

RADIAČNÍ ZÁTĚŽ RUKOU PRACOVNÍKŮ V NUKLEÁRNÍ MEDICÍNĚ PŘIPRAVUJÍCÍCH RADIOFARMAKA SE ZÁŘIČI GAMA VČETNĚ POZITRONOVÉHO ZÁŘIČE ^{18}F

RADIATION DOSE TO THE HANDS OF NUCLEAR MEDICINE STAFF PREPARING RADIOPHARMACEUTICALS WITH GAMMA EMITTERS INCLUDING POSITRON RADIONUCLIDE ^{18}F

přehledový článek

Václav Hušák^{1,2}
Jaroslav Ptáček²
Jarmila Drymlová¹
Zuzana Pašková³

¹Klinika nukleární medicíny LF UP
a FN, Olomouc

²Oddělení lékařské fyziky a radiační
ochrany FN, Olomouc

³Státní úřad pro jadernou bezpeč-
nost, Praha

Přijato: 25. 7. 2006

Korespondenční adresa:

prof. ing. Václav Hušák, CSc.
Klinika nukleární medicíny LF UP
a FN
I. P. Pavlova 6, 775 20 Olomouc
e-mail: vaclav.husak@quick.cz

Připraveno podle přednášky
prezentované na XXVIII. pracovních
dnech sekce radiofarmacie, ČSNM
ČLS JEP, jež se konaly v dubnu 2006
v Třešti.

Abstrakt přednášky byl otištěn
v časopisu Česká a slovenská
farmacie 2006; 55: 144–145.

SOUHRN

Hušák V., Ptáček J., Drymlová J., Pašková Z. Radiační zátěž rukou pracovníků v nukleární medicíně připravujících radiofarmaka se zářiči gama včetně pozitronového zářiče ^{18}F

Je podán přehled literárních údajů o radiační zátěži rukou radiofarmaceutů publikovaných v období 1975–2006. Uvažuje se poloha termoluminiscenčních dozimetru na špičkách prstů (poloha A) nebo na dolním článku prsteníku ruky (poloha B). Do výkonů práce s radiofarmaky se zahrnuje eluce generátorů ^{99}Mo – $^{99\text{m}}\text{Tc}$, příprava radiofarmak, měření aktivity a rozdělování do injekčních stříkaček, nikoliv však aplikace radiofarmak pacientům. V poloze dozimetru A se měří osobní dávkový ekvivalent $H_p(0,07)$ v 1 cm^2 kůže, v poloze B osobní dávkový ekvivalent na rukou. V literatuře v období let 1975–1990 byla oznámena při práci s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radiofarmaky dávka na špičkách prstů (poloha dozimetru A) v rozmezí 1,2–1,9 mSv/10 GBq bez ochranných pomůcek a 0,18–1,3 mSv/10 GBq s ochrannými pomůckami. Dávka na špičkách prstů (poloha dozimetru A) při práci s ^{18}F byla v rozmezí 0,9–5,8 mSv/10 GBq (průměr ze tří hodnot 3,5 mSv/10 GBq). Průměrná roční dávka na ruce bez PET (poloha dozimetru B) byla v letech 2000–2005 v rozmezí 17,5–91 mSv (průměr z pěti údajů 43,8 mSv), při zahrnutí PET to bylo 25 až 184 mSv (průměr ze tří údajů 121 mSv). Ve světě včetně České republiky není v rutinní práci v nukleární medicíně překračován li-

SUMMARY

Hušák V., Ptáček J., Drymlová J., Pašková Z. Radiation dose to the hands of nuclear medicine staff preparing radiopharmaceuticals with gamma emitters including positron radionuclide ^{18}F

