

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta

**Závislost objemové aktivity ^{131}I v čističce odpadních
vod nemocnice na množství léčebného ^{131}I podaném
na oddělení nukleární medicíny**

Bakalářská práce

Autor: Šárka Kampelsheimerová
Studijní program: Specializace ve zdravotnictví
Studijní obor: Radiologický asistent

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Pěnička

2. května 2013

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 2. května 2013

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichu Pěničkovi za laskavou pomoc při jejím zpracování.

Abstrakt

Tématem práce je řešení radiační ochrany na pracovišti nukleární medicíny s lůžkovým oddělením v souvislosti s léčbou onemocnění štítné žlázy radioizotopem ^{131}I . V teoretické části se práce stručně zabývá anatomí a patologií štítné žlázy a způsoby její léčby, dále pak základními vlastnostmi radioizotopu ^{131}I a historií oboru nukleární medicíny a radiační ochrany. V praktické části je pak provedena kontrola účinnosti řešení radiační ochrany při nakládání s tekutým odpadem a ověřena korelace aktivity odpadů s aktivitou podaných radiofarmak.

Zhoubné nádory štítné žlázy tvoří 0,5–1 % všech nádorových onemocnění. Některé typy těchto nádorů, histologicky diferencované, si uchovávají schopnost vychytávat z krve jód a jsou tak vhodné k léčbě radioizotopem jódu. Jsou proto nejčastěji léčeným typem nádorů na odděleních nukleární medicíny. Základem terapie bývá chirurgické odstranění nádorové tkáně, obvykle celé štítné žlázy, a podání izotopu ^{131}I . Léčba štítné žlázy se provádí vždy za současné hospitalizace pacienta na oddělení nukleární medicíny s lůžkovou částí. Izotop ^{131}I je smíšeným β a γ zářičem a po podání nemocnému je zdrojem radiační zátěže pro personál nemocnice i pro případné jedince z obyvatelstva. Současně dochází k jeho vylučování z organismu močí, stolicí a potem. Proto je třeba věnovat značnou pozornost ochranným opatřením. Vzhledem k závažnosti této problematiky a důrazu kladenému v současné době na ochranu před ionizujícím zářením jsem si tuto problematiku vybrala jako téma své bakalářské práce.

Nukleární medicína je lékařský obor zabývající se diagnostikou a terapií pomocí otevřených radioaktivních zářičů aplikovaných do vnitřního prostředí organismu. Metody nukleární medicíny jsou založeny na tzv. indikátorovém principu. Podstatou je shodné chemické chování radioaktivních a stabilních izotopů stejného prvku. Radioizotopy jsou však detekovatelné prostřednictvím záření, jež vydávají. Sloučeniny označené radioaktivními prvky tak lze sledovat a měřit jejich množství a tím získat důležité informace o funkčním stavu orgánů a tkání.

Počátky využití radioaktivních indikátorů spadají do první poloviny 20. století. Lékaři v Bostonu začali využívat izotopy ^{128}I a ^{131}I pro studium fyziologie a posléze

i nemocí štítné žlázy. Terapie nemocí štítné žlázy pomocí radiojódu tak patří mezi nejdéle užívané metody léčby radionuklidy a jedná se o metodu velmi úspěšnou.

Cílem praktické části práce bylo prověřit, zda jsou limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. o radiační ochraně současným systémem nakládání s kapalnými odpady lůžkové části Oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice dodržovány. Byly stanoveny dvě hypotézy: Provozní předpisy a současné programové vybavení technického zařízení sloužící k automatickému vypouštění odpadních vod z lůžkové části oddělení nukleární medicíny jsou dostačující k tomu, aby limity dané vyhláškou nebyly překročeny; druhá hypotéza pak předpokládá, že hodnoty objemové aktivity odpadních vod ve vypouštěcí nádrži nemocniční čističky odpovídají aktivitě radiofarmaka podaného pacientům léčeným na Oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice.

Pro účely této práce byla jednou týdně po dobu dvou měsíců pomocí studnového detektoru měřena aktivita odpadu ve vypouštěcí nádrži nemocniční čističky odpadních vod, aby bylo možno ověřit, zda nepřekračuje uvolňovací úroveň 455 Bq l^{-1} stanovenou v příloze vyhlášky č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.

Měření bylo zjištěno, že průměrná aktivita odpadu ve sledovaném období byla $279,8 \text{ Bq l}^{-1}$, přičemž nejvyšší aktivita naměřená 18. 3. 2013 činila 373 Bq l^{-1} . Ve sledovaném období nedošlo v žádném týdnu k překročení zákonem stanovené uvolňovací aktivity. Současně byla prokázána korelace hodnot podané radioaktivity s radioaktivitou odpadních vod. Podařilo se tak prokázat obě hypotézy práce.

V práci se podařilo prokázat, že limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. o radiační ochraně jsou současným systémem nakládání s kapalnými odpady lůžkové části Oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice dodržovány.

Klíčová slova

nukleární medicína, radiační ochrana, štítná žláza, radiojód, odpadní vody

Abstract

The subject of the work is radiation protection at a nuclear medicine workplace with a bed section in connection with the therapy of thyroid gland diseases using radioisotope ^{131}I . In the theoretical part, the work briefly deals with the anatomy and pathology of the thyroid gland and ways of therapy, and outlines the basic characteristics of radioisotope ^{131}I and history of nuclear medicine and radiation protection. In the practical part, there is a verification of the efficiency of radiation protection when handling liquid waste and a verification of the correlation of the activity of liquid waste with the activity of radiopharmaceutical administered.

The malignant tumours of the thyroid gland constitute 0,5–1 % of all tumoral diseases. Some types of this tumour, which are histologically differentiated, retain the capability of extracting iodine from blood and are thus suitable for being treated using iodine radioisotope. That's why these types of tumour are treated most frequently at nuclear medicine departments. The basis of therapy is the surgical removal of tumoral tissue, usually of the whole thyroid gland, and administration of radioisotope ^{131}I . When treating the thyroid gland, the patient is always hospitalized at a nuclear medicine department with a bed section. Radioisotope ^{131}I is mixed β and γ emitter and after being administered to a patient, it is the source of radiation danger for hospital personnel, possibly for others individuals. At the same time it is excreted from the organism by urine, stool and sweat. On that score due attention must be paid to safety measures. In view of the magnitude of this problem and the emphasis that is currently laid to protection against ionizing radiation, I chose this issue as a subject of my bachelor's work.

Nuclear medicine is a medical branch dealing with diagnostics and therapy by means of open radioactive emitters applied in the inside of the organism. The methods of nuclear medicine are based on a so-called indicator principle. The substance is the identical chemical behaviour of radioactive and stable isotopes of the same element. However, radioisotopes are detectable by means of the radiation they emit. Compounds marked with radioactive elements can thus be watched and their quantity can be

measured, thanks to which important information about the functional of organs and tissues can be obtained.

The beginnings of utilizing radioactive indicators go back to the first half of the 20th century. Doctors in Boston began to utilize isotopes ^{128}I and ^{131}I for studying the physiology and later diseases of the thyroid gland. The therapy of thyroid gland diseases using radioiodine thus ranks among the methods of radionuclide therapy that are used longest, and it is very successful method.

The goal of the practical part of the work was to verify whether the limits set by Decree No. 307/2002 Coll., as amended by Decree No. 499/2005 Coll. on radiation protection were observed under the current system of handling liquid waste in the bed section of the Nuclear Medicine Department of the České Budějovice Hospital. Two hypotheses were set: Operation regulations and current programme equipment of the technical installations for the automatic draining of waste water from the bed section of the Nuclear Medicine Department are sufficient for the limits set by Decree not being exceeded; the other hypothesis assumes that the values of the volume activity of waste water in the drainage tank of the hospital's sewage plant conform to the activity of a radiopharmaceutical administered to patients treated at the Nuclear Medicine Department of the České Budějovice Hospital.

For the purposes of this work, the activity of waste in the drainage tank of the hospital's sewage plant was measured with a well detector once a week for a period of two month to verify that the activity does not exceed a release level of 455 Bq l^{-1} set in an addendum to Decree No. 307/2002 Coll.

It was ascertained by measuring that the average activity of waste in the watched period was $279,8 \text{ Bq l}^{-1}$, the highest activity measured on March 18, 2013 being 373 Bq l^{-1} . In the watched period, the release activity set by the law was not exceeded in any week. At the same time, the correlation of the values of radioactivity administered with the radioactivity of waste water was proved. Consequently, both hypotheses of the work were proved.

The work proved that the limits set by Decree No. 307/2002 Coll., as amended by Decree No. 499/2005 Coll. on radiation protection, were observed under the current

system of handling liquid waste in the bed section of the Nuclear Medicine Department of the České Budějovice Hospital.

Key words

nuclear medicine, radiation protection, thyroid gland, radioiodine, waste water

Obsah

1	Úvod	12
2	Současný stav.....	13
2.1	<i>Historie nukleární medicíny.....</i>	<i>13</i>
2.2	<i>Nukleární medicína.....</i>	<i>13</i>
2.2.1	Interakce ionizujícího záření s hmotou	13
2.2.2	Obecné schéma detekčního přístroje	14
2.2.3	Vyšetřovací metody	15
2.2.4	Léčebné metody	16
2.3	<i>Radiojód ¹³¹I.....</i>	<i>17</i>
2.3.1	Fyzikální vlastnosti	17
2.3.2	Kinetika.....	18
2.3.3	Indikace k diagnostice a léčbě ¹³¹ I.....	18
2.3.4	Kontraindikace.....	19
2.3.5	Vedlejší účinky	20
2.4	<i>Štítná žláza.....</i>	<i>20</i>
2.4.1	Stavba a funkce	20
2.4.2	Onemocnění štítné žlázy	22
2.4.3	Léčba štítné žlázy ¹³¹ I	26
2.5	<i>Radiační ochrana.....</i>	<i>29</i>
2.5.1	Historie radiační ochrany	29
2.5.2	Základní jednotky a veličiny.....	32
2.5.3	Legislativa.....	32
2.5.4	Radiační ochrana v nukleární medicíně.....	33
3	Cíl práce a hypotézy	38
4	Metodika	39

4.1	<i>Nakládání s kapalným radioaktivním odpadem na Oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice</i>	39
4.2	<i>Vlastní metodika měření</i>	41
5	Výsledky	44
6	Diskuze	48
6.1	<i>Diskuze k metodice</i>	48
6.2	<i>Diskuze k řešení nakládání s odpady</i>	48
7	Závěr	52
8	Literatura	53

Seznam použitých zkratek

ČNR Česká národní rada

FN fakultní nemocnice

FNAB aspirační biopsie tenkou jehlou (fine needle aspiration biopsy)

KNM klinika nukleární medicíny

NM nukleární medicína

ONM oddělení nukleární medicíny

PET pozitronová emisní tomografie

RO radiační ochrana

SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚRO Státní ústav radiační ochrany

TRH tyreotropin stimulující hormon

TSH tyreoidu stimulující hormon

T3 trijódtyronin

T4 tetrajódtyronin, tyroxin

1 Úvod

Zhoubné nádory štítné žlázy tvoří 0,5–1 % všech nádorových onemocnění. Některé typy těchto nádorů, histologicky diferencované (papilární, folikulární a onkocytární), si uchovávají schopnost vychytávat z krve jód a jsou tak vhodné k léčbě radioizotopem jódu. Nádory štítné jsou proto nejčastěji léčeným typem nádorů na odděleních nukleární medicíny.

