

VZDĚLÁVÁNÍ PRACOVNÍKŮ NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY V OBLASTI RADIAČNÍ OCHRANY A KRIZOVÝCH SITUACÍ

Jana Hudzietzová^{*)}

ABSTRAKT

Príspevek se zabývá vybranými aspekty zajištění adekvátní radiační ochrany a přípravy pracovníků nukleární medicíny. Důraz je kladen na význam jejich kvalifikace potřebné k implementaci příslušných legislativních požadavků, které jsou stanoveny dozorným orgánem. Jsou diskutovány i některé možnosti vzdělávání a školení zejména v oblasti radiační ochrany, ale i mimořádných událostí.

Klíčová slova:

Nukleární medicína, radiační ochrana, školení, mimořádná událost

ABSTRACT

The paper deals with some aspects of ensuring adequate radiation protection and training of workers engaged in nuclear medicine. Emphasis is placed on the importance of their qualification necessary for the implementation of relevant legislative requirements set by the regulatory authority. Further aspects of education and training in the field of radiation protection and emergency events are also discussed.

Key words:

Nuclear medicine, radiation protection, training, emergency event

1 RADIAČNÍ OCHRANA

S aplikací ionizujícího záření (IZ) se v dnešní době setkáme v mnoha oborech lidské činnosti, jakými jsou průmyslová radiografie, v jaderných elektrárnách či v medicíně. Ve všech těchto případech technologií se jedná o přínosné využití IZ, které převyšuje případná rizika spojená s nepříznivými účinky záření na člověka a životní prostředí. Během normálních (plánovaných) radiačních a jaderných situací je

^{*)} Ing. Jana Hudzietzová, ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství, nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno, jana.hudzietzova@fbmi.cvut.cz

proto dopad těchto aplikací pro společnost akceptovatelný. Na druhou stranu, pro případy nehod jsou vždy zavedena patřičná opatření, která se snaží eliminovat dopad těchto situací na obyvatelstvo i životní prostředí.

Jelikož byly po objevu Röntgenova záření prokázány i škodlivé deterministické účinky silného záření na zdravou tkáň [1], bylo nutností v tomto oboru využívající IZ zavést patřičnou ochranu před tímto zářením. Radiační ochrana proto reprezentuje systém technických i organizačních opatření vedoucích k omezení nežádoucího ozáření osob a k ochraně životního prostředí před IZ [2].

Hlavním cílem radiační ochrany je minimalizovat vznik deterministických účinků a stochastické účinky omezit na míru přijatelnou pro jednotlivce i obyvatelstvo. K dosažení těchto cílů je tedy nutné dodržovat čtyři základní principy radiační ochrany v každodenní činnosti se zdroji ionizujícího záření (ZIZ). Jmenovitě se jedná o:

- princip zdůvodnění činnosti se ZIZ, kde musí být každá činnost se ZIZ zdůvodněna a přínos této aplikace IZ musí být větší než riziko vzniklé během této radiační činnosti;
- princip optimalizace, kde při aplikacích využívající IZ musí být dodržena patřičná úroveň radiační ochrany (riziko škodlivých účinků by mělo být proto optimálně nízké, jak lze rozumně dosáhnout z technického i ekonomického hlediska);
- princip dodržování dávkových limitů, kde je zapotřebí při činnostech s IZ eliminovat ozáření osob tak, aby nedošlo k překročení dávkových limitů stanovených Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB);
- princip zabezpečení zdroje ionizujícího záření, kde je hlavním požadavkem zamezit vstupu nepovoleným osob ke ZIZ a tudíž předejít případnému odcizení ZIZ.

Dozor nad radiační ochranou v České republice (ČR) vykonává především SÚJB. Hlavní činnosti SÚJB jsou proto [3]:

- státní správa a dozor v oblasti radiační ochrany v celé škále pracovišť se ZIZ (jaderná zařízení, pracoviště s otevřenými radionuklidovými zdroji, zubní rentgeny, typové schvalování ZIZ, nakládání s radioaktivními odpady a uvádění radionuklidů do životního prostředí);
- sledování, posuzování a usměrňování ozáření osob, včetně ozáření z radonu a dalších přírodních ZIZ a ozáření za havarijních situací;
- koordinace činnosti celostátní radiační monitorovací sítě, včetně zabezpečení mezinárodní výměny dat o radiační situaci;
- celostátní evidence ZIZ a celostátní evidenci profesního ozáření (ozáření, kterému jsou pracovníci vystaveni v souvislosti s výkonem svého povolání);
- prosazování předpisů radiační ochrany, včetně ukládání opatření k nápravě a pokut.

