

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Jaroslav Rieger

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií

Radionuklidová terapie hyperfunkce štítné žlázy. Úloha radiologického asistenta

Bakalářská práce

2022

Jaroslav Rieger

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií  
Akademický rok: 2020/2021

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jaroslav Rieger**  
Osobní číslo: **Z19435**  
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**  
Studijní obor: **Radiologický asistent**  
Téma práce: **Radionuklidová terapie hyperfunkce štítné žlázy – Úloha radiologického asistenta**  
Téma práce anglicky: **Radionuclide therapy of thyroid gland – The role of a radiological assistant**  
Zadávající katedra: **Katedra klinických oborů**

## Zásady pro vypracování

1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

AHMADZADEHFAR, Hojjat, Hans-Jürgen BIERACK, Leonard M. FREEMAN a Lionel S. ZUCKIER. *Clinical Nuclear Medicine*. 2nd ed. New York City: Springer International Publishing, 2020. ISBN 9783030394578.

HAVRÁNKOVÁ, Renata, ed. *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 9788024740980

IGAZ, Peter. *Practical Clinical Endocrinology*. New York City: Springer, 2021. ISBN 9783030620103.

KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 9788027101689.

POWSNER, Rachel A., Matthew R. PALMER a Edward R. POWSNER. *Essentials of Nuclear Medicine Physics, Instrumentation, and Radiation Biology*. 4th ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2022. ISBN 9781119620990.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. MUDr. Jiří Doležal, Ph.D.**  
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. dubna 2022**

L.S.

**doc. Ing. Jana Holá, Ph.D.** v.r.  
děkanka

**Mgr. Jan Pospíchal, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 14. března 2022

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA**

Prohlašuji:

Práci s názvem radionuklidová terapie hyperfunkce štítné žlázy – úloha radiologického asistenta jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 28.04.2022

Jaroslav Rieger v. r.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce, doc. MUDr. Jiřímu Doležalovi Ph.D. za cenné rady a pomoc a také za trpělivost a ochotu při vedení práce. Také bych rád poděkoval celé mé rodině a přátelům, kteří mi pomáhali a podporovali během celého studia i při psaní bakalářské práce.

## **ANOTACE**

Tato práce pojednává o štítné žláze, její anatomii včetně fyziologie a patofyziologie. Zabývá se taktéž scintigrafií štítné žlázy na oddělení nukleární medicíny a následné radionuklidové léčby. V neposlední řadě také pojednává o důležitě radiační ochraně.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

štítná žláza, nukleární medicína, radiační ochrana, radioterapie

## **TITLE**

Radionuclide therapy of thyroid gland. The role of the radiological assistant.

## **ANNOTATION**

This thesis discusses the thyroid gland its anatomy including physiology and pathophysiology. It also deals with thyroid gland scintigraphy in the department of nuclear medicine and subsequent radionuclide treatment. Last but not least it deals about important radiation protection.

## **KEYWORDS**

Thyroid gland, nuclear medicine, radiation protection, radiotherapy

# OBSAH

Úvod.....	11
1 Cíle a metody práce .....	12
1.1 Cíl práce .....	12
2 Teoretická část .....	13
2.1 Radiologický asistent .....	13
2.2 Nukleární medicína .....	14
2.2.1 Zobrazovací metody nukleární medicíny .....	15
2.3 Štítná žláza .....	17
2.3.1 Anatomie štítné žlázy.....	17
2.3.2 Fyziologie štítné žlázy .....	19
2.3.3 Patofyziologie štítné žlázy .....	20
2.4 Radionuklidy .....	26
2.4.1 Zdroje radionuklidů .....	26
2.5 Radiofarmaka .....	28
2.5.1 Charakteristika radiofarmak .....	28
2.5.2 Lékové formy radiofarmak .....	28
2.5.3 Kontrola kvality radiofarmak.....	29
2.6 Radiojód <sup>131</sup> I.....	30
2.6.1 Terapie radiojódem .....	30
2.6.2 Kontraindikace.....	31
2.6.3 Negativní účinky a komplikace během léčby .....	31
2.6.4 Pacienti po léčbě radiojódem .....	32
2.7 Radiační ochrana.....	32
2.7.1 Principy radiační ochrany .....	33
2.7.2 Limity pro ozáření .....	33
2.7.3 Ochrana před zářením .....	34



3	praktická část .....	36
3.1	Příprava pacienta a edukace .....	36
3.2	Akumulační test .....	37
3.3	Scintigrafie štítné žlázy .....	38
3.4	Terapie <sup>131</sup> I .....	43
4	Diskuze .....	45
5	Závěr .....	47
6	Použitá literatura .....	49
6.1	Primární zdroje .....	49
6.2	Sekundární zdroje .....	49
6.3	Odborné články .....	50
6.4	Internetové zdroje .....	50
7	Přílohy .....	51

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 Anatomie štítné žlázy (stítnazlaza.estranky [online], 2013) .....	18
Obrázek 2 Zvětšení štítné žlázy (Zdravi.Euro [online], 2020) .....	21
Obrázek 3 Výroba radionuklidů v jaderném reaktoru (Astronuklfyzika [online], 2015).....	27
Obrázek 4 Fantom (vlastní zdroj) .....	37
Obrázek 5 Jednofotonásobičový multikanálový analyzátor (vlastní zdroj).....	38
Obrázek 6 Stínící obaly injekčních stříkaček (vlastní zdroj) .....	39
Obrázek 7 Popisky lepící se na stříkačky s radiofarmakem (vlastní zdroj).....	39
Obrázek 8 Digestoř pro přípravu radiofarmak (vlastní zdroj) .....	40
Obrázek 9 Počítač s připravený protokolem na vyšetření (vlastní zdroj).....	41
Obrázek 10 Vyšetřovací stůl a gamakamera s pin hole detektorem (vlastní zdroj) .....	42
Obrázek 11 Detailnější snímek pin hole detektoru (vlastní zdroj) .....	42
Obrázek 12 Výsledný scintigram tyreotoxikózy (vlastní zdroj).....	43
Obrázek 13 Výsledný scintigram po tyreoidektomii (vlastní zdroj).....	43

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

Bq	Becquerel
CT	Computed tomography
<sup>131</sup> I	Radiojód
NM	Nukleární medicína
PET	Positron emission tomography
PET/CT	Positron emission tomography – computerised tomography
PET/MRI	Positron emission tomography – magnetic resonance imaging
RF	Radiofarmakum
SPECT	Single photon emission computerised tomography
SPECT/CT	Single photon emission computerised tomography – computerised tomography
T3	Tyroxin
T4	Trijodtyronin
TRH	Tyreotropin stimulující hormon
TSH	Tyreoidu stimulující hormon
WHO	World Health Organisation
eV	Elektronvolt
α	alfa
β	beta
γ	gama

## ÚVOD

Radiologickým asistentem se student stává po úspěšném absolvování akreditovaného bakalářského studia studijního oboru radiologický asistent. Po ukončení studia může absolvent najít uplatnění na celkem třech různých odděleních, tj. nukleární medicína, radioterapie a radiodiagnostika. Každé pracoviště má své vlastní pravidla a specifika, která je nutné dodržovat.

Na oddělení nukleární medicíny je náplní radiologického asistenta provádět různé scintigrafické zobrazování včetně přípravy a asistence při aplikaci radiofarmak do těl pacientů. Díky této skutečnosti je právě na tomto oddělení radiologický asistent vystaven největšímu množství ionizujícího záření

Práce na oddělení radioterapie zahrnuje přímé ozařování pacientů, a tudíž se s pacientem setkává asistentem dlouhodobě a pravidelně. Radiologický asistent je především zodpovědný za precizní provedení ozáření dané oblasti. Dále zajišťuje správné uložení pacienta na ozařovací stůl, obsluhu lineárního urychlovače a také se podílí na plánování radioterapie na simulátorech ozáření.

Oddělení radiodiagnostiky je bezpochyby nejrozmanitějším pracovištěm, neboť může pracovat nejen na běžných snímkových, kde se tvoří rentgenové obrázky, nýbrž se může dostat po dokončení dané atestace k práci s přístroji jako je CT, skiaskopický přístroj, magnetická rezonance, nebo mamograf. Na tomto oddělení asistent zajišťuje vlastní diagnostické vyšetření a získává z něj obrazové dokumentace.

Má bakalářská práce se zabývá radionuklidovou terapií hyperfunkcí štítné žlázy a úlohu radiologického asistenta během tohoto vyšetření. Toto téma pro mě je velmi blízké, neboť sám trpím tímto onemocněním, naštěstí v mírné formě, a tudíž je pro mě tato práce velmi zajímavým prohloubením znalostí o tomto onemocnění. V teoretické části je nejdříve přiblíženo pracoviště nukleární medicíny a jaké zobrazovací metody se zde vykonávají. Následuje anatomický popis štítné žlázy včetně fyziologie a patofyziologie. V dalších částech jsou popsány radionuklidy a radiofarmaka a také důležitý radiojód. Konec teoretické části je věnován také velmi důležité radiační ochraně. V praktické části je pak následně popsána scintigrafie štítné žlázy, následná radionuklidová terapie a jaká je úloha radiologického asistenta.

# **1 CÍLE A METODY PRÁCE**

## **1.1 Cíl práce**

Cílem mé bakalářské práce je na základě studia odborné literatury shrnout informace o štítné žláze a předat informace o jejích onemocnění.

Cílem praktické části bakalářské práce je popsat průběh scintigrafického vyšetření štítné žlázy, následnou radionuklidovou terapii, a to z pohledu radiologického asistenta a jeho práci při vyšetření.

## **2 TEORETICKÁ ČÁST**

### **2.1 Radiologický asistent**

Dle *Zákona o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činnosti souvisejících s poskytováním zdravotní péče a o změně některých související zákonů*, konkrétně Předpisu 94/2004 Sb., § 8, se za výkon povolání radiologického asistenta považuje zejména provádění radiologických zobrazovacích i kvantitativních postupů, léčebné aplikace ionizujícího záření a specifické ošetrovatelské péče poskytované v souvislosti s radiologickými výkony.

Dle tohoto zákona se odborná způsobilost k výkonu povolání radiologický asistent získává absolvováním následujících studií.

- a) akreditovaného zdravotnického bakalářského studijního oboru pro přípravu radiologických asistentů,*
- b) tříletého studia v oboru diplomovaný radiologický asistent na vyšších zdravotnických školách, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 2004/2005, nebo*
- c) střední zdravotnické školy v oboru radiologický laborant, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 1996/1997 (Atomový zákon) (Zákon č. 96/2004 Sb.).*

## 2.2 Nukleární medicína

Nukleární medicína (NM) je lékařský obor, jenž využívá otevřených radionuklidových zářičů, zaváděných do těl pacientů, k diagnostice a terapii chorob. Nejčastěji používaná radionuklidy v tomto oboru je bezesporu metastabilní technecium  $^{99m}\text{Tc}$  s poločasem rozpadu cca 6 hodin. Dále se také často využívá  $^{123}\text{I}$ ,  $^{131}\text{I}$   $^{201}\text{Th}$ . Jedná se o nenahraditelnou součásti léčebné preventivní péče. Diagnostické metody NM lze rozdělit na 2 části *in vivo* a *in vitro* (Ahmadzadehfar a kol., 2020).

*In vivo* znamená, že se do těla pacienta aplikuje příslušné radiofarmakum (RF) převážně intravenózní (i.v.) cestou. Při těchto vyšetřeních se používají radionuklidy, které emitují během svých přeměn elektromagnetické záření, a to charakteristické rentgenové záření, záření gama ( $\gamma$ ) a také záření, jenž vzniklo během anihilace pozitronů. Toto záření je velmi pronikavé, a proto se v těle absorbuje pouze z malé části. Díky této skutečnosti se toto záření zachytává pomocí vnějších detektorů umístěných na přístrojích. Při scintigrafickém vyšetření se sledují a hodnotí fyziologické a patologické procesy v těle pacienta. Následně se určuje uložení patologických ložisek ze získaného obrazu díky distribuci RF v těle pacienta. Při terapii se využívá právě ty RF, které emitují částice s krátkým dosahem v tkáni. Jedná se o částice beta minus ( $\beta^-$ ) a částice alfa ( $\alpha$ ). Cílem této metody je co nejvíce ozářit patologické tkáně a zároveň se co nejvíce vyhnout ozařování tkáně zdravé. Je důležité odlišit rozdíly mezi klasickou terapií a terapií prováděnou na oddělení NM. Při klasické terapii se totiž používají nejčastěji radionuklidy ve formě uzavřených zářičů nebo svazky brzděného záření, elektronové či protonové svazky (Ahmadzadehfar a kol., 2020).

