

RADIAČNÍ ZÁTĚŽ RUKOU PRACOVNÍKŮ BĚHEM PŘÍPRAVY A APLIKACE RADIOFARMÁK ZNAČENÝCH RADIONUKLIDEM ^{18}F

THE RADIATION EXPOSURE OF WORKERS' HANDS DURING THE PREPARATION AND ADMINISTRATION OF RADIOPHARMACEUTICALS LABELLED WITH A RADIONUCLIDE ^{18}F

původní práce

Jana Hudzietzová¹
Marko Fülöp²
Jozef Sabol³
Jiří Doležal⁴

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

²Slovenská zdravotnícka univerzita,
Bratislava, Slovenská republika

³PA ČR v Praze, Katedra krizového
řízení, Praha

⁴ONM FN, Hradec Králové

Přijato: 15. 9. 2014.

Korespondenční adresa:

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

Referát byl připraven za částečné
podpory poskytnuté v rámci
projektu SGS13/161/OHK4/2T/17
a CZ.1.07/2.2.00/28.0219.

Konflikt zájmů: žádný.

SOUHRN

Hudzietzová J, Fülöp M, Sabol J, Doležal J.
Radiační zátěž rukou pracovníků během
přípravy a aplikace radiofarmák znače-
ných radionuklidem ^{18}F

Cíl: Záměrem práce bylo stanovení lokální-
ho ozáření kůže rukou pracovníků na Oddě-
lení nukleární medicíny Fakultní nemocnice
Hradec Králové.

Metodika: Pomocí rukavic s 12 termo-
luminiscenčními dozimetry byla provedena
měření u dvou pracovníků připravujících
a čtyř pracovníků aplikujících radiofarmá-
kum značené ^{18}F . U každého pracovníka
proběhly tři cykly měření (jeden cyklus mě-
ření činil 25 natažení či aplikací). Průměrná
aktivita na jedno měření činila 9–13 GBq.
U každého pracovníka byla zjištěna poloha
a hodnota maximálního lokálního ozáření
kůže ruky, ze kterého byl proveden odhad
maximálního lokálního ozáření za 1 rok.

Výsledky: Průměrné lokální ozáření kůže
rukou pracovníků připravujících pozitronové
radiofarmakum činilo $0,16 \pm 0,11$ mSv/GBq
(levá ruka) a $0,23 \pm 0,05$ mSv/GBq (pravá
ruka). U pracovníků, kteří aplikovali radio-
farmakum značené ^{18}F , bylo naměřeno prů-
měrné lokální ozáření kůže ruky $0,41 \pm 0,10$
mSv/GBq (levá ruka) a $0,11 \pm 0,06$ mSv/GBq
(pravá ruka). Nejčastější poloha výskytu lo-
kálního maxima ozáření kůže ruky byla špič-
ka ukazováčku.

Závěr: Z maximálních lokálních hod-
not ozáření kůže ruky bylo odhadnuto, že
za předpokladu ročního počtu přibližně 600
natažení nebo 260 aplikací radiofarmaka

SUMMARY

Hudzietzová J, Fülöp M, Sabol J, Doležal J.
The radiation exposure of workers' hands
during the preparation and administrati-
on of radiopharmaceuticals labelled with
a radionuclide ^{18}F

Aim: The paper is aimed at the assessment of
the local skin exposure of hands of workers
at the Department of Nuclear Medicine of
the Faculty Hospital Hradec Králové.

Method: The monitoring, which was car-
ried out using gloves with 12 thermolumi-
niscent dosimeters, involved two workers
preparing and four workers administrating
radiopharmaceuticals labelled with ^{18}F . By
ever worker took place three cycles of the
measurement of application (one cycle of
this measurement was 25 preparation or ap-
plication). The average activity associated
with one measurement was in the range of
9–13 GBq. In each worker, the position and
maximum local exposure of the skin was de-
termined, based on which the assessment of
annual local exposure has been established.

