

OPTIMALIZACE OCHRANY ZDRAVOTNICKÝCH PRACOVNÍKŮ PŘI PRÁCI S OTEVŘENÝMI ZDROJI IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA PET/CT VE FN OSTRAVA

OPTIMIZATION OF THE PROTECTION OF MEDICAL STAFF IN WORKING WITH OPEN SOURCE IONIZING RADIATION ON PET/CT IN THE UNIVERSITY HOSPITAL OSTRAVA

RENÁTA KOHUTOVÁ¹, MARTIN HAVEL², VÍTEZSLAV JIŘÍK¹, HANA MATEROVÁ^{1, 2},
JANA GOLISOVÁ², VOJTĚCH ULLMANN^{1, 2}

¹Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, Ústav epidemiologie a ochrany veřejného zdraví, Ostrava, Česká republika

²Fakultní nemocnice Ostrava, Klinika nukleární medicíny, Ostrava, Česká republika

SOUHRN

Cíle: Cílem průzkumu bylo zhodnocení optimalizace radiační ochrany při práci s otevřenými pozitronovými zářiči na nově zřízeném PET/CT pracovišti Kliniky nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Ostravě (KNM FNO).

Metody: Pomocí retrospektivní studie byly porovnány hodnoty osobní dozimetrie pracovníků KNM FNO, kteří se v období leden 2014 až duben 2018 podíleli na vyšetření pacientů pomocí PET/CT. Pro monitorování osob na pracovišti byly využity osobní OSL dozimetry a prstové tzv. TLD dozimetry. Výsledky osobní dozimetrie zpracovala služba osobní dozimetrie VF, a. s. Černá Hora. Stavební uspořádání pracoviště bylo zhodnoceno dle projektové dokumentace pracoviště.

Výsledky: Hodnota průměrného osobního dávkového ekvivalentu $H_p(10)$ se po spuštění provozu PET/CT v porovnání s měsíci leden až srpen roku 2017 zvýšila o 50,83 %, což představuje průměrné navýšení o 0,0154 mSv u jednotlivého pracovníka. Dávka na ruce se naopak ve sledovaném období v průměru snížila o 0,587 mSv, a tím došlo ke snížení radiační zátěže na kůži rukou o 23,53 %. Hodnota $H_p(10)$ se v průměru za měsíce leden – duben roku 2018 zvýšila o 6,84 % a průměrná dávka na kůži rukou H_T ve stejném porovnávaném období klesla o 7,19 %.

Závěr: Radiační ochrana nově zavedeného PET/CT pracoviště KNM ve FNO je optimalizována a nebyly překročeny stanovené limity pro radiační pracovníky.

Klíčová slova: pracovníci ve zdravotnictví, záření ionizující, ochrana zdraví při práci

SUMMARY

Aim: The aim of the study was to evaluate the optimization of radiation protection related to work with open positron sources on the newly opened PET/CT department in the Clinic of Nuclear Medicine at the University Hospital Ostrava (KNM FNO).

Methods: We compared retrospectively the values from the personal dosimetry of employees, who participated on the PET/CT examinations over the time period from January 2014 to April 2018. For monitoring purposes there were used personal OSL dosimeters and finger TLD dosimeters. The results of personal dosimetry were processed by the dedicated service of VF Černá Hora. The construction of the premises was assessed according to the project documentation.

Results: The average personal dose equivalent $H_p(10)$ increased by 50.83% after the starting of the PET/CT, when compared with the time period of January–August 2017. This represents an average increase for 0.0154 mSv per employee. On the contrary, the dose to the hands decreased in the observed period on average by 0.587 mSv, this led to the decrease of the radiation dose to the skin by 23.53%. The $H_p(10)$ value increased by 6.84% on average in January–April 2018 and the HT-average skin dose in the same period decreased by 7.19%.

Conclusion: The radiation protection of the newly established PET/CT department in KNM FNO can be considered to be optimised; specified limits for the radiation workers were not exceeded.

Key words: health care providers, ionising radiation, occupational health protection

<https://doi.org/10.21101/hygiena.a1710>

Úvod

V České republice, stejně jako ve většině ekonomicky vyspělých zemí, se stalo samozřejmostí využití pozitro-

nové emisní tomografie (PET) zejména pro staging a re-staging onkologických a hematoonkologických onemocnění, diferenciální diagnostiku různých zánětlivých lézí a také pro další méně často vyskytující se choroby. Mo-