Metoda vyšetření *in vitro* obsahuje radioimunoanalytické metody určené ke stanovení koncentrace látek v tělních tekutinách. Pomocí velice citlivých technik je vyšetřován biologický materiál, který je odebrán pacientovi, aniž by sám musel být ve styku se zářením anebo se zářiči (Ahmadzadehfar a kol., 2020).

Zobrazovací metody NM dokážou velmi přesně poskytnout informace o funkci orgánů, průběhu fyziologických, patologických dějů a charakteru tkání, nicméně již nejsou vhodné pro zobrazení detailů anatomických struktur. Využívá se ale hybridních přístrojů, které jsou kombinací nukleárního, tomografického a rentgenového přístroje. Jedná se o PET/CT (positron emission tomography – computerised tomography, pozitronová emisní tomografie – počítačová tomografie), u SPECT/CT (single photon emission computerised tomography – computerised tomography, jednofotonová emisní výpočetní tomografie – výpočetní tomografie) a PET/MRI

(positron emission tomography – magnetic resonance imaging, pozitronová emisní tomografie – magnetická rezonance). Tyto přístroje dokáží pomocí fúze vytvořit anatomicko-funkční obraz, jenž slouží k mnohem přesnějšímu měření výsledků vyšetření (Ahmadzadehfar a kol., 2020).

## **2.2.1 Zobrazovací metody nukleární medicíny**

### **2.2.1.1 Scintigrafie**

Scintigrafie je diagnostická metoda používaná v nukleární medicíně. Tato metoda funguje tak, že snímá záření gama, které je emitované z orgánů po podání radiofarmaka pomocí tzv. gamakamery. Scintigrafické zobrazovací metody dělíme na planární a tomografické. Tomografické zobrazovací systémy umožňují sledovat trojrozměrné obrazy tělesných struktur pomocí metody SPECT (Single-Photon Emission Computerised Tomography – jednofotonová emisní výpočetní tomografie) nebo PET (Positron emission tomography – pozitronová emisní tomografie). Planární zobrazovací systémy se dále dělí na statickou a dynamickou scintigrafii a jsou založené na detekci záření a jeho následného převedení do dvojrozměrného obrazu (Powsner, 2022).

Dynamická scintigrafie dokáže sledovat děje měnící se s časem v těle pacienta, a to za pomoci radionuklidů. Jedná se o sérii statických snímků vyšetřované oblasti, jež jsou postupně snímány v různých časech. Výsledkem těchto měření je pak série planárních snímků, které ukazují změny rozložení aktivity RF v daném vyšetřovaném orgánu měnící se v čase (Powsner, 2022).

Statická scintigrafie naopak sleduje pouze na jednom snímku rozložení RF po určité době aplikace. Takto se vytvoří tzv. planární snímek, který je velmi podobný klasickému skiografickému snímku, ale zobrazuje rozložení RF v tkáních. Na výsledném obrazu se pak následně dají rozlišit patologická místa s vyšším či nižším počtem impulzů (Powsner, 2022).

### **2.2.1.2 PET**

Pozitronová emisní tomografie je metodou diagnostickou, která umožňuje na tomografických řezech sledovat rozložení RF v těle pacienta. Tato metoda se převážně používá v kardiologii, neurologii a onkologii. Samotný přístroj PET se skládá z mnoha drobných detektorů, které jsou kruhovitě uspořádány do prstenců obklopujících pacienta. Detektory jsou pevně umístěné a při vyšetření se neotáčejí. Princip PET spočívá v detekci dvojice fotonů anihilačního záření gama o energii 511keV. Tato dvojice fotonů vzniká při anihilaci pozitronu  $\beta^+$  s elektronem ve tkáni, které vylétají z místa svého vzniku v protilehlých směrech-pod úhlem  $180^\circ$ . Na rozdíl od SPECT se využívá elektronická kolimace, díky které je systém citlivější k lokalizaci místa



vzniku fotonu. Za pomoci počítačové rekonstrukce velkého počtu detekovaných koincencí anihilace fotonů, dochází k tvorbě tomografického obrazu s možností trojrozměrné rekonstrukce, kde můžeme sledovat rozložení RF v těle pacienta. Mezi jednu z nevýhod tohoto vyšetření rozhodně patří náročnost PET a pořizovací cena přístroje (Powsner, 2022).

### **2.2.1.3 SPECT**

Jednofotonová pozitronová emisní tomografie je taktéž metodou diagnostickou užívanou na odděleních nukleární medicíny. Přístroj využívá scintilačních kamer k rekonstrukci obrazů a rozložení RF v těle pacienta. Základem zařízení pro vyšetření SPECT je detektor stejný jako u gamakamery pro planární scintigrafii. Přístroje mají jeden nebo více detektorů. Používají se převážně přístroje se dvěma detektory, které se otáčejí při vyšetření kolem pacienta, buď po malých úhlech, nebo plynule. Získané obrazy z jednotlivých projekcí se dále uloží do paměti počítače. Nakonec se z celé série obrazů v počítači sestaví trojrozměrný obraz, ukazující distribuci RF ve vyšetřované oblasti v čase snímání a poskytuje funkční a metabolické informace. Pro rekonstrukci z jednotlivých snímků se využívají dvě metody, a to buď metoda zpětné filtrované projekce, nebo častěji používaná metoda iterativní algebraické rekonstrukce. Výhodou oproti klasické planární scintigrafii je vyšší kontrast snímků, a především možnost kvantifikace RF ve tkáni. Také představuje menší radiační zátěž pro pacienta oproti běžnému vyšetření CT. Nevýhodou tohoto přístroje je však někdy až velmi nepřesné výsledky dané kvantifikace kvůli atenuovanému (oslabenému) záření. To je způsobeno Comptonovým rozptylem, nebo fotoelektrickým jevem. Mezi další nevýhody také patří délka samotného vyšetření (Powsner, 2022).

### **2.2.1.4 SPECT/CT**

Jedná se o hybridní systém, který umožňuje vytvořit dva různé typy skenů – anatomické a funkční zobrazení jedním systémem v těsně za sebou. Fúzovaný sken může poskytnout přesnější informace o tom, jak různé části těla fungují, což vede k přesnější diagnostice. Přístroje CT spojené se SPECT jsou různé konstruované. Některé CT přístroje mají pevně spojenou rentgenku s gantry SPECT kamery, což má ale za následek omezení rychlosti rotace. Z tohoto důvodu se používají pouze v tzv. nízkodávkových režimech, které získávají pouze orientační obrazy tkání s nízkým rozlišením. Naopak jiné SPECT/CT přístroje, které mají rychlou rotaci rentgenky, jsou schopné pracovat v nízkodávkovém i v plně diagnostickém režimu s vysokým rozlišením. Tento plně diagnostický režim vytváří přesné anatomické informace. Nevýhodou je s tím ale bohužel spojená i vyšší radiační zátěž pro pacienta (Powsner, 2022).

## 2.3 Štítná žláza

Štítná žláza je endokrinní orgán ve tvaru motýlu a nachází se na přední straně krku. Je to žláza s vnitřní sekrecí, což znamená, že svůj sekret (hormony) vylučuje přímo do mizního, nebo oběhového systému. Funkčně se podílí na regulaci metabolismu tím, že produkuje 3 hormony. Jedná se o trijodtyronin (T4), tyroxin (T3) a kalcitonin. Začíná se vytvářet u embrya starého 3 týdny na spodině hltanu v místě budoucího kořene jazyka a sestupuje dolů do oblasti průdušnice a hrtanu, kde se ve své definitivní poloze nachází v 7 týdnu vývoje embrya. Během tohoto sestupu se kdekoliv mohou oddělit části tkáně štítné žlázy a stát se v budoucnu místem chorobných změn (Orel, 2019).

### 2.3.1 Anatomie štítné žlázy

Štítná žláza je tvořena 2 laloky (*lobus sinister a lobus dexter*), které jsou uprostřed spojené můstkem, jenž se nazývá *isthmus glandulae thyroidea*. Z isthmusu často směřuje třetí lalok, který sleduje dráhu sestupu *lobus pyramidalis*. Isthmus leží ve výši druhé až čtvrté tracheální chrupavky a ve vzácnějších případech může dokonce zcela chybět, či být rudimentární. Laloky štítné žlázy mají pyramidovitý tvar a jejich vnitřní strana je přivrácena ke stěně hrtanu a průdušnice. Jsou cca 5-8 cm dlouhé, 2-4 cm široké a 1,5-2 cm silné. Právě díky těmto lalokům získává žláza svůj typický tvar písmene H (Orel, 2019).

Povrch štítné žlázy je hladký, zřídka lehce hrboletý. Na povrchu je štítná žláza kryta vazivovým pouzdem (*capsula fibrosa*), jenž je tvořeno zevním a vnitřním listem (*capsula externa a capsula interna*). Mezi těmito listy se nachází cévní pletěň. Parenchym štítné žlázy je tvořen lalůčky (*lobuli*), které se nadále dělí na váčky (folikuly). Při folikulech, i přímo v jejich stěně, se nacházejí parafolikulární buňky. Pocházejí z buněk neurální lišty, které vcestovaly do žaberních oblouků (Orel, 2019).

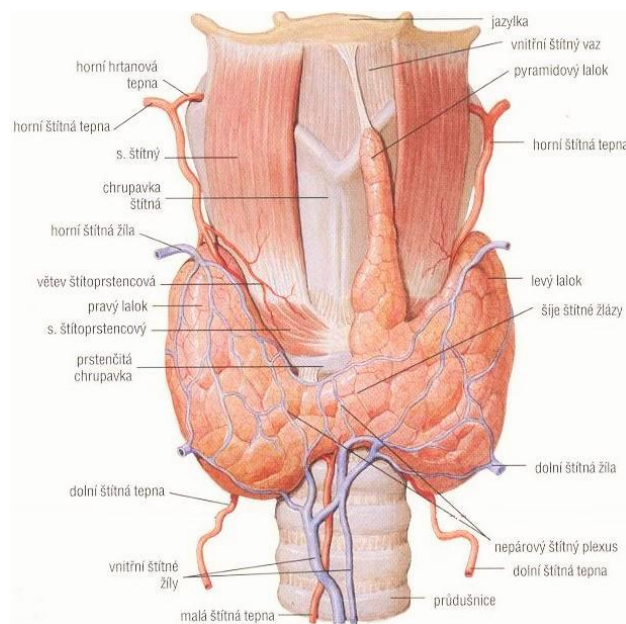
Hmotnost štítné žlázy se pohybuje kolem 15-40 gramů. Velikostní rozdíly tohoto orgánu jsou ovlivněny mnoha faktory. Na velikost a hmotnost mají vliv geografické, pohlavní a věkové rozdíly mezi jedinci. Většinou mají ženy štítnou žlázu větší než muži a ve stáří je časté, že žláza atrofuje. Dle geografického pravidla platí, že čím je jedinec dále od moře a ve větší nadmořské výšce, tak se velikost štítné žlázy zvětšuje (Orel, 2019).

Barva tohoto orgánu se odvíjí od stupně prokrvenosti cév od červenofialové barvy až po červenohnědou barvu. O cévní zásobení štítné žlázy se starají dva páry arterií *a. thyroidea superior*, *a. carotis externa* a *a. thyroidea inferior* a *a. subclavia*. Žilní odtok se uskutečňuje četnými povrchovými žilami, sbíhajícími se do horní a dolní *vena thyroidea*. Krevní zásobení

štítné žlázy je jedno z nejbohatších na prokrvení na gram tkáně. Krve zde celkem proteče cca 5 ml/g/min a celkový průtok krve žlázou je přibližně 50-100 ml/min. Při hypertyreóze se zvyšují nároky na oběhovou soustavu, která musí zajistit urychlenou látkovou výměnu a odvod tepla a při tom také výrazně roste srdeční činnost a také průtok krve žlázou (Límanová a kol., 1995).

Mimo bohatého prokrvení se štítná žláza může pyšnit i z bohaté lymfatické drenáže. Z toho vyplývají možnosti metastatického šíření maligních tumorů štítné žlázy jak hematogenní, tak lymfogenní cestou (Orel, 2019).

Další důležitou součástí štítné žlázy jsou příštítná tělíska (*glandulae parathyroideae*). Většinou se nacházejí v pouzdře štítné žlázy, výjimečně jsou uložena přímo v parenchymu. Jedná se o malé párové útvary čočkovitého tvaru, které jsou nepravidelně uloženy na zadní straně laloků štítné žlázy. Jejich funkcí je produkce hormonu parathormon, jenž má za úkol zvyšovat hladinu vápenatých iontů v krvi (Vlček a Neumann, 2002).