Rovněž je vhodné podotknout, že bezpečnost týkající se radiační nebo jaderné oblasti je obecně lépe zajištěna než bezpečnost v odlišných průmyslových oborech.

2 MIMOŘÁDNÁ A KRIZOVÁ SITUACE, KRIZOVÉ ŘÍZENÍ

Jako všude tam, kde se pracuje s nebezpečnými látkami a agens, i v případě aplikace ionizujícího záření a radionuklidů v medicíně může dojít k nehodě, havárii či jiné mimořádné situaci, kde je nebezpečí ozáření osob nad rámec příslušných dávkových limitů (závaznými kvantitativními ukazateli pro celkové ozáření z radiačních činností, jejichž překročení není ve stanovených případech přípustné [4, 5]) a referenčních úrovní (hodnoty nebo kritéria rozhodné pro určité předem stanovené postupy nebo opatření [4, 5]). Proto je nezbytné se na takové situace připravit s cílem minimalizovat jejich důsledky.

Událost nebo situace, která vznikla v daném prostředí z důvodu živelné pohromy, havárie, nezákonnou činností, ohrožením kritické infrastruktury, nákazami, ohrožením vnitřní bezpečnosti a ekonomiky, je nazývána mimořádnou situací (případně také nouzovou situací, pohromou, katastrofou či havárií) [6]. Tato vzniklá situace se řeší běžným způsobem orgány a složkami bezpečnostního systému na základě patřičných právních předpisů [6].

Krizovou situací se rozumí mimořádná událost, v jejímž důsledku se vyhláší stav nebezpečí, nouzový stav, stav ohrožení státu nebo válečný stav. Při této situaci jsou ohroženy důležité hodnoty, zájmy či statky státu a jeho občanů. Hrozící nebezpečí nelze odvrátit a způsobené škody odstranit běžnou činností orgánů veřejné moci, ozbrojených sil a ozbrojených bezpečnostních sborů, záchranných sborů, havarijních a jiných služeb a právnických a fyzických osob [7].

Krizovým řízením se chápe souhrn řídicích činností věcně příslušných orgánů zaměřených na analýzu a vyhodnocení bezpečnostních rizik, plánování, organizování, realizaci a kontrolu činností prováděných v souvislosti s přípravou na krizové situace a řešením krizové situace [8]. Během těchto činností dochází k provedení opatření v oblasti obnovy a prevence. Rovněž se může jednat o realizaci opatření v oblasti přípravy (zejména krizové plánování), řešení krizové situace a likvidačních prací [8].

Krizové plánování pak lze definovat jako nástroj přípravy na předvídatelné krizové situace. Jedná se tedy o ucelený soubor postupů, metod a opatření, které věcně příslušné orgány a určené subjekty užívají při předcházení, přípravě a odezvě na činnosti v krizových situacích [9].

Proces krizového řízení a plánování je zabezpečován pomocí patřičných orgánů (bezpečnostní rady, krizové štáby). Bezpečnostní rady realizují analýzy hrozících rizik a stavu připravenosti. Rovněž rozhodují o opatřeních k uskutečnění případných preventivních opatření. Doporučení bezpečnostní rady sledují zabezpečení připravenosti na hrozící nebezpečí, zejména pak v oblasti prevence vzniku krizí.

Krizové štáby jsou určeny pro řešení vzniklých krizových situací. Jejich úkolem je zabezpečit operativní koordinaci, sledování a vyhodnocování stavu realizace

opatření přijímaných vládou, ministerstvy a jinými správními úřady a orgány územních samosprávných celků k zamezení vzniku nebo k řešení vzniklé krizové situace, nebo jiné závažné situace. Krizový štáb také poskytuje podporu činnosti orgánům krizového řízení územních správních úřadů a orgánům územních samosprávných celků [10]. Doporučení krizového štábu má za cíl zajištění zvládnutí dané situace na základě předem připravených postupů a prostředků.