Review of literature dealing with radiation dose to the hands of radiopharmaceutical staff published from 1975 till 2006 is discussed. Position of thermoluminescence dosimeters is considered either at finger tips (position A) or at the proximal ring finger (position B) during ^{99}Mo – $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generators elution, preparation of radiopharmaceuticals, activity measurements and dosing but not during administration to the patients. Personal dose equivalent $H_p(0,07)$ in 1 cm^2 is measured in position A, personal dose equivalent for hands in position B. During the preparation of $^{99\text{m}}\text{Tc}$, finger tip dose (position A) ranging from 1.2–1.9 mSv/10 GBq without protective devices and from 0.18–1.3 mSv/10 GBq with protective devices was published in the literature between 1975 and 1990. During the manipulation with ^{18}F , finger tip dose (position A) ranged from 0.9–5.8 mSv/10 GBq (mean 3.5 mSv/10 GBq). Between 2000–2005, mean annual hand dose (position B) ranged from 17.5–91 mSv (mean 43.8 mSv) without PET, and from 25–184 mSv (mean 121 mSv) with PET, respectively. Routinely, dose to the hands does not exceed 500 mSv/year. In case of skin dose this is not sure since this parameter is not routinely measured

mit dávky na ruce 500 mSv/rok. V případě limitu dávky v kůži to nelze s větší jistotou říci, jelikož tato dávka není rutinně monitorována, a může se vyskytovat také příspěvek z povrchové kontaminace kůže.

Klíčová slova: radiační dávka na ruce, radiační dávka v kůži, dozimetry, nukleární medicína, radiační limity, pozitronová emisní tomografie, radiofarmaka.

and a risk of superficial contamination exists.

Key words: radiation dose, nuclear medicine, dosimeters, radiation limits, PET, radio-pharmaceuticals.

ÚVOD

Příprava radiofarmak na pracovištích nukleární medicíny (NM) patří k pracím v oblasti aplikací ionizujícího záření, při nichž mohou být významně ozařovány ruce. Ve sdělení poskytujeme přehled o radiační zátěži rukou radiofarmaceutů (RF) a dalších pracovníků připravujících radiofarmaka s důrazem na jasnou specifikaci profesní skupiny, způsoby nošení dozimetrů na rukou, pečlivý výběr změřených hodnot z odborné literatury zveřejněné ve světě a u nás do poloviny roku 2006 a v závěru porovnání s limity s poukazem na stávající otevřené problémy.

DOZIMETRIE A VYJADŘOVÁNÍ
RADIAČNÍ ZÁTĚŽE

Profesní skupina RF v tabulce 1 zahrnuje i další pracovníky, laboranty, sestry, VŠ chemiky, fyziky, kteří mají příslušnou kvalifikaci a jsou pověřeni stejnou prací. Na některých odděleních připravují radiofarmaka též pracovníci RIA laboratoří v rámci střídání při postupech s vyšší expozicí.

Pro měření se nejčastěji používají prstové termoluminiscenční dozimetry umísťované jednak v poloze A na konečcích prstů, nebo v poloze B na prsteníku ruky (obr. 1). V poloze A se měří osobní dávkový ekvivalent (dávka) $H_p(0,07)$ v 1 cm² kůže na konečcích prstů, v poloze B osobní dávkový ekvivalent (dávka) na ruce. Při měření radiační zátěže uvedené profesní skupiny RF a dalších skupin je třeba důsledně rozlišovat uvedené veličiny.

Aby bylo možné měření prováděná na různých pracovištích porovnávat, je výhodné vztahovat dávku v kůži na 1 GBq nebo 10 GBq zpracovávané aktivity ^{99m}Tc radiofarmak nebo na období, po které je dozimetr nošen.

Tab. 1. **Výkony při přípravě a aplikaci radiofarmak ^{99m}Tc***
Tab. 1. **Procedures during preparation and administration of ^{99m}Tc***

Výkon	Provádějící pracovník
1. eluce generátoru ^{99m} Mo- ^{99m} Tc	radiofarmaceut (RF)
2. příprava radiofarmak	
3. měření aktivity	
4. rozdělování do injekčních stříkaček	
5. aplikace radiofarmak pacientům	lékař
6. vlastní vyšetření pacientů	radiologický asistent sestra

*V této práci jsou uvažovány jen první čtyři výkony.