**Obrázek 1 Anatomie štítné žlázy (stitznaza.estranky [online], 2013)**

### 2.3.2 Fyziologie štítné žlázy

Štítná žláza je integrální součástí endokrinního systému. Produkuje sloučeniny nazývané jako hormony, které se dostávají přímo do krve nebo do lymfy. Skrze krev se poté hormony dostávají do cílových tkání, kde hlavně ovlivňují jejich látkovou přeměnu (Kaňková, 2009).

Tento orgán produkuje celkově 3 hormony – trijodtyronin (T4), tyroxin (T3) a kalcitonin. Řízení sekrece hormonů trijodtyroninu a tyroxinu se provádí pomocí systému složitě zpětné vazby skrze nadřazené hormony z hypotalamu. Zde je uvolňován tyreotropin stimulující hormon (TRH). Tento hormon podmiňuje produkci tyreoidu stimulujícího hormonu (TSH) v adenohipofýze. Ten má vliv na nejen tvorbu, ale i na sekreci vlastních hormonů štítné žlázy. Z tohoto důvodu je TSH v krvi nejcitlivějším diagnostickým markerem pro primární poruchy funkce štítné žlázy. Autoregulace tvorby T3 a T4 je závislá na množství přijímaného jódu v potravě. V neposlední řadě má na funkci štítné žlázy vliv imunitní systém, tzn. přítomnost protilátek stimulujících nebo inhibujících její funkci. Dále je funkce žlázy závislá na enzýmech, které modifikují účinky hormonů v periférii i v hypofýze (Marek, 2017).

Pro tvorbu hormonů T3 a T4 je nezbytný jód a pro využití hormonů v buňkách je nezbytná dostatečná hladina selenu. Štítná žláza je tvořena folikulárními buňkami. Ty aktivně vychytávají jód z krve, a to ve formě anorganické soli, tedy jodid sodný a jodid draselný. Enzymem tyroperoxidázou z něj tvoří aktivní zprostředkující produkt a zabuduje se do tyrosinové zbytkové molekuly bílkoviny nazývané tyreoglobulinu, který je syntetizovaný ve folikulárních buňkách. Jódové tyrosinové zbytky, se dále kondenzují a tvoří jodtyroniny, nebo tyroxin. Ty jsou ale neaktivní, a proto jsou stále navázány na tyreoglobulin. Vytvořený tyreoglobulin obsahuje hormony štítné žlázy T3 a T4, které jsou skladovány v koloidu lumenu folikulů (Marek, 2017).

Hormony T3 a T4 výrazně ovlivňují metabolismus všech živin, jelikož zasahují do energetické rovnováhy organismu a jejich přiměřené množství je nutné pro správnou funkci všech orgánů a tkání organismu po celý život. T3 a T4 jsou nezbytnými hormony pro vývoj plodu a jeho diferenciaci i pro pozdější funkci organismu. Kalcitonin spolu s parathormonem a aktivním metabolitem vitamínu D ovlivňuje metabolismus vápníku a fosforu (Marek, 2017).

Dostatečné dodání jódu organismu může být hlavním faktorem pro funkci štítné žlázy. Běžně lze jeho příjem zvyšovat konzumací mořských ryb, mořských plodů a řas. Jelikož je v mnoha oblastech obsah jódu v prostředí nedostatek, je potřeba uměle zvyšovat jeho přísun do

organismu, zejména např. jodováním kuchyňské soli. Štítná žláza vychytává většinu jodu, který se vstřebává trávicím systémem a cirkuluje v plazmě v podobě jodidu (Marek, 2017).

### **2.3.3 Patofyziologie štítné žlázy**

Výskyt onemocnění štítné žlázy není ojedinělým jevem. Ba naopak se v dnešní době jedná o velmi rozšířenou nemoc, která postihuje čím dál tím více mužů i žen v různém věku. Výskyt tyreopatie se nejvíce postihuje osoby středního a vyššího věku, ženy jsou tímto onemocněním postiženy 5krát více než muži. Tato nemoc se běžně vyskytuje i u dětí. Onemocnění štítné žlázy se může projevit jako zvětšením neboli strumou, změnami funkce štítné žlázy, a to jak ve smyslu hyperfunkce, tak i hypofunkce, zánětlivým postižením a samozřejmě také postižení zhoubnými a nezhojnými nádory (Zamrazil a kol., 2003).

#### **2.3.3.1 Eufunkční struma**

Jako struma se označuje zvětšená štítná žláza nad limit (22 ml u mužů, 18 ml u žen) bez známek poruchy funkce a přítomnosti autoimunitního procesu nebo nádoru. Dle klasifikace WHO je za strumu považována taková štítná žláza, která je buď viditelná, nebo hmatná. Velikost se liší podle hmotnosti daného jedince a dle povrchu jeho těla. Také se liší podle rasy a je taktéž ovlivněna příjmem jodu v potravě. WHO dělí fyzický nález na krku na tyto stupně: 0 – žláza není viditelná ani hmatná; 1 – žláza je hmatná a viditelná při záklonu hlavy; 2 – žláza je hmatná a viditelná při normální poloze hlavy. Zvětšení štítné žlázy může mít různé příčiny. Odlišuje se tzv. prostá eufunkční struma, kdy žláza není postižena dalším patologickým procesem, a zvětšení štítné žlázy při tyreotoxikóze, zánětech, nádorech a dalších patologických procesech (Zamrazil a kol., 2003).

Struma se dá dělit na difúzní, nebo uzlovou. U difúzní strumy dochází ke stejnoměrnému zvětšení obou laloků, u dětí a adolescentů je někdy zvětšen jen istmus. V pokročilejších fázích vývoje obvykle dochází k uzlové přestavbě, tj. ve žláze se tvoří jeden nebo více uzlů. Jako uzly označujeme ložiskové změny v parenchymu žlázy, které bývají často dobře hmatné. Pokud se u uzlové strumy nachází jen jeden uzel, nazývá se jako jednouzlová. Pokud se ale vyskytuje uzlů více onemocnění se pojmenovalo jako struma mnohouzlová. Mnohouzlová je charakterizována menšími či většími uzly vznikajícími jako důsledek přestavby 59 tyreoidální tkáně a jejích degenerativních změn (Límanová, 2006).

Dále lze strumu podle výskytu rozdělit na endemickou a sporadickou. Za endemickou strumu můžeme označit takovou strumu, která postihuje na určitém území více než 10% obyvatelstva. Nejčastější příčinou endemické strumy je nedostatek jodu v potravě, který vyvolává toto

onemocnění už u jedné miliardy lidí na planetě. U sporadické strumy je možnou příčinou vrozený defekt enzymů potřebných pro biosyntézu tyreoidálních hormonů, nebo vrozená zvýšená rychlost růstu štítné žlázy. Mechanismus vzniku strumy je pak stejný jako u deficitu jodu a při působení strumigenů (Zamrazil a kol., 2003).

### 2.3.3.2 Hypertyreóza

Hypertyreóza neboli tyreotoxikóza je klinický syndrom, během něhož dochází ke zvýšené produkci hormonů štítné žlázy se současně zvýšenou reakcí periferních tkání na tuto stimulaci. Toto onemocnění je způsobeno nadměrnou funkcí štítnice. Může být, ale způsobeno i užíváním tyreoidálních hormonů, nebo jejich tvorba na nezvyklých místech v organismu. Vysoká hladina vyplavovaných hormonů T3 a T4 má posléze za následek zrychlení celého metabolismu a tím působit na téměř všechny systémy v lidském těle. Převažující postižení jednotlivých orgánů závisí na řadě fyziologických a patofyziologických faktorů. Mezi příznaky hypertyreózy patří hubnutí na váze bez ztráty chuti k jídlu, pocení, nesnášenlivost tepla, svalová slabost, nespavost atd. Existují 3 základní příčiny vzniku této nemoci – Graves-Basedowova choroba, toxický adenom a polynodózní toxická struma (Límanová 2006).



**Obrázek 2** Zvětšení štítné žlázy (Zdravi.Euro [online], 2020)

Graves-Basedowova choroba je zdaleka nejčastější příčinou vzniku tohoto onemocnění a postihuje ženy ve středním věku 5 - 8krát více než muže. Tato choroba může být způsobena genetickými predispozicemi k výskytu autoimunitních onemocnění. Jedná se o specifické imunogenní onemocnění štítné žlázy. T-lymfocyty ve štítné žláze se stávají citlivější na antigeny a stimulují B-lymfocyty k produkci protilátek (imunoglobuliny) proti těmto antigenům. Autoprotilátky jsou namířeny proti TSH receptorům na membráně tyreocytu a vedou k jejich stimulaci, podobně jako TSH, což vyvolává jednak růst žlázy, jednak zvýšenou produkci tyreoidálních hormonů (Zamrazil a kol., 2003).

Polynodózní toxická struma je multifaktoriální onemocnění, které se nejčastěji vyskytuje v oblastech s jodovým deficitem. Vzniká na základě poruchy regulace funkce části štítné žlázy. U pacientů s mnohuzlovou strumou vznikají oblasti s různou funkční i růstovou aktivitou, některý z těchto mnoha uzlů se může postupem času vyvinout v uzel s nadměrnou produkcí tyreoidálních hormonů. Hypertyreóza se následně může vyvinout po podání jodu například v potravě, nebo podáním různých preparátů s vysokým obsahem jodu, nebo jodových kontrastních látek. Polynodózní toxická struma je typickým onemocněním starších žen z oblastí endemické strumy, a také šlo o nejčastější formu tyreotoxikózy po 2. světové válce u nás. Onemocnění se projevuje srdečními komplikacemi jako je oběhová nedostatečnost a fibrilace síní. Jelikož toto onemocnění postihuje především starší osoby, představuje tato skutečnost pro postižené značné riziko (Zamrazil a kol., 2003).

Toxický adenom se vyznačuje výskytem ohraničených útvarů hyperfunkční tkáně uprostřed normální tkáně štítné žlázy. Za vznik toxických adenomů jsou odpovědné somatické mutace genu pro receptor TSH, které vedou k trvalé aktivaci tohoto receptoru (Dvořáková a kol., 2007).

### **2.3.3.3 Hypotyreóza**

Hypotyreóza je způsobena nedostatečnou produkcí a následná sekrecí tyreoidálních hormonů. Příčinnou onemocnění je nedostatek hormonů, který se odráží na všech tkáních organismu, tudíž příznaků je mnoho. Akumulace kyseliny hyaluronové a zvýšená kapilární permeabilita pro albumin způsobí edém, který je viděn zejména na kůži a svalů příčně pruhovaném. Tato akumulace je způsobena snížením odbourávání glykosaminoglykanů. Mezi další příčiny by se mohl řadit deficit jódu, vrozené poruchy syntézy tyreoidálních hormonů, léčba radiojódem pro Gravesovu chorobu, autoimunní onemocnění štítné žlázy v důsledku Gravesovy choroby nebo hashimotovy tyreoiditidy. Pro diagnostiku hypotyreózy je hlavním ukazatelem zvýšené množství TSH v krvi při současném snížení hladiny T3 a T4. Právě dle hodnot TSH lze učit, zda se jedná o hypotyreózu primární, centrální nebo o hypotyreózu subklinickou (Zamrazil a kol., 2003).

Subklinická hypotyreóza je přítomna, pokud je hladina TSH zvýšena nad určitou mez, ale hladiny tyreoidálních hormonů jsou v normálních mezích. Výskyt subklinické hypotyreózy je u 2-5 % populace a lidé s touto poruchou často mají méně výrazné příznaky hypotyreózy, ale tyto příznaky mohou zcela chybět. Původ subklinické hypotyreózy může být různý. Nejčastější příčinou je probíhající zánět štítné žlázy, zejména Hashimotova tyreoiditida, přičemž kouření zhoršuje tyreoidální funkci. Další častou příčinou je léčba tyreotoxikózy radiojódem, při které

se tyreoidální funkce postupně snižuje až k hypotyreóze. Subklinická hypotyreóza se může objevit i po strumektomii a při deficitu jodu (Zamrazil a kol., 2003).

Primární hypotyreózu může způsobovat nadměrný přísun jodu v potravě, nebo konzumace jodu v různých léčebných preparátech. Mezi další příčiny můžeme zařadit také dědičné, nebo vrozené poškození štítnice, její nevytvoření či její odstranění, nebo dokonce úplně přerušení funkce (Límanová, 2006).

U centrální hypotyreózy dochází k nedostatečné stimulaci štítné žlázy hypotalamo – hypofyzárním systémem. Jde o velmi vzácné onemocnění, neboť tvoří méně než 1 % všech hypotyreóz (Dvořáková a kol.,2007).