Results: The average local skin exposure
of workers engaged in the preparation of
positron radiopharmaceuticals amounted
to 0.16 ± 0.11 mSv/GBq (left hand) and 0.23
 ± 0.05 mSv/GBq (right hand). By the work-
ers they applicated radiopharmaceutical ^{18}F
was on average measured local exposure of
the skin of the hand 0.41 ± 0.10 mSv/GBq
(left hand) and 0.11 ± 0.06 mSv/GBq (right
hand). The most frequent position, with the
occurrence of the maximum skin exposure,
was on the index fingertip.

u sledovaných pracovníků nedojde k překročení vyšetřovací úrovně (150 mSv/rok) ani dávkového limitu na kůži (500 mSv/rok).

Klíčová slova: nukleární medicína, ^{18}F , ozáření kůže ruky pracovníků, termoluminiscenční dozimetry, radiační ochrana.

Conclusion: From results of the local exposure of hands, it was estimated that under the assumption of annual about 600 applications or 260 administration, the monitored workers it may be presumed that their annual exposure would not exceed the investigation level (150 mSv/y) or dose limit for the skin (500 mSv/y).

Key words: nuclear medicine, ^{18}F , skin exposure of the hand, thermoluminescent dosimeters, radiation protection.

ÚVOD

Nukleární medicína je obor zabývající se diagnostikou, ale také terapií. Pro oba tyto účely je zapotřebí vyrobít specifické radiofarmakum, které je následně podáno (nitrožilně, inhalací či ingescí) pacientovi a akumuluje se v požadované tkáni či orgánu. Jelikož je radiofarmakum otevřený zářič (zdroj ionizujícího záření), jsou proto pracovníci vystaveni určitému vnějšímu a v některých specifických případech (např. u radionuklidu ^{131}I) také vnitřnímu ozáření. Z tohoto důvodu je velice důležité dodržení příslušným požadavků radiační ochrany.

Jedním z těchto požadavků je v České republice také monitorování pracovníků pomocí osobních dozimetrů, které jsou nošeny na referenčním místě (levá horní část hrudníku) (1, 2). U profesí, kde se předpokládá větší ozáření končetin během pracovní činnosti, je rovněž doporučováno použití prstových dozimetrů na ruce, u níž se předpokládá větší ozáření (3).

V letech 2008–2011 proběhl projekt ORAMED (Optimization of Radiation Protection of Medical Staff) (4), který se mimo jiné zabýval také problematikou ozáření rukou pracovníků během přípravy či aplikace radiofarmak, které byly značeny radionuklidy $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{90}Y či ^{18}F . Některé práce ukázaly (5–9), že monitorování pomocí prstových dozimetrů nemusí zachytit případy, v nichž by mohl být překročen dávkový limit na končetiny (500 mSv/rok). Prstové dozimetry jsou nošeny na kořenu ukazováčku, prostředníčku či prsteníčku. Ovšem ve studii ORAMED bylo největší ozáření zjištěno na špičce ukazováčku (4), tedy místě, kde se rutinně prstový dozimetr nenosí z praktického hlediska. Projektem ORAMED bylo doporučeno umístění prstového dozimetru na kořen ukazováčku a použití korekčního faktoru o velikosti 6 (4), který by odrážel ozáření na špičce prstu (tedy místě, kde se předpokládá maximální ozáření ruky). Korekční faktor je poměr mezi maximální lokální ekvivalentní dávkou na kůži ruky (v místě, kde se předpokládá maximální ozáření ruky) a lokální ekvivalentní dávkou na kůži ruky ve vybrané pozici, kde probíhalo měření prstovým dozimetrem.

V České republice se dosud nerealizovala podrobná studie ozáření rukou pracovníků na nukleární medicíně během přípravy a aplikace radiofarmak, jako byla provedena v rámci projektu ORAMED. Práce (10) sice analyzovala ozáření rukou

pracovníků, ovšem pouze na základě dvou poloh dozimetrů (špička prostředníčku a kořen prostředníčku). Ve studii (10) bylo zjištěno, že v poloze na kořenu prostředníčku nepřesahuje ozáření při použití ochranných pomůcek 1/5 dávkového limitu na končetiny (100 mSv), pouze občas by se ozáření mohlo blížit 500 mSv v poloze na špičce prstu.

Cílem tohoto příspěvku je stanovit lokální ozáření kůže rukou pracovníků na vybraném pracovišti s pozitronovou emisní tomografií (PET) v České republice během přípravy a aplikace radiofarmaka značeného ^{18}F .