3 NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA

Nukleární medicína je vědní obor, na jehož základě dochází k diagnostice či terapii prostřednictvím otevřeného zářiče aplikovaného do vnitřního prostředí. V tomto případě je otevřeným zářičem tzv. radiofarmakum (RF). Jedná se o léčivou látku, která obsahuje jeden či více radionuklidů, které se akumulují v požadované tkáni nebo orgánu. Tyto látky lze aplikovat pacientům pro diagnostické účely intravenózně, perorálně či inhalační cestou.

V případě terapie jsou RF pacientům aplikována lokálně (např. synoviektomie, což je léčba bolestivých zánětlivých onemocnění kloubů na základě aplikace radionuklidu ^{90}Y do synoviální tekutiny příslušného kloubu) či mohou být podána perorálně (např. léčba diferencovaného karcinomu štítné žlázy pomocí roztoku $^{131}\text{I-NaI}$ či tablet obsahujících ^{131}I). Nejčastěji používané radionuklidy v nukleární medicíně shrnuje Tab. 1.

Tab. 1 Příklady nejčastěji používaných radionuklidů v nukleární medicíně [11]

Diagnostické aplikace				Terapeutické aplikace			
Radionuklid	$T_{1/2}$	Druh emise	$E_{ph}(\text{keV})$	Radionuklid	$T_{1/2}$	Druh emise	$E_{\beta\text{max}}(\text{MeV})$
Tc-99m	6 h	β^-	740	I-131	8,04 d	β^-/γ	0,6
Rb-81	4,6 h	EC β^+	511	Y-90	64 h	β^-	2,3
Cr-51	27,8 d	EC	320	P-32	14,3 d	β^-	1,7
In-111	67 h	EC	173, 247	Sm-153	46,3 h	β^-/γ	0,8
I-131	8,04	β^-/γ	364	Sr-89	50,5 d	β^-	1,5
I-123	13 h	EC	159	Re-186	3,7 d	β^-/γ	1,07
Xe-133	5,3 d	β^-	80				
Tl-201	73,1 h	EC	69 - 80				
F-18	110 min	β^+	511				

Poznámka: EC – elektronový záchyt

Personál, který pracuje na oddělení nukleární medicíny, je v důsledku manipulace s radiofarmakem vystaven jak externímu záření, tak i případné vnitřní kontaminaci. V případě externího ozáření personálu se může jednat o následující situace:

- příprava radiofarmaka;
- transport radiofarmaka z místa přípravy (např. speciální laminární box) do místnosti, kde je RF aplikováno pacientovi;
- aplikace radiofarmaka pacientovi;
- nastavení a manipulace s pacientem, který je po podání radiofarmaka uložen na kameru (gama kamera, SPECT, PET) z důvodu diagnostiky;
- péče o pacienta hospitalizovaného na lůžkové části pracoviště (např. terapie štítné žlázy po mocí ^{131}I či synoviektomie pomocí ^{90}Y)
- manipulace s radioaktivním odpadem.

Obr. 1 a obr. 2 znázorňují vybrané situace, kdy může být pracovník nukleární medicíny vystaven vnějšímu ozáření během své pracovní činnosti.



Obr. 1 Příprava radiofarmaka značeného ^{18}F



Obr. 2 Aplikace radiofarmaka značeného ^{18}F

V případech, kdy se dostane radionuklid do organismu pracovníka, hovoříme o vnitřní kontaminaci. Ve valné většině případů se na nukleární medicíně neočekává, že by se radionuklid vpravil do těla pracovníka požitím. Jiná situace však může nastat během přípravy radiofarmaka značeného ^{131}I . V důsledku těkavosti ^{131}I je nutné roztok značený tímto radionuklidem připravovat ve speciální digestoři [12]. Stejně tak existuje případné riziko vnitřní kontaminace, pokud pracovník podává pacientovi kapsle značené radionuklidem ^{131}I [13].