#### **2.3.3.4 Záněty štítné žlázy**

Záněty štítné žlázy neboli tyreoiditidy jsou nehomogenní skupina onemocnění různého původu, jejichž společným rysem jsou zánětlivé projevy ve štítné žláze a známky porušení funkce. Příčiny onemocnění jsou velmi různorodé, ať už se jedná o poruchy imunitního systému, vnější mechanické vlivy, ozáření krku, nebo bakteriální či virové infekce. Klasifikace zánětů štítné žlázy není jednotná a obvykle kombinuje různé aspekty s důrazem na klinický obraz. Můžeme je rozdělit do 4 základních skupin – akutní tyreoiditida, subakutní tyreoiditida, chronická akutní tyreoiditida a Riedlova tyreoiditida (Dvořáková a kol.,2007).

Akutní záněty štítné žlázy jsou vyvolávány infekčními vlivy, případně mechanickým zhmožděním, nebo ionizujícím zářením. Zánět postihuje relativně častěji děti do 10 let, kdy příčinou bývá většinou píštěl piriformního sinusu. Mezi dospělými pacienty mírně převažují ženy. Příznaky akutního zánětu jsou výrazné bolesti, horečky, zvětšení uzlin, zarudnutí či otok (Zamrazil a kol., 2003).

Subakutní záněty jsou vyvolávány naopak virovou infekcí navazujících na infekci dýchacích cest. Předpokládá se tedy, že důležitou roli má předcházející virová infekce. Subakutní tyreoiditida má tedy sezónní charakter a vyskytuje se v období častých virových onemocnění – na jaře a na podzim. Tento zánět se vyznačuje bolestí laloku štítné žlázy, která může vystřelovat až do čelistí, ucha, nebo brady a zubů. Dále také zvýšenou teplotou, celkovým zachvácením a únavou. Při tom se celá štítná žláza je schopná zvětšit až na trojnásobek své původní velikosti (Zamrazil a kol., 2003).

U chronické akutní tyreoiditidy dochází k orgánovému autoimunitnímu onemocnění, u kterého se uplatňuje zvýšení citlivosti lymfocytů vůči tyreoidálnímu antigenu, a tvoří se protilátky,



kteře s těmito antigeny reagují. Toto má za následek hypotyreóze, vzácněji dokonce i k hypertyreóze. Nejznámější formou autoimunního onemocnění postihujícího štítnou žlázu je Hashimotova tyreoiditida (Límanová, 2006).

U Riedlovy tyreoiditidy se jedná o vzácné onemocnění postihující častěji ženy středního a vyššího věku. Základem poruchy je tvorba vaziva ve štítné žláze, která může být v počáteční fázi mírně zvětšena. Klinicky se projevuje obvykle pocitem tlaku na krku, později poruchami polykání a dýchacími potížemi. Zánět může sice postihovat jen část štítné žlázy nebo lalok, vždy však přestupuje z destruované zmenšené štítné žlázy na pouzdro a okolní struktury, zejména krční cévy. Postižený úsek štítné žlázy je téměř zcela nahrazen tuhým vazivem (Zamrazil a kol., 2003).

### **2.3.3.5 Nádory štítné žlázy**

Karcinomy štítné žlázy představují nehomogenní skupinu nádorů s různými charakteristikami a různorodým spektrem biologické aktivity. Vyskytují se od téměř neškodných tumorů až po velmi agresivní, které dokáží rychle způsobit smrt postiženého. Obecně můžeme nádory štítné žlázy rozdělit na zhoubné (maligní) a nezhooubné (benigní). Oba tyto typy nádorového onemocnění vychází z folikulárního epitelu a manifestují se buď jako mnohočetné uzly, nebo jako solidní uzly v parenchymu žlázy (Vlček a Neumann, 2002).

Výskyt tohoto onemocnění se pohybuje ve všech věkových kategoriích a postihuje až 5krát častěji ženské pohlaví než mužské. Ačkoliv nádory štítné žlázy tvoří pouze 0,5–1 % všech nádorových onemocnění, v endokrinologie naopak patří mezi nejrozsáhlejší skupinu onkologických onemocnění, a to s četností až 95 % všech diagnostikovaných nádorů. Mezi rizikové faktory pro vznik tohoto onemocnění můžeme zařadit především genetické podklady. Dále pak předchozí radiační zátěž štítné žlázy, nadužívání tyreostatik, jodová nedostatečnost, nebo také hormonální a reprodukční faktory (Vlček a Neumann, 2002).

Léčba spočívá v radioterapii, která závisí na druhu karcinomu a jeho diferenciaci. Vychází se od běžného sledování postiženého přes výkony na postižených lymfatických uzlinách až po úplnou tyreoidektomii a následné doplnění léčby o radiojód (Límanová, 2006).

Dělení maligních nádorů lze klasifikovat na základě morfologických obrazů a původu nádoru na – nádory vycházející z tyreocytů, které se následně dělí ještě na karcinom papilární, karcinom folikulární a anaplastický adenom, nádory vycházející z parafolikulárních buněk (medulární karcinom) a na nádory vycházející z další tkáně štítné žlázy (lymfomy a sarkomy) (Zamrazil a kol., 2003).

Papilární karcinom je nejčastější maligní nádor štítné žlázy s hojností výskytu 80-85 %. Jedná se o pomalu rostoucí nádor, jenž vychází z folikulárního epitelu a má i epitelovou strukturu. Nejčastěji se projevuje jako tuhý nebolestivý uzel na přední straně krku a velmi dobře dokáže akumulovat jod. Nádor se vyskytuje ve všech věkových kategoriích a se častěji vyskytuje u dětí a u žen. I přes velmi velkou četnost tohoto onemocnění prognóza je velmi příznivá, přibližně 80-90 % všech postižených přežívá i více než 10 let (Zamrazil a kol., 2003).

Druhým nejčastějším karcinom štítné žlázy je folikulární karcinom. Tento nádor je více agresivní než nádor papilární, dokáže metastazovat do lymfatických uzlin, kostí a plic, ale také do mozku. Onemocnění se opět vyskytuje mírně častěji u žen a je také hojnější v oblastech s jodovým deficitem. Díky velmi dobré akumulaci jodu je tento nádor dobře léčitelný terapií radiojodem (Vlček a Neumann, 2002).

Mezi nejagresivnější a nej malignějším nádorům lidského těla patří právě nediferencovaný (anaplastický) nádor. Karcinom postihuje především starší osoby ve věku od 70 do 80 let a opět se vyskytuje mírně častěji u žen než u mužů. Vyznačuje se rychlým růstem a invazivním pronikáním do okolí žlázy s úmrtím obvykle během několika měsíců. Dokáže se šířit jak lymfatickou, tak krevní cestou. Tumor má horší prognózy než diferencovaný karcinom, pětileté přežití se pohybuje okolo 50 %. Metastazuje krevní cestou do plic, kostí či mozku, často je však zachována akumulace radiojodu, což zlepšuje jeho prognózu (Vlček a Neumann, 2002).

Medulární karcinom se vyznačuje tím, že je geneticky podmíněný. Nádor je složen z parafolikulárních buněk, které sice nedokážou vychytávat jod, ale produkují více hormonu kalcitonin, jenž je při laboratorních testech prokazatelný a je cenným ukazatelem přítomnosti tohoto typu onemocnění. Karcinom se projevuje převážně lokálním růstem tumoru na krku, v pokročilých fázích metastatickým uzlinovým i vzdáleným rozsevem. Kvůli skutečnosti, že nedokáže vázat jod, tak se léčba tohoto typu nádoru řeší většinou chirurgicky, a to úplnou tyreoidéktomií včetně primárních lymfatických a laterálních krčních uzlin (Vlček a Neumann, 2002).

Lymfomy a sarkomy se vyskytují poměrně vzácně, jedná se o rychle rostoucí nádory s větším výskytem u žen a u starších osob. Klinicky se nádor projevuje rychlým zvětšováním štítné žlázy nebo uzlu, tuhou konzistencí a někdy fixací k okolním tkáním. Jde prakticky vždy o lymfomy vycházející v 98 % z B buněk (Zamrazil a kol., 2003).

## 2.4 Radionuklidy

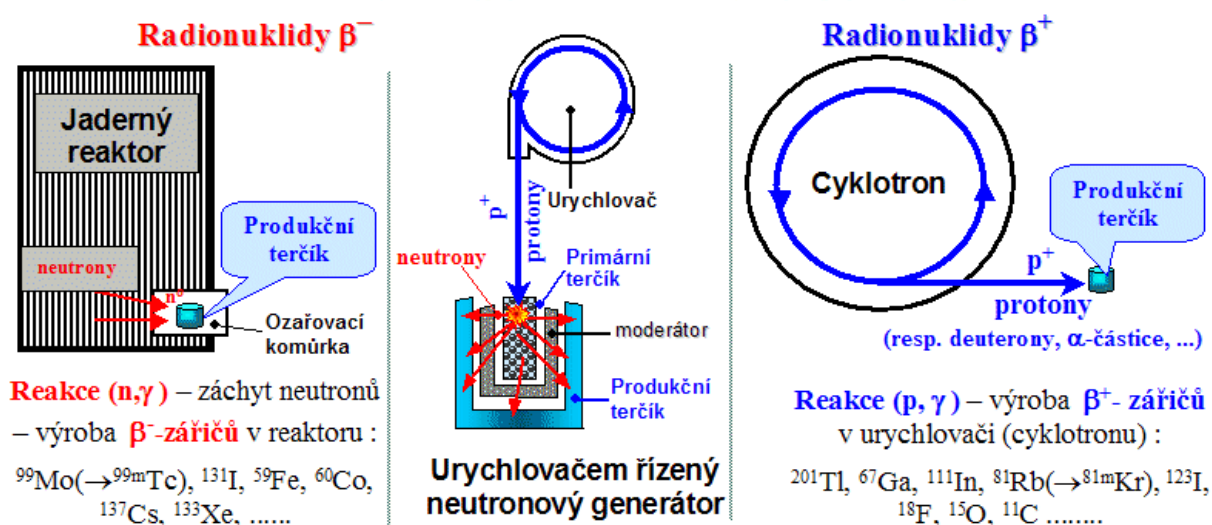
Radionuklid se dá obecně popsat jako nuklid s nestabilním jádrem. Toto jádro podléhá nestabilní přeměně (radioaktivitě) a uvolňuje ze svého jádra přebytečnou energii ve formě subatomárních částic, nebo záření gama. Radionuklidy vznikají buď přirozeně v přírodě, nebo jsou uměle vytvořeny. Z velkého počtu uměle vytvořených radionuklidů jsou pro výrobu radiofarmak v NM používány jen ty, co splňují určitá kritéria. Jedná se o výrobní a cenovou dostupnost a také zda se daný radionuklid bude využívat v terapii, nebo při diagnostice. Důležitá je taktéž energie emitovaná z radionuklidu, jenž by se měla pohybovat od 30 keV až stovky keV, a druh emitovaného záření včetně poločasů rozpadu radionuklidu. Rozlišují se radionuklidy diagnostické a pro terapeutické užití. Radionuklidy pro terapie se liší od diagnostických tím, že mají vysoké energii aktivity a krátký dosah záření. Jejich rozložení v těle pacienta se pak sleduje pomocí speciálních přístrojů jako je gamakamera či PET (Kupka a kol., 2015).

### 2.4.1 Zdroje radionuklidů

V dnešní době se pro potřeby NM využívají pouze radionuklidy umělé vytvořené z důvodu jejich vysoké čistoty. Získávají se celkem ze tří zdrojů – z cyklotronu, z radionuklidových generátorů a z jaderných reaktorů. Tyto uměle vytvořené radionuklidy se získávají pomocí různých jaderných reakcí, při kterých dochází ke změně stavby mateřského prvku za vzniku jádra dceřiného. Toto jádro je posléze vhodné pro další použití v NM (Kupka a kol., 2015).

Výroba radionuklidů v cyklotronu spočívá v urychlování kladně nabitých částic, které narážejí do „terče“. Tyto kladně nabitě částice (protony, deuterony,  $\alpha$ ) jsou urychlovány elektrickým polem. Jejich dráha je přitom zakřivena díky magnetickému poli až se nakonec pohybují po spirále, jenž neustále zvětšuje svůj poloměr. Tyto částice posléze narazí na již zmíněný terčik, který má specifické složení, a po nárazu vznikají právě požadované radionuklidy kvůli jaderným reakcím. Po ozařování se terč poté rozpouští nejčastěji v alkalických rozpouštědlech, nebo kyselinách a vyrobené radionuklidy se dále oddělují různými chemickými metodami. Ve větších cyklotronech se primárně vyrábí radionuklidy –  $^{111}\text{In}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ . V malých tzv. lékařských cyklotronech se vyrábí radionuklidy s velmi krátkým  $T_{1/2}$ , nejčastěji  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$  a  $^{11}\text{C}$  (Kupka a kol., 2015).