derní hybridní PET/CT technologie se stává dostupnější a je také stále více indikovanou vyšetřovací metodou, jež umožňuje fúzování tomografického a funkčního zobrazení během jednoho vyšetření většinou trupu nebo celého těla pacienta. K vyšetření pomocí PET/CT je potřebná intravenózní aplikace radiofarmaka, jež je spojena s rizikem možné zvýšené radiační zátěže pracovníků oddělení nukleární medicíny, neboť pacient se stává zdrojem záření o vysoké energii. Současně se sofistikovanou přístrojovou technikou, zvyšujícím se počtem vyšetření a výzkumem nových radiofarmak pro PET přichází potřeba erudovaného zdravotnického personálu. Trend nárůstu počtu těchto přístrojů a tím i přibývajících uplatnění této diagnostické vyšetřovací metody dokumentuje tabulka 1. V tabulce 2 je vyčíslen počet PET přístrojů na 1 milion obyvatel v jednotlivých zemích (1). Údaje z OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development) jsou doplněny o aktuální informace týkající se ČR (zdrojem jsou oficiální webové stránky České společnosti nukleární medicíny a Českého statistického úřadu). Nepatrný posun poměru počtu přístrojů v ČR na 1 milion obyvatel v prvním čtvrtletí roku 2018 při stejném množství PET přístrojů v předchozím roce je způsoben mírným nárůstem počtu obyvatel (2, 3). Od roku 2017 je v platnosti nová legislativa týkající se nakládání se ZIZ (zdroje ionizujícího záření) a radiační ochrany. Jedná se o nový „atomový zákon“, jež nahrazuje od 1. ledna 2017 dosavadní zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření. Nový atomový zákon byl přijat jako zákon č. 263/2016 Sb. a s ním rovněž prováděcí předpisy. Radiační ochranou se zabývá vyhláška č. 422/2016 Sb. – Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (4). Tato vyhláška zmiňuje čtyři základní principy radiační ochrany (zdůvodnění, optimalizace, limitování dávek a bezpečnost zdrojů). Cílem principu optimalizace je zajistit, aby velikost individuálních dávek, pravděpodobnost ozáření a počet jednotlivců vystavených ozáření byly na co nejnížší úrovni s přihlédnutím k současným odborným znalostem a hospodářským a sociálním faktorům. Tento princip se označuje jako ALARA, což je akronym anglického sloganu „As Low As Reasonably Achievable“. Při implementaci principu optimalizace při lékařském ozáření je rovněž stěžejním faktorem nutnost získání adekvátní diagnostické informace (5). V ideálním případě jsou potřebná obrazová data získána v dostatečné kvalitě při co nejnížší dávce.

Cílem práce je zhodnotit optimalizaci radiační ochrany při práci s pozitronovými zářiči u pracovníků Kliniky nukleární medicíny ve FN v Ostravě, která byla vybavena na podzim roku 2017 novým hybridním PET/CT přístrojem.

Metodika a charakteristika souboru

Do souboru retrospektivní studie byli zařazeni radiační pracovníci kliniky NM FNO, kteří se ve sledovaném období podíleli na vyšetření pacientů pomocí PET/CT. Jednalo se o lékaře, radiologické asistenty, farmaceuty, zdravotní sestry a fyziky. Počet pracovníků se v průběhu tohoto období pohyboval v rozmezí 24 až 33 osob. Přesto ve všech srovnávaných měsících nedošlo k výrazné změně v počtu pracovníků a ze souboru

Tab. 1: Počet PET přístrojů v jednotlivých letech

Země	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	z toho PET/MR (2018)
Austrálie	..	..	..	15	24	31	32	42	47	56	63	74	81	..	..
Rakousko	16	16	16	17	17	16	17	17	18	19	20	23	..	..	..
Kanada	19	27	31	..	38	40	45	42	..	..	47	..	51	..	..
Chile	..	..	..	..	..	..	5	7	8	10	..	..	..	..	..
Česká republika	5	5	5	6	6	7	8	8	10	8	11	16	17	17	2
Dánsko	22	22	21	25	31	..	28	..	34	34	36	42	42	..	..
Estonsko	0	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	..	..	..
Finsko	5	5	..	..	8	8	10	12	12	13	14	14	..	..	..
Francie	23	30	41	53	60	59	72	89	94	108	130	139	147	..	..
Řecko	1	2	4	4	4	4	4	5	5	5	10	12	..	..	..
Maďarsko	5	6	6	6	4	4	4	4	4	5	5	6	..	..	..
Island	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	..	..

Pokračování tabulky na další straně

Tab. 1: Počet PET přístrojů v jednotlivých letech - pokračování tabulky ze str. 97

Země	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	z toho PET/MR (2018)
Irsko	..	..	6	7	7	7	7	8	8	8	8	8	9		
Izrael	1	1	6	6	6	8	8	8	11	11	11	11	11		
Itálie	..	..	105	120	120	127	141	162	174	176	185	..	..
Japonsko	279	..	..	470	..	..	466	..	..	547	..	..	..
Korea	33	63	92	112	137	155	165	191	207	207	202	208	200		
Lotyšsko	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	..		
Litva	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2		
Lucembursko	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Mexiko	0	0	0	0	0	0	5	7	7	8	7	7	..		
Nizozemsko	16	..	27	40	44	40	52	52	54	59	64	62	..		
Nový Zéland	..	..	..	2	2	5	5	5	5	6	6	6	..		
Posko	..	..	..	19	16	16	16	17	16	27	26	26	..		
Portugalsko	..	..	..	6	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Slovenská republika	3	3	3	3	3	3	5	5	6	7	8	8	..		
Slovínsko	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3		
Španělsko	..	..	..	..	..	59	63	67	72	74	76	80	..		
Švýcarsko	..	..	..	..	23	25	26	26	28	..	..	..	..
Turecko	..	..	..	..	42	40	47	71	85	101	104	119	..		
Spojené království	30	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Spoj. státy americké	..	..	..	..	1285	..	..	1450	1570	..	1635	1645	..		

