

**Požadavky SÚJB při provádění terapie
onemocnění štítné žlázy radiojódem na
pracovištích nukleární medicíny**

Dne 1.7.1997 vstoupil v platnost zákon č. 18/1997 Sb. „Atomový zákon“, který kromě jiného stanovuje zásady lékařského ozáření; podrobněji se problematice těchto ozáření pak věnuje vyhláška č.184/1997 Sb., o požadavcích na zajištění radiační ochrany, a to zejména v Hlavě III. Základními požadavky jsou zdůvodnění dané aplikace zdroje ionizujícího záření a optimalizace radiační ochrany při lékařském ozáření, ať diagnostickém či terapeutickém.

Předkládané Doporučení SÚJB je věnováno problémům souvisejícím s terapií onemocnění štítné žlázy radiojódem I 131. V Doporučení jsou rozebrány:

- principy této terapeutické aplikace radionuklidu včetně důležité otázky - hodnocení ozáření pacienta,
- otázky radiační ochrany pracovníků - personálu zdravotnického zařízení, kde se terapie provádí; zde za významnou považují komplexnost pohledu,
- hodnocení ozáření jednotlivců z obyvatelstva, kteří s léčeným pacientem mohou přijít do styku; i v této pasáži je třeba ocenit komplexnost zpracování dané problematiky - od pokynů pro pacienta až hodnocení ozáření osob v důsledku výpustí a uvolňování odpadů na životní prostředí.

Doporučení SÚJB bylo zpracováno tak, aby splňovalo následující kritéria:

- bylo plně v souladu se zákonem č. 18/1997 Sb. a vyhláškou SÚJB č. 184/1997 Sb.;
- přihlíželo k praxi ustálené za dlouhá léta na pracovištích nukleární medicíny (samozřejmě jen k té praxi, která není v rozporu s výše uvedenými právními předpisy);
- bylo v souladu se současnými, publikovanými poznatky a praxí provádění léčby onemocnění štítné žlázy radiojódem a současným stavem radiační ochrany uplatňované na zahraničních pracovištích (samozřejmě jen v případech, kdy nedochází k rozporu s výše uvedenými předpisy platnými v ČR);
- bylo podnětem ke sjednocení těch přístupů, jež jsou na pracovištích bohužel zatím nejednotné,

proto očekáváme Vaše připomínky a komentáře, aby na základě nich mohlo být Doporučení přepracováno do formy Bezpečnostního návodu (Safety Guides).

Pokud se jako držitel povolení k nakládání se zdroji (§ 9 odst. 1 písm. i) zákona č. 18/1997 Sb.) ionizujícího záření - používání radionuklidových zářičů v nukleární medicíně, budete řídit tímto Doporučením, inspekce SÚJB bude považovat plnění Vašich zákonných povinností v dané oblasti za vyhovující a splňující požadavky radiační ochrany.

Doporučení SÚJB zpracoval prof. Ing. V. Hušák, CSc. z Kliniky nukleární medicíny FN a LF v Olomouci; do textu byly zahrnuty připomínky z pracovišť nukleární medicíny v ČR s lůžkovou částí, cennými připomínkami přispěli zejména primář doc. MUDr. M. Mysliveček, MUDr. P. Koranda, PhD, MUDr. M. Dočkal a vrchní sestra M. Benešová z Kliniky nukleární medicíny FN a LF UP v Olomouci, primář MUDr. J. Kubinyi a RNDr. V. Ullmann z Kliniky nukleární medicíny FN v Ostravě, Doc. Ing. J. Heřmanská, CSc. a Ing. J. Zimák z Kliniky nukleární medicíny 2. LF UK a FN v Praze-Motole, primář MUDr. J. Kopáček z Oddělení nukleární medicíny v Ústí nad Labem a primář MUDr. Ing. J. Vižďa z Oddělení nukleární medicíny LF UK v Hradci Králové.

Ing.Zdeněk Prouza,CSc.
náměstek předsedy SÚJB pro radiační ochranu

Praha, únor 2000

POŽADAVKY SÚJB PŘI PROVÁDĚNÍ TERAPIE ONEMOCNĚNÍ ŠTÍTNÉ ŽLÁZY RADIOJÓDEM (^{131}I)

OBSAH

	Str.
1. APLIKACE RADIOJÓDU A RADIAČNÍ OCHRANA PACIENTA	
1.1. Fyzikální charakteristiky ^{131}I	3
1.2. Léčená onemocnění a aplikovaná aktivita ^{131}I	3
1.3. Kontrola aktivity ^{131}I před aplikací pacientům	3
1.4. Biokinetika radiojódů v těle	3
1.5. Radiační zátěž pacienta z ^{131}I v jeho těle	4
1.6. Vedlejší účinky léčby radiojódem	4
1.7. Kontraindikace léčby radiojódem	5
1.8. Umisťování pacientů na pokojích lůžkového oddělení	5
1.9. Informace hospitalizovaným nemocným	6
1.10. Pobyt nemocného v blízkosti ostatních nemocných	6
2. RADIAČNÍ OCHRANA PRACOVNÍKŮ	
2.1. Ochrana pracovníků před vnějším zářením při přípravě roztoků a kapslí pro aplikaci nemocným	6
2.2. Ochrana pracovníků před vnějším zářením na lůžkovém oddělení	6
2.3. Kontaminace povrchů	7
2.4. Aktivita ^{131}I ve štítné žláze pracovníků nukleární medicíny	7
2.5. Monitorování vnitřní kontaminace ^{131}I u pracovníků	7
2.6. Ochrana pracovníků před vnitřní kontaminací při přípravě roztoků a kapslí pro aplikaci nemocným	8
2.7. Umístění lůžkového oddělení pro léčbu radiojódem na pracovišti nukleární medicíny	8
3. RADIAČNÍ OCHRANA OBYVATELSTVA	
3.1. Návštěvy nemocných na pracovišti nukleární medicíny	8
3.2. Propouštění pacientů z nemocnice po léčebné aplikaci ^{131}I	9
3.3. Ústní a písemné pokyny pacientovi před propuštěním z nemocnice	9
3.4. Možnost ambulantní léčby hypertyreózy ^{131}I	9
3.5. Radiační zátěž jednotlivce z obyvatelstva při ingesci a inhalaci ^{131}I	10
3.6. Radiační zátěž osob žijících ve společné domácnosti s pacientem propuštěným z nemocnice	10
3.7. Radiační zátěž osob doprovázejících pacienta domů po propuštění z nemocnice	11
3.8. Pokyny pacientům odjíždějícím po léčbě radiojódem do zahraničí	11
3.9. Kontaminace prádla a osobních potřeb pacienta	11
3.10. Pevné odpady znečištěné radiojódem	11
3.11. Kapalné odpady znečištěné radiojódem	12
3.12. Plynné odpady znečištěné radiojódem	12

LITERATURA

1. APLIKACE RADIOJÓDU A RADIAČNÍ OCHRANA PACIENTA

1.1. Fyzikální charakteristiky ^{131}I

Tento radionuklid je smíšeným zářičem beta gama s fyzikálním poločasem přeměny 8,04 dne. Pro léčbu se využívá záření beta s maximální energií 248 keV (2 %), 334 keV (7 %) a 606 keV (90 %), střední energie záření beta je 188 keV. Maximální dosah záření beta v měkké tkáni je 2,4 mm, střední dosah je 0,5 mm. Krátký dosah tohoto záření ve tkáni umožňuje lokalizované ozáření cílových tkání prakticky bez významného účinku na okolní zdravou tkáň.