## VÝROBA UMĚLÝCH RADIOISOTOPŮ



Obrázek 3 Výroba radionuklidů v jaderném reaktoru (Astronuklfyzika [online], 2015)

Radionuklidový generátor je přístroj, který obsahuje dva geneticky příbuzné radionuklidy. Tímto způsobem lze snadno získat požadovaný radionuklid v čisté beznosičové formě a s krátkým poločasem rozpadu. Daný radionuklid vzniká v generátoru radioaktivní za pomoci mateřského radionuklidu s delším poločasem rozpadu. Nejčastěji používaným generátorem pro NM je generátor molybden – techneciový ( $^{99}\text{Mo} - ^{99}\text{Tc}$ ). Při přeměně  $^{99}\text{Mo}$  s  $T_{1/2}$  66 hodin vzniká  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  jako technecistanový anion ( $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ ) s poločasem 6 hodin, který je ze sloupce odloučen promytím generátoru fyziologickým roztokem. Touto elucí se získá technecistan sodný. Molybdenan zůstává pevně vázán na oxid hlinitý v koloně a poskytuje přeměnou další  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Generátor se na pracovišti používá většinou 14 dní a poté musí být vyměněn za nový generátor (Kupka a kol., 2015).

V jaderném reaktoru existují dva způsoby, jak získávat radionuklidy. Prvním způsobem je proces ozáření je ozařování terčového materiálu v reaktoru neutronovým svazkem, který uvádí do činnosti jádra, jež byla doposud nestabilní. Druhým způsobem je izolace štěpených produktů z  $^{235}\text{U}$ . Dalším procesem výroby je interakci jádra uranu a neutronů. Tyto neutrony jsou ale po vzniklém štěpení uranu příliš rychlá a je proto nutné je zpomalit (moderovat), jinak by došlo k dalšímu štěpení jader uranu. Takto zpomalené neutronu pak snadno reagují a spojují se s jádrem za vyzáření fotonu  $\gamma$ . Ze štěpných produktů se získávají podobné radionuklidy jako z neutronových interakcí. Ke čištění se pak využívá různých chemických metod jako je destilace, chromatografie nebo precipitace. Tímto způsobem lze získávat jen radionuklidy s delším poločasem rozpadu. Jedná se o radionuklidy  $^{99}\text{Mo}$  a  $^{131}\text{I}$  (Kupka a kol., 2015).

## **2.5 Radiofarmaka**

Radiofarmakum se dá popsat jako léčivý přípravek, který kromě nosiče neboli farmaka, obsahuje i další složku nazývanou radionuklid. Farmakum, ve funkci nosiče je zvoleno na základě své specifické distribuce a chování v lidském organismu, musí mít vztah k danému orgánu či tkáni. Radionuklidová složka je jako účinná složka, která se navazuje na vhodný nosič. Radionuklid je ve radiofarmaku obsažen ve formě organické, nebo anorganické. Jednou z nejdůležitějších vlastností radionuklidu v radiofarmaku je poločas přeměny, druh a energie daného typu záření. Tyto přípravky jsou dále používány na odděleních NM za diagnostickým, nebo terapeutickým účelem. Při manipulaci s těmito látkami a při jejich používání je nutné dodržovat speciální podmínky, které nejsou u běžných léčiv nutná, jelikož se jedná o radioaktivní látky. Značená farmaka se poté zpracovávají do různých lékových forem např. roztoky, tobolky, aerosoly. Druh radiofarmaka se volí dle specifického šíření a chování v lidském těle, a to podle cílového orgánu a způsobu, jak se dané radiofarmakum bude vylučovat (Koranda a kol., 2014).

### **2.5.1 Charakteristika radiofarmak**

Radioaktivní přeměna radionuklidu je nedílnou součástí při výrobě radiofarmaka, a tudíž je nutné na tuto skutečnost myslet. S tím souvisí velmi důležitá charakteristika radionuklidu a tou je poločas rozpadu radionuklidu. Dále pak druh záření a energie emitována tímto zářením uváděno v elektronvoltech (eV). Objem radionuklidů se pak udává v jednotkách becquerel (Bq). Z důvodu velkého zájmu o radiofarmaka s krátkým poločasem rozpadu, jsou dané léčivé přípravky připravované přímo na odděleních NM (Kupka a kol., 2015).

### **2.5.2 Lékové formy radiofarmak**

Nejčastěji se radiofarmakum podává ve formě parenterální, perorální, inhalační, nebo topické. Podávané radiofarmakum nesmí být toxické, jeho záření by mělo být co nejvíce snadno detekovatelné a absorbovaná dávka by měla být co nejmenší. Díky navázanému radionuklidu lze po podání finálního radiofarmaka hodnotit fyziologickou funkci, nebo morfologickou strukturu daného orgánu či systému (Kupka a kol., 2015).

V klinické praxi se nejvíce používá parenterální radiofarmakum. Podávají se formou roztoků, koloidních disperzí a suspenzí. Intravenózně se aplikují roztoky, iontové, molekulové a koloidní disperze a suspenze. Injekční formou se takto například podává technecistan sodný. Roztoky a plyny se aplikují intralumbálně. Nejpoužívanějším plynem je Krypton ( $^{18m}\text{Kr}$ ) k jehož inhalaci se používá generátorový systém (Kupka a kol., 2015).

Disperze radioaktivních koloidů bývají stabilizovány želatinou, jsou vyráběny hromadně, jako koloidní disperze anorganických prvků a albuminových mikročástic. Pro diagnostické účely se používají koloidy značené Techneciem, následně jsou z krevního řečiště vychytávány buňkami retikuloendoteliálního systému (Koranda a kol., 2014).

Suspenze s obsahem radionuklidů se aplikují intravenózně. Optimální velikost částic je 20–50  $\mu\text{m}$ . Jedná se o suspenze částic lidského albuminu značené techneciem, které se získají tepelnou denaturací (Koranda a kol., 2014).

Perorální radiofarmaka jsou podávána ve formě emulzí, roztoků, ale i pevných látek. Tekuté přípravky jsou na pracoviště dodávány ve skleněných lékovkách. Tuhé látky pro podání per os jsou zpravidla aplikovány v želatinových tobolkách (Koranda a kol., 2014).

### **2.5.3 Kontrola kvality radiofarmak**

Radiofarmaka musí stejně jako každá jiné léčivá látka splňovat jisté požadavky. Kromě těchto požadavků se na radiofarmaka vztahuje ještě provádění speciálních zkoušek kvality specifické pro radiofarmaka, což jsou zkoušky pro stanovení dvou základních čistot. Jedná se o radionuklidovou čistotu a čistotu radiochemickou (Kupka a kol., 2015).

Radionuklidová čistota značí poměr radioaktivity daného radionuklidu a celkové radioaktivity měřeného radiofarmaka v procentech. Nežádoucí radionuklidy, které by znečišťovaly nově vyrobené radiofarmakum, mají za následek vyšší radiační zátěž pacienta a znehodnocují celkové vyšetření. Kontrola těchto nežádoucích radioaktivních nečistot se měří pomocí energetického spektra záření, které je emitované radionuklidem (Koranda a kol., 2014).

Radiochemická čistota na druhé straně vyjadřuje poměr radioaktivity radionuklidu, jenž je přítomen v radiofarmaku, dané chemické formy a celkové radioaktivity radionuklidu uváděné v procentech. Je kontrolován obsah vlastní účinné radioaktivní složky, rušivých látek a zbytkové radioaktivity, která se nenavázala a nevykazuje diagnostické ani terapeutické účinky. Hodnocení se provádí za pomoci radiochromatografických metod (Kupka a kol., 2015).

Při hromadné výrobě radiofarmak je za čistotu zodpovědný výrobce těchto léčiv. Ale pokud je radiofarmakum připravováno přímo na pracovišti, tak zodpovědnost přebírá pracovník na daném pracovišti, které příslušné radiofarmakum připravil. Radiofarmaka, která se používají k parenterálnímu podání se připravují dle předpisů, které vylučují mikrobiální znečištění a zaručují sterilitu. Sterilita je zajištěna při přípravě RF aseptickou přípravou ze sterilních surovin. Jelikož mají některá radiofarmaka velmi krátké poločasy rozpadu může u nich

docházet nebezpečí z ozáření a vznikají také malé velikosti šarží. í. Z tohoto důvodu není vždy možné před použitím RF čekat na výsledky zkoušky sterility (Kupka a kol., 2015).

## **2.6 Radiojód <sup>131</sup>I**

Tento radionuklid produkuje jak záření gama, tak záření beta, Jedná se tím pádem o smíšený zářič, který má poločas přeměny 8,04 dne. Záření beta se z tohoto radionuklidu využívá primárně pro terapie a díky krátkému dosahu ve tkáni umožňuje lokalizovaně ozářit cílovou tkáň bez významného účinku na okolní zdravou tkáň. Dosah beta záření se ve měkkých tkáních pohybuje okolo 2,5 mm, přičemž střední dosah je přibližně 0,5 mm. Gama složka záření se u tohoto radionuklidu využívá z důvodu sledování zevní biokinetiky <sup>131</sup>I v těle, avšak jeho značnou nevýhodou je, že zvyšuje radiační zátěž nejen pacientů, ale i pracujících personálu na odděleních nukleární medicíny. Radiojód se podává per os, a to buď ve formě želatinových kapslí, nebo izotonického roztoku Na<sup>131</sup>I (Vlček a Neumann, 2002).

### **2.6.1 Terapie radiojódem**

Primární indikací pro terapii jodem se stává karcinom štítné žlázy, převážně se jedná o karcinom papilární a folikulární. U nádoru anaplastických je terapie používána spíše jen pro paliativní záměry a použití jodu při modulárních karcinomech je zcela zbytečné, neboť radiojod se zde nemá na co navázat. Jednou z dalších významných indikací pro použití radiojodu v terapii je léčba autoimunitního hyperfunkčního uzlu a léčba hypothyreózy i hypertyreózy (Vlček a Neumann, 2002).

Při léčbě karcinomu štítné žlázy radiojódem se jedná o kombinovanou léčebnou metodu. Cílem léčby radiojódem je destrukce mikrometastáz a zničení veškeré tyreoidální tkáně. Zničení tyreoidální tkáně umožňuje využívat tyreoglobulin jako nádorový marker, neboť po odstranění štítné žlázy klesá jeho hladina na nízké hodnoty. Terapeutické dávky při minimálním ponechaném residuu jsou 3,7-4,4 GBq, tato dávka vede k destrukci drobných zbytků štítné žlázy. V případě recidivy nádoru je terapeutická dávka 5,5-7,4 GBq, avšak maximální dávka nesmí překročit hodnotu 10 GBq (Vlček a Neumann, 2002).

Při léčbě tyreotoxikózy se aplikovaná aktivita pohybuje mezi 200-800 MBq. Po aplikaci se radiojód vychytává ve štítné žláze a je inkorporován do hormonů T3 a T4 a je vázán na tyreoglobulin. Vysoká koncentrace <sup>131</sup>I vede k destrukci tyreoidální tkáně a ke snížení tvorby hormonů ŠŽ, které způsobují hyperfunkci (Vlček a Neumann, 2002).

## **2.6.2 Kontraindikace**

Absolutními kontraindikacemi jsou gravidita a laktace u žen v reprodukčním věku. Z tohoto důvodu musí být před zahájením léčby s jistotou ověřeno, zda žena není těhotná. Pokud dojde k aplikaci léčebné aktivity radiojodu ženě po 8. týdnu po koncepci, je třeba uvažovat o přerušení gravidity. Dojde-li k aplikaci radiojodu do 8. týdne po koncepci, je přerušení gravidity doporučováno až při dávce v plodu převyšující 100 mGy. Pokud žena v reprodukčním věku byla léčena radiojodem, nedoporučuje se otěhotnění v době jednoho roku po léčbě. Vždy se však upozorňuje na to, že riziko abnormality plodu je vyšší než u ženy neozářené (Vlček a Neumann, 2002).

U muže se nedoporučuje počít dítě v době 4 měsíců uplynulých od léčby radiojodem. Další kontraindikací jsou psychicky nemocní pacienti, kteří by nebyli schopni dodržet zásady a léčebná opatření v době léčby (Vlček a Neumann, 2002).

## **2.6.3 Negativní účinky a komplikace během léčby**

Léčebné podání radiojodu při léčbě tyreotoxikózy nebo nádorů štítné žlázy může mít za následek řadu komplikací. Tyto komplikace se rozdělují na časné komplikace a pozdní komplikace (Vlček a Neumann, 2002).