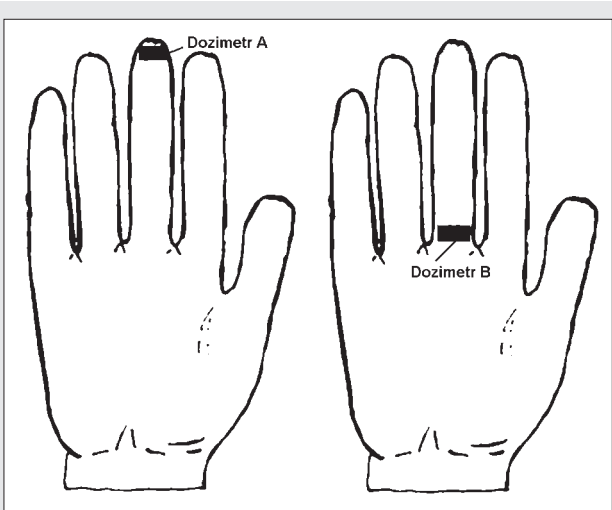
O monitorování rukou v případě manipulace se zářiči beta (zejména ⁹⁰Y) používanými v NM pro léčbu je blíže pojednáno ve sdělení (1).

PŘEHLED MĚŘENÍ PŘI POLOZE
DOZIMETRU A

Dávka na bříškách prstů rukou (poloha dozimetru A) oznáměná různými autory v letech 1975–1990 pro ^{99m}Tc radiofarmaka byla bez ochranných pomůcek v rozmezí 1,2–1,9 mSv/10 GBq, s ochrannými pomůckami to bylo 0,18–1,3 mSv/10 GBq (tab. 2). Není uvažována aplikace radiofarmaka injekcí pacientovi.

Dávka na bříškách prstů při přípravě radiofarmaka ¹⁸F-FDG (poloha dozimetru A) byla v rozmezí 0,9–5,8 mSv/10 GBq (tab. 3).

Berus et al. (6) a Vanhavere et al. (11) zjistili, že při práci s ^{99m}Tc a ¹⁸F radiofarmaky je poměr údaje dozimetru A k údaji dozimetru B v rozmezí od 1,4 do 7.



▲ Obr. 1

Obr. 1. **Umístění termoluminiscenčních dozimetrů (TLD) pro měření radiační zátěže rukou.** a) poloha dozimetru A na konečcích prstů při měření osobního dávkového ekvivalentu (dávky) v kůži. b) poloha dozimetru B na dolním článku prstu při měření osobního dávkového ekvivalentu (dávky) na ruce (umístění podle CSOD Praha)

Fig. 1. **Positioning of thermoluminescence dosimeters (TLD) during measurements of radiation dose to hands.** a) dosimeter position A at finger tips during personal skin dose equivalent (dose) measurements. b) dosimeter position B at proximal falanx during measurements of personal dose equivalent (dose) to the hands, according to CSOD Praha

Tab. 2. **Dávka na bříškách prstů při přípravě ^{99m}Tc-radiofarmak vztažená na 1 GBq (není zahrnuta aplikace radiofarmaka pacientovi)**
Tab. 2. **Dose at finger tips during preparation of ^{99m}Tc referred to 1 GBq (administration to the patient is not considered)**

Autoři	Rok	Dávka na ko- nečních prstů vztažená na 1 GBq (mSv/GBq)	Poznámka
Hušák a Havlík (2)	1975	0,19	bez ochranných pomůcek
Harding et al. (3)	1990	0,12	bez ochranných pomůcek
		0,07	s ochrannými pomůckami
Dhance et al. (4)	2000	0,04	hodnota zjištěná v roce 1994
		0,018	hodnota zjištěná v roce 1998
Jankowski et al. (5)	2003	0,13	TLD na nehtech prstů
Berus et al. (6)	2004	0,084	„dispensing“
		0,019	při přípravě kitů
Whitby a Martin (7)	2005	0,04	bez ochranných pomůcek
		0,004	s ochrannými pomůckami
Donadille et al.(8)	2005	0,5	dozimetry na bříšku ukazováku

Tab. 3. **Dávka na bříškách prstů (poloha dozimetru A) při přípravě radiofarmaka ¹⁸F-FDG**
Tab. 3. **Dose at finger tips (position A) during preparation of ¹⁸F-FDG**

Autoři	Rok	Dávka na konečných prstů vztažená na 1 GBq (mSv/GBq)
Berus et al. (6)	2004	0,37
Pakbiers et al. (9)	2005	0,09
Guillet et al. (10)	2005	0,58

Průměr z uvedených tří hodnot dávky je 0,35 mSv/GBq.