Podle OECD (1). Data pro roky 2017 a 2018 u ČR doplněny z ČSNM (2).

MR – magnetická rezonance

Tab. 2: Počet PET přístrojů na 1 milion obyvatel

Země	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017	1. čtvrtletí 2018
Austrálie	..	..	..	0,71	1,11	1,41	1,43	1,85	2,03	2,38	2,64	3,06	3,29		
Rakousko	1,94	1,94	1,93	2,04	2,04	1,91	2,03	2,02	2,12	2,22	2,31	2,63	..		
Kanada	0,59	0,83	0,94	..	1,13	1,18	1,31	1,21	..	..	1,31	..	1,39		
Chile	..	..	..	..	..	..	0,29	0,4	0,45	0,56	..	..	..
Česká republika	0,49	0,49	0,49	0,58	0,57	0,67	0,76	0,76	0,95	0,76	1,04	1,51	..	1,6022	1,6018
Dánsko	4,06	4,05	3,85	4,55	5,61	..	5,03	..	6,06	6,02	6,33	7,33	7,31		
Estonsko	0	0,74	1,49	1,5	1,5	1,5	2,26	2,27	2,28	2,28	2,28	2,28	..		
Finsko	0,95	0,95	..	..	1,5	1,49	1,86	2,22	2,21	2,38	2,55	2,55	..		
Francie	0,37	0,47	0,64	0,83	0,93	0,91	1,11	1,36	1,43	1,63	1,95	2,08	2,19		
Řecko	0,09	0,18	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,45	0,46	0,46	0,92	1,11	..		
Maďarsko	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,51	0,51	0,61	..		
Island	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Irsko	..	..	1,36	1,56	1,54	1,54	1,53	1,74	1,73	1,72	1,7	1,68	1,88		
Izrael	0,14	0,14	0,84	0,82	0,8	1,05	1,03	1,01	1,36	1,34	1,31	1,29	1,26		
Itálie	..	..	1,8	2,04	2,03	2,14	2,37	2,72	2,89	2,9	3,05	..	..
Japonsko	2,18	..	..	3,67	..	..	3,65	..	..	4,3	..	..	..
Korea	0,68	1,3	1,89	2,28	2,78	3,13	3,3	3,8	4,1	4,08	3,96	4,06	3,89		
Lotyšsko	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	..		
Litva	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,34	0,68	0,69	0,7	0,7		
Lucembursko	2,15	2,12	2,08	2,05	2,01	1,97	1,93	1,88	1,84	1,8	1,76	1,71	1,68		
Mexiko	0	0	0	0	0	0	0,04	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	..		
Nizozemsko	0,98	..	1,65	2,43	2,66	2,41	3,12	3,1	3,21	3,5	3,78	3,64	..		
Nový Zéland	..	..	..	0,47	0,46	1,15	1,14	1,13	1,13	1,33	1,31	1,28	..		
Polsko	..	..	..	0,5	0,42	0,42	0,42	0,45	0,42	0,71	0,68	0,68	..		
Portugalsko	..	..	..	0,57	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Slovenská republika	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,93	0,92	1,11	1,29	1,47	1,47	..		
Slovinsko	0,5	0,5	0,5	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,45	1,45		

Pokračování tabulky na další straně

Tab. 2: Počet PET přístrojů na 1 milion obyvatel - pokračování tabulky ze str. 99

Země	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2017	1. čtvrtletí 2018
Španělsko	1,27	1,35	1,43	1,54	1,59	1,64	1,72	..	..	..
Švýcarsko	2,97	3,19	3,29	3,25	3,46	..	..	..	..	..	..
Turecko	0,58	0,55	0,63	0,94	1,12	1,31	1,33	1,5	..	..	..
Spojené království	0,5	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
Spoj. státy americké	4,23	..	..	4,65	5	..	5,13	5,12	..	..	..	..

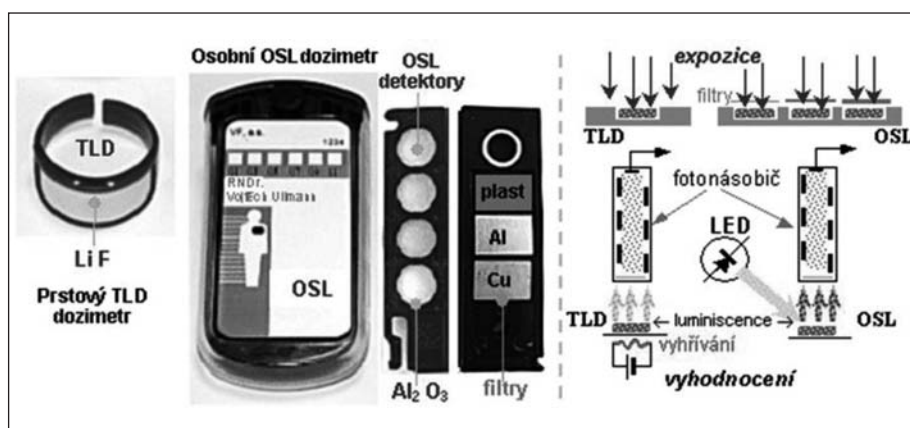
Podle OECD (1), Data pro roky 2017 a 2018 u ČR doplněny z ČSNM (2) a ČSÚ (3).

