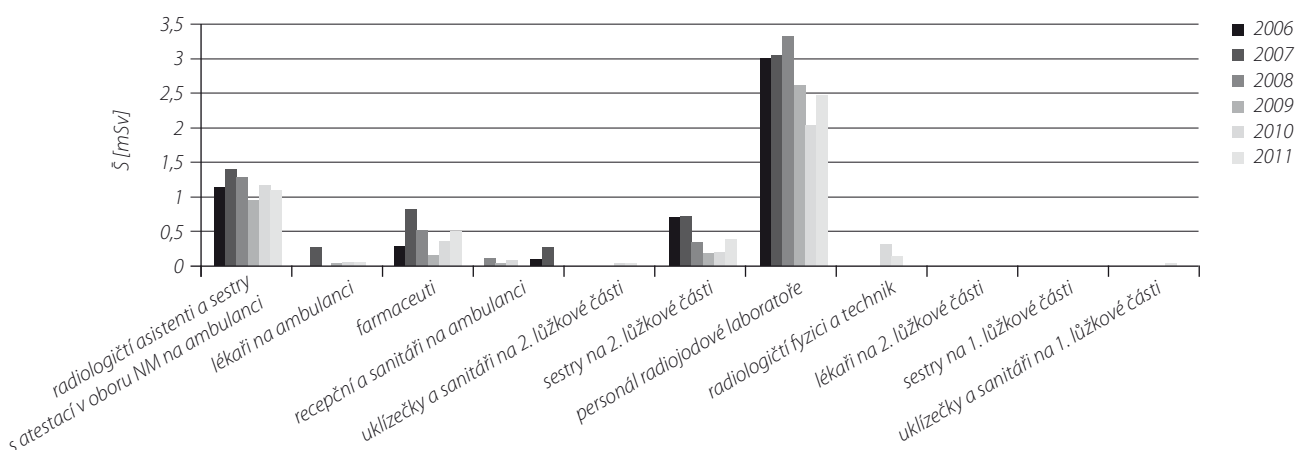
VÝSLEDKY

Výsledky získané na základě vyhodnocovací služby provádějící monitoring radiačních pracovníků, kterou byla do konce března roku 2009 firma CSOD a od dubna roku 2009 firma VF, ukazují, že žádná z vyhodnocených hodnot nepřekročila povolený osobní dávkový limit na jedno monitorovací období, tj. 1 měsíc. Průměrné roční kolektivní efektivní dávky ($\bar{S}$) na jednoho pracovníka v mSv jednotlivých exponovaných skupinách osob s uvážením délky období, po kterou na pozici daný jedinec na KNME pracoval, jsou shrnuty v tabulce 8. Výsledky jsou rovněž demonstrovány na obrázku 1A a 1B, kde jsou hodnoty $\bar{S}$ (mSv) zpracovány s ohledem na ilustraci této veličiny v jednotlivých letech či dle ozáření jednotlivých skupin personálu.

Z hlediska radiační ochrany hodnotící průměrnou roční kolektivní efektivní dávku patří mezi nejvíce zatěžované pracovníky na KNME laboranti připravující radiojód pro terapii štítné žlázy, dále radiologičtí asistenti a sestry s atestací v oboru nukleární medicína pracující na ambulanci KNME (aplikace radiofarmak a obsluha gamakamer), následně sestry, které poskytují zdravotní péči pacientům léčených radiojódem o vysoké aktivitě na 2. lůžkové stanici KNME a pracovníci radiofarmaceutické laboratoře na ambulanci nukleární medicíny připravující radiofarmaka pro scintigrafii. Zbývající skupiny mají hodnoty průměrných kolektivních ročních efektivních dávek mírně zvýšené oproti minimální detekované hodnotě (0,1 mSv v případě CSOD a 0,05 mSv v případě VF) daného dozimetru (lékaři na am-



Obr. 1A. Průměrné roční kolektivní efektivní dávky exponovaných skupin na KNME v letech 2006–2011
Fig. 1A. The average annual collective effective dose of individual exposed groups at KNME in 2006–2011



Obr. 1B. Průměrné roční kolektivní efektivní dávky dle ozáření jednotlivých skupin pracovníků na KNME v letech 2006–2011
Fig. 1B. The average annual collective effective dose of individual exposed groups at KNME in 2006–2011

bulanci, ostatní pracovníci na ambulanci, oddělení radiologické fyziky či ostatní pracovníci na lůžkovém oddělení) nebo je jejich průměrné roční kolektivní ozáření nižší, než je tato minimální detekovatelná hodnota, a jejich zátěž je tedy vyhodnocena jako „nulová“.

Průměrné roční kolektivní hodnoty ekvivalentní dávky (H_T) v mSv na končetiny pracovníků KNME, kteří byli rovněž kromě osobních dozimetřů vybaveni také prstovými TLD, popisuje tabulka 9, přičemž obrázky 2A a 2B znázorňuje hodnoty H_T (mSv), jež jsou i v tomto případě zpracovány s ohledem na průměrné roční kolektivní hodnoty ekvivalentní dávky v jednotlivých letech nebo na základě ozáření jednotlivých skupin pracovníků.