Základem terapie bývá chirurgické odstranění nádorové tkáně, obvykle celé štítné žlázy, a následné podání izotopu ^{131}I . Léčba štítné žlázy se provádí vždy za současné hospitalizace pacienta na oddělení nukleární medicíny s lůžkovou částí s možností léčby radiojódem ^{131}I . Tento izotop je smíšeným β a γ zářičem a po podání nemocnému je zdrojem radiační zátěže pro personál nemocnice i pro případné jedince z obyvatelstva, kteří by po aplikaci radiojódu přišli s nemocným do styku. Současně dochází k jeho vylučování z organismu močí, stolicí a potem. Proto je třeba věnovat značnou pozornost ochranným opatřením. Vzhledem k závažnosti této problematiky a důrazu kladenému v současné době na ochranu před ionizujícím zářením jsem se rozhodla tímto tématem zabývat ve své bakalářské práci.

2 Současný stav

2.1 Historie nukleární medicíny

Nukleární medicína je lékařský obor zabývající se diagnostikou a terapií pomocí otevřených radioaktivních zářičů aplikovaných do vnitřního prostředí organismu.^[26]

Metody nukleární medicíny jsou založeny na tzv. indikátorovém principu, objeveném maďarským chemikem György Hevesym v roce 1913.^[26] Podstatou je shodné chemické chování radioaktivních a stabilních izotopů stejného prvku. Radioizotopy jsou však na rozdíl od izotopů stabilních detekovatelné prostřednictvím záření, jež vydávají. Sloučeniny označené radioaktivními prvky tak lze sledovat a měřit jejich množství a tím získávat důležité informace o funkčním stavu orgánů a tkání.

Počátky využití radioaktivních indikátorů spadají do 30. a 40. let 20. století. Lékaři v Bostonu začali využívat izotopy ^{128}I a ^{131}I pro studium fyziologie a posléze i nemocí štítné žlázy. Ve druhé polovině 40. let byl vyvinut dostatečně citlivý směrový detektor, který umožnil za současného pohybu nad štítnou žlázou zhotovit první obrazový záznam – scintigram.

2.2 Nukleární medicína

2.2.1 Interakce ionizujícího záření s hmotou

Metody detekce ionizujícího záření jsou založeny na jeho interakci s hmotou.^[26] Ionizující záření se při průchodu hmotou zeslabuje a rozptyluje. Nabité částice ztrácejí svou energii především excitací a ionizací atomů, pružným rozptylem a emisí brzdného záření. Fotony záření γ se v látce absorbují fotoefektem, Comptonovým rozptylem a při dostatečné energii také tvorbou elektron-pozitronových párů.

O fotoefektu hovoříme tehdy, když foton záření γ předá veškerou svou energii elektronu ze slupky elektronového obalu atomu. Elektron je emitován ze svého místa a nahrazen jiným elektronem z vyšší hladiny za současné emise charakteristického záření.

Comptonův rozptyl se uplatňuje u fotonů s vyšší energií. Foton předá část své energie některému z elektronů atomového obalu atomu absorbujícího materiálu a pokračuje dále v jiném směru a s nižší energií. Při přeskočení elektronů na uvolněné místo dochází opět ke vzniku charakteristického záření.

K tvorbě elektron-pozitronových párů dochází při energiích nad 1 MeV, když foton zaniká v blízkosti atomového jádra za současného vzniku elektronu a pozitronu. Tento jev se v nukleární medicíně příliš neuplatňuje, s rozvojem pozitronové emisní tomografie (PET) však nabývá na významu jev zvaný anihilace. Při setkání pozitronu s elektronem obě částice zanikají – anihilují za současného vzniku dvou anihilačních fotonů γ o energii 511 keV.

2.2.2 Obecné schéma detekčního přístroje

Přístroj pro detekci ionizujícího záření se skládá ze tří částí: stínícího materiálu, vlastního detektoru a elektronické vyhodnocovací aparatury. Konstrukce přístrojů se pak liší podle účelu a druhu detekovaného záření.^[26]

Stínění detektoru je nutné z důvodu potlačení vlivu radiačního pozadí na detektor. Podmínkou přesného měření je odstínění kosmického záření a záření terestrického včetně např. záření pocházejícího ze stavebních materiálů budovy.

Detektory představují velmi různorodou skupinu zařízení. Nejčastějším typem detektoru užívaného v nukleární medicíně je scintilační detektor. Sestává ze tří částí: scintilátoru, světlovodu a fotonásobiče.

Scintilátor je materiál, ve kterém dochází při interakci fotonu záření γ s elektrony atomových obalů ke vzniku záření ve viditelné oblasti. Toto záření je pomocí světlovodivého materiálu přiváděno k fotonásobiči. Zde se slabé světelné záblesky ze scintilátoru mění na měřitelné elektrické impulzy. Ty jsou pak v elektronické vyhodnocovací aparatuře tříděny za pomoci amplitudového analyzátoru. Podle velikosti impulzů lze rozlišit fotony různých energií. Impulzy prošlé analyzátozem jsou pak počítány v čítači impulzů či zobrazovány měřičem četnosti.^[26]

2.2.3 Vyšetřovací metody

Vyšetřovací metody nukleární medicíny se dělí na metody měření *in vitro* a měření *in vivo*. Vyšetřovací metody *in vitro* jsou spíše laboratorního charakteru a rozumí se jimi měření aktivity odebraných vzorků tělesných tekutin či tkání značených radioizotopem mimo tělo pacienta. Při měření *in vivo* měříme kinetiku značené látky v organismu pacienta. Výstupem těchto vyšetření je buď číslo, nebo křivka pořízená záznamovým zařízením. Zvláštním případem metod *in vivo* jsou zobrazovací přístroje.

Prvním a také nejjednodušším zobrazovacím přístrojem byl pohybový scintigraf. Přístroj byl tvořen scintilačním detektorem umístěným na pohyblivém rameni, jenž se krokově po řádcích pohyboval nad vyšetřovanou oblastí. Pohyb detektoru se převáděl mechanicky na zapisovací zařízení, které v tom kterém místě zaznamenávalo aktivitu jako barevný odstín či stupeň škály šedé barvy.

V současné době je nejrozšířenějším přístrojem v nukleární medicíně scintilační kamera. Konstrukce dnešních scintilačních kamer stále vychází z koncepce navržené v padesátých letech Angerem, využívá ovšem moderních technických prvků, především ve spojení s výpočetní technikou.^[26]

Základními součástmi kamery jsou

- kolimátor
- scintilační krystal
- světlovodivý materiál
- soustava fotonásobičů
- vyhodnocovací a zobrazovací aparatura

Kolimátor je olověná dírková clona vymezující směr fotonů dopadajících na scintilační krystal o průměru až 50 cm a tloušťce 6–12 mm. Ke krystalu je pomocí světlovodivého materiálu navázána sada až několika desítek scintilačních detektorů. Signály ze scintilačních detektorů jsou vedeny do odporové matice, která umožňuje dosáhnout vyššího rozlišení obrazu kombinací výstupu všech fotonásobičů výpočtem polohy těžiště záblesku. Signál je pak dále veden do analyzátoru, který vymezuje okno v oblasti fotopíku použitého radionuklidu. Dříve používaný filmový záznam dnes

nahradilo digitální zpracování obrazu s možnostmi postprocesingu, tedy následného počítačového zpracování.

2.2.4 Léčebné metody

První léčebné pokusy s podáním radioaktivních izotopů provedli Hamilton a Stone v roce 1936, když podali třem pacientům s leukémií radioaktivní sodík. O půl roku později použil Lawrence radioaktivní fosfor u nemocného se stejnou diagnózou.^[1]

Léčba radioizotopy využívá biologických účinků ionizujícího záření. Cílem je funkční poškození buňky, případně až takový zásah do životních pochodů buňky, který vede k jejímu zániku.^[1] Funkčního poškození buňky se využívá např. při léčbě zvýšené činnosti štítné žlázy. O úplné zničení buněk se snažíme v případě léčby nádorového onemocnění. Při léčbě zářením je důležité, abychom nádorovou tkáň ozářili dostatečnou dávkou a přitom co nejméně zatížili okolní tkáň a celý organismus nemocného. Selektivního ozáření patologických tkání při co možná nejnižším postižení okolních zdravých struktur je dosaženo specifickou afinitou radionuklidu, resp. radiofarmaka k příslušným buňkám. Rozlišuje se^[1]

- metabolická lokalizace
- mikromechanická lokalizace
- intraserózní aplikace
- intrakavitární aplikace
- kontaktní terapie

Při metabolické lokalizaci radiofarmaka se využívá jeho afinity k určité tkáni nebo orgánu: radiofarmakum vpravené do krevního oběhu nebo podané per os se hromadí v určitých orgánech nebo tkáních metabolickou cestou. Typickým případem metabolické lokalizace radioizotopů je použití izotopu ^{131}I při léčbě štítné žlázy. Metoda je založena na selektivní kumulaci radioaktivního jódu štítnou žlázou podaného nemocnému nejčastěji ve formě jodidu sodného a předpokládá zachovanou funkci štítné žlázy či nádorových buněk vychytávat z krve jód. Poprvé byl radioaktivní jód použit v léčbě tyreotoxikózy v roce 1941. Terapie nemocí štítné žlázy pomocí radiojodu prováděná od roku 1942 tak patří mezi nejdéle užívané metody léčby radionuklidy a jedná se o metodu velmi úspěšnou.^[26] Další léčebnou metodou je paliativní léčba

terapeuticky obtížně zvládnutelných bolestí u kostních metastáz. Osteotropní radioizotop v důsledku jejich zvýšeného prokrvení a metabolické aktivity ozařuje metastatické ložisko více než okolní zdravou kostní tkáň. Prvním radionuklidem použitým k tomuto účelu byl ^{32}P , častou komplikací byl ale dřevňový útlum. V současné době se proto používají nové, méně myelosupresivní radionuklidy, jako stroncium ^{89}Sr , rhenium ^{186}Re a samarium ^{153}Sm .

Mikromechanickou lokalizací radiofarmaka se rozumí umístění koloidních částic radiofarmaka v tkáni za aktivní účasti nějakého biologického pochodu. K této metodě lokalizace náleží

- infiltrační terapie
- intraarteriální terapie
- endolymfatická terapie

Při metastatickém rozsevu v serózních dutinách (v pohrudniční či pobřišnicové), který vede k tvorbě výpotku, je možné do této dutiny aplikovat koloidní částice krátkodobého radioizotopu. Výsledkem je rovnoměrné ozáření serózní výstelky a snížení tvorby výpotku.

Intrakavitární aplikace se používá v současné době při radiační synovektomii u zánětlivých afekcí kloubů.^[26]

Kontaktní terapie je zmíněna spíše z historických důvodů a dnes se již nepoužívá.

2.3 Radiojód ^{131}I

2.3.1 Fyzikální vlastnosti

Radionuklid ^{131}I se vyrábí štěpením uranu ^{235}U v jaderném reaktoru. Fyzikální poločas rozpadu je 8,04 dne a přeměňuje se za emise záření β a γ , je tedy smíšeným zářičem. Záření β s energií 248 keV (2 %), 334 keV (7 %) a 606 keV (90 %) se využívá pro léčbu. Maximální dosah tohoto záření v měkké tkáni je 2,4 mm, průměrný dosah 0,5 mm, což umožňuje lokalizované ozáření cílového objemu bez významného poškození okolní zdravé tkáně. Záření γ je poměrně pronikavé a má energii 284 keV (6 %), 364 keV (82 %), 637 keV (7 %) a 720 keV (3 %). Tato pronikavost je výhodná pro snadnou zevní detekci rozložení ^{131}I v organismu, ale může být zdrojem významné

radiační zátěže pro ošetřující personál a ostatní pacienty. Proto je třeba dbát na dodržování ochranných opatření.^[21]

2.3.2 Kinetika

Kinetika jodidu sodného ^{131}I je shodná s kinetikou stabilního jodidu. Během 60 minut po perorálním podání se 90 % jodidu absorbuje z horní části gastrointestinálního traktu ve formě jodidového iontu do plazmy a odtud přechází do mezibuněčného prostoru. Následně dochází k selektivnímu vychytávání folikulárními buňkami štítné žlázy. Tento proces, při kterém dochází k aktivnímu transportu jodidu z krve do buněk štítné žlázy, je označován jako jodidová pumpa. Z mechanismu akumulace jodu ve štítné žláze tedy vyplývá, že pacient podstupující vyšetření a léčbu radioizotopem ^{131}I nesmí mít jodidovou pumpu zablokovanou neradioaktivním jodem. Na několik týdnů musí proto nemocný z jídelníčku vyřadit potraviny obsahující jód (mořské plody, Vincentka), léky s obsahem jódu (JOX spray, oční kapky), transdermální jódové dezinfekční přípravky (Jodisol) a po dobu minimálně 3 měsíců mu nesmí být aplikována jódová kontrastní látka.