Záření gama ^{131}I má energii 284 keV (6 %), 364 keV (82 %), 637 keV (7 %) a 720 keV (3 %). Přítomnost poměrně pronikavého záření gama je na jedné straně výhodná, jelikož umožňuje sledovat snadno zevní detekcí biokinetiku ^{131}I v těle, na druhé straně záření gama může přispívat významně k radiační zátěži (efektivní dávce) jiných pacientů (odst. 1.8, 1.9 a 1.10), personálu (odst. 2.1, 2.2) na odděleních nukleární medicíny a jedinců z obyvatelstva (3.1 až 3.12), což vyžaduje věnovat značnou pozornost ochranným opatřením.

1.2. Léčená onemocnění štítné žlázy a aplikovaná aktivita ^{131}I

Na odděleních nukleární medicíny s lůžkovou částí se pomocí radiojódů provádí terapie hypertyreózy a terapie diferencovaného karcinomu štítné žlázy; řidčeji se aplikuje radiojód za účelem zmenšovací terapie velkých nebo retrosternálně uložených strum

Při léčbě hypertyreózy štítné žlázy se nejčastěji aplikuje aktivita v rozmezí od 300 MBq do 800 MBq; maximálně je aplikována aktivita do 2000 MBq.

Při léčbě diferencovaného karcinomu štítné žlázy leží aplikovaná aktivita v rozmezí od 3,4 do 10 GBq.

Radiojód je podáván perorálně ve formě želatinových kapslí nebo izotonického roztoku Na^{131}I . Aktivita radiofarmaka aplikovaného pacientovi se volí tak, aby se dosáhlo plánované dávky v cílovém orgánu nebo tkáni při co nejmenším ozáření okolní zdravé tkáně. Postupuje se v souladu s připravovanými standardy léčby onemocnění štítné žlázy radiojódem.

1.3. Kontrola aktivity ^{131}I před aplikací pacientům

Aktivitu želatinových kapslí a roztoků je třeba před každou terapeutickou aplikací měřit na měřiči aktivity se studnovou ionizační komorou (kalibrátoru). Pracovník pověřený přípravou želatinových kapslí a roztoků stvrzuje svým podpisem správnost údaje o aktivitě na průvodním listě zářiče. Na některých pracovištích se stalo dobrou praxí, že při měření aktivity kapslí a roztoků jsou přítomni dva pracovníci.

Aplikace aktivity ^{131}I převyšující o 20 a více % aktivitu plánovanou pro léčebný účel je klasifikována jako radiologická událost (mimořádná událost I. stupně; viz *Doporučení SÚJB Požadavky na sestavení programu monitorování a vnitřního havarijního plánu pro pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči*).

Kalibrace (přesnost cejchování) přístroje používaného na pracovišti k měření aktivity ^{131}I je pravidelně kontrolována Inspektorátem pro ionizující záření ČMI; tento test a další provozní zkoušky přístroje jsou uvedeny v *Doporučení SÚJB Systém zabezpečení jakosti na pracovištích nukleární medicíny - přístrojová technika*.

1.4. Biokinetika radiojódů v těle

Po příjmu ingescí se radiojód dostává z gastrointestinálního traktu do krve; ve štítné žláze se shromáždí kolem 30 % radiojódů vstupujícího do krve. Nevychytaný radiojód je vylučován močí, v malé míře stolicí, potem a perspirací. Štítnou žlázu opouští jód vázaný na organické molekuly, které jsou v tomto orgánu vytvářeny. Biologický poločas vylučování radiojódů ze štítné žlázy je přibližně 80 dní. Předpokládá se, že jód v organické formě se rovnoměrně distribuuje v orgánech a měkkých tkáních (kromě štítné žlázy) a uniká odtud s biologickým

poločasem 12 dní. Dále se předpokládá, že 10 % tohoto organického jódu se vylučuje stolicí, zbývajících 90 % je pomalu katabolizováno na anorganický jód, který se vrací do tělesných tekutin. Uvedené údaje platí pro model referenčního člověka.

Při hypertyreóze se ve štítné žláze akumuluje 20 až 85 % aplikované aktivity, biologický poločas eliminace radiojódů z tohoto orgánu je v rozmezí od 10 dnů do 65 dnů. Biologický poločas extratyreoidální komponenty podané aktivity je 0,33 dne. Během 48 hodin po aplikaci se z těla vyloučí 40 - 70 % aplikované aktivity. U terapií ke zmenšení velkých nebo retrosternálně uložených strum je kinetika radiojódů přibližně shodná s kinetikou v případě eufunkční štítné žlázy.

Při karcinomu štítné žlázy se akumulace radiojódů ve štítné žláze, popř. ve zbytcích, pohybuje od desetin % do 25 - 30 % v závislosti na radikalitě chirurgického výkonu. Biologický poločas eliminace radiojódů ze štítné žlázy je velmi individuální, biologický poločas extratyreoidální komponenty je 0,33 dne. Během 48 hodin po aplikaci se z těla vyloučí až 95 % podané aktivity (po totální a téměř totální tyreodektomii), v prvních 24 hodinách 40 - 60 % podané aktivity.

1.5. Radiační zátěž pacienta z ^{131}I v jeho těle

Při terapii radiojódem se uvažuje

- absorbovaná dávka ve štítné žláze, příp. v metastázách v těle, jejíž stanovení je důležité pro léčbu, jelikož na ní závisí žádoucí deterministický účinek záření;

- efektivní dávka v těle, do níž se nezahrnuje absorbovaná dávka ve štítné žláze (označuje se též jako efektivní dávka ve zbytku těla); efektivní dávka nemá smysl z hlediska posuzování účinků léčby (tedy deterministických účinků), ale dovoluje posoudit riziko nežádoucích pozdních stochastických účinků (nádorů a genetických změn) spojených s léčbou.

Dále jsou uvedeny jako příklad hodnoty efektivní dávky (nezahrnující absorbovanou dávku ve štítné žláze) pro různou akumulaci radiojódů ve štítné žláze v % u pacienta léčeného pro hypertyreózu (Wellner a Schicha 1993). 0 % 0,092 mSv/MBq, 5 % 0,131 mSv/MBq, 15 % 0,137 mSv/MBq, 25 % 0,142 mSv/MBq, 35 % 0,146 mSv/MBq, 45 % 0,151 mSv/MBq a 55 % 0,157 mSv/MBq. Tyto hodnoty jsou platné pro efektivní poločas radiojódů ve štítné žláze 7,3 dne. Např. při aplikované aktivitě 500 MBq a 35 % akumulaci radiojódů ve štítné žláze je efektivní dávka ve zbytku těla $0,146 \times 0,65 \times 500 = 47,5$ mSv. Je-li např. efektivní poločas jen 4,2 dne, je efektivní dávka ve zbytku těla $47,5 \times 4,2/7,3 = 27,3$ mSv.

Představu o absorbovaných dávkách v jednotlivých orgánech pacienta léčeného pro hypertyreózu lze získat z následujícího příkladu (Zanzonico 1997). Při aplikované aktivitě 370 MBq, 25 % akumulaci radiojódů ve štítné žláze o hmotnosti 20 g a efektivním poločasu 8 dní (rovnajícím se prakticky fyzikálnímu poločasu) je dávka v cílovém orgánu - štítné žláze 140 Gy, v močovém měchýři 200 mGy, v kostní dřeni 35 mGy a v gonádách 25 mGy. Efektivní dávka (s vyloučením dávky v cílovém orgánu - štítné žláze) je 54 mSv.