byli vyčleněni zdravotničtí pracovníci, kteří pracují na lůžkovém oddělení této kliniky a nemají žádnou radiační zátěž ze zmiňovaného PET/CT pracoviště. Ve sledovaném období, které čítá 16 měsíců, byly porovnávány osobní dávky na ruce a tělo zúčastněných pracovníků v období před zavedením nového přístroje s obdobím po spuštění PET/CT do provozu, které proběhlo v září roku 2017. Rovněž byly porovnány roční výsledky osobní dozimetrie od roku 2014 do roku 2018 (celkem 52 měsíců). Pro monitorování osob na pracovišti jsou určeny osobní dozimetry, které pracují na principu OSL (opticky stimulovaná luminiscence) a prstové tzv. TLD (termoluminiscenční dozimetry). OSL dozimetr je nošen na referenčním místě (levá strana hrudníku) a slouží k zaznamenávání obdržené dávky na tělo pracovníka. Prstový TLD dozimetr je nošen na prsteníku více používané a tím i více radiačně zatížené ruky (u praváků se jedná o pravý prsteník) a je využíván ke sledování radiační zátěže kůže rukou zdravotníků, kteří manipulují s otevřenými ZIZ. Nákres obou typů osobních dozimetrů je znázorněn na obrázku 1 (6). Vyhodnocování bylo prováděno měsíčně službou osobní dozimetrie VF, a.s. Černá Hora, což je společnost, která pracuje v oblasti ochrany před ionizujícím zářením.

Kromě výsledků osobní dozimetrie bylo k posouzení optimalizace radiační ochrany personálu na pracovišti KNM FNO zhodnoceno stavební uspořádání pracoviště včetně tras pohybu pacientů a personálu vzhledem k možnosti obdržení dávky z naaplikovaných pacientů a také pracovní postupy včetně střídání pracovníků během přípravy, vyšetření a propouštění pacientů.

Výsledky

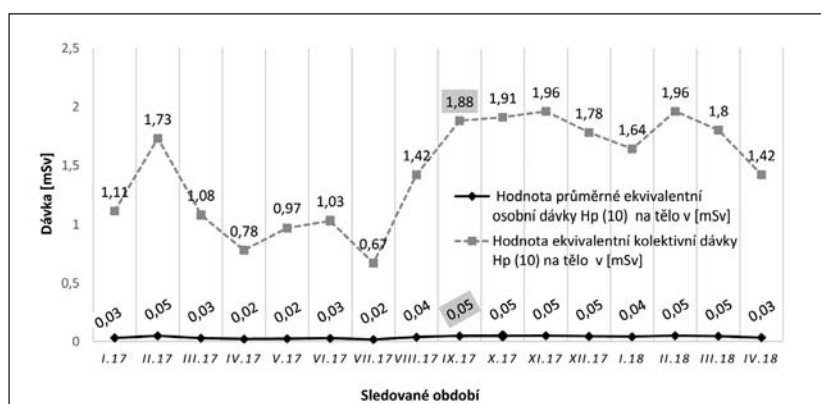
Hodnota průměrného osobního dávkového ekvivalentu $H_p(10)$ se po zavedení nového přístroje v komparaci s měsíci leden až srpen roku 2017 zvýšila z 0,0303 mSv na 0,0458 mSv o 50,83 %, což představuje průměrné navýšení o 0,0154 mSv u jednotlivého pracovníka. Obrázek 2 zobrazuje kolektivní a průměrnou hodnotu pro osobní dávkový ekvivalent $H_p(10)$ naměřenou pomocí OSL dozimetrů, tedy radiační zátěž působící na tělo zdravotníků především z naaplikovaných pacientů jako sekundární záření. Dávka na ruce se naopak ve sledovaném období v průměru snížila o 0,587 mSv, čili došlo ke snížení radiační zátěže na kůži rukou o 23,53 %



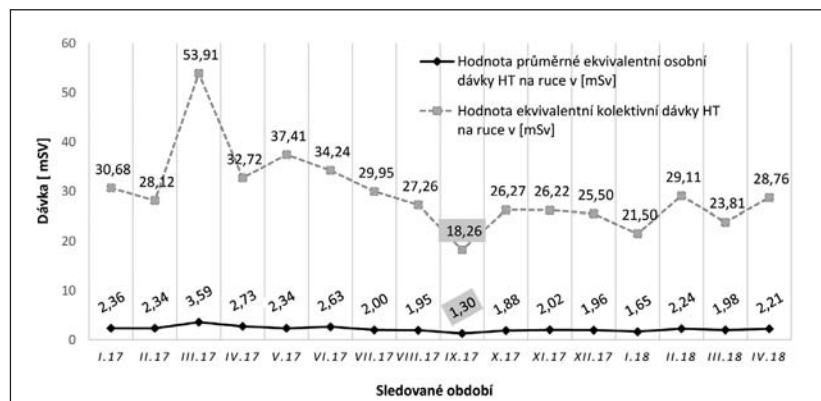
Obr. 1: Prstový termoluminiscenční dozimetr (TLD) a opticky stimulovaný luminiscenční (OSL) dozimetr. Zdroj (6).