2.3.3 Indikace k diagnostice a léčbě ^{131}I

Diagnostická dávka může být pacientovi aplikována v těchto případech:^[12]

- posouzení rozložení funkční aktivity parenchymu štítné žlázy (rozlišení hormonálně aktivních a neaktivních uzlů)
- podezření na karcinom, zánět nebo ektopii tyreoidální tkáně
- před strumektomií a po operaci k posouzení rozsahu reziduální tkáně
- detekce metastatického procesu a recidiv u diferencovaného karcinomu štítné žlázy
- při diagnóze mediastinálních tumorů

Léčbu podáním ^{131}I lze v České republice provádět pouze za současné hospitalizace pacienta na lůžkovém oddělení nukleární medicíny, jelikož je pro osoby ve svém okolí zdrojem významné radiační zátěže. Pomocí radiojodu jsou léčena tato onemocnění:

- hypertyreózy
 - o snížením funkce štítné žlázy popřípadě likvidací autonomního adenomu

- odstraněním reziduální tkáně po operaci u endokrinní oftalmopatie
- diferencované karcinomy štítné žlázy
 - odstraněním zbytků tkáně po operaci
 - ozářením tumoru či metastáz
- terapie velkých strum (méně často, není-li možná operace) či retrosternálně uložených strum.

Pro léčbu hypertyreóz se aplikuje aktivita v rozmezí 300–800 MBq, maximální aplikovaná dávka činí 2000 MBq. Pro terapii diferencovaných karcinomů leží hodnoty podané aktivity v rozmezí 3,4–10 GBq.^[21]

2.3.4 Kontraindikace

Léčba radiojódem je kontraindikována při graviditě a laktaci, hypersenzitivitě na léčivou látku, u pacientů s psychickými obtížemi, kteří nejsou schopni dodržovat nezbytná radiačně-hygienická opatření a u dětí do 10 let věku.^[21] Další skupinu tvoří pacienti ve stadiu tyreotoxické krize, s dysfagií, zúžením jícnu, akutní gastritidou, žaludeční erozí a žaludečními vředy, s podezřením na pokles gastrointestinální aktivity a pacienti inkontinentní.^[6]

Před diagnostickým vyšetřením za použití radiojódu je nutné se informovat o případné graviditě. V těhotenství mohou být prováděna jen zcela nezbytná vyšetření, jejichž diagnostický přínos převáží riziko spojené s ozářením a je nezbytné zvažovat radiační dávku i pro plod. V případě nevyhnutelné terapeutické aplikace (např. u diferencovaného karcinomu diagnostikovaného až po otěhotnění) je nutné nejprve provést umělé přerušování těhotenství.

Před vyšetřením kojících žen se zváží možnost odložení vyšetření na dobu po ukončení kojení. V případě nezbytné diagnostické i terapeutické aplikace se kojenec převede na náhradní výživu a omezí se kontakt s matkou. Kojení může být opět zahájeno, pokud odhad dávky obdržené dítětem v důsledku kojení a těsného kontaktu s matkou bude menší než 1 mSv.^[20]

Ženám v reprodukčním věku, které podstoupily terapii, se nedoporučuje těhotenství v následujících 12 měsících po ukončení léčby. U mužů není vhodné počít dítě po dobu 4 měsíců po prodělané terapii.^[21]

U dětí se léčba radiojódem provádí jen v případě neúspěchu jiných terapeutických postupů. Taktéž u mladistvých a jedinců v reprodukčním věku musí být pro léčbu zvlášť závažné důvody.^[21]

2.3.5 Vedlejší účinky

Po aplikaci diagnostických dávek se vedlejší nežádoucí účinky objevují jen výjimečně. Projevují se nauzeou, zvracením a alergickými reakcemi.

Jako časný následek po terapeutickém podání se mohou objevit zažívací potíže, radiační tyreoiditida (zarudnutí kůže nad štítnou žlázou, svědění, tlak a napětí ve žláze), pálení, xerostomie (bolest nebo pocit sucha v ústech), sialoadenitis (zánět slinné žlázy), nechutenství. Tyto komplikace bývají zpravidla mírné a během několika dnů samy spontánně vymizí. Velmi zřídka může dojít k recidivě nebo zhoršení tyreotoxikózy a tyreotoxické krizi provázené zvýšenými teplotami, horečkami, křečemi, poruchami srdeční činnosti, které mohou vyústit až v srdeční selhání, poruchami vědomí, kómatem. Tyto stavy vyžadují okamžitou farmakologickou intervenci v podobě intravenózně podaného Lugolova roztoku, kortikosteroidů a betablokátorů.^[23]

Podávání vyšších aktivit a jejich opakované aplikace mohou vést ke snížení funkce slinných žláz a žaludeční sekrece a k dočasnému útlumu kostní dřeně (trombocytopenii, erytrocytopenii, leukopenii), který může být ve velmi vzácných případech ireverzibilní.

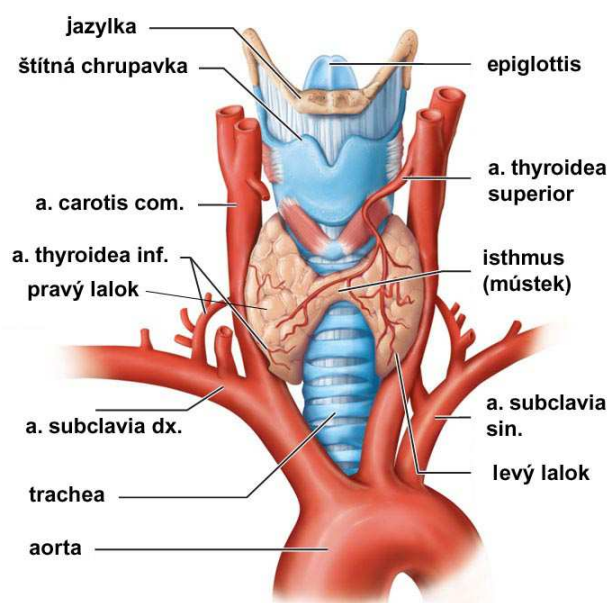
Téměř vždy se v průběhu 2 až 6 měsíců po aplikaci radioaktivního jódu dostaví hypothyreóza. Pokud se stav samovolně neupraví, následuje substituční hormonální léčba.^[21]

2.4 Štítná žláza

2.4.1 Stavba a funkce

Štítná žláza (glandula thyroidea) je 15–20 g vážící žláza s vnitřní sekrecí, jejíž laloky tvaru trojboké pyramidy leží po stranách chrupavky štítné na přední straně krku. Oba laloky jsou spojeny úzkým žláznatým můstkem (istmem) a jsou překryty plochými krčnými svaly jdoucími od jazyky (os thyoides) na horní okraj hrudní kosti (sternum).^[1] Velikost laloků je značně proměnlivá a závisí na věku, pohlaví, tělesné hmotnosti a odráží i rozdíly geografické (se vzrůstající vzdáleností od moře a stoupající

nadmořskou výškou se zvětšují). Délka se pohybuje v rozmezí od 5 do 8 cm, šířka od 2 do 4 cm a tloušťka činí 1,5 až 2 cm.^[10] Tato endokrinní žláza je bohatě prokrvená a hmatná je pouze v případě patologického zvětšení.



Obrázek 1 Štítná žláza^[11]

Na zadní ploše štítné žlázy leží příštítná tělíska (glandula parathyreoidea). Jsou to 4 malé útvary produkující parathormon (PTH). Tato látka bílkovinné povahy se svým účinkem podílí na vnitřní rovnováze kalcia.^[16]

Vlastní tkáň štítné žlázy je charakteristická uspořádáním tyreocytů do uzavřených váčků (folikulů), oddělených od sebe vazivem a lymfatickými a kapilárními pleteněmi. Váčky obsahují homogenní tekutinu (koloid) bílkovinné povahy a dva základní hormony – tyroxin (T4) a trijódtyronin (T3). Pro vznik těchto hormonů je nezbytná přítomnost jódu a aminokyselin, které jsou žlázovými buňkami vychytávány z krve. Jejich působením se aminokyseliny spojují a vytvářejí bílkovinu tyreoglobulin, na kterou se váže jód a vznikají tak oba účinné hormony. Při nedostatku jódu v potravě nebo při blokaci jeho vstupu do buněk thyroidey je tvorba obou hormonů narušena.^[16]

Štítná žláza je jedinou žlázou s vnitřní sekrecí, jejíž činnost je přímo ovlivněna jódem získaným výhradně z potravy.^[4]

Hormony jsou dle potřeby vyplavovány do krevního oběhu a dopravovány k buňkám celého těla. Jejich sekrece podléhá nadřazeným hormonům z vyšších mozkových center hypotalamu a hypofýzy. Hypotalamus produkuje hormon TRH (tyreotropin stimulující hormon), který v hypofýze působí na uvolňování TSH (tyreoidu stimulující hormon), jež má bezprostřední vliv na tvorbu hormonů štítné žlázy. Tímto mechanismem je ovlivňováno také množství hormonů, které do krve štítná žláza uvolní. Pokud centra v mozku obdrží signál, že hladina hormonů v krvi je dostačující, sníží svoji aktivitu. Je-li hladina hormonů v krvi naopak příliš nízká, stimulují jejich tvorbu a uvolňování.^[13] Mluvíme o tzv. mechanismu zpětné vazby.

Hormony štítné žlázy mají pro organismus nenahraditelný význam. Mají účinky růstové, vývojové, řídí metabolismus všech živin (tuků, cukrů, bílkovin), zvyšují spotřebu kyslíku, jsou nezbytné pro správný vývoj a diferenciaci mozku. Nedostatek hormonů v prenatálním a postnatálním období zásadním způsobem naruší správný vývoj celého organismu.^[10] Nejzávažněji je narušen vývoj centrální nervové soustavy, kdy v důsledku jejich podlimitních hladin dochází k těžkým poruchám v rozvoji jednotlivých struktur mozku, nebo je tento proces výrazně opožděn.^[14] U takto postižených jedinců dochází ke snížení intelektu až retardaci – kretenismu.

Kromě folikulárních buněk obsahuje štítná žláza také buňky parafolikulární (C buňky), které produkují další hormon – kalcitonin. Tento hormon se podílí na metabolismu kalcia, reguluje jeho hladinu v krvi a zvyšuje ukládání vápníku v kostech, což má význam především v období růstu organismu.^[16]

2.4.2 Onemocnění štítné žlázy

2.4.2.1 Struma

Jako struma se označuje každé zvětšení štítné žlázy převyšující objem 18 ml u žen a 22 ml u mužů. Žláza se stává dobře viditelnou a hmatnou. Mezi onemocnění, která se klinicky manifestují strumou, patří:

- vrozené enzymatické poruchy – negativně ovlivňují tvorbu hormonů štítné žlázy, což v důsledku vede k jejímu růstu; forma objevující se v dětském věku
- struma prostá – eufunkční zvětšená žláza, která není zasažena jiným patologickým procesem; její výskyt má endemický charakter a je častý v oblastech s deficitem jódu
- tyreotoxikóza
- tyreoiditida
- nádorová onemocnění
- cysty a pseudocystické útvary.

Je-li štítná žláza zvětšena stejnoměrně v celém svém objemu, mluvíme o strumě difuzní. Naopak pro strumu nodózní jsou charakteristické ložiskové změny v parenchymu – tzv. uzly různé velikosti, citlivosti, tuhosti (od měkkých až po tvrdé) a také závažnosti.