Příklad pro ilustraci dávek při léčbě karcinomu štítné žlázy. Při aplikované aktivitě 7,4 GBq se v nádoru o hmotnosti 1 g akumuluje 0,1 % podané aktivity; při efektivním poločasu 2 dny je dávka v cílové tkáni - nádoru 56 Gy, v močovém měchýři 3 Gy, v žaludku 3,6 Gy, v kostní dřeni 700 mGy a v gonádách 300 mGy. Efektivní dávka (s vyloučením dávky v cílové tkáni - nádoru) je 960 mSv.

Vysoká absorbovaná dávka v močovém měchýři i efektivní dávka se sníží výrazně tím, že pacientovi se doporučí pít velké množství tekutin v prvních dnech po aplikaci. K prevenci radiační sialoadenitidy se podávají prostředky zvyšující tvorbu slin, např. žvýkačky s Pilocarpinem nebo citron s cukrem.

1.6. Vedlejší účinky léčby radiojódem

Nejčastější komplikace léčby radiojódem (radiační tyroiditis, sialoadenitis, nausea, xerostomie aj.) jsou zpravidla mírné a krátkodobé. Při aplikacích aktivit radiojódů vyšších než 5 GBq a při opakovaných aplikacích tohoto radionuklidu dochází k reverzibilnímu, ve velmi řídkých případech i nereverzibilnímu útlumu kostní dřeni.

Dosud provedené epidemiologické průzkumy v souborech pacientů, kteří byli takto léčeni, neprokazují jednoznačně, že by léčba byla spojena se zvýšením výskytu zhoubných nádorů v průběhu následných let a desítek let (např. na rozdíl od pozdních následků ozařování hlavy a

krku vnějším zářením). V ojedinělých studiích byl oznámen poněkud vyšší výskyt nádorů močového měchýře a žaludku a dále leukémie u pacientů, kteří byli léčeni ^{131}I o aktivitě vyšší než 3,7 GBq.

Následkem léčby hypertyreózy radiojódem může být hypotyreóza vyskytující se již během 2 až 6 měsíců po léčbě u 6 - 70 % pacientů (podle jiného pramene je výskyt hypotyreózy u 7 - 25 % pacientů v prvním roce po léčbě v závislosti na výši podané aktivity radiojodu).

1.7. Kontraindikace léčby radiojódem

Absolutními kontraindikacemi této léčby jsou gravidita a kojení. Před podáním radiojodu k léčbě ženy v reprodukčním věku musí být s jistotou ověřeno, že není těhotná. Pokud by byla nutnost podat radiojód kojící ženě, musí být kojení ihned přerušeno.

V časném období gravidity je dávka v plodu přibližně 0,07 mGy/MBq, ve třetím měsíci rovněž 0,07 mGy/MBq, v šestém měsíci 0,23 mGy/MBq a v posledním měsíci gravidity 0,27 mGy/MBq. Štítná žláza plodu začíná fungovat až od 8. - 10. týdne gravidity, jód začíná tento orgán plodu významně koncentrovat až od 10. - 13. týdne od koncepce. Ve třetím měsíci gravidity dosahuje dávka ve štítné žláze plodu 260 mGy/MBq, v šestém měsíci až 1200 mGy/MBq. Při aktivitě např. 3,7 GBq aplikované v šestém měsíci gravidity by dávka ve štítné žláze plodu byla 4440 Gy ! Pravděpodobnost výskytu zhoubného nádoru štítné žlázy, kretenismu a mentální retardace je u narozeného dítěte vysoká.

Dojde-li k aplikaci léčebné aktivity radiojodu těhotné ženě po 8. týdnu po koncepci, je třeba vážně uvažovat o přerušení gravidity. Je-li radiojód aplikován v době do 8. týdne po koncepci, je přerušení gravidity doporučováno až při dávce v plodu převyšující 100 mGy. Riziko vyplývající z aplikace radiojodu těhotné ženě v kterémkoliv období gravidity patří do posouzení klinického genetika.

Léčba radiojódem je kontraindikována u psychicky nemocných pacientů, u nichž nejsou předpoklady, že budou dodržovat pokyny ošetřujícího personálu.

Ženě v reprodukčním věku léčené radiojódem se doporučuje, aby neotěhotněla v době jednoho roku po léčbě (v literatuře se uvádí i kratší doba 4 - 6 měsíců; tuto kratší dobu lze uplatnit při léčbě hypertyreózy).

Na některých pracovištích v ČR se doporučuje ženám, aby po léčbě radiojódem neotěhotněly po dobu 3 let; to je zbytečně dlouhý časový interval, který se již v současných zahraničních doporučeních vůbec nevyskytuje.

U muže je velmi nežádoucí počít dítě v době 4 měsíců uplynulých od jeho léčby radiojódem.

Léčba hypertyreózy u dětí radiojódem se provádí jen v případě, že jiné terapeutické postupy byly neúspěšné.

Je třeba, aby uvedené kontraindikace a s nimi související organizační zabezpečení na pracovišti byly v souladu s připravovanými standardy léčby onemocnění štítné žlázy radiojódem.

1.8. Umíst'ování pacientů na pokojích lůžkového oddělení.

Dodržuje se zásada, že pacient léčený pro karcinom štítné žlázy s vysokou naaplikovanou aktivitou radiojodu (několik GBq) se umísťuje na samostatný pokoj, pokud je tento k dispozici, nebo se umísťuje na pokoj s pacientem, kterému byla aplikována řádově stejná aktivita radiojodu. Doporučuje se pacienta léčeného pro hypertyreózu neumísťovat na pokoj s pacientem léčeným pro karcinom štítné žlázy; pokud jeden z pacientů má v těle aktivitu na úrovni k propuštění, je nevhodné umístit na pokoj k němu pacienta s právě naaplikovanou vysokou terapeutickou aktivitou.

Při přibližném stanovení příspěvku k efektivní dávce ve zbytku těla pacienta od druhého pacienta, kterému byl rovněž aplikován radiojód a který je umístěn na stejném pokoji, lze postupovat podle následujícího příkladu. Do pokoje pacienta A, který při léčbě radiojódem obdrží efektivní dávku ve zbytku těla 20 mSv (aplikovaná aktivita 370 MBq, akumulace 35 %, efektivní poločas 4,2 dne) byl umístěn pacient B, jemuž byla aplikována aktivita 7,4 GBq ^{131}I (efektivní poločas 3 dny); budeme předpokládat, že se jedná o ležící pacienty, jež jsou od sebe stále ve vzdálenosti 2 m. Dávkový příkon ve vzdálenosti 2 m od pacienta je 111 $\mu\text{Sv/h}$; dávka ve vzdálenosti 2 m od pacienta B se stanoví násobením dávkového příkonu rezidenční dobou radiofarmaka (součin efektivního poločasu a faktoru 1,44 v případě, že se uvažuje doba do úplného vymizení radiofarmaka z těla), tedy 111 x 3 x

$24 \times 1,44 = 11508 \mu\text{Sv}$, tj. $\sim 11,5 \text{ mSv}$. Celková dávka ve zbytku těla pacienta A bude tedy přibližně $20 + 11,5 \approx 32 \text{ mSv}$. Ve skutečnosti bude příspěvek pacienta B k dávce pacienta A menší, jelikož nemocní mohou být po určitou dobu ve vzdálenosti větší než 2 m (nejsou-li ležící) a doba jejich pobytu v nemocnici bude zpravidla kratší než rezidenční doba radiojódů v pacientovi B $3 \times 24 \times 1,44 \approx 104 \text{ h}$.