Při porovnání průměrné roční kolektivní dávky na končetiny pracovníků KNME byla stanovena jako nejvíce zatížená skupina pracovníků radiofarmaceutické laboratoře na am-

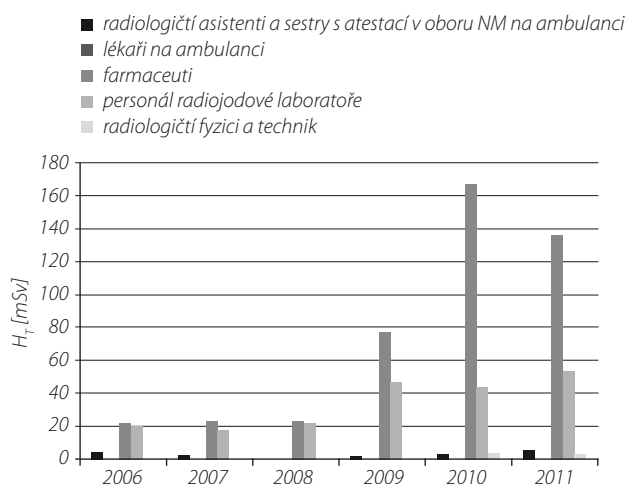
Tab. 9. Průměrné roční kolektivní ekvivalentní dávky exponovaných skupin na KNME 2006–2011

Table 9. Average annual collective equivalent dose of exposed groups at KNME in 2006–2011

Rok	Průměrná kolektivní ekvivalentní dávka na končetiny (mSv)				
	Profese				
	RA + sestry s atestací v oboru NM amb.	lékaři amb.	farmaceuti amb.	RJ. lab.	ORF
2006	4,35	0,18	23	20,7	0,17
2007	2,86	0	23,99	18,21	0
2008	0,88	0	23,19	22,79	0
2009	1,99	–	55,75	44,76	0,3
2010	3,48	–	167,81	44,98	4,77
2011	6,24	–	136,32	54,03	3,16

RA – radiologický asistent, NM – nukleární medicína, amb. – ambulance, RJ. lab. – radiojodová laboratoř, ORF – oddělení radiologické fyziky

RA – radiology assistant, NM – Nuclear Medicine, amb. – ambulance, RJ lab. – radioiodine laboratory, ORF – Department of Radiological Physics



Obr. 2A. Průměrné roční kolektivní ekvivalentní dávky na končetiny exponovaných skupin na KNME v letech 2006–2011

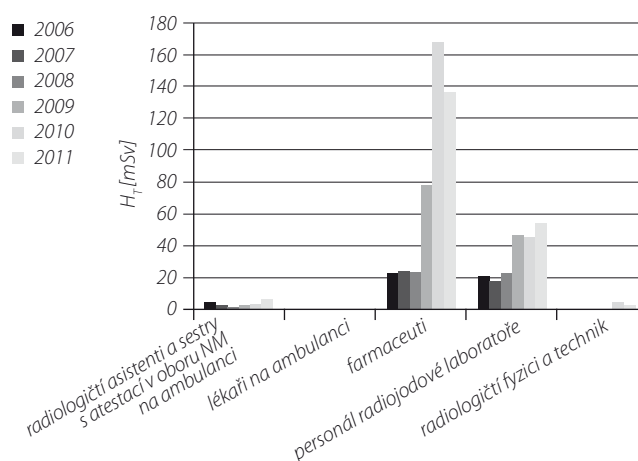
Fig. 2A. The average annual collective dose equivalent to the extremities of individual exposed groups at KNME in 2006–2011

bulanci nukleární medicíny a laboranti připravující radiojód na 2. lůžkové stanici KNME. Obsluha zobrazovacích modalit na ambulanci nukleární medicíny (radiologičtí asistenti a sestry s atestací v oboru nukleární medicína) i oddělení radiologické fyziky (radiologičtí fyzikové a technik) mají jen mírně zvýšené hodnoty oproti minimální detekovatelné hodnotě, která činí 0,05 mSv. Hodnoty průměrné roční kolektivní ekvivalentní dávky na končetiny zbývajících skupiny (lékaři na ambulanci KNME), byli dříve také monitorováni pomocí TL prstových dozimetřů, neboť aplikovali radiofarmakum. V současné době provádí aplikaci radiofarmak pacientů spíše radiologický asistent či sestra s atestací v oboru nukleární medicína, tudíž se zátěž na ruce od prstů až po předloktí u lékařů nesleduje.