(z 2,4925 mSv na 1,9061 mSv). Na obr. 3 jsou znázorněny hodnoty kolektivní a průměrné osobní dávky H_T na kůži rukou. Při porovnání ročních výsledků osobní dozimetrie za roky 2014–2017 s hodnotami za první čtyři měsíce roku 2018 se potvrzuje mírně zvýšená radiační zátěž na tělo pracovníků a pokles radiační dávky na kůži rukou změřené pomocí prstového TLD dozimetru. Hodnota $H_p(10)$ se v průměru za měsíce leden – duben roku 2018 zvýšila o 6,84 % a průměrná dávka na kůži rukou H_T ve stejném porovnávaném období klesla o 7,19 %. Meziroční srovnání efektivních kolektivních dávek včetně průměrných hodnot osobních ekvivalentních dávek je vyobrazen na obr. 4. Významný podíl na snížení dávky pro personál mělo investování do moderního infuzního systému pro automatickou aplikaci radioindikátoru. Radiační ochrana personálu byla optimalizována pomocí správného naplánování všech pracovních postupů v dobře stavebně uspořádaném prostoru s využitím moderního automatického infuzního systému.

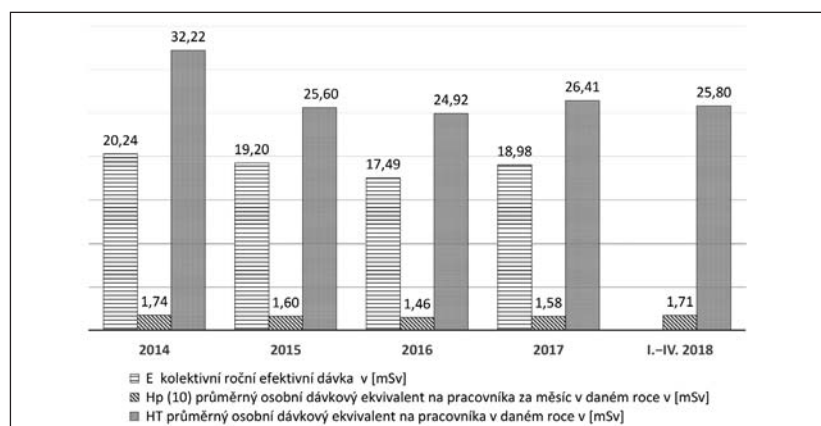
Problematickou radiační ochrany u zdravotnických pracovníků se v uplynulých deseti letech zabývaly vyspělé země Evropy i dalších částí světa. Studie z Polska, Irska, Španělska, Belgie, Srbska nebo Japonska (7) včetně projektu ORAMED (Optimization of Radiation Protection of Medical Staff) byly úzce zaměřeny na hygienu práce při nakládání s otevřenými zářiči ve zdravotnictví. V rámci projektu ORAMED, který probíhal od roku 2008–2011 a byl podporován Evropskou komisí pro radiační ochranu, byla hodnocena optimalizace radiační ochrany rukou při práci na odděleních nukleární medicíny 32 pracovišť celé Evropy. Pozornost zde byla zaměřena na v současné době dva nejvíce používané radionuklidy pro diagnostická vyšetření v nukleární medicíně: ^{99m}Tc , ^{18}F a ^{90}Y , jenž je využíván pro terapii. Byly pozorovány velké rozdíly u jednotlivých vyhodnocených dávek v závislosti na různých parametrech a současně



Obr. 2: Kolektivní a průměrná dávka $H_p(10)$ na KNM FNO.



Obr. 3: Kolektivní a průměrná dávka H_T na KNM FNO.



Obr. 4: Porovnání osobních dávek pracovníků KNM FNO v letech 2014–IV. 2018.

byl potvrzen předpoklad, že při práci s otevřenými zdroji ionizujícího záření obdrží nejvyšší radiční zátěž kůže na prstech rukou pracovníků. V této studii byl zjištěn fakt, že největší dávka byla naměřena na špičce ukazováčku, zatímco prstový dozimetr je nošen na kořeni II., III. nebo IV. prstu více používané ruky (8). Také v ČR se některá pracoviště nukleární medicíny věnovala retrospektivním studiím v kontextu s posouzením optimalizace radiční ochrany. Jedna z retrospektivních analýz proběhla na KNM FNO v roce 2013, kdy bylo hodnoceno období 2006–2012. Rovněž zde byla posuzována průměrná roční efektivní dávka a průměrné roční ekvivalentní dávky na ruce u jednotlivých skupin pracovníků zmíněné kliniky, kde byla používána radiofarmaka potřebná pro terapii: ^{131}I , ^{90}Y , ^{169}Er , ^{186}Re a také pro diagnostiku: $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{67}Ga , $^{81\text{m}}\text{Kr}$, ^{111}In a ^{123}I . Výsledkem bylo zjištění, že poklesu průměrné roční efektivní dávky u jednotlivých monitorovaných skupin bylo docíleno dodržováním základních způsobů ochrany, dobrou organizací práce a také optimalizací pomocí stavebních úprav. Předpokládá se, že také pořízení nového kolimátoru pro SPECT (Single-Photon Emission Computed Tomography) kameru, který umožnil aplikovat pacientům menší aktivitu při stejné diagnostické výtěžnosti, mělo vliv na snížení průměrné roční dávky (9).