Jelikož přichází pracovníci nukleární medicíny do styku se zdroji ionizujícího záření, je velmi žádoucí, aby měli základní znalosti radiační ochrany. Rovněž by měli být schopni aplikovat tyto vědomosti z oblasti radiační ochrany do každodenní praxe. Zejména je vhodné, aby uměli pracovníci adekvátně během pracovního postupu uplatnit základní způsoby radiační ochrany, jakými jsou ochrana:

- vzdáleností, kde dávkový příkon klesá s druhou mocninou vzdálenosti od ZIZ (pracovníci by proto měli dodržovat patřičný odstup od pacientů, jimž již bylo RF aplikováno. Rovněž je vhodné, aby personál během manipulace s RF používal vhodné pomůcky (kleště, pinzety atd.), které by prodloužily vzdálenost mezi ZIZ a prsty pracovníka);
- časem, kde je žádoucí, aby se pracovníci zdržovali v blízkosti ZIZ po co nejkratší dobu nutnou k vykonání potřebného úkonu (ne však na úkor kvality vyšetření);
- stíněním, kde by měl pracovník během manipulace se ZIZ používat vhodný typ stínění (nejčastěji se v nukleární medicíně setkáme

se zářením gama, kde nejvhodnějším materiálem pro odstínění tohoto záření je olovo);

- předepsané ochranné pracovní pomůcky (ochranný oděv, roušku, případně ochranné brýle, rukavice apod.), kde se předpokládá, že použití těchto pomůcek eliminuje riziko vzniku vnitřní kontaminace.

Při každé činnosti se ZIZ v nukleární medicíně (ale i při manipulacích se ZIZ v jiných oborech) je tedy velmi žádoucí, aby bylo ozáření osob tak nízké, jak je rozumně dosažitelné za daných podmínek. Tento požadavek je hlavním cílem principu ALARA (As Low As Reasonably Achievable).

4 VZDĚLÁNÍ A ŠKOLENÍ PRACOVNÍKŮ NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

K zajištění radiační ochrany na pracovištích je nezbytné, aby osoby, které využívají nebo nějakým způsobem nakládají se ZIZ měly odpovídající výcvik v technice používané během úkonů s těmito ZIZ i potřebné znalosti v radiační ochraně [14]. Z tohoto důvodu je velmi žádoucí, aby se ZIZ pracovaly pouze osoby s patřičnou kvalifikací. Náležitou způsobilost mohou pracovníci nukleární medicíny získat dle vyhlášky č. 146/1997 Sb. v rámci jejich vysokoškolského vzdělání fyzikálního či technického směru [15].

Po dosažení příslušného vzdělání musí být u radiačních pracovníků zajištěno soustavné vzdělávání a školení. Tato školení se mohou opakovat v určitých časových intervalech (měsíčně, ročně). Pracovníci se rovněž mohou účastnit různých kurzů zabývajících s radiační ochranou nebo kurzů a seminářů s problematikou mimořádných radiačních událostí.

Povinnost vzdělávání radiačních pracovníků spolu s potřebami zajištění kontrolního systému osobami s příslušnou kvalifikací v radiační ochraně je zdůrazněna ve všech mezinárodních dokumentech vydaných ICRP (International Commission on Radiological Protection, Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu) či IAEA (International Atomic Energy Agency, Mezinárodní agentura pro atomovou energii) [14]. V ČR je tato povinnost vzdělávání radiačních pracovníků stanovena:

- zákonem č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) [4];
- vyhláškou č. 307/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů, o radiační ochraně [5];
- vyhláškou č. 146/1997 Sb., o zvláštní odborné způsobilosti [16], ve znění vyhlášky č. 315/2002 Sb. [17]

Odborná příprava a školení pracovníků v nukleární medicíně by měla rovněž zahrnovat i oblast reakce na jakoukoli radiační nehodu nebo havárii, která se týká zdrojů záření používaných v této lékařské aplikaci ZIZ. Neboť je velmi žádoucí, aby každý pracovník, který během své pracovní činnosti manipuluje se ZIZ, řádně věděl, jak se v takovýchto mimořádných situacích správně zachovat. Pracovník by měl být schopen adekvátně minimalizovat potenciální nebezpečí rozvinutí většího rozsahu

radiační nehody, která by mohla mít dopad na větší počet osob či dokonce životní prostředí.