Malé eufunkční strumy nebývají zdrojem žádných obtíží. Strumy velké ohrožují pacienta mechanickým syndromem, při kterém dochází k útlaku jícnu, trachey, vratných nervů a horní duté žíly.^[14]

2.4.2.2 Hypertyreóza

Jde o změnu funkce štítné žlázy projevující se zvýšenou produkcí tyreoidálních hormonů označovanou také jako tyreotoxikóza. Přestože příčin hyperfunkce je mnoho, většina příznaků je stejná. Nemocní trpí návaly horka, bušením srdce, srdeční arytmii, svalovou atrofií, nervozitou, nespavostí, únavou, podrážděností, vnitřním třesem, zhoršenou kvalitou vlasů a nehtů, úbytkem na váze i přes neustálou chuť k jídlu, zvýšenou střevní motilitou.

Mezi tři základní formy tyreotoxikózy patří:

- Graves-Basedowova choroba
- autonomní adenom
- polynodózní toxická struma.

Graves-Basedowova choroba je hypertyreóza způsobená poruchou imunitního systému, kdy tělo vytváří protilátky, které po vazbě na TSH receptory na povrchu tyreoidálních buněk stimulují štítnou žlázu k růstu a zvýšené produkci hormonů.

Současně může docházet k zánětlivým procesům v očnici – tzv. endokrinní oftalmopatii, která je provázena otoky víček, pálením, slzením a řezáním v očích, v těžších případech vystupováním očních bulbů z očnic (exoftalmus) a nemožností dovřít víčka (lagoftalmus) s následným vysycháním rohovky. V nejzávažnějších případech dochází k útlaku očního nervu a ztrátě zraku. Onemocnění je typické pro ženy mladšího věku.^[5]

Autonomní adenom je benigní nádor, který vytváří hormony nezávisle na TSH. Zdrojem nadprodukce tyreoidálních hormonů je pouze tato patologicky změněná část žlázy a jejich sekrece je závislá na velikosti adenomu. Častěji jsou touto formou postiženi osoby starší, muži i ženy bez rozdílu.^[12]

Hyperfunkce u polynodózní strumy je stejně jako v případě autonomního adenomu vyvolána schopností jednotlivých uzlů vymanit se z regulačních mechanismů a chovat se nezávisle.

2.4.2.3 Hypotyreóza

Hypotyreóza je stav, který vzniká nedostatečnou produkcí tyreoidálních hormonů. Onemocnění postihuje zvláště ženy vyššího věku. Příčin hypotyreózy může být několik. Nejčastěji je vyvolána chronickou autoimunitní tyreoiditidou (Hashimotova tyreoiditida), při níž si tělo tvoří protilátky proti vlastní štítné žláze. Další příčinou může být stav po operaci štítné žlázy, léčbě radiojódem, zevním ozáření v oblasti krku, méně často ageneze štítné žlázy plodu a jódový deficit. Vzácné jsou formy centrální hypotyreózy, ke které dochází v důsledku destrukce hypofýzy nebo hypotalamu degenerativními změnami nebo patologickými expanzivními procesy v jejich okolí. Přestože příčiny bývají různé, klinické příznaky se liší jen mírně. U takto postižených jedinců dochází k celkovému zpomalení organismu, dostavuje se únava, ospalost, apatie, zimomřivost, zpomaluje se střevní peristaltika, pacienti pocítují nevysvětlitelné kloubní bolesti, dochází k zadržování tekutin v organismu, které se projeví přibíráním na váze, otoky bérců a obličeje, nehty jsou lomivé, vlasy řídké, pomalu rostoucí, pokožka suchá a nažloutlá, nemocní trpí bradykardií, hypertenzí, zhrubnutím hlasu, chrapotem, u žen nastává porucha menstruačního cyklu a ohrožena je i fertilita. Plně vyvinutá forma hypotyreózy je označována jako myxedém.^[14]

2.4.2.4 Tyreoiditida

Jako tyreoiditidy se označují zánětlivá onemocnění, která mohou vyvolat přechodnou nebo trvalou poruchu funkce štítné žlázy. Zánět může probíhat jako akutní, subakutní nebo chronický a může mít celou řadu příčin (viry, stafylokoky, streptokoky, mykózy) a klinických projevů.

Akutní tyreoiditida je onemocnění ojedinělé, vznikající na podkladě infektu v dutině ústní a nejčastěji postihuje osoby se sníženou imunitou, ve větší míře ženy. Jde o horečnaté onemocnění, typická je výrazná bolest postižené žlázy, zvětšení uzlin, případně zarudnutí.

Výrazná, mnohdy až nesnesitelná bolest stupňující se při pohybu provází také tyreoiditidy subakutní, vyvolané převážně předchozím virovým onemocněním. Zánět propuká 2–3 týdny po prodělané infekci, je provázen vysokou teplotou, únavou a celkovým schvácením, časté jsou recidivy.

V případě chronické tyreoiditidy se jedná o autoimunitní onemocnění. Klinický obraz je variabilní stejně jako množství forem chronických autoimunních tyreoiditid (Hashimotova, lymfocytární, atrofická, poporodní aj.)^[14]

2.4.2.5 Nádory štítné žlázy

Nádory štítné žlázy tvoří různorodou skupinu, od nezhoubných až po agresivní maligní formy, postihující všechny věkové skupiny, včetně dětí. Vznik těchto nádorů je dáván do souvislosti s předchozím ozářením v oblasti krku, pozitivní rodinnou anamnézou, onemocněním štítné žlázy, hormonálními vlivy nebo endemickým nedostatkem jódu. Nejčastějším benigním nádorem je folikulární adenom. Jde o solitární nebo mnohočetný, opouzdřený a ve většině případů funkčně neaktivní uzel. Méně časté jsou funkčně nezávislé tzv. toxické adenomy, které vedou k tyreotoxikóze.

Maligní nádory vznikají na podkladě folikulárních buněk, parafolikulárních buněk a lymfocytární tkáně a podle toho se také dělí na:^[14]

- nádory vycházející z folikulárního epitelu
 - papilární karcinom
 - folikulární karcinom
 - anaplastický karcinom

- nádory vycházející z parafolikulárních buněk (C buněk)
 - o medulární karcinom
- lymfomy

Papilární karcinom je nejčastější maligní nádor, postihující i mladší jedince a děti. Projevuje se jako tuhý, pomalu rostoucí, nebolestivý uzel se zvětšenými spádovými uzlinami, který poměrně pozdě metastazuje, nejčastěji do plic. Tento typ karcinomu si uchovává schopnost štítné žlázy selektivně vychytávat jód, a proto je vhodný k léčbě radiojódem.

Folikulární karcinom je méně častou formou, roste ovšem rychleji a metastazuje dříve. Nejčastěji jsou zasaženy regionální uzliny, plíce a kosti, ojediněle se mohou metastázy objevit i v mozku a játrech. Stejně jako karcinom papilární si zachovává schopnost vychytávat jód.

Anaplastický karcinom je poměrně vzácný, ale vysoce agresivní nádor postihující hlavně starší osoby. Projevuje se rychlým růstem (v řádu týdnů) provázeným devastací tyreoidální tkáně s útlakem okolních struktur. Metastazuje do spádových uzlin a plic.^[18]

Medulární karcinom vychází z parafolikulárních C buněk a tudíž neakumuluje radiojód ^{131}I . Objevuje se ve formě sporadické nebo familiární, která se může vyskytovat i ve spojitosti s jinými endokrinními nádory (feochromocytom, adenom příštítných tělísek). Klinický obraz sporadické formy nádoru se blíží diferencovanému karcinomu. Nejdříve se objevuje rostoucí uzel, později lymfatické metastázy a nakonec i vzdálené plicní a kostní metastázy.

Lymfom je rychle rostoucí nádor vznikající na podkladě chronické Hashimotovy tyreoiditidy, častěji se vyskytující u žen.

2.4.3 Léčba štítné žlázy ^{131}I

2.4.3.1 Terapie hypertyreózy

Léčba zvýšené funkce štítné žlázy je založena na poškození a redukci hyperfunkční tkáně účinkem β záření emitovaným z orálně podaného ^{131}I . K dosažení maximálního účinku je nutné, aby pacient neměl žlázu blokovanou biologickým jódem získaným z potravy či léčivých přípravků obsahujících jód.

Množství podaného radiojódů je dáno typem hypertyreózy a kinetikou jódu v postižené štítné žláze, což je vyjádřeno ve vzorci pro výpočet aplikované aktivity:

$$A = \frac{m D 24,7}{UP_{24h} T1/2_{ef}} \quad [\text{MBq}],$$

kde m je hmotnost štítné žlázy v g (odpovídá objemu v ml),

D je absorbovaná dávka v Gy, kterou chceme štítnou žlázu ozářit,

UP_{24h} udává akumulaci jódu ve tkáni za 24 hodin od podání v procentech a

$T1/2_{ef}$ je efektivní poločas jódu ve štítné žláze vyjádřený ve dnech.

Tyto dva posledně zmiňované parametry se určují pomocí radiojódového akumulačního testu.^[12]

Nutno podotknout, že léčba hypertyreózy podáním radioaktivního jódu je jen jedním z možných léčebných postupů. Další možností je podávání tyreostatik, které blokují tvorbu hormonů štítné žlázy nebo chirurgické odstranění hyperfunkční tkáně, tzv. tyreoidektomie. Ke každému pacientovi je při volbě vhodného postupu třeba přistupovat individuálně s ohledem na jeho celkový zdravotní stav, určit příčinu a typ hypertyreózy, zvážit případné nežádoucí komplikace a následně zvolit optimální terapeutický postup.

2.4.3.2 Akumulační test

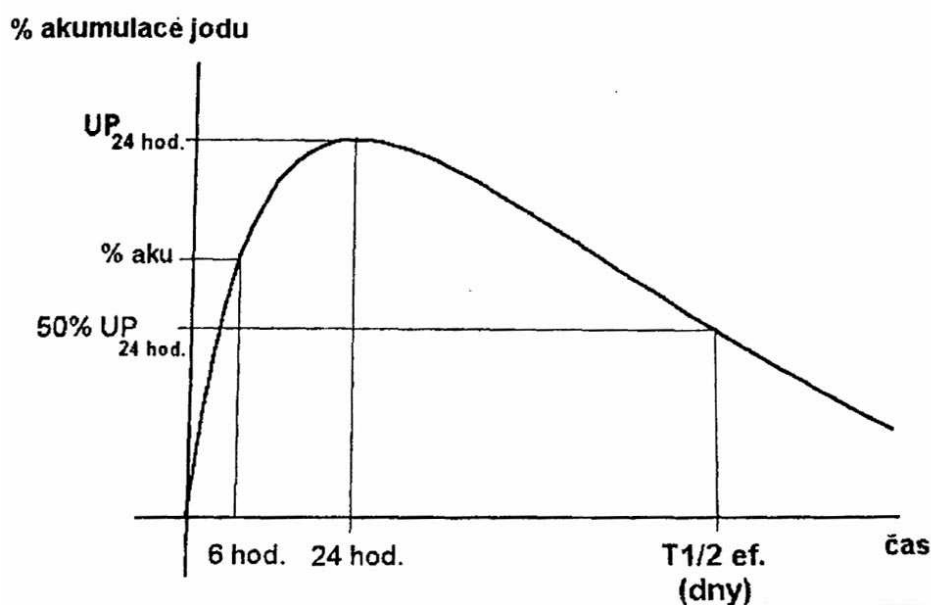
Tento test slouží ke stanovení akumulace jódu ve štítné žláze potřebné pro výpočet optimálního množství terapeutické dávky ^{131}I před zahájením léčby. Pacientovi je nalačno podáno 80 kBq radioaktivního ^{131}I a následně se pomocí kolimované scintilační sondy měří akumulovaná aktivita. Aktivita se měří za 6 a 24 hodin po podání radiofarmaka ve vzdálenosti 25–30 cm nad celou štítnou žlázou. Měření se provádí minimálně dvakrát vždy po dobu 1–2 minut. Současně probíhá měření aktivity nad fantomem o stejné aktivitě, jaká byla podána pacientovi. Získané hodnoty se zprůměrují a po odečtu aktivity pozadí dosadí do vzorce:

$$A = \frac{I_t}{I_s} 100 \quad [\%]$$

kde I_t je počet impulsů naměřený ve štítné žláze a

I_s počet impulsů standardu.