1.9. Informace hospitalizovaným nemocným.

Pacienta je nutné informovat o způsobu aplikace radiojódů a eventuálních komplikacích; dále je nutné ho upozornit, že musí dodržovat tyto zásady: používat výhradně jen ústavní oblečení, ručníky, kapesníky výhradně na jedno použití, denně se musí sprchovat, muži i ženy musí močit vsedě, po použití WC si musí řádně umýt ruce, při případném ukápnutí moče, žaludeční nevolnosti, zvracení, krvácení aj. musí upozornit ošetřující personál. Zákaz používání vlastního prádla pacienty je zmíněn v §34, odst. 11 vyhlášky SÚJB č. 184/1997 Sb.

Na některých pracovištích posílají - ještě před přijetím k hospitalizaci - pacientům písemné pokyny, co si mají zařídit před přijetím, co vzít do nemocnice, jaký je postup při nástupu na oddělení, jaký je denní režim oddělení atd.

Výše uvedené a další zásady by měly být uvedeny ve standardech ošetrovatelské péče zpracovaných podle podmínek pracovišť provádějících terapii onemocnění štítné žlázy radiojódem.

1.10. Pobyt nemocného v blízkosti ostatních nemocných

Je vhodné, aby v prvních dvou dnech po aplikaci vysoké aktivity ^{131}I pro léčbu karcinomu štítné žlázy byl nemocný izolován od ostatních nemocných (nejlépe sám na pokoji pokud je to možné). Poté se může pohybovat mezi ostatními nemocnými léčenými radiojódem.

2. RADIAČNÍ OCHRANA PRACOVNÍKŮ

2.1. Ochrana pracovníků před vnějším zářením při přípravě roztoků a kapslí pro aplikaci nemocným

Dávkový příkon záření gama na povrchu běžné skleněné nádoby o obsahu 50 ml z poloviny zaplněné roztokem ^{131}I o aktivitě 1 MBq je $0,22 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$; např. je-li v nádobce $3,7 \text{ GBq}$, je dávkový příkon na jejím povrchu $0,22 \times 3700 = 814 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Dávkový příkon záření gama ve vzdálenosti 10 cm od kapsle ^{131}I o aktivitě $3,7 \text{ GBq}$ je $\sim 20 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$; umístí-li se kapsle do oloveného kontejneru o tloušťce stěny 19 mm , sníží se dávkový příkon na $2,4 \%$ původní hodnoty, tj. $\sim 480 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Dávkový příkon na povrchu injekční stříkačky o objemu 5 ml z poloviny naplněné roztokem ^{131}I o aktivitě 1 MBq je $1,1 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Při volbě tloušťky stínících vrstev, kontejnerů apod. je třeba vzít v úvahu, že dávkový příkon záření gama z ^{131}I se zeslabí na polovinu původní hodnoty vrstvou olova o tloušťce $2,6 \text{ mm}$ a na desetinu původní hodnoty vrstvou olova o tloušťce 11 mm (u oceli je polovrstva 23 mm a tloušťka vrstvy zeslabující na desetinu 56 mm). K úplné absorpci záření beta emitovaného ^{131}I postačuje sklo o tloušťce $0,9 \text{ mm}$ a plastická folie o tloušťce $1,6 \text{ mm}$.

Při skladování a přenášení roztoků a kapslí ^{131}I musí být dbáno na to, aby dávkové příkony záření gama na pracovišti nukleární medicíny nepřekračovaly hodnoty uvedené v § 40 vyhlášky SÚJB č. 184/1997 Sb.

2.2. Ochrana pracovníků před vnějším zářením na lůžkovém oddělení

Zdravotnický personál ošetřující nemocné léčené radiojódem musí dbát na to, aby v jejich blízkosti pobýval co nejkratší, nezbytně nutnou dobu (ochrana časem a vzdáleností). Ještě před aplikací je nutné vysvětlit nemocnému, že se z důvodu ochrany personálu chování k němu poněkud změní. Úklid místností pro nemocné je třeba provádět pokud možno za

nepřítomnosti pacienta (např. lze využít dobu, kdy se pacient odchází ráno sprchovat). Vzhledem k tomu, že ložní prádlo je poměrně značně kontaminováno (je tomu tak z důvodu, že se radiojód vylučuje částečně i potem), je nutné je převlékat v gumových rukavicích. Dávkový příkon ve vzdálenosti 1 m od těla pacienta měřený v krátké době po aplikaci radiojódu vztažený na 1 GBq v těle se v odborné literatuře udává v rozmezí od 45 do 60 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$; doporučuje se používat hodnotu 50 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

2.3. Kontaminace povrchů

V případě ^{131}I nesmí kontaminace povrchů v kontrolovaném pásmu překročit 30 $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ a kontaminace povrchů mimo kontrolované pásmo 3 $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$; povrch těla nesmí být kontaminován více než 3 $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ (tab. 1 a 2 přílohy 2 vyhlášky č. 184/1997 Sb.).

Mimořádnou pozornost je třeba věnovat přítomnosti radiofarmaka na ruku, k níž může dojít při neopatrném svlékání gumových rukavic, v případě jejich špatné kvality aj.

Při kontaminaci hřbetu ruky ^{131}I (kapka 0,05 ml o aktivitě 1 $\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$) hodnota dávkového příkonu v bazální vrstvě kůže je 0,57 $\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$, při rovnoměrné kontaminaci hřbetu ruky o plošné aktivitě 1 $\text{kBq}\cdot\text{cm}^{-2}$ je dávkový příkon v kůži 1,6 $\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ (Delacroix a spol. 1998); předpokládá se, že bazální vrstva kůže je v hloubce 0,07 mm. Např. při kontaminaci hřbetu ruky kapkou o objemu 0,05 ml a aktivitě 5 kBq a neprovedení dekontaminace (ruka se neumyje) je dávka v bazální vrstvě kůže 0,57 x 5 x 1,441 x 8,04 x 24 = 792 mSv.

Podstatného snížení kontaminace rukou lze dosáhnout jejich okamžitým důkladným umytím; nejde-li snížit opakovaným mytím přítomnost radiojódu na ruku tak, aby dávka klesla pod 150 mSv, je nutné tuto událost hlásit SÚJB (§ 57 vyhlášky SÚJB č. 184/1997 Sb.).

V případě, že je kontaminována dlaň ruky, jsou dávky v bazální vrstvě kůže podstatně nižší než výše uvedené hodnoty - bazální vrstva kůže je v dlani ruky přibližně v hloubce 0,4 mm pod povrchem kůže.

Měření kontaminace povrchů je jednou z položek uváděných v *Programu monitorování*.

2.4. Aktivita ^{131}I ve štítné žláze pracovníků oddělení nukleární medicíny

Bylo zjištěno, že na lůžkových odděleních pracovišť nukleární medicíny v zahraničí se ve štítné žláze pracovníků nukleární medicíny nachází $2\cdot 10^{-8}$ (na pracovišti s nevyhovující klimatizací) až $6\cdot 10^{-10}$ aktivity radiojódu (na optimálně vybaveném pracovišti s velmi dobrou klimatizací) aplikované pacientům na pracovišti v průběhu jednoho roku.

Např. aplikuje-li se na dobře vybaveném pracovišti aktivita 500 GBq za rok (předpokládaný koeficient přenosu $1\cdot 10^{-10}$), je ve štítné žláze $5\cdot 10^{11} \times 1\cdot 10^{-10} \approx 50 \text{ Bq}$. Za předpokladu, že tato aktivita je ve štítné žláze po dobu celého roku ($3,154\cdot 10^7 \text{ s}$) a dávka v tomto orgánu vztažená na jednotkovou kumulovanou aktivitu (tj. jednu přeměnu radionuklidu) je $1,65\cdot 10^9 \text{ mGy}\cdot\text{Bq}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, je roční dávka ve štítné žláze $1,65\cdot 10^9 \times 50 \times 3,154\cdot 10^7 \approx 2,6 \text{ mGy}$. Odpovídající efektivní dávka je přibližně 0,08 mSv.