Tab. 4. **Roční dávka na ruce měřená pomocí prstových dozimetrů (poloha B).**
Průměr pěti hodnot ve třetím sloupci je 43,8 mSv/rok a průměr tří hodnot ve čtvrtém sloupci 121 mSv/rok. Autoři uvádějí, že údaj dávky na ruce se vztahuje k ročnímu běžnému provozu pracovišť nukleární medicíny, bez udání bližších dat o zpracovávaných aktivitách, počtu výkonů aj. Bližší údaje o pracovištích nukleární medicíny v České republice jsou ve zprávě (15).
Tab. 4. **Annual dose to the hands measured using finger dosimeters (position B).**
Mean value of five variables in the middle column is 43.8 mSv/year and mean value of three variables in the fourth column is 121 mSv/year, respectively. The authors state that the dose to the hands is referred to routine work of the departments, without mentioning activity, number of procedures etc. Further information can be found in (15).

Autoři	Rok	Dávka na ruce (mSv/rok)	
		NM (bez PET)	NM + PET
Janeba et al. (12)	2000	17,5	25,1
Chruscielewski et al. (13)	2002	50	
Zito et al. (14)	2002		154
Jankowski et al. (5)	2003	35	
Hušák a Ptáček (15)	2005	25,4	
Castaldo (16)	2005	91	184

PŘEHLED MĚŘENÍ PŘI POLOZE DOZIMETRU B

Průměrná roční dávka na ruce (poloha dozimetru B) se nacházela podle různých autorů v rozmezí 17,5–91 mSv (průměr z pěti údajů 43,8 mSv, není zahrnuta příprava radiofarmak pro pozitronovou emisní tomografii (PET)) (tab. 4). Údaje z některých pracovišť NM ve světě a v České republice zahrnují i jiná radiofarmaka než ^{99m}Tc, jejichž aktivita však představuje jen 10–20 % celkové zpracovávané aktivity na odděleních nukleární medicíny. I když se aktivita jiných radionuklidů navázaných na radiofarmaka přepočte na aktivitu ^{99m}Tc podle příslušné dávkové konstanty gama, je procentuální zastoupení jiných radionuklidů na celkové zpracovávané aktivitě ve srovnání s ^{99m}Tc velmi malé a rovněž tak i příspěvek k dávce na ruce.

Na odděleních NM, kde se prováděla jak příprava a aplikace radiofarmak ^{99m}Tc, tak i ¹⁸F, to bylo od 25,1 do 154 mSv/rok (průměr ze tří hodnot 121 mSv). Přidruží-li se tedy ke konvenčním radiofarmakům též ¹⁸F, je dávka na rukou radiofarmaceutů více než 2,5× vyšší. Tento faktor je však jen hrubým odhadem na základě bohužel zatím jen řídkých údajů uváděných v běžně dostupné literatuře.

V přehledu SÚJB (15), který se vztahuje k roku 2003, byla vyhodnocována dávka na ruce jen u tří profesních skupin. U profesní skupiny RF je podle očekávání nejvyšší (obr. 2), u ostatních profesních skupin, lékařů a ambulantních pracovníků je dávka na rukou nižší.