V případě expozice pracovníků na odděleních nukleární medicíny je významná kromě radiční zátěže rukou, ke které dochází při vychystávání jednotlivých dávek a aplikaci radiofarmaka pacientům, také expozice celého těla od naaplikovaného pacienta. Autorka Sukupová zmiňuje ve své níže uvedené knižní publikaci (5), že jsou známy výsledky obsáhlejších studií, které poukazují na fakt, že v důsledku chronického ozáření nízkými dávkami dochází ke vzniku úzkosti a depresí, které byly např. u lékařů v invazivní kardiologii zjištěny 6krát častěji než u neexponovaných pracovníků. Tito lékaři jsou rovněž vystaveni velkému stresu a psychickému tlaku, což může souviset s vyšším výskytem psychických onemocnění, nicméně to může být i následek právě chronického ozáření malými dávkami po dlouhou dobu. Levá hemisféra lékařů, která není chráněna, obdrží v průběhu života 1–2 Sv, což ovlivňuje hipokampální neurogenезi a neuronální plasticitu. To může negativně ovlivňovat náladu a taktéž zvyšovat výskyt psychických onemocnění. V souvislosti s chronickými expozicemi malým dávkám bylo taktéž zjištěno, že dochází ke změně redoxního stavu buněk, což se projevuje zvýšeným množstvím peroxidu vodíku v buňkách. Dlouhodobé chronické ozáření malými dávkami je také spojováno s poklesem neurokognitivních schopností (5). V další studii z roku 2015 je popisováno testování lékařů, radiologických asistentů a zdravotních sester, kteří pracovali v radiční zátěži v porovnání se zdravotnickými pracovníky bez radiční zátěže. U exponovaných pracovníků byla statisticky vyhodnocena významně horší dlouhodobá paměť a verbální fluence (5, 10). Mimo deterministické účinky byl u lékařů provádějících intervenční výkony publikován také vyšší výskyt stochastických účinků. V roce 1997 bylo zaznamenáno pět případů výskytu rakoviny u lékařů pracujících na katetrizačních sálech, v roce 2012 bylo uvedeno devět případů (5, 11) a v roce 2014 bylo zjištěno 36 případů (28 lékařů, 2 elektrofyziologové a 6 intervenčních radiologů) (5, 12). Stále je potřeba mít na vědomí, že ne všechny případy vzniku

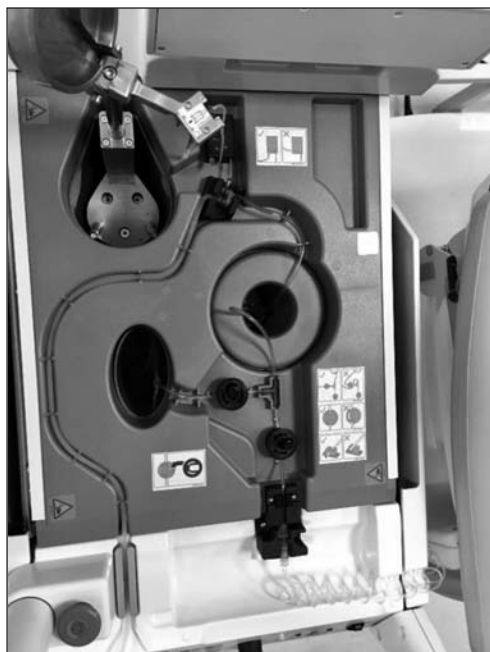
rakoviny u těchto pracovníků jsou publikovány. U publikovaných případů byl v 50 % diagnostikován glioblastom (tumor byl převážně v levé části mozku) (5). V jiné studii z roku 2007 (Andreassi a kol.) je uváděno porovnání jednovaječných dvojčat – mužů, z nichž jeden pracuje jako intervenční kardiolog, a je tudíž chronicky ozařován malými dávkami, a druhý pracuje jako právník. Cytogenetickou analýzou byl u lékaře zjištěn vyšší výskyt chromozomových aberací a dicentrik, což znamená, že při ozařování malými dávkami dochází ke změnám na DNA (5, 13). Zatímco souvislost mezi změnami v DNA a ozařováním malými dávkami lze objektivně prokázat pomocí vědeckých metod, psychické změny u pracovníků, jako následek chronického ozařování nízkými dávkami, mohou být vyvolány působením i jiných činitelů.