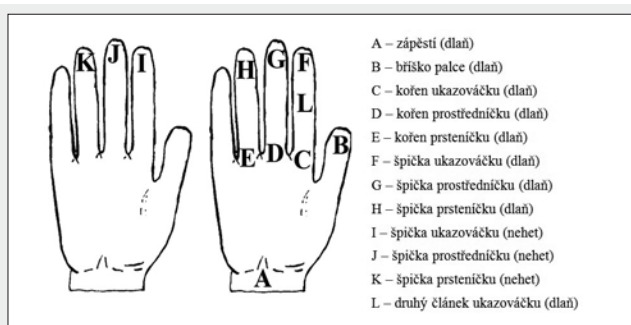
METODIKA

Měření lokálního ozáření kůže rukou pracovníků probíhalo pomocí termoluminiscenčních dozimetrů (TLD). TLD byly umístěny na bavlněných rukavicích na 11 pozicích shodných jako v rámci projektu ORAMED (4). Umístění TLD na rukavicích je znázorněno na obrázku 1. Pozice L byla v rámci experimentů této práce nově přidána (v této studii bylo tedy celkem 12 poloh pro TLD).

Tyto speciální rukavice nosili pracovníci po dobu 25 natažení či 25 aplikací (jeden cyklus měření). Celková aktivita, s níž jednotliví pracovníci přišli během jednoho cyklu měření do kontaktu, se pohybovala v rozmezí 9–13 GBq. U každého pracovníka byly provedeny tři cykly měření. Experimentů se účastnilo celkem 6 pracovníků, kteří jsou spolu s počty pacientů vyšetřených na vybraném pracovišti i celkovou zpracovanou aktivitou radionuklidu ^{18}F za rok 2013 uvedeni v tabulce 1.

Tab. 1. Charakteristika pracoviště
Table 1. Characteristics of the workplace

Pracoviště	počet monitorovaných osob (počet osob na pracovišti)		počet vyšetřených pacientů za rok (2013)	celková zpracovaná aktivita ^{18}F za rok (GBq) (2013)
	příprava	aplikace		
Počet	2(3)	4(7)	1800	675



▲ Obr. 1

Obr. 1. Umístění TLD na rukavicích (vlevo – hřbetová strana levé ruky, vpravo dlaňová strana pravé ruky)

Fig. 1. Location of TLD on the gloves (left – the nail side of the left hand, right – palm side of the right hand)

Během experimentů byly u pracovníků rovněž zaznamenávány údaje o druhu použitého radiofarmaka, čase manipulace s radiofarmakem, druhu prováděné činnosti (příprava, aplikace), technologickém vybavení pracoviště, použití ochranných stínících pomůcek, umístění prstového dozimetru, dominantní ruce pracovníka (pravák či levák) a době praxe v oboru či údaje o případné kontaminaci během pracovní činnosti.



▲ Obr. 2

Obr. 2. Poloautomatická rozplňovací stanice radiofarmaka (foto autor)

Fig. 2. Semiautomatic dispensing station for radiopharmaceutical (photo author)



▲ Obr. 3

Obr. 3. Aplikace radiofarmaka (foto autor)

Fig. 3. Application of the radiopharmaceutical (photo author)

nosti. V průběhu měření byla pořízena také řada videí, která zachycovala pracovní postup jednotlivých pracovníků.

Po skončení měření byly TLD vyhodnoceny a výsledky byly interpretovány pomocí veličiny osobní dávkový ekvivalent $H_p(0,07)$, tedy veličiny, která aproximuje veličinu ekvivalentní dávka na kůži. Nepřesnost měření pomocí TLD (kalibrace TLD v jednotkách veličiny $H_p(0,07)$, umístění TLD v dané lokalitě na ruce a samotné odčítání TLD) činila okolo 30 %.

Příprava radiofarmaka byla uskutečněna s použitím poloautomatické rozplňovací stanice radiofarmaka (obr. 2). Aplikace radiofarmaka probíhala pomocí stříkačky (ve wolframovém stínění) s kanylou (obr. 3).