Normální hodnota akumulace je 20–40 % z podané aktivity za 24 hodin ($UP_{24\text{hod.}}$). Hlavní indikací této metody ovšem není jen měření akumulace jódu ve štítné žláze, ale také stanovení tzv. efektivního poločasu radiojódů ($T_{1/2\text{ef}}$), který vyjadřuje dobu, za kterou poklesne aktivita ^{131}I ve štítné žláze na polovinu. Oba tyto parametry jsou nezbytné pro výpočet terapeutické dávky radiojódů.^[12] Akumulační test může být různě modifikován podle potřeb a zvyklostí daného pracoviště.



Obrázek 2 Radiojódový akumulací test^[12]

2.4.3.3 Diagnostika a terapie diferencovaných karcinomů

Prvním diagnostickým krokem bývá podrobná anamnéza, vizuální zhodnocení štítné žlázy a palpce. V případě výskytu solidních uzlů je indikováno ultrasonografické vyšetření, které má v diagnostice tyreoidálních karcinomů zásadní postavení. Umožní posoudit morfologii jednotlivých uzlů a prokázat i ložiskové změny palpačně neprokazatelné. Uzly se sníženou echogenitou o menším objemu, ale již působící klinické potíže, jsou vždy suspektní a vyžadují cytologické vyšetření. Nejspolehlivější metodou pro odlišení maligních a benigních uzlů je aspirační biopsie tenkou jehlou (FNAB), kdy se při punkci suspektního ložiska obvykle pod sonografickou kontrolou odebere vzorek tkáně, který se cytologicky zhodnotí. Senzitivita a specificita tohoto vyšetření se blíží 90 %, což významně snižuje počet nepotřebných operací u pacientů

s benigní etiologií. V případě jasné diagnózy diferencovaného karcinomu štítné žlázy je naopak indikována totální tyreoidektomie a následná terapie radiojódem.^[12]

Pacienti jsou v odstupu 5–6 týdnů po chirurgickém odstranění štítné žlázy zváni k hospitalizaci na lůžkovou část oddělení nukleární medicíny. Přichází ve stavu hypotyreózy s vysokou hladinou TSH, která stimuluje vychytávání radiojódu ve zbytku štítné žlázy. Pacientovi se podá diagnostická dávka ^{131}I o aktivitě 74 MBq, změří se akumulace v reziduální tkáni a provede scintigrafie štítné žlázy. Zbytky tkáně jsou detekovatelné u 95 % pacientů po totální tyreoidektomii. Následuje eliminační terapie ^{131}I pro odstranění zbytků tkáně podáním léčebné dávky o aktivitě 3000–4000 MBq s následnou další scintigrafií.

Po terapii radiojódem je zahájena léčba tyreoidálními hormony, která se několik týdnů před další plánovanou kontrolní hospitalizací přerušuje. Pacient je tak opět uveden do stavu hypotyreózy se zvýšenou hladinou TSH a podstoupí nové vyšetření radiojódem.^[12] Při scintigrafii se detekují recidivy a případné metastázy. Při pozitivním nálezů se zahájí opětovná terapie radiojódem a poté je nasazena supresní terapie tyreoidálními hormony, které potlačují produkci TSH. Důvodem je snížení vlivu TSH na růst diferencovaných karcinomů, jež vykazují hormonální dependenci. Po dostatečné supresi a nedojde-li k relapsu onemocnění, bývá supresní terapie nahrazena léčbou substituční.^[14]

Pacienti s diferencovanými karcinomy štítné žlázy jsou monitorováni doživotně a v závislosti na rozsahu onemocnění a průběhu léčby jsou v pravidelných intervalech zváni k provedení celotělové scintigrafie ^{131}I .

2.5 Radiační ochrana

2.5.1 Historie radiační ochrany

Historie radiační ochrany se začíná psát krátce po objevení paprsků X německým fyzikem W. C. Röntgenem v roce 1895 a radioaktivity francouzským fyzikem H. Becquerelem počátkem roku 1896. Od této doby je ionizující záření vědomě využíváno.

Z důvodu neznalosti negativních účinků ionizujícího záření byly první pokusy s rentgenovými lampami a radioaktivními látkami prováděny bez ochranných opatření, v důsledku čehož docházelo k vážným újmám na zdraví. Již necelé 2 roky od objevu paprsků X bylo zaznamenáno a popsáno 23 případů vážného poškození zdraví pracovníků s rentgenovým zářením.^[3] V roce 1902 byl poprvé vznik nádorového onemocnění u pracovníka přičten účinkům ionizujícího záření. Následně v letech 1911–1914 bylo popsáno dalších 198 případů nádorového onemocnění převážně u radiologů, z nichž 54 na následky onemocnění zemřelo. V letech 1920–1940 byla zaznamenána radiační poškození (především kůže) u dalších rentgenologů, pacientů a pracovníků ve výrobě radioaktivních barev.^[24]

S těmito novými poznatky tak vyvstávala potřeba omezit nežádoucí účinky ionizujícího záření. Byl to proces zdoluhavý, který vyžadoval shromáždění dostatečného množství znalostí o vlivu ionizujícího záření na živý organismus podložených radiobiologickými studiemi. Bylo také třeba definovat základní jednotky a standardy a vypracovat příslušnou legislativu.

2.5.1.1 Historie radiační ochrany v Československu a České republice

První institucí pro výzkum radioaktivity v bývalém Československu byl Státní ústav radiologický RČS, založený v roce 1919. Jeho hlavní činností byl základní výzkum v oblasti záření, konzultační činnost a metodické služby pro zájemce z oboru lékařství a průmyslu.

V roce 1927 byly Čs. společností pro rentgenologii a radiologii na žádost Lékařské komory ČSR vypracovány první čs. zákonné předpisy o zacházení s rentgenem a radioaktivními látkami v lékařství. Značný vliv na utváření těchto norem a rozvoj oboru radiační ochrany měl i vývoj v sousedních zemích, mezinárodně pořádané radiologické kongresy a sjezdy nebo nové poznatky z výzkumu tzv. jáchymovské hornické nemoci.

V roce 1955 byl Státní ústav radiologický přejmenován na Výzkumný ústav radiologický a byl převeden do resortu chemického průmyslu. Skupina zabývající se radiační hygienou byla z této instituce vyčleněna a stala se součástí Ústavu hygieny práce a chorob z povolání, který byl v roce 1959 reorganizován na Ústav pro výzkum,

výrobu a využití radioizotopů a v roce 1966 byl podřízen Čs. komisi pro atomovou energii. Ústav zajišťoval výrobu radioaktivních materiálů a speciálních přístrojů pro zdravotnictví a průmysl, svoz a centrální ukládání radioaktivního odpadu na území celého státu, stal se centrálním distributorem radioaktivních látek v ČSSR a prováděl jejich centrální evidenci. Rovněž vykonával službu filmové dozimetrie pro pracoviště s ionizujícím zářením.

Vzhledem k rozsáhlé problematice, kterou se instituce zabývala, došlo v roce 1965 k odštěpení samostatného pracoviště pro výzkum hygieny záření podřízeného ministerstvu zdravotnictví – Výzkumnému ústavu hygieny záření. Mezi jeho hlavní úkoly patřil výzkum expozic obyvatelstva, výzkum expozic pracujících se zdroji ionizujícího záření, studium a hodnocení opatření směřujících ke snížení expozic jednotlivých skupin obyvatelstva, vypracování podkladů pro závazné hygienické normy pro potřeby budoucích pracovišť, vypracování vědeckých podkladů pro stanovení směrnic a pokynů v oblasti ochrany skupin obyvatelstva před účinky ionizujícího záření a mnoho dalších.

V roce 1971 byl Výzkumný ústav hygieny záření společně s Ústavem hygieny práce a chorob z povolání, Ústavem hygieny a Ústavem epidemiologie a mikrobiologie včleněn do jednoho komplexu – Institutu hygieny a epidemiologie (IHE), zabývajícího se výzkumnou a vědeckou činností v hygienicko-epidemiologické oblasti a mnoha dalšími úkoly. V rámci IHE se utvořilo Centrum hygieny záření, které bylo tvořeno 73 pracovníky rozdělenými do čtyř výzkumných skupin: Expozice pracujících a obyvatelstva, Dávka v kritických strukturách, Biologické účinky a Vnitřní kontaminace. Novou oblastí působnosti se v souvislosti s rozvojem výstavby jaderných elektráren v 70. letech stal dozor nad jadernými zařízeními a také radonová problematika, která vyvstala po odhalení vysokých koncentrací radonu v obytných domech, či epidemiologické studie horníků uranových dolů.

K úpravě kompetencí v oblasti mírového využívání jaderné energie došlo v souvislosti s rozdělením České a Slovenské federativní republiky na dva samostatné státy. Zákonem ČNR ze dne 21. 12. 1993 byl na místo dosavadního federálního orgánu Čs. komise pro atomovou energii k 1. 1. 1993 zřízen Státní úřad pro jadernou

bezpečnost jakožto nový ústřední orgán státní správy a dozoru České republiky při mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření.

Úsilí o sloučení dozoru nad jadernou bezpečností a ochranou před zářením do samostatného orgánu státní správy vyústilo k 1. 7. 1995 ve vznik Státního ústavu radiační ochrany.^[3]

2.5.2 Základní jednotky a veličiny

Tabulka 1 Veličiny a jednotky v radiační ochraně^[15]

veličina	označení	jednotka	označení	rozměr
<i>aktivita</i>	A	becquerel	Bq	s ⁻¹
podíl středního počtu radioaktivních přeměn v určitém množství radionuklidu za časový interval a tohoto intervalu				
<i>dávka</i>	D	gray	Gy	J kg ⁻¹
podíl střední sdělené energie, kterou předá ionizující záření látce, a hmotnosti této látky				
<i>expozice</i>	X			C kg ⁻¹
podíl absolutní hodnoty celkového elektrického náboje iontů vzniklých ve vzduchu při zabrzdění všech elektronů a pozitronů uvolněných fotony ve vzduchu a hmotnosti tohoto vzduchu				
<i>kerma</i>	K	gray	Gy	J kg ⁻¹
podíl celkové kinetické energie všech nabitých částic uvolněných nenabitými částicemi v látce a hmotnosti této látky				
<i>ekvivalentní dávka</i>	H _T	sievert	Sv	J kg ⁻¹
součin radiačního váhového faktoru w _R a střední absorbované dávky D _{T,R} v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření R: $H_T = w_R D_{T,R}$				
<i>efektivní dávka</i>	E	sievert	Sv	J kg ⁻¹
součet součinů tkáňových váhových faktorů w _T a ekvivalentní dávky H _T ve všech ozářených tkáních nebo orgánech T pro celotělové ozáření: $E = \sum_T w_T H_T = \sum_{R,T} w_T w_R D_{T,R}$				

2.5.3 Legislativa

Základní normou je zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon), přijatý 24. ledna 1997.^[15]

Mezi nejdůležitější prováděcí předpisy pak patří:

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. (nahrazuje vyhlášku č. 184/1997 Sb.)

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 315/2002 Sb., která upravuje zvláště důležité činnosti a odbornou způsobilost (mění vyhlášku č. 146/1997 Sb.)

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 316/2002 Sb., která upravuje evidenci a kontrolu jaderných materiálů (mění vyhlášku č. 145/1997 Sb.)