Časné komplikace mohou trvat i několik dní po aplikaci radiofarmaka. Jedná se o bolesti hlavy, zvracení, nechutenství, průjem, nebo bolesti v epigastriu. Tyto komplikace nebývají příliš vážné a neobjevují se dlouhodobě. Pacienta postihují v rozmezí 4-14 hodin a většinou odezní do 36 hodin. Riziko ovšem nastává, pokud nemocný zvrací, neboť může dojít ke kontaminaci nemocného i okolí. Časné hematologické změny byly zaznamenávány hlavně u nemocných nádorů štítné žlázy. Při aplikacích radiofarmaka s aktivitami vyššími než 5 GBq a při opakovaném podávání radiojodu, může dojít k reverzibilnímu a v ojedinělých případech i k nereverzibilnímu útlumu kostní dřeně (Vlček a Neumann, 2002).

Mezi pozdní účinky patří vznik solidních nádorů. Jedná se především maligní nádory močového měchýře a slinných žláz. Riziko vzniku těchto nádorů stoupá až od celkové kumulativní dávky 18,5 GBq. Vznik pozdních hematologických změn byly u většiny postižených dokumentovány až v období 6. měsíce po provedené terapii. Jedná se o vznik leukémie a také dále lehká anémie bez progresivního charakteru. Nejzávažnějším pozdním důsledkem léčby radiojodem může být rozvoj anaplastické anémie. Je to z důvodu nepředvídatelnosti tohoto a nedá se jí zabránit ani při opatrném léčebném postupu (Vlček a Neumann, 2002).



Mezi další komplikace můžeme zařadit poškození plodu při nerozpoznaném těhotenství. I přes veškerou opatrnost při rozhodování léčby radiojódem u žen ve fertilním věku, dochází k případům, kdy je ženě aplikovaná léčebná dávka v časném období těhotenství. Pokud je radiojód aplikován v době před 74. dnem těhotenství, je plod ohrožen všeobecnými důsledky ozáření. Je-li již v době podání léčebné aktivity štítná žláza plodu funkční, může dojít k úplné destrukci žlázy. Častou komplikací je také radiační tyreoiditida neboli zánět štítné žlázy (Vlček a Neumann, 2002).

#### **2.6.4 Pacienti po léčbě radiojódem**

Pacienti po léčbě radiojódem jsou celoživotně sledováni. To kdy se dostaví pacienti k jednotlivým kontrolám závisí na TNM klasifikaci. U pokročilých forem nádorů chodí pacienti na kontrolu v odstupu 6-12 měsíců. U nepokročilých forem se ke kontrolám přistupuje v mnohem delších časových intervalech až desítek let. Vývoj onemocnění je také monitorován klinickým vyšetřením: ultrasonografické vyšetření krku a sledováním hladiny tyreoglobulinu v seru. Pacienti jsou opakovaně přijímáni k hospitalizaci, k provedení celotělové scintigrafie po předchozím vysazení substitučně supresní hormonální terapie. (Vlček a Neumann, 2002).

### **2.7 Radiační ochrana**

Za radiační ochranu můžeme považovat soubor opatření, které mají omezovat vznik stochastických účinků na přijatelné minimum a také k vyloučení vzniku deterministické účinky způsobené ionizujícím zářením. Stochastické účinky jsou pravděpodobnosti, což znamená, že nemají dávkový práh. Nýbrž s rostoucí dávkou záření roste pravděpodobnost výskytu mutací DNA a vzniku nádorových onemocnění. Naopak deterministické účinky mají dávkové prahy, ale ty se liší dle jednotlivých tkání, která mohou být ozářena. Pokud se tedy dávka záření v těle pohybuje pod prahovou dávkou, při které by se měly vyskytnout deterministické účinky, tak tyto účinky se neobjeví (Kubinyi, 2018).

Obecné zásady pro ochranu před zářením platí pro veškeré pracoviště, kde může být pracovník ozářen ionizujícím zářením. Tudíž se toto nevztahuje pouze na oddělení NM, ale i na oddělení radioterapie a radiodiagnostiky. Tyto zásady jsou popsány následujícím zákonem a vyhláškou: *Zákon č. 263/2016 Sb., zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon), Vyhláška č. 422/2016 o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.*

### **2.7.1 Principy radiační ochrany**

Obecně můžeme rozlišit celkem tři druhy záření – lékařské ozáření, ozáření při práci a ozáření obyvatel. Pod pojmem lékařské ozáření si můžeme představit ozáření fyzických osob, které bylo v rámci jejich vyšetření, nebo léčby. Toto ozáření nepodléhá žádným limitům a smí se uskutečnit pouze pokud by z tohoto ozáření vyšel přínos větší než riziko. Ozářením při práci rozumíme všechna ozáření radiačních pracovníků, ke kterým došlo buď při práci, nebo v důsledku konání práce. A pojem ozáření obyvatelstva nám sděluje, že do této skupiny spadá jakékoliv další ozáření, které nepatří do předešlých dvou skupin (Kubinyi, 2018).

Každý, jehož činnost by vedla k ozáření je povinen se řídit principy radiační ochrany. Celkem jsou tři – princip zdůvodnění, princip optimalizace a princip limitování (Kubinyi, 2018).

Princip zdůvodnění hovoří o tom, že žádná činnost, která by vedla k ozáření osob nesmí být prováděna, aniž by z této činnosti plynul dostatečný prospěch ozářených osob, nebo společnosti. Riziko újmy by se mělo pohybovat na co nejnižší hladině a zároveň přínos daného vyšetření ozářením by měl být větší než rizika, jež mohou v průběhu vyšetření nastat (Kubinyi, 2018).

Princip optimalizace nám říká, že každý, kdo vykonává činnost vedoucí k ozáření je povinen dodržovat takovou úroveň radiační ochrany, aby riziko škodlivých účinků záření bylo optimálně nízké z hlediska technického i ekonomického. Využívá se principu tzv. ALARA (As Low As Reasonably Achievable) neboli dávka záření by měla být tak nízká, jak je rozumně dosažitelné. Dávka by při tom neměla být naopak až příliš nízká, aby zase nedošlo ke snížení kvality snímku, ze kterého by nebylo možné stanovit patřičnou diagnózu (Kubinyi, 2018).

Princip limitace pojednává o nepřekročení stanovených limitů celkovou dávkou, kterou obdrží pacient z kontrolovaných zdrojů, Do tohoto se nepočítá lékařské ozáření (Kubinyi, 2018).

### **2.7.2 Limity pro ozáření**

Radiační limity pro nás představují kvantitativní ukazatel, který je nepřípustný, aby byl překročen. Limity pro ozáření se vztahují jak na záření, které bylo způsobeno při zevní kontaminaci ze zdrojů mimo tělo, tak na ozáření vzniklé vnitřní kontaminací radionuklidy. Do těchto limitů se zahrnuje ozáření z přírodního pozadí. Pro stanovení těchto limitů se používají dvě veličiny – Efektivní dávka (E) a Ekvivalentní dávka ( $H_T$ ). Radiační limity se dělí celkem na tři části – limity pro radiační pracovníky, limity pro žáky a studenty a limity obecné (Kubinyi, 2018).

Limity pro radiační pracovníky nám udávají, že E nesmí během jednoho roku překročit dávku 20 mSv a dávku 100 mSv během pěti po sobě jdoucích let. Dále také  $H_T$  nesmí překročit hodnotu 50 mSv během jednoho roku na oční čočku, ale nesmí překročit dávku 100 mSv za pět po sobě jdoucích let. Průměrná  $H_T$  na končetiny nesmí být větší než 500 mSv za rok a průměrná dávka na  $\text{cm}^2$  kůže nesmí být větší než 500 mSv za jeden rok (Kubinyi, 2018).

Limity pro žáky a studenty stanovují, že v rámci výuky nesmí E překročit hodnotu 6 mSv za rok. Také nesmí překročit roční  $H_T$  15 mSv za rok na oční čočku a průměrná  $H_T$  na končetiny a kůži nesmí přesáhnout 150 mSv za rok (Kubinyi, 2018).

Limity obecné platí pro obyvatelstvo a udávají, že E by neměla překročit hodnotu 1 mSv za jeden kalendářní rok a hodnota  $H_T$  by neměla být vyšší než 15 mSv za jeden rok, a to pro oční čočku (Kubinyi, 2018).

### **2.7.3 Ochrana před zářením**

Pro snížení radiační zátěže z ozáření se využívá na oddělení NM, stejně jako na jiných odděleních, kde se vyskytuje ionizující záření, celkem tři metod. Jedná se o metodu ochrany časem, ochrana vzdáleností a ochrana stíněním. (Kubinyi, 2018).

Ochrana časem se rozumí to, že radiační zátěž roste s délkou, kterou pracovník pobývá v blízkosti zdroje ionizujícího záření. Toto pravidlo je obzvláště důležité na odděleních NM, neboť zde se zdrojem záření nestávají pouze přístroje, ale i samotní pacienti po podání radiofarmak. Právě kvalifikace a zkušenosti těchto pracovníků u jsou potřebné pro snížení nutného času při manipulaci jak s pacientem, tak i při manipulaci samotného radiofarmaka (Kubinyi, 2018).

Ochrana vzdáleností je založena na principu toho, že dávkový příkon pro záření  $\gamma$  a RTG záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření. Zjednodušeně se dá říci, že čím dále jsme od zdroje záření tím menší dávku dostaneme. Ochrana vzdáleností je také, díky skutečnosti, že se pacienti stávají radioaktivními, velmi důležitou především na odděleních NM (Kubinyi, 2018).

Při ochraně stíněním se uplatňuje stínící vrstva vhodného materiálu o vysoké hustotě, který má za následek zeslabení svazku záření. Nejčastěji používaným materiálem v tomto odvětví je olovo, popřípadě wolfram. Tyto materiály se díky své hustotě hodí především na velmi pronikavá záření gama a RTG záření. Pro záření beta a alfa není nutné používat tyto těžké materiály, nýbrž postačí materiály lehčí jako je hliník. Pracovníci jsou také povinni nosit

ochranné olověné vesty a límce, pokud by se nacházely v místnosti, kde se provádí snímkování. Na odděleních NM hrozí kromě vnějšího ozáření také vnitřní kontaminace radionuklidy. Z tohoto důvodu je zakázáno konzumovat jídlo a nápoje v kontrolovaných pásmech (Kubinyi, 2018).

### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část se detailně věnuje popisu scintigrafického vyšetření a na následnou radionuklidovou terapii tyreotoxikózy pomocí  $^{131}\text{I}$ . To vše z pohledu radiologického asistenta, jakou úlohu při tomto vyšetření vykonává. Výzkum probíhal na oddělení NM ve Fakultní nemocnici Hradci Králové (FNHK).

#### 3.1 Příprava pacienta a edukace

Pacient, která jde na vyšetření na oddělení NM musí být vždy indikován od ošetřujícího lékaře. Před tím, než se zahájí léčba dostane pacient prvně pozvánku na vyšetření, kde se také vyskytuje poučení o dané léčbě. Diagnóza je stanovena od endokrinologa a pacient se na základě vyplněné žádanky objednává na konkrétní vyšetření. Léčby tyreotoxikózy trvá celkem čtyři dny.

Ještě před příchodem na oddělení je nutné, aby pacient vysadil léky obsahující hormony štítné žlázy, omezil přísun jodu v potravě alespoň dva týdny před vyšetřením a měsíc před příchodem je potřeba, aby pacient neabsolvoval jakékoliv vyšetření, při které by bylo nezbytné podat jodovou kontrastní látku. Činí se tak z toho důvodu, neboť během vyšetření se jod z radiofarmaka akumuluje v buňkách štítné žlázy. Pokud by pacient nedodržel tyto opatření došlo by ke zhoršení výsledků vyšetření z důsledku zablokování akumulace jodu ve štítné žláze.

První den se pacient po příchodu nejprve nahlásí v kartotéce, kde si pacienta již převezme radiologický asistent a doprovodí ho na lůžkové oddělení, jenž je součástí oddělení NM. Zde si pacienta přebere lékař, který provede vstupní vyšetření, ultrasonografii a zajistí odběr krve. Poté si pacienta opět přebírá radiologický asistent, který následně ponaučí pacienta o pobytu na lůžkovém oddělení a podmínkách s tím spjatých. Každému pacientovi je přiřazen právě jeden samostatný jednolůžkový pokoj. Ještě před pobytem na tomto pokoji je nutné, aby pacient odevzdal své osobní věci a používal pouze ty, které jsou součástí pokoje. Pacient je dále poučen, že po aplikaci radiofarmaka se stává radioaktivním, a tudíž je nutné, aby dodržoval zásady, které to obnáší. Jedná se o používání výhradně ústavního oblečení, ručníků a kapesníků. Také je velmi důležité poučit pacienta a močení v sedě a při ukápnutí, jak moče, krve tak i při zvracení je nutné o této skutečnosti informovat příslušný personál. Pacient je také poučen, aby se po celou dobu pobytu zdržoval výhradně na svém pokoji. Po této edukaci, pokud pacient se vším souhlasí, následně podepíše souhlas o podání radiofarmaka (viz. Příloha č.1), který pojednává o průběhu vyšetření, proč je toto vyšetření prováděno a jsou zde zmíněny i možné nežádoucí reakce.