VÝSLEDKY

Z experimentů této studie provedené na vybraném pracovišti s PET byly nalezeny u jednotlivých pracovníků rozdílné hodnoty lokálního ozáření kůže ruky. Tabulka 2 uvádí rozsah hodnot maximálního lokálního ozáření kůže ruky pomocí veličiny $H_p(0,07)$ a také průměrnou hodnotu této veličiny. V úvahu byla vzata vždy největší hodnota lokálního ozáření kůže ruky, která byla naměřena na pravé a levé ruce pracovníka.

V případě přípravy bylo v 75 % případů nalezeno maximální lokální ozáření kůže ruky v pozici F (špička ukazováčku pravé či levé ruky). Rovněž z hlediska aplikací bylo nejčastěji maximální lokální ozáření kůže pravé či levé ruky nalezeno v pozici F (v 87,5 % případech výskytu). Tabulka 3 shrnuje výskyt lokálních maxim ozáření kůže pravé a levé ruky u jednotlivých pracovníků.

Tab. 2. Výsledky monitorování pracovníků během manipulace s radiofarmakem značené ^{18}F

Table 2. Results of monitoring of workers during radiopharmaceutical ^{18}F -labeled

Činnost	příprava		aplikace	
	levá	pravá	levá	pravá
Rozsah maximálních $H_p(0,07)$ na kůži ruky (mSv/GBq)	0,07–0,38	0,19–0,39	0,30–0,48	0,11–0,17
Průměr $H_p(0,07)$ na kůži ruky (mSv/GBq)	0,16 ± 0,11	0,23 ± 0,05	0,41 ± 0,10	0,11 ± 0,06

Tab. 3. **Poloha nejčastějšího výskytu lokálního maxima kůže ruky**
 Table 3. **Location of the dosimeter with the most frequent local maximum of the skin of a hand**

Pracovník	Činnost	Levá ruka	Pravá ruka
1	příprava	F	C
2	příprava	F	F
3	aplikace	F	F
4	aplikace	F	F
5	aplikace	F	F
6	aplikace	F	B

Tab. 4. **Výsledky odhadovaných hodnot maximálního ročního lokálního ozáření kůže ruky**
 Table 4. **Results of the estimated values of the maximum annual local exposure of the skin of a hand**

Činnost	příprava	aplikace
Počet pacientů za rok na jednoho pracovníka	600	260
Průměrná aktivita na jednu činnost (MBq)	410	390
Pod 150 mSv/rok	2	4
150–500 mSv/rok	0	0
Nad 500 mSv/rok	0	0

V této práci byl rovněž proveden odhad maximálního lokálního ozáření kůže ruky jednotlivých pracovníků. V úvahu byly brány největší naměřené hodnoty $H_p(0,07)$ a dále informace ohledně počtu připravených stříkaček s radiofarmakem, počtu naaplikovaných pacientů a také průměrná aktivita na jednu tuto činnost. Tabulka 4 uvádí případy, ve kterých je hodnota odhadované maximální lokální ekvivalentní dávky na kůži končetin (na základě veličiny $H_p(0,07)$ byla provedena aproximace veličiny ekvivalentní dávky) pod hodnotou vyšetřovací referenční úrovně (150 mSv/rok), nad hodnotou této úrovně nebo převyšující hodnotu příslušného dávkového limitu (nad 500 mSv/rok).

DISKUSE

Výsledky projektu ORAMED (4) ukázaly, že se rozsah ekvivalentní dávky normalizované na aktivitu 1 GBq během přípravy radiofarmaka pohyboval v rozmezí 0,10–4,43 mSv. Na základě měření na vybraném pracovišti s PET v České republice bylo zjištěno menší ozáření kůže rukou pracovníků provádějících tutéž činnost (největší lokální ozáření kůže ruky dosahovalo na tomto pracovišti v České republice hodnoty 0,39 mSv/GBq). S ohledem na výsledky této práce lze usuzovat, že lokální ozáření kůže rukou pracovníků může být sníženo použitím poloautomatických rozplňovacích stanic pro dávkování radiofarmak. V rámci studie ORAMED byli monitorováni pracovníci z některých pracovišť, která neměla k dispozici taková technologická vybavení, jako jsou poloautomatické (automatické) dávkovací stanice radiofarmaka.