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 317/2002 Sb., která upravuje typové schvalování a přepravu radioaktivních materiálů (nahrazuje vyhlášky č. 142 a 143/1997 Sb.)

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 318/2002Sb., o podrobnostech k zajištění havarijní připravenosti jaderných zařízení a pracovišť se zdroji ionizujícího záření (nahrazuje vyhlášku č. 219/1997 Sb.)

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 319/2002 Sb., která upravuje funkce a organizaci celostátní radiační monitorovací sítě

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 419/2002 Sb., o osobních radiačních průkazech

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 214/1997 Sb., o zabezpečování jakosti

2.5.4 Radiační ochrana v nukleární medicíně

2.5.4.1 Uspořádání pracoviště a požadavky na provoz

Oddělení nukleární medicíny je pracovištěm s otevřenými radionuklidovými zříci. Jeho provozní uspořádání a stavební úpravy musí být provedeny tak, aby byla zajištěna dostatečná ochrana pracovníků, pacientů, osob a životního prostředí. Všude tam, kde u pracovníků za běžného provozu může dojít k překročení limitu roční efektivní dávky 6 mSv, nebo k překročení ekvivalentní dávky nad 3/10 ročního limitu pro oční čočku, kůži a končetiny, je vymezeno kontrolované pásmo.

Většina provozů sestává z laboratorní a ambulantní části. Oddělení, kde se provádí i terapie radionuklidy, je doplněno o lůžkovou část.

Laboratorní část slouží k příjmu radioaktivního materiálu, k přípravě a skladování radiofarmak, kontrole jejich kvality a k měření aktivity vzorků biologického materiálu. Pro tyto účely musí být laboratoř vybavena příslušnou přístrojovou technikou, mj. speciálním laminárním boxem pro sterilní přípravu radiofarmak a jejich ředění a boxem pro značení biologického materiálu, hladkými omyvatelnými pracovními povrchy a stěnami, linoleem, čističi vzduchu a sprchou pro případ zevní kontaminace. Laboranti při práci s radioaktivním materiálem používají stínění a další ochranné pomůcky.

V ambulantní části se provádí scintigrafická vyšetření. Vyšetřovny jsou vybaveny scintilačními gamakamerami pro SPECT případně hybridními SPECT/CT přístroji, některá oddělení jsou vybavena moderními přístroji pro PET diagnostiku. Radiofarmaka jsou nemocným podávána v aplikační místnosti.

Lůžková část slouží k hospitalizaci pacientů po aplikaci vysokých terapeutických dávek (nejčastěji aplikace ^{131}I). Tato část oddělení se umísťuje co nejdále od vyšetřoven, aby nedocházelo k ovlivnění detekčních přístrojů a zvýšení radiační zátěže pracovníků. Pokoje jsou 1–3 lůžkové s vlastním příslušenstvím a dbá se na dostatečné odstínění stěn, podlah a stropů. Provoz v této části oddělení podléhá speciálnímu režimu, se kterým je nemocný obeznámen při přijetí na oddělení. Pacienti užívají výhradně ústavní oblečení, a pokud to situace umožní, umísťují se na pokoje jednotlivě. Kontakt mezi nimi a ošetřujícím personálem je omezen jen na dobu nezbytně nutnou. Úklid místnosti se provádí pokud možno v nepřítomnosti pacienta. S kontaminovaným ložním prádlem, ručníky a oblečením se manipuluje v ochranných prostředcích a je s ním nakládáno jako s radioaktivním materiálem.^[9]

2.5.4.2 Monitorování pracoviště

Program monitorování se zavádí na všech pracovištích nukleární medicíny s jednoduchými a významnými zdroji záření. Sestává obvykle ze tří částí: monitorování pracoviště, osobního monitorování a monitorování výpustí. Program monitorování musí vyhovovat požadavkům uvedeným ve vyhlášce č. 307/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů a zahrnuje monitorování běžného provozu, monitorování pro předvídatelné odchylky od běžného provozu i pro případy radiačních nehod.^[15]

2.5.4.3 Radiační ochrana pracovníků a pacientů

Dávka záření, kterou může pracovník obdržet je definována aktivitou, druhem a energií emitovaného záření, dobou expozice a geometrickými podmínkami (vzdáleností, stíněním). Z toho vyplývají i základní způsoby ochrany před ionizujícím zářením, kterými jsou ochrana časem, vzdáleností, stíněním a zabráněním kontaminace, přičemž nejúčinnější je kombinace všech čtyř typů ochrany.^[25]

Ochrana časem předpokládá co nejkratší pobyt v blízkosti zdroje záření (tedy i pacienta), jelikož obdržená dávka je přímo úměrná době expozice. Při přípravě a aplikaci radiofarmak je třeba práci dopředu promyslet a postupovat pokud možno rychle; vhodné je také střídání pracovníků.

Ochrana vzdáleností spočívá v udržování co největšího odstupů od zdroje záření, jelikož záření a dávkový příkon od bodového zdroje ubývají se čtvercem vzdálenosti. Pro manipulaci se zdrojem ionizujícího záření se používají dálkové manipulátory a nástroje – pinzety, kleště a peány. Záříče je třeba držet co nejdále od těla.

Pro ochranu stíněním se podle typu emitovaného záření volí vhodný absorbující materiál, který se vloží mezi zdroj a pracovníka. Pro stínění záření γ se používá materiál s vysokým atomovým číslem, nejčastěji olovo, z něhož se vyrábí také kontejnery pro přepravu a skladování radionuklidů a kryty na injekční stříkačky pro aplikaci radiofarmak. Pro záření β se užívá materiál s nízkým atomovým číslem, například plast, guma a plexisklo, v kombinaci s vrstvou olova. Samotné olověné stínění by totiž vedlo ke vzniku brzděného záření, které je pronikavější než původní záření β .

Ke stavebním účelům se používá beton (případně s příměsí barytu), olověné cihly a olovnaté sklo.^[26]

Specifickým problémem v provozech s otevřenými záříči je riziko povrchové a vnitřní kontaminace pracovníků radioaktivními látkami. Nejzávažnější je kontaminace vnitřní, při níž se radionuklid stává součástí metabolismu a dle svého chemického složení se hromadí v určitých cílových orgánech, jež jsou pak bezprostředně vystaveny účinkům záření. Cestou pro vnitřní kontaminaci je dýchací a zažívací ústrojí či pokožka.^[25] Zásady ochrany pracovníků před vnitřní kontaminací jsou dány platnými předpisy, které příkazují při práci s otevřenými záříči používat osobní ochranné

pomůcky (zástěry, pláště, brýle, rukavice) a ochranné pracovní pomůcky (pinzety, kleště, podávky, kontejnery, kryty na injekční stříkačky). V rizikových provozech je taktéž zakázáno jíst, pít, kouřit, používat bavlněné kapesníky atd. S těkavými radioaktivními látkami je možno pracovat jen ve speciálních prostorách k tomu určených (digestoř, hermetický box).^[26]

Při radiační ochraně pacientů je hlavní zásadou, aby riziko radiačního poškození spojené s lékařským ozářením bylo vyváženo očekávaným zdravotním přínosem. To znamená, že se pro diagnostické a terapeutické účely aplikuje jen takové množství radionuklidu, které zajistí potřebnou diagnostickou informaci nebo stanovený léčebný záměr a současně vystaví pacienta co nejnižší radiační zátěži. Terapeutické dávky se vypočítávají individuálně a odvíjí se od dané diagnózy a požadovaného léčebného efektu. Aktivita všech radiofarmak určených k aplikaci musí být změřena v kalibrovaném scintilačním detektoru; její hodnoty se zapisují a stávají se součástí lékařské dokumentace.^[25]

2.5.4.4 Nakládání s radioaktivním odpadem na oddělení nukleární medicíny

Radioaktivní odpad je materiál kontaminovaný radioaktivními látkami, který již nemá další hodnotné využití. Může být pevný, kapalný nebo plynný. Limity a podmínky pro bezpečnou manipulaci s radioaktivním odpadem definuje vyhláška č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. Dle této vyhlášky je také každý držitel povolení k nakládání s radioaktivními odpady povinen vést a uchovávat provozní záznamy o nakládání s těmito odpady.

V nukleární medicíně se nejčastěji využívá otevřených zářičů s krátkým poločasem rozpadu. Pevný infekční i neinfekční materiál kontaminovaný těmito radionuklidy (injekční stříkačky, jehly, tampóny, buničina, ampule se zbytky radiofarmak) je shromažďován ve vymíracích místnostech a po poklesu aktivity na povolené hodnoty může být bez povolení SÚJB likvidován jako běžný neradioaktivní nemocniční odpad.^[26]

Ložní prádlo z lůžkové části oddělení, které je prostřednictvím potu, moče a slin kontaminováno ¹³¹I, se za použití dekontaminačních prostředků předepírá na pracovišti nukleární medicíny v automatické pračce s odpadem napojeným na vymírací nádrže. Po

předeprání je možné jej odeslat do prádelny nemocnice, pokud dávkový příkon záření γ ve vzdálenosti 1 cm od povrchu prádla je menší než $5 \mu\text{Sv h}^{-1}$. Není-li možné prádlo předpírat, je nutné jej skladovat ve vymírací místnosti do té doby, dokud dávkový příkon ve vzdálenosti 1 cm od povrchu neklesne na tuto požadovanou hodnotu.^[21]

Kontaminovaný tekutý odpad z lůžkové části oddělení nukleární medicíny je sveden do speciálních vymíracích nádrží, kde se po určitou dobu skladuje. Do městské kanalizace je vypuštěn až po poklesu aktivity na uvolňovací úroveň.^[26]

3 Cíl práce a hypotézy

Cílem práce je zjistit závislost objemové aktivity ^{131}I v čističce odpadních vod nemocnice na množství léčebného ^{131}I podaném na oddělení nukleární medicíny a současně také prověřit, zda jsou limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. o radiační ochraně současným systémem nakládání s kapalnými odpady lůžkové části oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice dodržovány.

Stanovila jsem tyto hypotézy:

1. Provozní předpisy a současné programové vybavení technického zařízení sloužící k automatickému vypouštění odpadních vod z lůžkové části oddělení nukleární medicíny jsou dostačující k tomu, aby limity dané vyhláškou nebyly překročeny.
2. Hodnoty objemové aktivity odpadních vod ve vypouštěcí nádrži nemocniční čističky odpadních vod odpovídají aktivitě radiofarmaka podaného pacientům léčeným na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice.

4 Metodika

4.1 *Nakládání s kapalným radioaktivním odpadem na Oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice*

Léčebné aplikace ^{131}I u karcinomu štítné žlázy lze provádět jen na lůžkových odděleních zdravotnických zařízení za podmínek stanovených v § 65 vyhlášky č. 307/2002 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Přístrojové i personální vybavení pracoviště musí odpovídat Národním radiologickým standardům.

^{131}I podávaný nemocným při léčbě onemocnění štítné žlázy je smíšeným β a γ zářičem a je zdrojem radiační zátěže pro personál nemocnice i pro případné jedince z obyvatelstva. Dochází k jeho vylučování z organismu močí, stolicí a potem a tím ke kontaminaci tekutého i pevného odpadu. Tekutý odpad z lůžkového oddělení nukleární medicíny je možné vypouštět do kanalizace až po poklesu radioaktivity na zákonem stanovenou úroveň. K tomuto účelu slouží tzv. vymírací nádrže umístěné ve sklepních prostorách budovy.