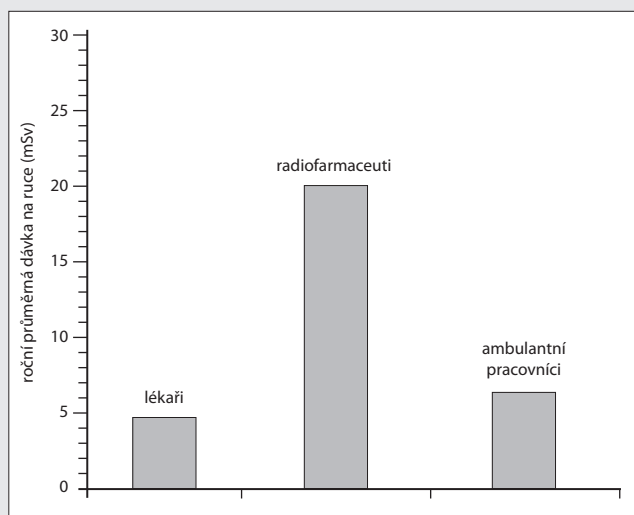
Je zajímavé, že pokud se týká efektivní dávky, profesní skupina RF není mezi jinými skupinami na odděleních NM na prvním místě (obr. 3); tato dávka je nejvyšší u ambulantních pracovníků (sester a radiologických asistentů).

VYHOVĚNÍ RADIAČNÍM LIMITŮM

Limity pro radiační pracovníky podle vyhlášky č. 307/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů, jsou 500 mSv/rok pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a 500 mSv/rok pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm² kůže (17).

U pracovníků s rizikem zvýšené radiační zátěže rukou je tato dávka rutinně měřena pomocí dozimetru v poloze B. Limit pro ekvivalentní dávku na ruce není ve světě podle publikované literatury překračován, rovněž tak není překračován v České republice (tab. 4). Dokumentuje to též obrázek 2, z něhož je zřejmé, že profesní skupina RF na pracovištích NM měla v roce 2003 průměrnou roční dávku na ruce 25,4 mSv, tj. přibližně 1/20 ročního limitu ekvivalentní dávky na ruce.

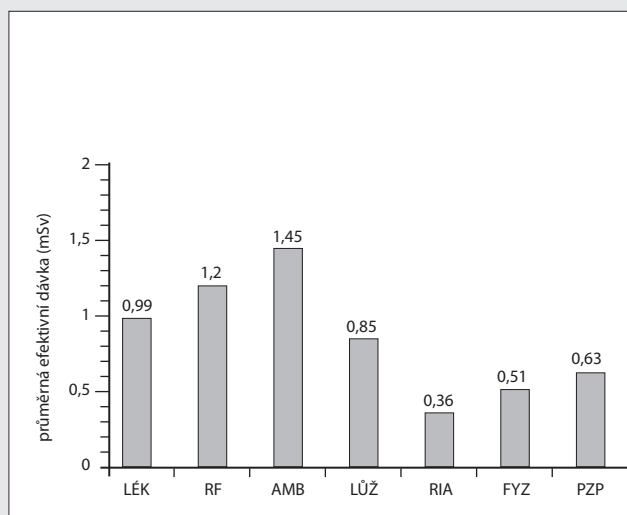
Pokud jde o limit průměrné dávky v 1 cm² kůže, o možném překračování limitu se nelze vůbec vyslovit, jelikož dávka pomocí dozimetru A není na pracovištích rutinně měřena; lze jí jen aproximativně odhadnout z údaje dozimetru B, který se násobí faktorem přibližně 3. Pokusili jsme se o takový odhad na základě celkové roční zpracovávané aktivity radiofarmak v GBq na jednotlivých pracovištích NM v roce 2003 (15); tento postup však vede k poměrně vysokým a velmi přibližným hodnotám, někdy i přesahujícím limit pro



▲ Obr. 2

Obr. 2. **Průměrná roční dávka na ruce v roce 2003 na 44 pracovištích NM v České republice zjištěná v rámci průzkumu organizovaného SÚJB (15).** Dozimetry byly nošeny pracovníky ve třech různých profesních skupinách a vyhodnocovány v CSOD Praha. Průměrná dávka na ruce v jiných profesních skupinách se nacházela pod 1 mSv a není zde uváděna.