Vybavení lůžkové části pracoviště ventilačními zařízeními je jednou z podmínek povolení jeho provozu.

2.5. Monitorování vnitřní kontaminace ^{131}I u pracovníků

Měření tohoto radionuklidu ve štítné žláze je třeba provádět u pracovníků na lůžkovém oddělení a u těch pracovníků v laboratoři, kteří připravují želatinové kapsle a roztoky ^{131}I pro aplikace pacientům.

Pro tento účel lze použít scintilační jednotku s krystalem NaI(Tl) o tloušťce 50 mm opatřenou vhodným kolimátorem, která musí být ocejchována pomocí roztoku ^{131}I o známé aktivitě; pro zajištění dostatečné citlivosti je třeba, aby vzdálenost krku přiloženého při měření ke kolimátoru a scintilačního krystalu byla co nejmenší. Pro orientační stanovení přítomnosti radiojódu ve štítné žláze je např. vhodná jedna ze dvou detekčních jednotek renografické aparatury bez kolimátoru. Výhodou této geometrie je vysoká citlivost, nevýhodou malá přesnost v důsledku rozdílné hloubky uložení štítné žlázy pod povrchem těla u jednotlivých osob; v případě pozitivního nálezu ^{131}I ve štítné žláze je třeba upřesňujícího měření se scintilační jednotkou opatřenou kolimátorem při větší vzdálenosti povrchu krku od krystalu.

Monitorování radiojódů ve štítné žláze může být operativní nebo pravidelné. Při operativním monitorování se pracovníci, kteří během určitého týdne připravovali roztoky nebo kapsle pro aplikaci nebo přicházeli do styku s léčenými pacienty, proměřují na konci tohoto týdne nebo na začátku následujícího týdne. Při pravidelném monitorování se doporučuje interval 14 dní (monitorovací interval nesmí být delší než jeden měsíc). Rutinní měření ^{131}I v moči pracovníků, kteří jsou monitorováni in vivo, není nutné.

Pomocí etalonového roztoku ^{131}I je třeba zjistit kalibrační faktor pro používanou aparaturu a geometrii měření definovaný jako četnost impulzů připadající na jednotkovou aktivitu radionuklidu umístěného ve vhodném fantomu imitujícím přibližně oblast krku se štítnou žlázou. Hodnota kalibračního faktoru se kontroluje alespoň jednou za rok. Minimální detekovatelná aktivita ^{131}I ve štítné žláze se stanoví ze vztahu $A_{\min} = 2/K \cdot (N_p/T_p)^{1/2}$, kde K je kalibrační faktor ($\text{min}^{-1}\text{kBq}^{-1}$) a N_p je počet impulzů pozadí měřený za dobu T_p (min^{-1}).

V *Programu monitorování* pracoviště nukleární medicíny musí být kromě jiného uvedeny záznamové, vyšetřovací a zásahové úrovně obsahu ^{131}I ve štítné žláze a opatření při překročení vyšetřovací a zásahové úrovně. Jako záznamovou úroveň je vhodné volit minimálně detekovatelnou aktivitu ^{131}I zjištěnou pro použitý přístroj a geometrii měření. Zásahová úroveň se volí rovna 1/10 ročního limitu příjmu, tj. 30 kBq ve štítné žláze v případě ^{131}I při jednorázové vnitřní kontaminaci. Překročení této zásahové úrovně se považuje za mimořádnou událost I. stupně, kterou je nutné ohlásit do 24 h na SÚJB.

O monitorování vnitřní kontaminace ^{131}I na pracovištích nukleární medicíny v ČR je pojednáno blíže ve zprávě I. Čěšpírové a spol. (1999); upozorňuje se zde na značnou nejednotnost v provádění tohoto postupu na jednotlivých pracovištích v ČR - je žádoucí náprava tohoto stavu.

2.6. Ochrana pracovníků před vnitřní kontaminací při přípravě roztoků a kapslí pro aplikaci nemocným

V důsledku těkavosti ^{131}I je nutné přípravu roztoků před aplikací pacientům provádět v digestoři.

V odborné literatuře se upozorňuje, že ^{131}I může unikat do vzduchu i z želatinových kapslí ^{131}I (Hung 1997, König a spol. 2000). Tedy i v případě, že ^{131}I se na pracovišti aplikuje jen ve formě želatinových kapslí, existuje riziko vnitřní kontaminace pracovníků a nutnost monitorovat obsah ^{131}I v jejich štítné žláze.

2.7. Umístění lůžkového oddělení pro léčbu radiojodem na pracovišti nukleární medicíny

Je vhodné, aby lůžkové oddělení bylo co nejdále od vyšetřoven se scintilačními kamerami a dalšími detekčními přístroji a aby bylo řádně odstíněno. Zejména je nutné pamatovat na dostatečné odstínění podlah a stropů (vrstvami barytového betonu) pokud se vyšetřovny nacházejí přímo nad nebo pod lůžkovým oddělením. Při nevyhovujícím stínění záření gama proniká stěnami, podlahami a stropy a zvyšuje četnost pozadí detekčních přístrojů používaných pro vyšetření in vitro a in vivo a rovněž zvyšuje zátěž pracovníků.

Při budování nových lůžkových oddělení pro léčbu ^{131}I se doporučují přednostně jednolůžkové pokoje s dostatečným odstíněním přepážkami mezi pokoji z barytového betonu.

3. RADIAČNÍ OCHRANA OBYVATELSTVA

3.1. Návštěvy nemocných na pracovišti nukleární medicíny

Na lůžkové části pracoviště nukleární medicíny, jež náleží do kontrolovaného pásma, návštěvy nejsou povoleny (o výjimkách v mimořádných případech rozhoduje vedoucí pracoviště a dohlížející pracovník); je k tomu určena návštěvní místnost (čekárna). Je možné povolit návštěvy nemocných, kterým bylo již dovoleno stýkat se s ostatními nemocnými.

Přítom je třeba dbát na to, aby v návštěvní místnosti nebyl současně větší počet „aktivních“ nemocných. Návštěvy jsou přísně zakázány nezletilým osobám a těhotným ženám.

Omezená doba návštěv a relativně krátkodobý pobyt nemocného v léčebném zařízení mají za následek, že efektivní dávka dospělých osob navštěvujících nemocné je hluboko pod limitem 5 mSv podle § 12 vyhlášky č. 184/1997 Sb.

3.2. Propouštění pacientů z nemocnice po léčebné aplikaci ^{131}I

Pacient může být propuštěn z nemocnice až v době, kdy aktivita ^{131}I v jeho těle klesne pod hodnotu 250 MBq. Toto je třeba považovat za rutinní praxi; v případě, že jsou splněny podmínky pro ambulantní léčbu uvedené v odst. 3.4., je možné propustit pacienta i při aktivitě vyšší než 250 MBq.

Aktivita 250 MBq v těle způsobuje ve vzdálenosti 1 m od pacienta dávkový příkon přibližně $12 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$; pacienta lze tedy propustit, poklesne-li dávkový příkon měřený spolehlivým přístrojem ve vzdálenosti 1 m od jeho těla na uvedenou hodnotu.

Přístroj používaný k měření dávkového příkonu a způsob měření jsou uváděny v *Programu monitorování*.