Obrázek 3 Vymírací nádrže oddělení nukleární medicíny

Zaměstnanci oddělení se řídí radiologickými standardy zpracovanými vedoucími pracovníky na podkladě platné legislativy. Oddělení nukleární medicíny disponuje třemi vymíracími nádržemi o obsahu 3 m³, jež jsou používány v třítydenním cyklu. Nemocným je radiofarmakum aplikováno obvykle o víkendu a v době od soboty do pátku je odpad z oddělení shromažďován vždy v jedné vymírací nádrži. Druhý týden je ponechán v nádrži a vlivem postupného rozpadu ¹³¹I dochází ke snižování radioaktivity obsahu nádrže. V průběhu třetího týdne počínaje pondělím se pak tato nádrž postupně 3× denně po dobu 5 dnů vypouští kanalizací do sedimentační nádrže nemocniční čističky odpadních vod. Radioaktivita odpadu se kontroluje po následném přepuštění odpadu do vypouštěcí nádrže před jeho uvolněním do městské kanalizace.



Obrázek 4 Řídicí jednotka systému vymíracích nádrží

Radioaktivita odpadu v čističce závisí samozřejmě na radioaktivitě ¹³¹I podaného nemocným hospitalizovaným na oddělení v průběhu léčby, závisí ovšem také na jeho

zředění ostatním odpadem z oddělení nukleární medicíny. Vzhledem k tomu, že spotřeba vody v nemocnici je poměrně stálá, lze předpokládat, že významnější vliv na radioaktivitu odpadu bude mít spíše počasí, resp. množství srážkové vody ze střech budov a pozemků nemocnice svedené do nemocniční čističky. Data získaná pravidelným měřením aktivity odpadů se zapisují a archivují.

4.2 Vlastní metodika měření

Pro účely této práce budu jednou týdně po dobu dvou měsíců měřit aktivitu odpadu ve vypouštěcí nádrži nemocniční čističky odpadních vod. Jeho radioaktivita nesmí překročit hodnotu 455 Bq l^{-1} . Pro tento účel je na pracovišti k dispozici studnový krystal SW1SU04 s detektorem NKQ 312E a analyzátor MC 1256. Metodika měření je zpracována v Programu monitorování ONM Nemocnice České Budějovice.^[19]



Obrázek 5 Studnový krystal SW1SU04

Vlastní měření probíhá následovně: Nejprve zjistím radioaktivitu pozadí s použitím prázdné lahvičky určené k měření. Provedu čtyři měření a vypočtu průměrnou hodnotu. Dále kalibruji měřicí soustavu etalonem o objemu 250 ml. V praxi postačí kalibrovat měřicí soustavu jednou ročně, pokud nedošlo k nějaké změně či opravě. Poté provedu opět čtyři měření, nyní již se vzorkem odebraným z vypouštěcí nádrže čističky odpadních vod a z těchto údajů vypočtu průměrnou hodnotu. Po odečtu aktivity pozadí získám čistý počet impulzů vzorku a za pomoci dat získaných měřením etalonu vypočtu jeho radioaktivitu. Po následném převedení na množství 1 litru získám hledanou hodnotu.



Obrázek 6 Ovládací panel detektoru impulzů

Tímto postupem získám sadu dat, představující hodnoty objemové aktivity odpadu ve vypouštěcí nádrži čističky odpadních vod pro jednotlivé týdny zkoumaného časového období. Porovnáním získaných hodnot s uvolňovací úrovně aktivity pro ^{131}I ověřím, zda je tento limit stanovený vyhláškou č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. o radiační ochraně současným systémem nakládání s kapalnými odpady lůžkové části Oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice dodržován.

Dále pak zaznamenám radioaktivitu dávek radiofarmak podaných nemocným k léčbě štítné žlázy v příslušném období, a to s ohledem na třítydenní posun vlivem zpoždění průchodu odpadu vymíracími nádržemi.



Obrázek 7 Čistička odpadních vod

Získané výsledky přehledně uspořádám do tabulek a vyhotovím graf, s jehož pomocí posoudím závislost objemové aktivity odpadu na aktivitě radiofarmaka podaného nemocným a potvrdím či vyvrátím druhou hypotézu práce.

5 Výsledky

V době od 21. 1. 2013 do 25. 3. 2013 jsem zaznamenávala aktivitu radiofarmaka aplikovaného nemocným a měřila objemovou aktivitu odpadních vod ve vypouštěcí nádrži čističky.

Hodnoty radioaktivity ve vypouštěcí nádrži čističky odpadních vod jsou uvedeny v následující tabulce:

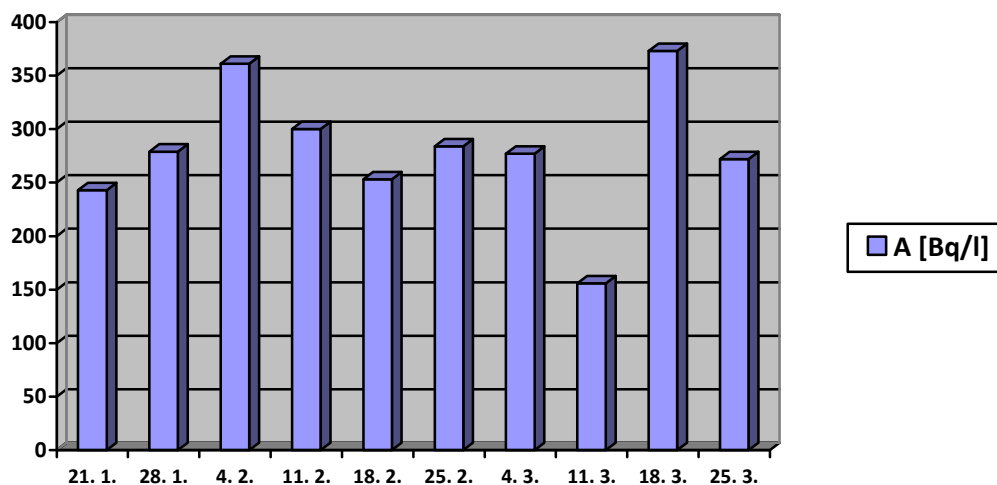
Tabulka 2 Hodnoty radioaktivity ve vypouštěcí nádrži čističky odpadních vod

Datum měření	Naměřená objemová aktivita [Bq l^{-1}]
21. 1.	243
28. 1.	279
4. 2.	361
11. 2.	300
18. 2.	253
25. 2.	284
4. 3.	277
11. 3.	156
18. 3.	373
25. 3.	272
Průměr	279,8
Směrodatná odchylka	57,6

Ze získaných hodnot je zřejmé, že ve sledovaném období nedošlo v žádném týdnu k překročení zákonem stanovené uvolňovací aktivity 455 Bq l^{-1} .

Potvrzuje se první hypotéza práce, že provozní předpisy a současné programové vybavení technického zařízení sloužící k automatickému vypouštění odpadních vod z lůžkové části oddělení nukleární medicíny jsou dostačující k tomu, aby limity dané vyhláškou nebyly překročeny.

Hodnoty naměřené objemové aktivity jsou přehledně znázorněny v následujícím grafu:



Graf 1 Hodnoty radioaktivity ve vypouštěcí nádrži čističky odpadních vod

Dále jsem posoudila korelaci aplikované radioaktivity a aktivity v nádrži čističky odpadních vod po průchodu vymíracími nádržemi. Hodnoty radioaktivit aplikovaného radiofarmaka jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 3 Hodnoty aktivity aplikovaných radiofarmak

Datum podání radiofarmak	Aplikovaná aktivita [GBq]			Celková apl. aktivita [GBq]
30. 12	2,17			2,17
6. 1.	3,25	1,34		4,59
13. 1.	6,69			6,69
20. 1.	0,228	2,656	2,6	5,484
27. 1.	3,590			3,590
3. 2	5,280			5,280
10. 2	4,450			4,450
17. 2.	0,476	0,597	4,620	5,693
24. 2.	1,750	4,390		6,140
3. 3.	0,358	5,280		5,638
Průměr				4,972
Směrodatná odchylka				1,258

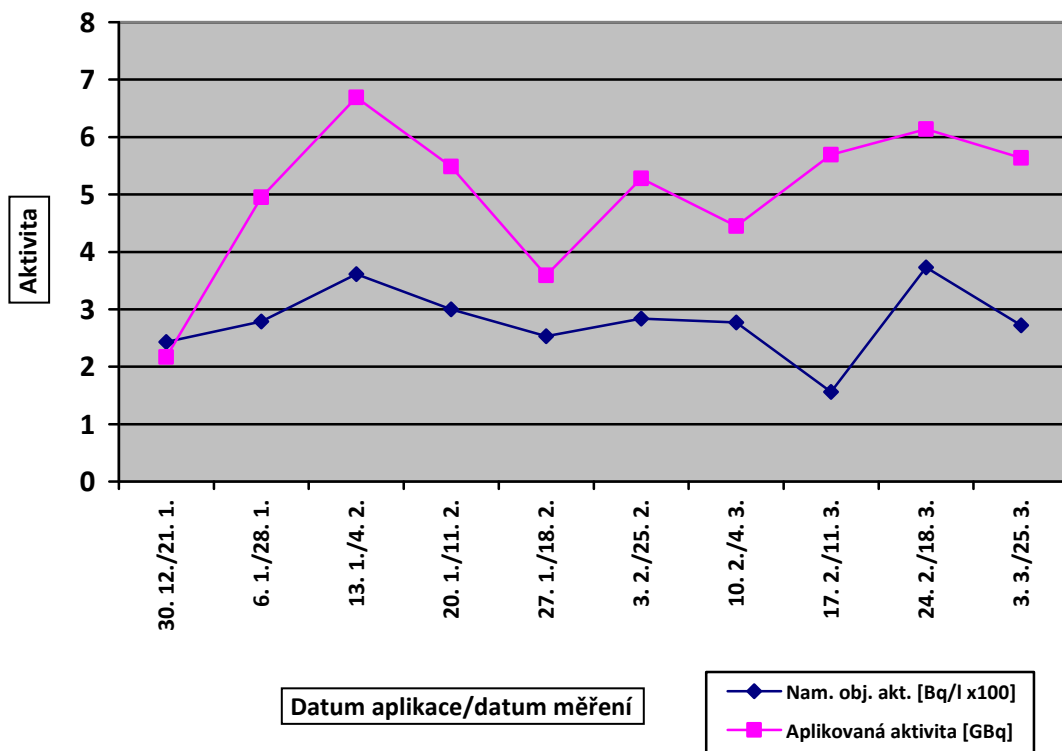
Vzhledem k tomu, že odpad prochází vymíracími nádržemi vždy v třítydenním cyklu, je třeba srovnávat aplikovanou dávku s aktivitou naměřenou ve vypouštěcí nádrži čističky právě v tomto časovém odstupu. Takto uspořádané hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 4 Srovnání aplikované dávky a aktivity v čističce odpadních vod

Datum měření	Celková aplikovaná aktivita [GBq]	Naměřená objemová aktivita [Bq ^l ⁻¹]
21. 1.	2,17	243
28. 1.	4,59	279
4. 2.	6,69	361
11. 2.	5,484	300
18. 2.	3,590	253
25. 2.	5,280	284
4. 3.	4,450	277
11. 3.	5,693	156
18. 3.	6,140	373
25. 3.	5,638	272
Průměr	4,972	279,8

Je zřejmé, že změny aktivity odpadních vod musí korelovat s aktivitou radiofarmak podaných nemocným za předpokladu, že do procesu nevstupují žádné další faktory. Pokud vyloučíme změny v řízení systému vymíracích nádrží, mohly by být takovým faktorem například dešťové srážky pronikající do vypouštěcí nádrže, případně kolísání odběru vody v nemocnici.

Pro posouzení závislosti aktivity odpadních vod na aktivitě radiofarmaka podaného nemocným na oddělení jsem vynesla naměřené hodnoty do grafu. Na vodorovné ose je vynesena datum měření aktivity v čističce a datum odpovídající aplikaci radiofarmaka v příslušném časovém odstupu, na svislé ose pak aktivita v Bq. Vzhledem k odlišným řádům hodnot jsou pro snazší srovnání hodnoty objemové aktivity odpadních vod zobrazeny v měřítku.