Radiologický asistent má potom za úkol připravit dva roztoky s  $^{131}\text{I}$ . Jeden z roztoků je podán pacientovi a druhý roztok je umístěn do plastové lahvičky, která se umístí do fantomu (viz. obrázek č. 4), jenž má představovat štítnou žlázu. Následně je pacient znovu poučen, jak se má chovat po podání radiofarmaka.



**Obrázek 4 Fantom (vlastní zdroj)**

### **3.2 Akumulační test**

Následující den je prováděn tzv. akumulací test. Ještě ale před tímto testem je potřeba povést kontrolu měřicího přístroje pomocí radioaktivního zářiče  $^{137}\text{Cs}$ . Akumulační test se provádí pomocí tubusu, který funguje jako gamakamera, tudíž se skládá z kolimátoru, za kterým se scintilační detektor a následně fotonásobič (viz. obrázek č. 5). Tímto stylem se měří impulzy v oblasti štítné žlázy. Pacient je nejprve posazen na židli a sondu asistent namíří na oblast krku na štítnou žlázu. Během měření je důležité, aby pacient vydržel přesně jednu minutu v klidu sedět, nehýbal se a nemluvil. Po tomto měření se dále provádí měření z oblasti pacientova kolene také po dobu jedné minuty. Toto měření kolene slouží ke změření radioaktivního pozadí v pacientovi. Poté je pacient poslán zpět do čekárny a provede se měření předem připraveného fantomu, ve kterém je umístěn roztok  $^{131}\text{I}$ . Jod má právě stejnou aktivitu a měří se za stejných podmínek jako vyšetřovaný pacient.



**Obrázek 5 Jednofotonásobičový multikanálový analyzátor (vlastní zdroj)**

Akumulační test je ukončen po změření radioaktivního pozadí v prostředí, ve kterém probíhalo celé vyšetření. Přístroj slouží ke změření hodnot akumulace  $^{131}\text{I}$  ve štítné žláze. Výsledek se počítá právě z naměřeného počtu impulzů u pacienta vydělených počtem impulzů naměřených u fantomu, to celé vynásobené číslem sto. U pacientů u tyreotoxikózou se tyto hodnoty mohou pohybovat řádově v desítkách procent od cca 25 % až po 70 % akumulace radiojodu. Naopak u pacientů, kteří podstoupili tyreoidektomii z důvodu karcinomu štítné žlázy, se tyto hodnoty pohybují na nejvýše k 1 % akumulace radiojodu.

### **3.3 Scintigrafie štítné žlázy**

Jako další část následuje scintigrafické vyšetření štítné žlázy, které podstupují nejen pacienti podstupující léčbu radiojódem ,ale i pacienti hospitalizovaní a ambulantní. Před samotnou scintigrafií radiologický asistent připraví v digestoři (viz. obrázek č. 8) potřebné aplikační dávky radiofarmaka do injekčních stříkaček dle váhy pacienta. Jako radiofarmakum se používá  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  – pertechnetat, které se natahuje do stříkaček se stínícím obalem (viz. obrázek č. 6). Každé ze natáhnutých stříkaček musí být popsána jakým druh radiofarmaka se v ní nachází a o jaké aktivitě (viz. obrázek č. 7). Posléze je pacient zavolán do aplikační místnosti, kde radiologický pracovník asistuje při aplikaci radiofarmaka lékaři. Nejdříve je nezbytné provést aktivní identifikaci pacienta. Nejčastější místo zavedení kanyly bývá kubitální a přes tuto

kanylu lékař aplikuje dané radiofarmakum. Po aplikaci je pacient opět poslán do čekárny, kde se čeká přibližně 15-20 minut na vychytání radiofarmaka ve štítné žláze.



Obrázek 6 Stínící obaly injekčních stříkaček (vlastní zdroj)

Uchovávání: L		Tc-99m Typ: Zkušební štítná žláza Datum: 15.03.2022 06:59:02		Objemová aktivita [MBq/ml]: 10,14
<b>Průvodní list otevřeného radionuklidového zářiče ONM FNHK</b>				
Datum: 15.3.2022	Izotop: <sup>99m</sup> Tc	Název radiofarmaka: Technecium sodný	Sarže: 61607	
Čas přípravy: 6:20		Celková aktivita [MBq]: 4.148 [GBq]	Celkový objem [ml]: 10,0	
Expirace: 14:52		<small>Oddělení nukleární medicíny, FN Prazec-Kralovce</small>		
Způsob podání: i.v.		Jméno: (Du-fredricksoni) Tc-99m	Objemová aktivita [MBq/ml]: 4,15	
Uchovávání: N		<small>Typ: Zkušební štítná žláza Datum: 15.03.2022 06:52:40</small>		
Kontrola: Mgr. Pavlína Lámušová ONM	Připravil: Mgr. Pavlína Lámušová ONM	Převzal: Bp. Ludmila HOFKOVÁ ONM		
Přípravek je určen do rukou lékaře!				

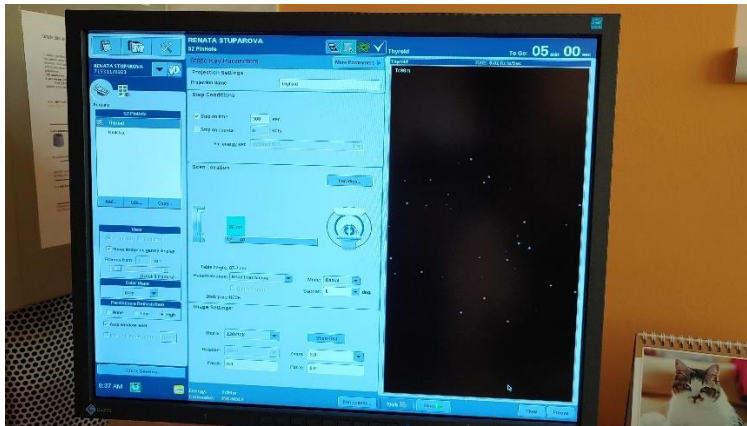
Obrázek 7 Popisky lepící se na stříkačky s radiofarmakem (vlastní zdroj)





**Obrázek 8 Digestoř pro přípravu radiofarmak (vlastní zdroj)**

Před zavoláním pacienta na vyšetření na gamakameře, radiologický asistent zadá údaje o pacientovi do programu na počítači, na kterém je připravený protokol pro scintigrafii štítné žlázy (viz. obrázek č. 9). Po uplynutí doby, kdy se vychytává radiofarmakum je pacient zavolán do místnosti s gamakamerou. Opět se nejprve provede aktivní identifikace pacienta a následně požádán o odložení kovových předmětů z oblasti krku, které by mohly způsobit zhoršení výsledků vyšetření. Ještě před měření na gamakameře je zapotřebí dát pacientovi vypít přiměřené množství obyčejné vody. Činí se to z důvodu, neboť  $^{99m}\text{Tc}$  – pertechnetát se vychytává mimo jiné i ve slinných žlázách. Tohoto vychyceného radiofarmaka je tudíž nutné se zbavit pomocí vody z oblasti slinných žláz, krku a úst, aby byl sken přehledný a nevznikal šum. Během toho radiologický asistent poučí pacienta, jak vyšetření probíhá a co je nutné dodržovat.



**Obrázek 9** Počítač s připravený protokolem na vyšetření (vlastní zdroj)

Dále je již pacient položen na záda na vyšetřovací stůl, hlavou směrem ke gamakameře (viz. obrázek č. 10). Ruce si pacient položí buď podél těla, nebo na hrudník, dle preferovanějšího pohodlí. Následně se s celým stolem zajede pod kameru, kde je již připravený kolimátor typu „pinhole“ (viz. obrázek č. 11). Tento typ kolimátoru se používá hlavně při sledování menších orgánů jako je právě štítná žláza. Poskytuje totiž zvětšený obraz s nejvyšším polohovým rozlišením za cenu nižší citlivosti, čímž se prodlužuje doba vyšetření. Asistent nastaví tento kolimátor co nejbližší sledované oblasti na krku, tak aby štítná žláza byla ve středu pole. Pokud je však pacient po tyreoidektomii nastaví se kolimátor cca 2-3 cm od pacienta kvůli zachycení větší oblasti štítné žlázy, či zobrazení rezidua. Když je vše nastavené požádá asistent pacienta, aby se již nehýbal. Celkem měření trvá 5 minut. Během této doby včetně manipulace s pacientem by měl radiologický asistent myslet na ochranu vzdáleností i časem, neboť se již pracuje s lidmi, kteří emitují záření.



**Obrázek 10** Vyšetřovací stůl a gamakamera s pin hole detektorem (vlastní zdroj)

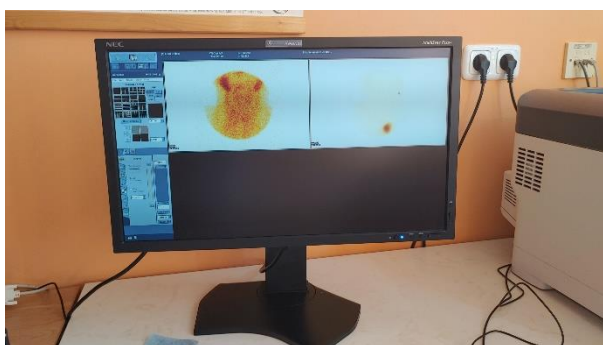


**Obrázek 11** Detailnější snímek pin hole detektoru (vlastní zdroj)

Pro lepší orientaci v oblasti krku, a to zejména při tyreoidektomii, se využívá ještě jednoho měření. To se provádí pomocí speciální kuličky, která obsahuje malé množství radiofarmaka. Tato kulička je přiložena na jugulární jamku pacienta a přiloží k ní kuličku. Na skenu se poté zobrazí jako jeden bod s výraznou aktivitou. Po této činnosti je vyšetření ukončeno. Pokud již lékař popisující sken nepotřebuje další doplňující vyšetření, asistent oddálí od pacienta kolimátor a sjede s pacientem a stolem dolů a pomůže mu z něho slézt. Pokud se jedná o pacienty po karcinomu štítné žlázy, nebo s tyreotoxikózou, jsou posláni zpět na pokoj. Pokud je pacient ambulantní, smí odcházet domů, ale je poučen o skutečnosti, že se nesmí přibližovat a trávit více času v okolí dětí a těhotných žen.



**Obrázek 12** Výsledný scintigram tyreotoxikózy (vlastní zdroj)



**Obrázek 13** Výsledný scintigram po tyreoidektomii (vlastní zdroj)

### **3.4 Terapie $^{131}\text{I}$**

Terapie jodem probíhá dle výsledku akumulčního testu, kdy se vypočítá terapeutická aktivita radiojodu. Potřebná aktivita k aplikaci se vypočítává podle vzorce, kde se bere v úvahu hmotnost hyperfunkční tkáně v gramech, plánovaná terapeutická dávka v Gy, procentuální akumulace jódu ve štítné žláze za 24 hodin od požití kapsle a efektivní poločas jódu vyjádřený ve dnech. Požadovaná absorbovaná dávka musí zohledňovat typ hypertyreózy. U autonomní hypertyreózy je to 100-250 Gy a u funkční autonomie 250-300 Gy. Po výpočtech této dávky se radiologický asistent odebere na lůžkové oddělení za pacientem a podá mu radiofarmakum buď ve formě kapsule nebo ve formě roztoku. Roztok se podává takovým pacientům, kteří nejsou schopni spolknout kapsli, nebo jim byla zvolena jiná hodnota aktivity, takové aktivity, ve kterém se kapsle nevyrobí. Radioaktivní jód se aplikuje o předem dané aktivitě 200 MBq, ale častěji se aktivita vypočítává na základě velikosti štítné žlázy. Po podání terapeutické látky je pacient povinen se zdržovat 4-6 dní na lůžkovém oddělení a musí dodržovat pokyny sdělené radiologickým asistentem během podání léčivé látky. Radiologický asistent je taktéž povinen docházet za pacientem na lůžko a kontrolovat jeho průběžný stav během ozařování. Během tohoto sledování se také pozoruje úroveň ionizujícího záření pomocí měřiče dávkového příkonu

ve vzdálenosti 1 m od pacienta. Pacient může být propuštěn z nemocnice až poté co poklesne aktivita pod stanovenou mez (250 MBq), což je přibližně  $12 \text{ uSv.h}^{-1}$  dávkového příkonu. Tato mez je stanovená Atomovým zákonem.