3.3. Ústní a písemné pokyny pacientovi před propuštěním z nemocnice

Pacient, v jehož těle je aktivita 100 - 250 MBq ^{131}I , musí před odchodem domů obdržet pokyny - ústně i písemně - jejichž účelem je co nejvíce snížit ozáření osob v rodině i na veřejnosti.

Po dobu nejméně 10 dnů od příchodu z nemocnice je třeba dodržovat následující pokyny:

- nepohybovat se, neseďet a nespát v blízkosti jiných osob doma i v práci (dodržovat odstup alespoň 1 m, od těhotné ženy odstup nejméně 2 m); důsledně se vyhýbat velmi blízkému kontaktu s malými dětmi; u dětí do dvou let pokud možno přenechat starost o ně partnerovi (partnerce) nebo příbuzným a známým;
- předem upozorňovat návštěvy, že není vhodné, aby brali s sebou děti nebo těhotnou ženu;
- omezit cesty veřejnými dopravními prostředky na nejnútnější minimum;
- nenavštěvovat místa, kde je shromážděno více lidí (kina, divadla, restaurace aj.);
- úzkostlivě dodržovat osobní hygienu při použití WC, úzkostlivě dodržovat čistotu WC; pečlivě mýt ruce mýdlem, sprchovat se denně, používat jen svůj ručník;
- používat jen svoje ložní prádlo a oděvy (je však možné je prát s ostatním prádlem);
- používat jen svůj jídelní příbor a nádobí (je však možné je mýt společně s jiným nádobím).

Pacient je požádán, aby si pokyny přečetl a lékař nebo sestra se zeptá, zdali pokynům rozumí a zda je schopen je dodržovat. Nemá-li lékař pochybnosti, pacient podepíše převzetí pokynů a může být propuštěn. Usoudí-li lékař, že pacient není schopen pokyny dodržovat nebo že jeho podmínky doma to neumožňují, musí být hospitalizace prodloužena. Hospitalizaci je nutné prodloužit u inkontinentních pacientů.

Obdobné písemné pokyny musí obdržet i pacient, kterému byla aplikována ambulantně aktivita ^{131}I vyšší než 100 MBq. U pacientů, kterým byla aplikována aktivita ^{131}I v rozmezí 30 - 150 MBq, postačuje jen ústní poučení.

Výše jsou uvedeny položky, které by měly být v písemných pokynech předávaných pacientům; je vhodné, aby na každém pracovišti byly vypracovány pokyny v tomto smyslu s přihlédnutím k místním podmínkám.

3.4. Možnost ambulantní léčby hypertyreózy ^{131}I .

Ve výjimečných případech je možné na odděleních nukleární medicíny podat pacientovi za účelem léčby hypertyreózy ^{131}I ambulantně; musí však být splněny všechny následující podmínky:

- aplikovaná aktivita ^{131}I nepřevyšší 550 MBq;

- v domácnosti, do níž se pacient vrací, nejsou děti do 15 let;
- pacient nesmí být inkontinentní;
- pacient obdrží písemné pokyny zahrnující stejné položky jako v odst. 3.3. s tou výjimkou, že doba, po kterou je nutné pokyny dodržovat, je prodloužena z 10 dní na 16 dní.

Usoudí-li lékař, že pacient nemá doma požadované podmínky a že není schopen dodržovat písemné pokyny, ambulantní aplikaci ^{131}I nelze provést a pacienta je nutné hospitalizovat resp. odeslat na pracoviště nukleární medicíny s lůžkovým oddělením.

Lékaři na odděleních nukleární medicíny bez lůžkového oddělení se musejí s problematikou terapie radiojódem blíže seznámit a postupovat v souladu s připravovaným standardem léčby hypertyreózy pomocí radiojódu.

3.5. Radiační zátěž jednotlivce z obyvatelstva při ingestaci a inhalaci ^{131}I jodidu

Konverzní faktor (efektivní dávka vztažená na jeden Bq) pro příjem požitím h_{ing} je u dospělého obyvatele $2,2 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$, tj. 22 mSv/MBq (tab. 5 přílohy č. 3 vyhlášky č. 184/1997 Sb.). To je v dobré shodě s ICRP 53 (Addendum 1), kde je uvedena efektivní dávka z ^{131}I jodidu 24 mSv/MBq při 35 % akumulaci radiojódu ve štítné žláze (do efektivní dávky je zahrnuta absorbovaná dávka ve štítné žláze). Konverzní faktor pro příjem požitím h_{ing} u dítěte ve věku 1 - 2 let je $1,0 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$, tj. $100 \mu\text{Sv/MBq}$, tedy 4,5 krát vyšší hodnota než u dospělého člověka.

Konverzní faktor pro příjem vdechnutím dospělým jednotlivcem z obyvatelstva je $2 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ (tab. 7 přílohy č. 3 vyhlášky č. 184/1997 Sb.).

3.6. Radiační zátěž osob žijících ve společné domácnosti s pacientem propuštěným z nemocnice

Rozbor publikovaných prací - zahrnuje jen ty práce, jež přinášejí jen změřené (nikoliv odhadnuté) dávky příslušníků domácnosti - ukazuje, že průměrná efektivní dávka u dospělých členů domácnosti žijících s pacientem léčeným pro hypertyreózu, který při příchodu domů má v těle $250 \text{ MBq } ^{131}\text{I}$, je na úrovni 1 mSv , tj. jedné pětiny limitu 5 mSv stanoveného vyhláškou č. 184/1997 Sb. pro dospělé osoby žijící s pacientem ve společné domácnosti. I v případě značného rozptylu dávek nebude limit 5 mSv překračován. Uvedená hodnota efektivní dávky 1 mSv je způsobena z $\sim 98 \%$ externím zářením a ze $\sim 2 \%$ vnitřní kontaminací.

U dětí je efektivní dávka v průměru na úrovni přibližně jedné třetiny limitu 1 mSv stanoveného citovanou vyhláškou. Je velmi pravděpodobné, že v důsledku značného rozptylu dávek u dětí bude asi u čtvrtiny z nich limit mírně překračován. V ústním a písemném poučení pacientovi, který se vrací z nemocnice do rodiny, v níž jsou malé děti (zejména děti do tří let), musí být kladen zvláštní důraz na dodržování zásad majících za cíl minimalizovat jejich radiační zátěž.

Efektivní dávka příbuzných žijících s pacientem léčeným pro karcinom štítné žlázy propuštěným z nemocnice s $250 \text{ MBq } ^{131}\text{I}$ v těle je na úrovni přibližně $0,2 \text{ mSv}$, tedy podstatně níže než v případě pacientů léčených pro hypertyreózu štítné žlázy.

Limit pro ozáření osob žijících ve společné domácnosti s pacientem po léčebné aplikaci, tj. 5 mSv u dospělých osob a 1 mSv u osob mladších 18 let, byl stanoven za předpokladu jedné léčebné aplikace u jednoho pacienta během jednoho roku. Pokud by u jednoho pacienta proběhlo během roku více léčebných aplikací radionuklidů, je třeba zohlednit tuto skutečnost při odhadu ozáření osob žijících ve společné domácnosti s pacientem a případně od dalších aplikací upustit nebo prodloužit hospitalizaci.

3.7. Radiační zátěž osob doprovázejících pacienta po jeho propuštění z nemocnice

Lze předpokládat, že efektivní dávka těchto osob v případě, že v těle pacienta je 250 MBq, je kolem 0,03 mSv (maximálně 0,3 mSv) za první hodinu cesty; dávka je tedy hluboko pod ročním limitem pro obyvatelstvo 1 mSv.