Graf 2 Závislost aktivity odpadních vod na celkové aktivitě podaného radiofarmaka

Z grafu je patrná poměrně dobrá korelace měřených hodnot v čase. Lze tedy považovat za prokázanou i druhou hypotézu práce, totiž že hodnoty objemové aktivity odpadních vod ve vypouštěcí nádrži nemocniční čističky odpadních vod odpovídají aktivitě radiofarmaka podaného pacientům.

6 Diskuze

6.1 Diskuze k metodice

Ve své bakalářské práci jsem vycházela z Programu monitorování Oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice. Program je dle zákona schválen Státním úřadem pro jadernou bezpečnost a nelze jej měnit. Pro účel této práce, resp. pro možnost zjištění závislosti objemové aktivity ^{131}I v čističce odpadních vod nemocnice na množství léčebného ^{131}I podaném na oddělení nukleární medicíny, jsem pouze zkrátila interval mezi měřeními z obvyklých čtrnácti dnů na jeden týden tak, aby odpovídal týdennímu cyklu podávání radiofarmak na oddělení.

Podařilo se prokázat korelaci mezi podanou aktivitou a objemovou aktivitou odpadu. Lze tak usuzovat na skutečnost, že do procesu nezasahují nahodilé jevy např. v podobě fluktuací ve spotřebě vody či v podobě dešťových srážek. Je třeba však upozornit, že z technických důvodů nebylo možné ani spotřebu vody ani množství dešťových srážek měřit.

6.2 Diskuze k řešení nakládání s odpady

Vzhledem k tématu práce jsem se rozhodla ještě porovnat způsob nakládání s tekutým odpadem na jiných pracovištích nukleární medicíny s léčbou radiojódem, ačkoli vlastní způsob řešení nakládání s tekutými odpady na pracovištích nebyl tématem práce. Toto porovnání však umožní sledovat závislost na podávané radioaktivitě, resp. na počtu léčených pacientů a potřebné kapacitě vymíracích nádrží instalovaných na pracovišti.

Pro srovnání uvádím řešení nakládání s tekutým odpadem na Klinice nukleární medicíny Fakultní nemocnice Olomouc^[8] a na Klinice nukleární medicíny a endokrinologie Fakultní nemocnice Motol,^[7] které jsem oslovila formou elektronické korespondence se žádostí o zaslání informací.

Na Klinice nukleární medicíny Fakultní nemocnice Olomouc se, stejně jako na Oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích, provádí léčba pouze izotopem

¹³¹I. Vzhledem k tomu, že ani zde se neprovádí léčba jiným radioizotopem s jiným poločasem rozpadu, je možné přímo porovnávat dosažené výsledky.

Odpadní voda z lůžkové části kliniky nukleární medicíny se odvádí přímo do přečerpávací nádrže čističky (odděleně od odpadní vody z ambulantní a laboratorní části) a odtud do jedné z osmi vymíracích nádrží o celkovém objemu 25 m³. Zde je pracovníky čističky odpadních vod orientačně průběžně monitorována Geiger-Müllerovými počítači. Poklesne-li dostatečně aktivita odpadní vody ve vymírací nádrži po 60–90 dnech skladování, přečerpá se do kontrolní a měřicí nádrže, v níž se provádí na základě odebraných vzorků přesné monitorování objemové aktivity odpadní vody znečištěné ¹³¹I. Toto měření se provádí dle potřeby, uvolňovací úroveň je 455 Bq l⁻¹.

Hodnoty objemové aktivity vypouštěné do městské kanalizace ve srovnatelném období jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 5 Hodnoty objemové aktivity vypouštěné do městské kanalizace

Datum měření	Objemová aktivita [Bq ml ⁻¹]
8. 1. 2013	0,00
18. 1. 2013	0,03
21. 2. 2013	0,01
2. 4. 2013	0,00

Hodnoty aktivity aplikovaného ¹³¹I jsou uvedeny v následující tabulce. Radiofarmaka jsou na klinice v Olomouci, na rozdíl od Oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích, aplikována obvykle v úterý a ve čtvrtek.

Tabulka 6 Hodnoty aktivity aplikovaných radiofarmak

Datum aplikace	Aplikovaná radioaktivita [GBq]
9. 1. 2013	18,9
10. 1. 2013	1,0
15. 1. 2013	4,9
16. 1. 2013	0,2
17. 1. 2013	0,9
22. 1. 2013	19,9

24. 1. 2013	2,0
29. 1. 2013	12,0
5. 2. 2013	11,8
7. 2. 2013	0,9
14. 2. 2013	1,1
19. 2. 2013	3,8
20. 2. 2013	0,3
21. 2. 2013	1,0
26. 2. 2013	3,9
28. 2. 2013	1,0
5. 3. 2013	20,5
7. 3. 2013	0,8
19. 3. 2013	23,1
21. 3. 2013	0,8
26. 3. 2013	7,9
28. 3. 2013	0,7

Ze srovnání vyplývá, že při zhruba dvojnásobných hodnotách aplikované radioaktivity ve srovnatelném období je radioaktivita odpadu vypouštěného do veřejné kanalizace nižší, ovšem za cenu prakticky trojnásobného objemu vymíracích nádrží, které umožňují zadržet odpad na 60–90 dnů.

Na Klinice nukleární medicíny a endokrinologie FN Motol se užívá k léčbě štítné žlázy, metastáz nádorů štítné žlázy a k léčbě neuroblastomů a chromocytomů také radioizotop ^{131}I . I v tomto případě je tedy možné přímé srovnání použitého řešení. Na oddělení je instalováno 9 jímek po 18 m^3 , které jsou vypouštěny dle možnosti přibližně po 3 týdnech při poklesu aktivity na 400 Bq l^{-1} . Měření aktivity se provádí průběžně. Měsíční aplikovaná aktivita radiofarmak je v Motole nejvyšší ze všech srovnávaných pracovišť (aplikovaná aktivita v listopadu 2012 přibližně 240–250 GBq), tomu pak také odpovídá poměrně velký objem vymíracích nádrží instalovaných na pracovišti.

Ze skutečností zjištěných dotazováním na výše zmíněných pracovištích je zřejmé, že Oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích patří množstvím léčených

pacientů k menším pracovištím, čemuž také odpovídá poměrně nízká potřebná kapacita vymíracích nádrží ve srovnání s ostatními oslovenými pracovišti.

7 Závěr

V teoretické části bakalářské práce jsem popsala základy anatomie a patologie štítné žlázy, základní způsoby léčby štítné žlázy radiojódem a v samostatné kapitole jsem se věnovala ochraně zdraví pracovníků oddělení, ale i pacientů a obyvatelstva.

V praktické části práce jsem po dobu deseti týdnů měřila radioaktivitu odpadů v nemocniční čističce odpadních vod. Získané hodnoty jsem srovnala s aktivitami radiofarmak aplikovaných jednotlivým pacientům na oddělení NM. Podařilo se mi prokázat korelaci hodnot aktivity v čističce odpadních vod s aktivitou podaných radiofarmak a tím i skutečnost, že do procesu nezasahují vlivy ve formě např. dešťových srážek nebo výkyvů ve spotřebě užitkové vody v nemocnici. Současně se podařilo prokázat, že hodnoty aktivity odpadních vod nepřekračují povolenou úroveň pro uvádění radionuklidů do životního prostředí. Podařilo se tak prokázat obě hypotézy práce.

Ve své práci jsem prokázala, že limity stanovené vyhláškou č. 307/2002 Sb. ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. o radiační ochraně jsou současným systémem nakládání s kapalnými odpady lůžkové části Oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice dodržovány.

8 Literatura

- [1] ANDRYSEK, O., ZÁMEČNÍK, J. *Radioizotopové metody*. 1. vydání. Praha: Avicenum, 1972. 308 s.
- [2] BAKOS, K., HUŠÁK, V. *Nukleární medicína*. 1. vydání. Praha: Avicenum, 1985. 296 s.
- [3] DRÁBKOVÁ, Alena, a kol. *Historie radiační ochrany v ČR*. Praha: Státní ústav radiační ochrany, 2006. 84 s. ISBN 80-239-6594-8
- [4] DYLEVSKÝ, Ivan. *Somatologie*. 2. vydání. Olomouc: Epava, 2000. 480 s. ISBN 80- 86297- 05-5
- [5] JISKRA, Jan. *Zvýšená činnost štítné žlázy – tyreotoxikóza (hypertyreóza)*. Dostupné online: <http://endokrinologie-obezitologie.cz/cs/clanky/tema1/zvysena-cinnost-stitne-zlazy-tyreotoxikoza-hypertyreoza/> Cit. 2013-03-30
- [6] KC Solid. *Výrobky pro nukleární medicínu a in vitro diagnostiku*. Dostupné online: http://www.kcsolid.cz/zdravotnictvi/menu_nabidka_nuklearni.php. Cit 2013-03-28
- [7] KNME FN Motol. *Elektronická korespondence*
- [8] KNM FN Olomouc. *Elektronická korespondence*
- [9] KOL. KLINIKY NM. *Metodologické základy nukleární medicíny*. Praha: Klinika NM, Šrobárova ul., Praha. Dostupné online: <http://old.lf3.cuni.cz/nuklearnimedicina/scriptai.htm>. Cit. 2013-04-06
- [10] KOL. *Nové universum*. Praha: Euromedia Group, k. s., 2003. 1 303 s. ISBN 80-242-1069-X
- [11] KOL. *The Endocrine System*. Dostupné online: <http://antranik.org/the-endocrine-system> Cit. 2013-04-06
- [12] KORANDA, Pavel; MYSLIVEČEK, Miroslav; HUŠÁK, Václav. *Nukleární medicína v endokrinologii*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2002. 36 s. ISBN 80-244-0415-X

- [13] LADECKÝ, Roman, a kol. *Endokrinní systém*. Dostupné online:
<http://www.endokrinni-system.cz>, cit. 2013-02-25
- [14] LÍMANOVÁ, Zdeňka, NĚMEC, Jan, ZAMRAZIL, Václav. *Nemoci štítné žlázy*.
Praha: Galén, 1995. 1. vyd. 197 s. ISBN-8085824256
- [15] MATZNER, Jan. *Radiační ochrana. Studijní texty*. Vlastní náklad, 2008
- [16] MOUREK, Jindřich, *Fyziologie – učebnice pro studenty zdravotnických oborů*.
Praha: Grada Publishing, a. s., 2005. 204 s. ISBN 978-80-247-1190-4
- [17] *Místní radiologický standard – Terapie benigních onemocnění štítné žlázy*. České
Budějovice: Nemocnice České Budějovice, a.s., 2010. 2 s.
- [18] NAVRÁTIL, L., a kol. *Vnitřní lékařství pro nelékařské fakulty*. Praha: Manus,
2003. 316 s. ISBN 80-86571-02-5
- [19] NEMOCNICE ČB. *Program monitorování*. Nemocnice České Budějovice, a.s.
- [20] PHARMACEUTICALS.COVIDIEN. *Sodium Iodide I 131 Therapeutic Capsules*.
Covidien, 2012. Dostupné online:
<http://pharmaceuticals.covidien.com/webforms/threecolumn.aspx?id=604&taxid=130>, cit. 2012-12-13
- [21] SÚJB. *Požadavky SÚJB při provádění terapie onemocnění štítné žlázy radiojódem na pracovištích nukleární medicíny*. Praha, březen 2000
- [22] SÚJB. *Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb.*
- [23] SÚKL. *Internetové stránky*. Dostupné online: <http://www.sukl.cz>
- [24] SÚRO. *Radiační ochrana; historie*. Dostupné online:
<http://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/historie>. Cit. 2013-04-05
- [25] ULLMANN, Vojtěch, et al. *Radiační ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření v nukleární medicíně*. Dostupné online:
<http://astronuklfyzika.cz/RadOchrana.htm>. Cit. 2013-04-05
- [26] URBÁNEK, Jan, et al. *Nukleární medicína*. 4. upravené a doplněné vydání.
Jilemnice: Gentiana, 2002. 154 s. ISBN 80-86527-05-0