Optimalizace radiční ochrany je proces, který se dotýká celého provozu, všech procesů a všech pracovníků. Přítomnost zdravotnického personálu při některých úkonech, jako je např. uložení pacienta před vyšetřením pomocí PET/CT, je nezbytná a nelze se úplně vyhnout účinkům sekundárního záření, jež z pacienta vychází. Je proto nezbytné hodnotit optimalizaci radiční ochrany na pracovištích průběžně a to zejména při zavádění nových postupů či radiofarmak. V Nemocnici na Homolce, kde byl před bezmála 20 lety jako první v ČR spuštěn provoz s PET přístrojem a toto pracoviště posloužilo za dobu svého působení jako zdroj cenných zkušeností mnoha novým pracovištím, proběhla optimalizace v roce 2012. Zájem byl soustředěn na vliv monitorování pracoviště na radiční ochranu personálu. Pomocí zavedení nových postupů se v PET centru na Homolce podařilo snížit relativní osobní kolektivní dávku (tj. vztahenou na aplikovaný GBq) o 28 % a relativní kolektivní dávku na ruce o 45 %. Relativní dávka na ruce se nejvýznamnějším způsobem snížila u aplikujících lékařů (aplikace z ruky či do kanyly), a to o 54 % (14).

Nově zřízené pracoviště PET/CT v Ostravě bylo navrženo na základě dlouhodobých zkušeností z práce v oblasti nukleární medicíny a také využilo podněty a doporučení z jiných pracovišť v ČR a tím se vyhnulo potížím, které nová pracoviště tohoto typu doprovázejí. Na obrázku 5 je zachycena místnost pro aplikaci radiofarmaka na pracovišti KNM FN v Ostravě. Očekávaný nárůst osobních dávek v období po zavedení nové vy-



Obr. 5: Místnost pro aplikaci radiofarmaka. Foto: MUDr. Martin Havel, Ph.D.



Obr. 6: Pohled do otevřeného systému pro automatickou aplikaci radiofarmaka. Foto: MUDr. Martin Havel, Ph.D.

šetřovací metody spojené s aplikací β^+ zářičů se projevil pouze u hodnot OSL dozimetřů při naměření vyšší kolektivní dávky $H_p(10)$, která souvisí s větší zpracovávanou aktivitou pozitronových radiofarmak při zachování stejného množství zpracovávání ostatních radiofarmak. Důležitým prvkem optimalizace se jeví využití infuzního systému pro automatickou aplikaci radioindikátoru, jež slouží k automatickému rozplňování a přípravě dávek pro jednotlivé pacienty (obr. 6). Tímto postupem je eliminován kontakt kůže rukou pracovníků s vysokoeenergetickým zářením při manipulaci s lahvičkou či injekční stříkačkou obsahující otevřený pozitronový zářič. Infuzní systém umožňuje optimalizaci při manipulaci s FDG (fluorodeoxyglukóza), zajišťuje plně kontrolovaný průběh infuze a kalkulace dávky pro konkrétního pacienta s maximální přesností $\pm 2\%$ (běžná praxe $\pm 10\%$). Kalkulace aktivity a určení přesného množství dávky je zajištěno prostřednictvím vestavěného kalibračního zařízení. Injektor nevyžaduje použití injekčních jehel. Pro infuzi je připraven PAS – Patient Administration Set, který se připojuje ke kanyli pacienta. Snadné ovládání a transportabilita předurčují tento systém k maximálnímu a bezpečnému pokrytí potřeb PET pracoviště (15). Pro porovnání radiační zátěže personálu na pracovišti PET/CT, které nevyužívalo žádný automatický aplikační systém pro podání radiofarmaka (tedy aplikovalo tzv. z ruky) a následně zavedlo tuto pomůcku, je vhodné zmínit pracoviště v Novém Jičíně, jež bylo uvedeno do provozu v roce 2013. Zde byla první tři měsíce od otevření pracoviště pacientům aplikována potřebná dávka radiofarmaka bez použití aplikační stanice a po optimalizaci radiační ochrany a zavedením této pomůcky do praxe, došlo k výraznému snížení radiační zátěže pracovníků. Poměrná průměrná dávka u pracovníka byla $3,62 \mu\text{Sv/GBq}$ a využitím automatické aplikační stanice došlo ke snížení na $1,69 \mu\text{Sv/GBq}$ ještě během téhož roku (7). Většina nově zřizovaných PET/CT pracovišť již neprovádí porovnání výsledků měření radiační zátěže pracovníků před zavedením automatických aplikačních systémů se situací po jejich zavedení. Z dosavad-

ních zkušeností z jiných pracovišť vyplývá, že pořízení těchto systémů se jeví jako výhodné a snižující radiační zátěž personálu. Otázkou zde zůstává spíše výběr vhodného typu systému a finanční možnosti pracoviště.