Ve studii ORAMED (4) byl stanoven rozsah ekvivalentní dávky normalizované na aktivitu 1 GBq během aplikace radiofarmaka, který se pohyboval v rozmezí 0,14–4,11 mSv. Na zmíněném pracovišti s PET v České republice bylo změněno největší lokální ozáření kůže ruky během aplikace radiofarmaka 0,48 mSv/GBq. V tomto případě mohou být men-

ší hodnoty lokálního ozáření kůže pracovníků na pracovišti s PET v České republice zdůvodněny rozdílným způsobem aplikace radiofarmaka oproti některým pracovištím, která byla monitorována v rámci projektu ORAMED, kdy aplikace radiofarmaka mohla probíhat pomocí stříkačky ve stínění bez použití kanyly. Toto tvrzení podporují také výsledky prací, které byly provedeny v České republice (11, 12).

Na ozáření kůže rukou pracovníků má vliv několik faktorů. Jedním z nich může být technologické vybavení daného pracoviště. Poloautomatické či plně automatické systémy pro přípravu či aplikaci radiofarmaka mohou být vhodným prostředkem, který umožní zkrácení doby, během níž jednotliví pracovníci přijdou do kontaktu s radiofarmakem při daných operacích.

Dalším důležitým faktorem během manipulace s otevřeným zářičem je použití adekvátního stínění. Projektem ORAMED bylo doporučeno při manipulaci s radiofarmakem značeným radionuklidem ^{18}F použití stínění obklopující lahvičku o tloušťce 3 cm olova a stínění válce stříkačky o tloušťce 5 mm wolframu (4).

Pomocí manipulačních pomůcek (pinzety, kleště atd.) může být vhodným způsobem prodloužena vzdálenost mezi zdrojem ionizujícího záření (radiofarmakem) a konečky prstů pracovníka, které jsou ve většině případů nejvíce exponovány (nejčastěji je zde stanoveno maximální lokální ozáření kůže ruky) během činnosti se zářičem.

Čas během přípravy či aplikace radiofarmaka, kdy pracovníci manipulují se zářičem, sehrává také důležitou roli u ozáření kůže rukou pracovníků. Z tohoto důvodu lze pomocí již výše zmíněných poloautomatických či automatických rozplňovacích stanic radiofarmaka zkrátit dobu, s níž byli pracovníci v přímém kontaktu s radiofarmakem. V případě použití poloautomatické či automatické rozplňovací stanice radiofarmaka není zapotřebí „ruční“ natažení radiofarmaka s následným zkontrolováním natažené aktivity pomocí měřiče aktivity (curiementoru). Rozplňovací stanice natáhne radiofarmakum o požadované aktivitě, přičemž se daný proces přípravy také urychlí (během „ručního“ natažení radiofarmaka nebyla vždy napoprvé natažena do stříkačky požadovaná aktivita radiofarmaka). U poloautomatických či automatických aplikátorů radiofarmaka je situace obdobná jako u rozplňovacích stanic. Pracovník provádějící podání radiofarmaka pomocí aplikátoru pouze dohlíží na průběh samotné aplikace, tudíž přijde do kratšího kontaktu se zářičem (instalace a reinstalace stříkačky do aplikátoru). Další možností je také střídání pracovníků provádějících tytéž operace (příprava či aplikace radiofarmaka) se zářičem či pravidelný trénink (návuk úkonů bez zdroje záření), vzdělání v oblasti radiační ochrany a opakování správných zásad během pracovních postupů, než pracovník získá patřičné zkušenosti.