3.8. Pokyny pacientům odjíždějícím po léčbě radiojódem do zahraničí

V případě, že lékař dotazem zjistí, že pacient má v úmyslu vycestovat v krátké době po léčbě do zahraničí, je vhodné mu dát potvrzení pro případnou kontrolu na hraničních přechodech. V tomto potvrzení se uvede, jakou radioaktivní látku pacient obdržel a o jaké aktivitě, doba propuštění z nemocnice a stručná zmínka, že v jeho těle je zbytková radioaktivita po léčbě.

3.9. Kontaminace prádla a osobních potřeb pacienta

Je žádoucí, aby ložní a osobní prádlo použité pacienty bylo předepíráno na pracovišti nukleární medicíny v automatické pračce (za použití dekontaminačních prostředků) s odpadem pokud možno napojeným na vymírací jímky v čistící stanici. Po přeprání je možné ho odeslat do prádelny nemocnice jen v případě, že dávkový příkon záření gama změřený ve vzdálenosti 1 cm od povrchu prádla je menší než $5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

Pokud není možné prádlo použité pacienty předepírat na pracovišti nukleární medicíny, je nutné je skladovat v igelitových pytlích v odvětrávané vymírací místnosti pracoviště a předávat do prádelny nemocnice až tehdy, poklesne-li dávkový příkon záření gama ve vzdálenosti 1 cm od povrchu pod $5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Jelikož doba k tomuto nutná může být dosti dlouhá (1 až 3 měsíce), z hlediska obecně hygienického a ekonomického se jedná o variantu velmi nevýhodnou a nedoporučovanou.

Povrchová kontaminace osobních předmětů pacientů nesmí převyšovat při jejich propuštění z pracoviště nukleární medicíny $3 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ (tab. 1 přílohy 2 vyhlášky SÚJB č. 184/1997 Sb. V opačném případě je nutné předměty dekontaminovat resp. je uložit do vymírací místnosti na pracovišti a předat pacientům až po poklesu na přípustnou úroveň kontaminace.

Poznámka. Osobní a ložní prádlo pacientů je i po přeprání na pracovišti nukleární medicíny kontaminováno na úrovni desítek až stovek $\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$. V důsledku vylučování radiojódu potom se na spodní prádlo a lůžkoviny dostane od $1,3\cdot 10^{-4}$ do $2\cdot 10^{-3}$ podané aktivity (Nishizawa a spol.). Prádlo by bylo nutné skladovat na pracovišti nukleární medicíny nejméně po dobu 2 měsíců než by jeho povrchová kontaminace klesla na směrnou hodnotu $3 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$, jež je vyžadována vyhláškou č. 184/1997 Sb. (tab.1 přílohy 2) pro povrchy materiálů a předmětů vynášených z pracovišť se zdroji ionizujícího záření. Z tohoto důvodu se navrhuje méně přísný odvozený limit - prádlo vyprané na pracovišti nukleární medicíny může být přemístěno do nemocniční prádelny za podmínky, že dávkový příkon ve vzdálenosti 1 cm od povrchu prádla je menší než $5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$; to je méně než příkon $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ve vzdálenosti 1 m - požadavek uplatňovaný při odstraňování odpadních látek znečištěných radionuklidy z pracoviště nukleární medicíny. Uvedený odvozený limit je podpořen skutečností, že po přeprání prádla zbývající ^{131}I lpí na vláknech tkaniny a z povrchu ho nelze prakticky seřít.

Nakládání s prádlem kontaminovaným ^{131}I a jeho monitorování se uvádí v *Programu monitorování*.

3.10. Pevné odpady znečištěné radiojódem

Jehly, stříkačky, tampony aj., jež jsou infekčním odpadem, musí být ukládány spolu s ostatními infekčními odpady (papírové krabice v igelitových pytlích) na pracovišti nukleární medicíny ve „vymírací místnosti“. Stejně musí být ukládán i neinfekční odpad - ampule se zbytky ^{131}I . Odpad může být odstraňován bez povolení SÚJB jako neaktivní, je-li splněna podmínka, že jeho hmotnostní aktivita nepřevyšuje $3 \text{ kBq}/\text{kg}$ podle tab. 1 přílohy 2 vyhlášky č. 184/1997 Sb. (radionuklid ^{131}I je zařazen do třídy 2 v tab. 2 přílohy 2 vyhlášky č. 184/1997 Sb.). Dále je třeba zkontrolovat, zda dávkový příkon v 1 m od pytle (nádoby) s odpadem odstraňovaného z pracoviště nepřevyšuje $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (ust. § 5 odst. 1 písm. a) citované vyhlášky) a zda povrch odstraňovaných pytlů není kontaminován více než $3 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$ (tab. 1 přílohy 2 citované vyhlášky).

Zacházení s pevnými odpady znečištěnými radiojódem a jejich monitorování se uvádí v *Programu monitorování*.

3.11. Kapalně odpady znečištěné radiojódem

Objemová aktivita odpadní vody znečištěné ^{131}I , jež smí být vypouštěna do veřejné kanalizace bez povolení SÚJB, je maximálně 450 Bq/l .

Hodnota 450 Bq/l se dostane z podmínky v § 5, odst. 1, písm. a) vyhlášky SÚJB 184/1997 Sb: součet součinů objemových aktivit jednotlivých vypouštěných radionuklidů a_{vi} a konverzních faktorů pro příjem těchto radionuklidů požíváním dospělým jednotlivcem z obyvatelstva není větší než $10^{-2} \text{ Sv.m}^{-2}$; v případě ^{131}I je tato podmínka $2,2 \cdot 10^{-8} \text{ Sv.Bq}^{-1} \times a_v \text{ Bq.m}^{-3} < 0,01 \text{ Sv.m}^{-3}$, odtud $a_v = 450 \text{ Bq/l}$.

Odpadní vody z pracoviště nukleární medicíny s lůžkovým oddělením, na němž se provádí léčba radiojódem ^{131}I , musí být odváděny do záchytných (vymíracích) nádrží, v nichž se odpadní voda zadržuje po dobu nutnou k tomu, aby objemová aktivita vody znečištěné ^{131}I nepřevýšila výše uvedenou hodnotu. Pokles objemové aktivity radiojódu na povolenou hodnotu se tedy dosahuje především využitím fyzikální přeměny radiojódu s poločasem 8 dní. Objemová aktivita odpadní vody vypouštěné do veřejné kanalizace ze zdravotnického zařízení se kontroluje pravidelně odebráním vzorku a jeho proměřením ve velkoobjemovém scintilačním krystalu NaI(Tl) se studnou o objemu 250 ml . Zvláště je třeba věnovat pozornost kontrole odpadní vody odcházející do veřejné kanalizace v případě, že je vypouštěn obsah vymírací nádrže. Měřicí aparatura musí být oceňována etalonovým roztokem ^{131}I (Inspektorát pro ionizující záření ČMI v Praze) o známé měrné aktivitě (Bq.cm^{-3}), přičemž musí být dbáno na to, aby objem etalonového roztoku byl stejný jako objem měřených vzorků odpadní vody. Tato aparatura podléhá provozním zkouškám uvedeným v *Doporučení SÚJB Systém zabezpečení jakosti na pracovištích nukleární medicíny - přístrojová technika*.

Maximálně přípustná hodnota 450 Bq/l platí ovšem jen za předpokladu, že z pracoviště je vypouštěn pouze ^{131}I . Ukazuje se však, že součiny $h_{ingi}a_{vi}$ pro další vypouštěné radionuklidy i jsou velmi malé a uvedenou hodnotu 450 Bq/l ovlivní jen nepatrně.