Fig. 2. **Mean annual dose to the hands in 2003 at 44 nuclear medicine departments in the Czech Republic, as published by SÚJB (15).** Dosimeters of three different groups of professionals were evaluated at CSOD Praha. Mean dose to the hands in remaining groups did not exceed 1 mSv and is not mentioned here.



▲ Obr. 3

Obr. 3. **Průměrná roční efektivní dávka jednoho pracovníka v sedmi profesních skupinách v rámci průzkumu organizovaného SÚJB na 45 pracovištích NM v České republice (15).** Dozimetry byly nošeny na levé straně pracovního oděvu v oblasti hrudníku a vyhodnocovány v CSOD Praha. Podle očekávání mezi roční průměrnou dávkou na ruce (obr. 2) a roční efektivní dávkou na jednotlivých pracovištích NM nebyla shledána žádná korelace (15).

Fig. 3. **Mean annual effective individual dose in seven groups of professionals at 45 departments of nuclear medicine in the Czech Republic, as published by SÚJB (15).** Dosimeters were worn at the left half of thorax and were evaluated at CSOD Praha. No correlation between mean annual dose to the hands (Fig. 2) and annual effective dose was found.

dávku v kůži. Posuzování také velmi komplikuje případná kontaminace kůže rukou a velká nejistota při stanovení z toho vyplývající dávky v kůži (18, 19).

DISKUZE

Údaje v tabulce 2 naznačují, že zavedení ochranných pomůcek významně snížilo dávku na konečných prstech. Z téže tabulky vyplývá, že dávka na kůži konečků prstů z ^{18}F je 6× až 7× větší než z $^{99\text{m}}\text{Tc}$, a to jak pro tabelované hodnoty pro uvedenou geometrii, tak i při skutečném měření (uveden průměr údajů tří autorů). Souhlasí to přibližně i s poměrem tabulkových hodnot příslušných dávkových konstant radionuklidů (20).

V přehledu SÚJB obsahujícím průměrné dávky na ruce na jednotlivých pracovištích NM v České republice (obr. 2) jsme pozorovali zajímavou skutečnost (15). Porovnávali jsme průměrnou dávku na ruce v souboru pěti pracovišť s průměrnou nejvyšší zátěží rukou a v souboru pěti pracovišť s průměrnou nejnižší zátěží rukou. Poměr takto získaných hodnot ~16 je až překvapivě vysoký a svědčí o velmi rozdílných pracovních postupech, různé kvalitě ochranných pomůcek a odlišných zkušenostech osob na různých pracovištích; přitom tento poměr je jen velmi málo ovlivněn celkovou zpracovávanou aktivitou radiofarmak za rok na jednotlivých odděleních NM. Obdobně lze vysvětlit i to, že průměrné efektivní dávky na jednotlivých pracovištích podléhají rovněž velkému rozptylu (obr. 3).

Nošení prstových dozimetrů je zcela nezbytné u profesní skupiny RF a je možné ho doporučit též u lékařů a ambulantních pracovníků (obr. 2).

Údaj dozimetru A u pracovníků s otevřenými zářiči nemusí nutně reprezentovat jen dávku v kůži. V případě, že při rutinní práci dojde k povrchové kontaminaci rukou, k dávce v kůži může přistupovat i příspěvek z tohoto radioaktivního znečištění. I při rutinní práci s používáním gumových rukavic může dojít ke kontaminaci konečků prstů (nekvalitní rukavice, případně jejich neopatrné svlékání po skončení práce). Udávaný odhad dávky v kůži (např. 2 mSv/(kBq.cm⁻²) u $^{99\text{m}}\text{Tc}$ a 5 mSv/(kBq.cm⁻²) u ^{18}F) je však zatížen značnou nejistotou (18, 19).