5 ZÁVĚR

Dostupnost aplikací založených na použití ionizujícího záření se v posledních letech stále zvyšuje. Zejména v medicíně je patrný nárůst použití otevřených radioaktivních látek pro diagnostické účely (progresi lze pozorovat především u pozitronové emisní tomografie) i terapeutické aplikace. Kvalifikovaní pracovníci by proto měli být schopni správně aplikovat příslušné požadavky radiační ochrany do každodenní praxe. Rovněž by měl být personál připraven řešit i případné mimořádné situace, které mohou vzniknout během manipulace s radioaktivními zářiči. Z tohoto důvodu je velmi důležité vzdělání a neustálá školení radiačních pracovníků nejen v oblasti radiační ochrany, ale taktéž v oblasti mimořádných situací. Protože jen kvalifikovaný pracovník v této oblasti může eliminovat případné riziko, které by mohlo mít dopad nejen na něj samotného, ale také na okolní osoby či dokonce životní prostředí a správně se v těchto mimořádných situacích zachovat.

Referát byl připraven za částečné podpory poskytnuté v rámci projektu SGS13/161/OHK4/2T/17 a CZ.1.07/2.4.00/31.0224.

REFERENCE

- [1] KLENER, V.: *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: AZIN. 2000. 619 s. ISBN: 80-238-3703-6
- [2] ULLAMANN, V.: *Radiační ochrana*. 2014. [online]. [cit. 2014-3-15]. Dostupný z: <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>
- [3] SÚJB: *Dozor nad radiační ochranou* (2014). [online]. [cit. 2014-3-15]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/uvod/>
- [4] Zákon č. 18/1997 Sb. *o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření* (atomový zákon). [online]. [cit. 2014-3-15]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_2012010_3.pdf
- [5] SÚJB: Vyhláška č. 39/2002 Sb. *o radiační ochraně*. [online]. [cit. 2014-3-15]. Dostupný z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307_po_novele.pdf
- [6] MVČR: *Mimořádná událost* (2014). [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/mimoradna-udalost-851851.aspx>
- [7] MVČR: *Krizová situace* (2014). [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/pojmy-krizova-situace.aspx>
- [8] MVČR: *Krizové řízení* (2014). [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/krizove-rizeni-349189.aspx>
- [9] MVČR: *Krizové plánování* (2014). [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/krizove-planovani.aspx>

- [10] Vláda ČR: *Ústřední krizový štáb* (2014). [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: <http://www.vlada.cz/cz/ppov/brs/pracovni-vybory/ustredni-krizovy-stab/ustredni-krizovy-stab-51792/>
- [11] HUDZIETZOVÁ, J., SABOL, J.: *Potenciální radiologický dopad požáru na oddělení nukleární medicíny spojený s možným únikem radioaktivní látky*. Ochrana obyvatelstva 2014 - Sborník přednášek XIII. ročníku mezinárodní konference. VŠB TUO. 5. – 6. 2. 2014. Ostrava, s. 14-15. ISBN 978-80-7385-142-2
- [12] König, F., Ogris, E., Aiginger, H.: *Radiation risk by inhalation of iodine-131 during the handling of therapeutic capsules in radioiodine therapy* (abstract). Eur. J. Nucl. Med. 27, 2000, No. 7, S99
- [13] SÚJB: *Požadavky SÚJB při provádění terapie onemocnění štítné žlázy radiojódem na pracovištích nukleární medicíny*. Praha. 2000. s. 15. [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/MP_terapie_stitne_zlazy.pdf
- [14] SÚJB: *Zvláštní odborná způsobilost (ZOZ) k vykonávání činností zvláště důležitých z hlediska radiační ochrany* (2014). [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zkousky-zvlastni-odborne-zpusobilosti/zvlastni-odborna-zpusobilost-zoz-k-vykonavani-cinnosti-zvlaste-dulezitych-z-hlediska-radiacni-ochrany/>
- [15] *Program zákon* (2014). [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: [http://www.pravnipredpisy.cz/predpisy/ZAKONY/1997/146997/Sb_146997_-----_.php#VYHLÁŠKA STÁTNÍHO////§ 3/\(1\)/A](http://www.pravnipredpisy.cz/predpisy/ZAKONY/1997/146997/Sb_146997_-----_.php#VYHLÁŠKA STÁTNÍHO////§ 3/(1)/A)
- [16] SÚJB: Vyhláška č. 146/1997 Sb. [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/2_146_1997_Sb.pdf
- [17] SÚJB: Vyhláška č. 315/2002 Sb. [online]. [cit. 2014-3-16]. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/315_02.pdf

Článek recenzovali dva nezávislí recenzenti.