Zacházení s kapalnými radioaktivními odpady a způsob monitorování je součástí *Programu monitorování*.

Dále jsou posouzeny případy kontaminace odpadních vod radiojódem vyloučeným pacienty přicházejícími domů s aktivitou $250 \text{ MBq } ^{131}\text{I}$ v těle.

V prvním případě je uvažován pacient, kterému bylo aplikováno $7400 \text{ MBq } ^{131}\text{I}$ za účelem léčby karcinomu štítné žlázy. Po čtyřdenním pobytu v nemocnici se vrací do rodinného domu, v němž bydlí sám. Domek je vybaven žumpou o obsahu 5 m^3 , jež je zaplněna z poloviny. Efektivní poločas dlouhodobé komponenty eliminace radiojódu z pacientova těla je 7,3 dne (první krátkodobá komponenta se po čtyřech dnech od aplikace již neuplatňuje); do žumpy se dostane za tři dny po pacientově návratu domů přibližně 50 MBq . Objemová aktivita odpadu vyváženého třetí den po návratu pacienta domů je $50/2500 = 0,02 \text{ MBq/l}$. K překročení efektivní dávky $10 \mu\text{Sv}$ (§ 5, odst. 1, písm. a) vyhlášky SÚJB 184/1997 Sb.) u jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva (např. u převozce obsahu žumpy) by došlo v případě, že by se do jeho těla dostalo více než 23 ml odpadní vody (uvažuje se výše zmíněná efektivní dávka 22 mSv/MBq u jednotlivce z obyvatelstva) - pravděpodobnost takové události je bezpochyby zcela nepatrná.

V druhém případě se uvažuje rodinný domek s deseti obyvateli, z něhož odchází do městské kanalizace v průměru 58 litrů vody za hodinu (předpokládá se průměrná spotřeba vody 140 l na jednoho obyvatele a den). V prvé hodině po návratu pacienta domů se dostane do odpadní vody $5 \text{ MBq } ^{131}\text{I}$. Průměrná objemová aktivita odpadní vody odcházející v této hodině z domku do kanalizace, je přibližně $0,09 \text{ MBq/l}$; např. údržbář při opravě kanalizace u rodinného domku by musel pojmout do těla odpadní vodu o objemu přes 5 ml , aby byla převyšena efektivní dávka $10 \mu\text{Sv}$ - rovněž velmi nepravděpodobná událost.

I v případě, že pacientovi je podán ambulantně ^{131}I o aktivitě 550 MBq , uvedená efektivní dávka $10 \mu\text{Sv}$ u pracovníků přicházejících do kontaktu s odpadní vodou, by byla převyšena v případě ingesce odpadní vody o objemu několika ml , což lze považovat za velmi nepravděpodobnou událost.

3.12. Plynně odpady znečištěné radiojódem

^{131}I je vydechován pacienty, kterým byl tento radionuklid aplikován; během prvního dne po aplikaci vydychá pacient přibližně $0,05 \%$ aplikované aktivity (Lassman a spol.). Podle

podmínky v § 5, odst. 1, písm. a 4 vyhlášky SÚJB 184/1997 Sb. součin objemové aktivity radionuklidu ve vzduchu a_v ($Bq.m^{-3}$) vypouštěném z pracoviště a konverzního faktoru h_{inh} ($Sv.Bq^{-1}$) pro příjem radionuklidu inhalací dospělým jednotlivcem z obyvatelstva (tab. 7 přílohy č. 3 vyhlášky SÚJB č. 184/1997 Sb. nesmí být větší než $10^{-6} Sv.m^{-3}$; pro ^{131}I je tato podmínka $a_v \times 2.10^{-8} \leq 10^{-6}$, odtud $a_v \leq 50 Bq.m^{-3}$.

Nepřekračování této hodnoty objemové aktivity ^{131}I ve vzduchu vypouštěném z pracoviště lze nejlépe zjistit měřením aktivity zachycené na speciálních filtrech klimatizačních zařízení. Přibližný odhad je možný též na základě měření objemové aktivity radiojódů ve vzduchu pokojů pro pacienty a v prostorách pracoviště.

Literatura

Adendum 1 to Publication 53: Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. Oxford, Pergamon Press 1993.

Barrington, S. F., O'Doherty, M. J., Kettle, A.G. et al.: Radiation exposure of the families of out-patients treated with radioiodine (iodine-131) for hyperthyroidism. Eur. J. Nucl. Med. 26, 1999, No. 7, 686 - 692.

Beckers, CH.: Regulations and Policies on Radioiodine ^{131}I Therapy in Europe. Thyroid 7, 1997, No. 2, 221 - 224.

Clarke, S.E.M.: Thyroid Disease. In: Clinical Nuclear Medicine, 3rd ed. (ed. by M.N. Maisey et al.), London, Chapman and Hall 1998.

Češpírová, I., Malátová, I., Foltánová, Š.: Ověření metod stanovení vnitřní kontaminace na pracovištích nukleární medicíny a zhodnocení výsledků. Praha, SÚRO 1999.

Delacroix, D., Guerre, J. P., Leblanc, P., Hickman, C.: Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 1998. Ashford, Nuclear Technology Publishing 1998.

European Commission: Radiation Protection 97. Radiation Protection following Iodine-131 therapy (Exposure due to out-patients or discharged in-patients. Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection 1998.

Hung, J. C.: Radioiodine Dispensing and Usage in a Centralized Hospital Nuclear Pharmacy. Thyroid 7, 1997, No. 2, 289 - 294.

Heřmanská, J., Hušák, V.: Problematika monitorování na pracovištích nukleární medicíny. Praha, Klinika nukleární medicíny 2. lékařské fakulty UK 1995.

Hušák, V.: Dozimetrie a ochrana před zářením v nukleární medicíně. Brno, Institut pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků 1987.

^{131}I Therapy for Thyrotoxicosis towards 2000. A report of the European Thyroid Associations' Committee on Radioiodine therapy in Thyrotoxicosis. Eur. J. Nucl. Med. 23, 1996, BP13-BP15.

Lassman, M., Hänscheid, H. Schelper, L. F. et al.: Inkorporationsmessungen bei Angehörigen von Radiotherapiepatienten nach Therapie benigner Erkrankungen der Schilddrüse. Nuklearmedizin 37, 1998, No. 3, 120 - 123.

Nishizawa, K., Ohara, K. Ohshima, M. et al.: Monitoring of excretions and used materials of patients treated with ^{131}I . Health Physics 38, 1980, 467 - 481.

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.

Monsieurs, M., Thierens, H., Dierckx, R.A. et al.: Real-life radiation burden to relatives of patients treated with iodine-131: a study in eight centres in Flanders (Belgium). Eur. J. Nucl. Med. 25, 1998, No. 10, 1368 - 1376.

Patients leaving hospital after administration of radioactive substances. Working Party of RPC of the BIR and others. Brit. J. Radiol. 72, 1999, 121 - 125.

Schneider, S., McGuire, S.A.: Regulatory Analysis on Criteria for the Release of Patients Administered Radioactive Material - Final Report NUREG-1492. Washington, U. S. Nuclear Regulatory Commission 1997.

Strahlenschutzgrundsätze für die Radioiod-Therapie. Empfehlungen der Strahlenschutzkommission verabschiedet in der 142. Sitzung am 5./6. Dezember 1996.

Wellner, U., Schicha, H.: Die Therapie von Schilddrüsenerkrankungen mit ^{131}I in einer Bettenstation mit Abklinganlage. NuklearMedizin 32, 1993, 149 - 155.