Z výsledků této práce je také patrné, že nošení prstových dozimetřů na kořenu prstu ruky (ukazováček, prostředníček, prsteníček) nemusí odpovídat maximálnímu ozáření kůže ruky. Jelikož v rámci studie ORAMED bylo nejčastěji zjištěno maximální lokální ozáření kůže ruky v pozici F (špička ukazováčku), kde se rutinně prstový dozimetr z praktických důvodů nenosí, doporučil projekt ORAMED jako vhodnou polohu pro prstový dozimetr pozici C (kořen ukazováčku na dlaňové straně ruky) (4), která je praktická a je nejbližší k poloze F. Rovněž bylo na základě měření zjištěno, že se liší

ozáření kůže ruky u jednotlivých pracovníků v monitorovaných pozicích (A–L), a to i v pozicích, kde jsou rutinně nošeny prstové dozimetry (pozice C – kořen ukazováčku, D – kořen prostředníčku a pozice E – kořen prsteníčku). Přijetí doporučení o umístění prstového dozimetru, které bylo navrženo ve studii ORAMED na kořen ukazováčku, by tedy mohlo vést ke sjednocení polohy prstových dozimetrů pracovníků a pokud by byl vzat v potaz také příslušný korekční faktor, bylo by možné adekvátněji odhadnout maximální lokální ozáření kůže ruky mezi jednotlivými pracovníky.

Další studie budou zaměřeny na využití doposud provedených měření pro optimalizaci radiační ochrany na jednotlivých pracovištích.

ZÁVĚR

Výsledky této práce ukazují, že lokální ozáření kůže rukou pracovníků se může lišit, a to i v rámci stejné činnosti (příprava či aplikace radiofarmaka). Na velikosti tohoto ozáření kůže ruky má zásadní vliv osobitý přístup daného pracovníka. Z tohoto důvodu je vhodné mít vždy na paměti vhodné optimalizační prostředky, pomocí kterých může být toto ozáření minimalizováno (použití poloautomatických rozplňovacích stanic radiofarmaka nebo aplikátorů radiofarmaka, užití adekvátního stínění, ochrana vzdáleností a časem, střídání pracovníků provádějících tutéž činnost či školení pracovníků v oblasti radiační ochrany).

Ve všech případech monitorování sledovaných pracovníků byly odhadované hodnoty maximálního lokálního ozáření kůže ruky pod hodnotou vyšetřovací úrovně, a tedy nižší než příslušný dávkový limit.

LITERATURA

1. Zákon č. 18/1997 Sb. ze dne 24. ledna 1997, o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění
2. SÚJB: Vyhláška SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 399/2005 Sb. Praha: SÚJB 2002.
3. 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 objednavatele 164/04/05, Olomouc 2005.
4. EUROPEAN RADIATION DOSIMETRY E. V. Optimization of Radiation Protection of Medical Staff: Extremity Dosimetry in Nuclear Medicine. EUODAS Report 2012-2. Braunschweig 2012; 133–177.
5. Vanhavere F, et al. An Overview on Extremity in Medical Applications. *Radiation Protection Dosimetry* 2008; 129(1–3), 350–355.
6. Rimpler A, et al. Beta Radiation Exposure of Staff During and After Therapies with ^{90}Y -labelled Substances. *Radiation Protection Dosimetry* 2008; 131(1): 73–79.
7. Struelens L, et al. Extremity doses of medical staff for complex interventional procedures and in nuclear medicine ExDos: extremity dosimetry in nuclear medicine. Final report 2010. *Mol* 2010; 31–62. (online) 2013 (cit. 2014-08-10). Dostupné z: <http://fanc.fgov.be/GED/00000000/2700/2757.pdf>.
8. Donadille L, et al. An Overview of the Use of Extremity Dosemeters in Some European Countries for Medical Applications. *Radiation Protection Dosimetry* 2008; 131(1): 62–66.
9. Kemerink GJ, et al. Extremity Doses of nuclear medicine personnel: a concern. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* 2012; 39: 529–532.
10. Hušák V, et al. Radiation Dose to the Hands of Nuclear Medicine Staff Preparing Radiopharmaceuticals with Gamma Emitters Including Positron Radionuclide ^{18}F . *Ces Radiol* 2007; 61(1): 80–84.
11. Hudzietzová J, Fülöp M, Sabol J. Srovnání radiační zátěže rukou pracovníků při manipulaci s radiofarmaky značenými radionuklidem ^{18}F . Třeboň: XXXV. dny radiační ochrany, 11.–15. 11. 2013.
12. Hudzietzová J, Fülöp M, Sabol J. Hodnocení lokálního ozáření kůže u rukou pracovníků během manipulace s radionuklidem ^{18}F . Příbram: 50. dny nukleární medicíny, 25.–27. 9. 2013.