ZÁVĚR

Zveřejněné průměrné dávky na ruce (poloha dozimetru B) na pracovištích nukleární medicíny ve světě a v České republice při používání ochranných pomůcek nepřesahují 1/5 ročního limitu pro radiační pracovníky 500 mSv, jen v řídcejších individuálních případech by se ročními limitu dávky v kůži mohly blížit údaje dozimetru v poloze A. Dojde-li i při rutinní práci ke kontaminaci rukou, není vyloučeno, že limit dávky v kůži může být i překročen. Je třeba vždy pamatovat na optimalizační opatření ke snížení dávky na ruce i efektivní dávky pracovníků (kvalitní ochranné pomůcky, ochrana vzdáleností a časem včetně střídání pracovníků aj.).

LITERATURA

1. **Hušák V, Ptáček J, Mysliveček J.** Radiační ochrana pracovníků a obyvatelstva při léčbě radiofarmaky značenými otevřenými zářičem ytrem-90. *Čes Radiol* 2005; 59: 229–235.
2. **Hušák V, Havlík J.** Radiační zátěž rukou při práci s generátory ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ měřená prstovými dozimetry ÚVVR. *Jaderná energie* 1980; 20: 465–466.
3. **Harding LK, Mostafa AB, Thomson WH.** Staff radiation doses associated with nuclear medicine procedures. *Nucl Med Commun* 1990; 11: 271–277.
4. **Dhanse S, Martin CJ, Hilditch TE, Elliot AT.** A study of doses to the hands during dispensing of radiopharmaceuticals. *Nucl Med Commun* 2000; 21: 511–519.
5. **Jankowski J, Olszewski J, Kluska K.** Distribution of equivalent doses to skin of the hands of nuclear medicine personnel. *Radiat Prot Dosimetry* 2003; 106: 177–180.
6. **Berus D, Covens P, Buls N, et al.** Extremity doses of workers in nuclear medicine: mapping hand doses in function of manipulation. Congress of IRPA, Madrid 2004 (<http://www.irpa11.com>).
7. **Whitby M, Martin CJ.** A multi-centre study of dispensing methods and hand doses in UK hospital radiopharmacies. *Nucl Med Commun* 2005; 26: 49–60.
8. **Donadille L, El Bouachri A, Lahaye T, et al.** Feasibility study of an active extremity dosimetry prototype. *Rad Prot Dosimetry* 2005; 115: 548–552.
9. **Pakbiers MTW, Teule GJJ, Kemerink GJ.** Occupational, patient and environmental radiation dose caused by ^{18}F -FDG PET/CT studies (abstract). *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2005; 32(Suppl 1): S119.
10. **Guillet B, Quentin P, Waultier S, et al.** Technologist radiation exposure in routine clinical practice with ^{18}F -FDG PET. *J Nucl Med Technol* 2005; 33: 175–179.
11. **Vanhavere F, Berus D, Buls N, Covens P.** The use of extremity dosimeters in a hospital environment 2006; 118: 190–195.
12. **Janeba D, Heřmanská J, Bělohávek O.** Personal dosimetry in the PET centre Prague. *Nucl Med Review* 2000; 3: 189–191.
13. **Chrusciewski W, Olszewski J, Jankowski J, Cygan M.** Hand exposure in nuclear medicine workers. *Radiat Prot Dosimetry* 2002; 101: 229–232.
14. **Zito F, Eulisse G, Rozza M.** Dosimetric evaluation of workers operating into a PET department. 6th European ALARA Network Workshop, Madrid 2002 (<http://ean.cepn.asso.fr>).
15. **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, Olomouc 2005.
16. **Castaldo S.** Impact of F-18 on the dose delivered to technologists in a nuclear medicine department (abstract). *Nuklearmedizin* 2005; 44: A168.
17. Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.
18. Assessment of occupational exposure due to external sources of radiation. Safety Guide No. RS-G-1.3. Vienna: International Atomic Energy Agency 1999. ISBN 92-0-101799-5.
19. **Hušák V, Kleinbauer K, Koranda P.** Personnel's skin dose from contamination by radionuclides – approximate simple estimate. XXV. Days of Radiation Protection, Extended Conference Abstracts, Jáchymov 2002, 50–53.
20. **Delacroix D, Guerre JP, Leblanc P, Hickmann C.** Radionuclide and radiation protection data handbook 2002. Ashford: Nuclear Technology Publishing 2002.