Jedním z důvodů paradoxní změny ve výsledcích osobní dozimetrie ve smyslu snížení obdržené dávky na kůži rukou může být také tendence zdravotnického personálu zvýšeně dbát na dodržování principů radiační ochrany na nově zřízeném pracovišti. Jedná se o ochranu časem, vzdáleností a pomocí stínění vhodnými materiály. Vhodné stavební uspořádání pracoviště se zabudovaným kamerovým systémem v kabinkách naaplikovaných pacientů umožňuje dodržovat dostatečnou vzdálenost personálu od sekundárního záření, jež vychází z pacientů, a snížit tak radiační zátěž jen na dobu nezbytně nutnou pro provedení ošetrovatelských a lékařských úkonů. S výhodou je využíváno pravidelné střídání pracovních úkonů u zdravotnického personálu všech specializací. S dynamickým rozvojem v oblasti PET/CT technologie a rozšiřování sítě přístrojového vybavení je také potřeba neustále se snažit o zvýšenou ochranu pracovníků. V porovnání s osobními dávkami pracovníků jiných PET/CT pracovišť, jež jsou k dispozici z literatury či studentských prací, je možné konstatovat, že zajištění radiační ochrany na pracovišti Kliniky NM ve FN Ostrava je na dobré úrovni. Velkou měrou k tomuto přispělo pořízení moderního infuzního systému pro automatickou aplikaci radioindikátoru, jehož pomocí bylo docíleno snížení radiační zátěže kůže rukou obsluhujícího personálu. Důležitými aspekty jsou aktivní přístup k optimalizaci pracovních postupů na oddělení přípravy radiofarmak a také zkušenosti a šikovnost personálu při manipulaci s otevřenými ZIZ.

Závěr

Lze tedy konstatovat, že radiační ochrana nově zavedeného PET/CT pracoviště Kliniky NM ve FNO je optimalizována a nebyly překročeny stanovené limity pro radiační pracovníky. S rostoucím počtem nových pracovišť vybavených PET/CT nebo PET/MR se jeví využití zkušeností z jiných pracovišť včetně zavádění infuzních systémů pro rozplňování dávek radiofarmak pro jednotlivé pacienty jako přínosné.

Poděkování

Zvláštní poděkování patří pracovníkům služby osobní dozimetrie VF, a. s. v Černé Hoře za příkladnou spolupráci při zpracování výsledků osobní dozimetrie.

LITERATURA

1. Organisation for Economic Co-operation and Development [Internet]. Paris: OECD [cited 2018 Aug 11]. Health Care Resources. Available from: https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=HEALTH_REAC#.
2. Česká společnost nukleární medicíny [online]. Praha: ČSNM; 2017 [cit. 2018-08-15]. PET centra. Dostupné z: <https://www.csnm.cz/article/show/aboutDomain/pet-centres>.
3. Český statistický úřad [online]. Praha: ČSÚ; 2019 [cit. 2018-08-15]. Obyvatelstvo. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo_lide.
4. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. Praha: SÚJB;

- [cit. 2018-08-15]. Nové atomové právo. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/legislativa/nove-atomove-pravo/>.
5. Sůkupová L. Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi. Praha: Grada; 2018.
 6. Ullmann V. Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření [online]. Ostrava - Poruba: AstroNuklFyzika [cit. 2018-11-4]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm#4>.
 7. Kohutová R, Jiřík V, Ullmann V. Radiační ochrana zdravotnického personálu na PET/CT pracovištích. Nukl Med. 2015;4(2):28-33.
 8. Extremity dosimetry in nuclear medicine. In: Vanhavere F, Carinou E, Gualdrini G, Clairand I, Sans Merce M, Ginjau-me M, et al. ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff. EURADOS Report 2012-02. Braunschweig: European Radiation Dosimetry; 2012. p. 133-77.
 9. 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. Čes Radiol. 2013;67(3):225-31.
 10. Marazziti D, Tomaiuolo F, Dell'Osso L, Demi V, Campana S, Piccaluga E, et al. Neuropsychological testing in interventional cardiology staff after long-term exposure to ionizing radiation. J Int Neuropsychol Soc. 2015 Oct;21(9):670-6.
 11. Roguin A, Goldstein J, Bar O. Brain tumours among interventional cardiologists: a cause for alarm? Report of four new cases from two cities and review of the literature. EuroIntervention. 2012 Jan;7(9):1081-6.
 12. Roguin A. Radiation hazards to interventional cardiologists: a report on increased brain tumors among physicians working in the cath lab. In: SOLACI 2014; 2014 Apr 23; Buenos Aires, Argentina.
 13. Andreassi MG, Sagliano I, Cioppa A, Manfredi S, Picano P. Chronic low-dose radiation exposure from interventional cardiology procedures induces chromosomal abnormalities in originally genetically identical twins. Int J Cardiol. 2007 May 16;118(1):130-1.
 14. Dostálová P. Vliv monitorování pracoviště na radiační zátěž personálu na pracovišti PET. Nukl Med. 2018;7(1):2-6.
 15. EDOMED: zdravotnické prostředky zejména pro radio-diagnostiku a nukleární medicínu [online]. Praha: EDOMED; [cit. 2018-11-4]. Dostupný z: <http://www.edomed.cz/medrad/intego>.

Došlo do redakce: 7. 1. 2019

Přijato k tisku: 27. 6. 2019

Mgr. Renáta Kobutová

Janáčkova 1/331

736 01 Havířov Město

Česká republika

E-mail: kobutovarenata@seznam.cz