DISKUSE

Vhodné je ovšem podotknout, že uvedené hodnoty, které jsou v tabulkách uvedeny jako nulové, nemohou být chápány tak, že tito pracovníci na KNME obdrželi za sledované období nulovou hodnotu efektivní dávky. Tento zkreslující fakt je zapříčiněn tím, že minimální hodnota osobní dávky pracovníka detekovatelná pomocí filmového dozimetru je 0,1 mSv, v případě OSL tato minimální hodnota činí 0,05 mSv. Pokud se hodnota efektivní dávky pracovníka za daný měsíc pohybovala pod touto mezí, vyhodnotila vyhodnocovací služba celotělové ozáření daného jedince ve sledovaném období za „nulové“. Tato skutečnost je velmi důležitá vzhledem k tomu, že pravděpodobnost stochastických účinků roste s mírou ozáření, a přestože se hodnota efektivní dávky ve sledovaném období pohybovala pod detekovatelnou hranicí, mohla být nulová a přispívá tak ke vzniku stochastických účinků.

Personál na KNME je denně vystaven účinkům ionizujícího záření, jehož zdrojem je otevřený zářič, ať už při výrobě radiofarmak v laboratořích, při diagnostických vyšetřeních či provádění radiojodové terapie. Je tedy více než žádoucí, aby osobní dávky jednotlivých pracovníků zůstávaly na co nej-



Obr. 2B. Průměrné roční kolektivní ekvivalentní dávky na končetiny dle ozáření jednotlivých skupin pracovníků na KNME v letech 2006–2011

Fig. 2B. The average annual collective dose equivalent to the extremities irradiation according to individual groups of workers at KNME in 2006–2011

nižších hodnotách a v žádném případě nepřesahovaly limity stanovené pro radiační pracovníky.

V současné době se na KNME stále zvyšuje počet scintigrafických vyšetření i terapie pomocí radiojodu. Vysvětlením může být fakt, že nádorová onemocnění představují téměř 23 % z celkové úmrtnosti v České republice, čímž se stávají druhou nejčastější příčinou smrti v České republice (11). K diagnostice a lokalizaci novotvaru je nutné použít zobrazovacích metod, ať už morfologických, jako jsou konvenční rentgen, CT, ultrazvuk či magnetická rezonance, nebo funkčních vyšetření, kam řadíme nukleární medicínu s modalitami gamakamery (planární, SPECT), SPECT/CT, PET a PET/CT. Rostoucí požadavek na provedení tohoto způsobu zobrazovacích metod pomocí radionuklidů má tedy za následek nejen zvýšenou výrobu radiofarmak, ale i zvýšený počet postupů, kdy personál na tomto oddělení aplikuje ročně stále více aktivity, čímž se rovněž vystavuje častěji účinkům ionizujícího záření. Osobní dávky pracovníků se však ani přes tuto skutečnost příliš razantně nezvyšují. Hodnoty profesní expozice tedy dokazují, že radiační ochrana na KNME je optimalizována a v souladu s požadavky vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně (12).

ZÁVĚR

Výsledky ukazují, že přestože se na KNME od roku 2006 každým rokem zvyšuje množství aplikované aktivity, průměrná radiační zátěž pracovníků zůstává prakticky neměnná nebo se zvyšuje jen nepatrně, přičemž všechny hodnoty z osobních i prstových dozimetřů jsou výrazně pod limity stanovenými dozorným orgánem. Sledování ozáření pracovníků na pracovištích se zdroji ionizujícího záření má pro zajištění radiační ochrany mimořádný význam, neboť umožňuje přímo konfrontovat soulad s příslušnými dávkovými limity, které by neměly být za normálních okolností nikdy překročeny. Přehled o radiační zátěži pracovníků napomáhá také efektivnější aplikace principu ALARA jako jednoho ze základních pilířů radiační ochrany.

LITERATURA

1. ICRP, 1977. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3).
2. CRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3).
3. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4).
4. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly; online z <http://www.unscear.org/docs/reports/gareport.pdf> (25. 5. 2012).
5. **Zachariášová I.** Přínos nadále převažuje, Rentgen Bulletin, září 2009; online z http://www.suro.cz/cz/publikace/lekar-skeozareni/rtg_bulletin_2009.pdf. (25. 5. 2012).
6. SÚRO. Lékařské ozáření, 2012; online z <http://www.suro.cz/cz/lekarske> (25. 5. 2012).
7. **Golisová J, Kraft O.** Management péče o zaměstnance ve zdravotnických pracovištích s ionizujícím zářením, Cor Vasa 2010; 52(9): 564–567.
8. SÚJB. Požadavky SÚJB při provádění terapie onemocnění štítné žlázy radiojodem na pracovištích nukleární medicíny. Praha 2000.
9. Celostátní služba osobní dozimetrie spol. s r.o. Filmová dozimetrie; online z http://www.csod.cz/files/filmova_dozimetrie.pdf (25. 5. 2012).
10. VF: Služba iosobní dozimetrie, online z <http://www.vf.cz/data/files/vf-b-70-a0001-osl-167-172-cz.pdf> (25. 5. 2012).
11. **Komárek L.** Nádorová onemocnění. Praha: Státní zdravotní ústav 2007; online z <http://www.szu.cz/tema/prevence/nadorova-onemocneni>
12. Vyhláška č. 307/2002, Sb. o radiační ochraně, SÚJB.