Léčba spočívá v ozařování  $\beta^-$  zářením, čímž se redukuje a ničí hyperfunkční tkáň. Nejčastěji se terapie jodem u hyperfunkce štítné žlázy uplatňuje u Graves-Basedowova choroby. Pacient po léčbě  $^{131}\text{I}$  dochází jednou za 4-6 týdnů na kontrolu funkce štítné žlázy kvůli nebezpečí hypotyreózy. Pokud se objevuje eutyreóza, dochází pacient na kontrolu jednou ročně. Úspěšnost léčby po podání první dávky radiojodu je okolo 70 %. Pokud po první léčbě přetrvává hypertyreóza déle jak 6 měsíců, mělo by dojít k opětovnému podání radioaktivního jódu. Jako nevýhodu při léčbě radiojodem bývá považována doba, než se dostaví efekt léčby, a dále pak trvalá substituce hormonů štítné žlázy. Po aplikaci radiojodu trvá měsíc, než poklesne funkce štítné žlázy.

## 4 DISKUZE

Nukleární medicína je zdravotnický obor, který se zabývá diagnostikou a terapií různými typy radionuklidových otevřených zářičů. V dnešní době je toto odvětví již velmi moderní, čehož se v oblasti nukleární medicíny hojně využívá. Při správném dodržování všech stanovených pravidel a postupů je velmi malá pravděpodobnost, aby při práci radiologického asistenta vznikla jakákoliv nehoda, která by mohla ohrozit jak jeho, tak i vyšetřovaného pacienta. Technika je natolik chytrá, že kolikrát zabrání laborantovi způsobit nějakou škodu díky chytrému naprogramování. I přes to je zapotřebí pravidelné školení pracovníků pohybující se v tomto prostředí.

Za svou dobu studia jsem měl možnost pozorovat asistenty na odděleních nukleární medicíny celkem ve dvou nemocnicích v České republice. V Chrudimské nemocnici a ve Fakultní nemocnici Hradce Králové. Obě tyto pracoviště se liší jak svou velikostí, vyšetřovacími přístroji, uspořádáním, množstvím vyšetřených pacientů tak i množstvím vyšetření, které se zde vykonává. Má práce byla zaměřená na radionuklidovou terapii štítné žlázy a bohužel se toto vyšetření neprovádí v Chrudimské nemocnici, nýbrž pacienti jsou přeměrováni rovnou do nemocnice v Hradci Králové. Z praxe jsem se ale dozvěděl, že každé oddělení nukleární medicíny se liší také zejména v radiologických standardech, dle kterých jsou jednotlivá vyšetření prováděna. Ty se mohou lišit i v závislosti jaký lékař popisuje vyšetření.

Při svém sběru dat jsem nepřišel na skutečnost, že by se v České republice používal k radioterapii jiný radionuklid než  $^{131}\text{I}$ . Avšak narazil jsem při tom na spoustu zajímavých studií ze zahraničí věnující se právě tématu radioterapie tyreotoxikózy.

Jedná taková studie hovoří o diagnóze Graves-Basedowovy choroby. Popisuje, že nejčastějším řešením pro tuto nemoc jsou, ostatně jako v České republice, tři možnosti. Léky proti štítné žláze (Metamizol, Karbimazol a Propylthiouracil), terapie jódem  $^{131}\text{I}$  a tyreoidektomie. Nicméně je zde zmíněno, že pacienti, jenž jsou léčeni léky proti štítné žláze mají vysokou návratnost tohoto onemocnění a ti pacienti, kteří podstoupili odstranění štítné žlázy trpí zase na hypotyreózu. Studie také tvrdí, že v Evropě a v Japonsku jsou na prvním místě při léčbě Graves-Basedowovy choroby léky proti štítné žláze, ale v Severní Americe je nejčastějším způsobem po řešení tohoto problému terapie  $^{131}\text{I}$  i přes zvyšující se používání léků proti štítné žláze. Ve světě se také zřídka používá jako první možnost léčby tyreoidektomie. U léku proti štítné žláze je ale restrikce u používání Propylthiouracilu u lidí, kteří nemohou tolerovat jiné

thioamidy a u žen, které jsou prvním trimestru těhotenství (Diagnosis and management of Graves disease: a global overview [online, 2013])

Další studie měla za cíl sledovat efekt kouření na účinnost aktivity radiojódů  $^{131}\text{I}$  při terapiích Graves-Basedowovy choroby. Také sledovala vliv kouření cigaret a účinnost profylaxe prednisonem na riziko vývoje tyreoidální oftalmopatie (TAO) po terapii radiojódem během dvou let. Studovaný soubor tvořilo celkem 336 pacientů z čehož bylo 274 žen a 62 mužů. 130 pacientů dostalo druhou terapeutickou dávku  $^{131}\text{I}$  z důvodu opakujícího se výskytu hypertyreózy. Mezi všemi sledovanými se nacházelo 220 kuřáků a 116 nekuřáků. Pro provedení dlouhotrvajících vyšetření se dospělo k překvapivému výsledku. Výsledky studie totiž prokazatelně dokázaly, že kouření cigaret snižuje účinnost léčby  $^{131}\text{I}$  u pacientů s Graves-Basedowovou chorobou. Studie také potvrdila účinnost steroidní profylaxe proti rozvoji TAO, nebo exacerbaci radionuklidové terapie (Radioiodine therapy and Graves's disease – Myth and reality [online], 2020)

Jiná studie dokonce zmiňovala i léčbu hyperfunkce štítné žlázy za pomoci beta blokátorů. Tyto léky způsobují rychlou úlevu od adrenergických příznaků hypertyreózy jako je třes, bušení srdce, nesnášenlivost tepla a nervozita. Používají se ještě jako dřívější léčba než použití léku proti štítné žláze, tyreoidektomii a  $^{131}\text{I}$ . Nejvíce se používá lék Propranolol kvůli vyššímu účinku na hypermetabolismus. Lék se dává každých 6 hodin v množství od 10 mg až po 20 mg. Dávka by se měla následně postupně zvyšovat, dokud nebudou příznaky plně pod kontrolou (Hyperthyroidism: Diagnosis and Treatment [online], 2005)

## 5 ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se snažil čtenářům přiblížit jakou práci vykonává na odděleních nukleární medicíny radiologický asistent, přesněji při terapiích hyperfunkce štítné žlázy. Toto téma mi bylo osobně velmi blízké, neboť jsem sám postižen tímto onemocnění, naštěstí jen v mírné formě, protože mi stačí brát léky. Tím pádem se tato práce pro mě stala jakýmsi hlubším studiem tohoto tématu, které mě obohatilo o cenné informace o tomto onemocnění, jak vzniká, jak se v horších případech lečí a že se v dnešní době vyskytuje čím dál tím více častěji. Během psaní bakalářské práce jsem využíval nejen odborné literatury, ale také mnoha cenných poznatků od zkušenějších radiologických asistentů s dlouholetou praxí v tomto oboru. Poznámky se tak staly velmi hodnotnými informacemi k doplnění znalostí do bakalářské práce.

V teoretické části jsem se zaměřil nejdříve na popis samotného oddělení včetně přístrojů, s jakými se může radiologický asistent dostat do styku během konání své práce. Dále jsem se zaměřil na anatomický popis štítné žlázy, včetně její fyziologie a patofyziologie. Nedílnou součástí této práce jsou také radionuklidy a radiofarmaka, které se právě hojně využívají na odděleních nukleární medicíny. V předposlední kapitole se věnuji přímo  $^{131}\text{I}$ , neboť je to právě ta látka, kterou se provádí terapie hyperfunkcí štítné žlázy. Na závěr teoretické části jsem shrnul základní informace o radiační ochraně, která „byť“ je na posledním místě, však patří mezi nejdůležitější součást znalostí pro radiologické asistenty. Při nedodržování zásad radiační ochrany může mít totiž až fatální následky pro osobu pracující v roli radiologického asistenta.

Výzkum pro praktickou část bakalářské práce jsem prováděl již přímo na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové. V této části jsem nejvíce uplatnil zkušeností asistentů pracujících na tomto oddělení. Praktická část má za účel přiblížit čtenáři jakou úlohu splňuje radiologický asistent při radionuklidové terapii hyperfunkce štítné žlázy. Pojednávám zde o přípravě pacienta před vyšetřením, o jeho edukaci, průběhu akumulačního testu a také jak s pacientem zacházet během scintigrafického vyšetření. Práce pokračuje popisem práce radiologického asistenta při podávání radiofarmaka  $^{131}\text{I}$  a o následné edukaci a sledování pacienta během léčby.

Ačkoliv se může zdát práce radiologického asistenta pro někoho nebezpečná, neboť se vyskytuje v blízkosti ionizujícího záření, mohl jsem se sám přesvědčit, že pokud se dodržují všechny zásady a opatření, není tato práce nijak nebezpečná a neohrožuje asistenty na životě. Práce asistenta není jen prací se stroji, na počítači, nebo s „nebezpečnými“ radioaktivními látkami. Asistent je často první, kdo jedná s pacienty, doprovází se na vyšetření, komunikuje



s nimi během vyšetření a také jim odpovídá na zvědavé otázky. Proto je důležité, aby radiologický asistent byl empatický a uměl komunikovat s lidmi.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

### 6.1 Primární zdroje

AHMADZADEHFAR, Hojjat, Hans-Jürgen BIRSACK, Leonard M. FREEMAN a Lionel S. ZUCKIER. *Clinical Nuclear Medicine*. 2nd ed. New York City: Springer International Publishing, 2020. ISBN 9783030394578.

HAVRÁNKOVÁ, Renata, ed. *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 9788024740980

IGAZ, Peter. *Practical Clinical Endocrinology*. New York City: Springer, 2021. ISBN 9783030620103.

KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 9788027101689.

POWSNER, Rachel A., Matthew R. PALMER a Edward R. POWSNER. *Essentials of Nuclear Medicine Physics, Instrumentation, and Radiation Biology*. 4th ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2022. ISBN 9781119620990.

### 6.2 Sekundární zdroje

OREL, Miroslav. *Anatomie a fyziologie lidského těla: pro humanitní obory*. Praha: Grada, 2019. Psyché. ISBN 978-80-271-0531-1.

LÍMANOVÁ, Zdeňka, Jan NĚMEC a Václav ZAMRAZL. *Nemoci štítné žlázy*. Praha: Galén, 1995. ISBN 8085824256.

VLČEK, Petr a Jan NEUMANN. *Karcinom štítné žlázy: pooperační sledování nemocných*. Praha: Maxdorf, 2002. ISBN 80-85912-50-3.

KAŇKOVÁ, Kateřina. *Patologická fyziologie pro bakalářské studijní programy*. 2. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2009. ISBN 978-80-210-4923-9.

MAREK, Josef a Václav HÁNA. *Endokrinologie*. Praha: Galén, 2017. ISBN 978-80-7262-484-3.

ZAMRAZIL, Václav, Václav HOLUB a Petr KASALICKÝ. *Endokrinologie*. Praha: Triton, 2003. ISBN 80-7254-380-6.

LÍMANOVÁ, Zdeňka. *Štítná žláza*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-400-8.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). Praha: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-54-8.

KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.

DVOŘÁKOVÁ, Marcela, Radovan BÍLEK, Jarmila ČEŘOVSKÁ, et al. *Štítná žláza od minulosti k současnosti u dětské a dospělé populace v České republice*. DMEV. Praha: Tegis, 2007.

### 6.3 Odborné články

Bartalena L. *Diagnosis and management of Graves disease: a global overview*. Nat Rev Endocrinol. 2013 Dec;9(12):724-34. doi: 10.1038/nrendo.2013.193. Epub 2013 Oct 15. PMID: 24126481.

Plazinska MT, Sawicka-Gutaj N, Czarnywojtek A, Wolinski K, Kobylecka M, Karlińska M, Prasek K, Zgorzalewicz-Stachowiak M, Borowska M, Gut P, Ruchala M, Krolicki L. *Radioiodine therapy and Graves' disease - Myths and reality*. PLoS One. 2020 Jan 13;15(1):e0226495. doi: 10.1371/journal.pone.0226495. PMID: 31929534; PMCID: PMC6957158.

Reid JR, Wheeler SF. *Hyperthyroidism: diagnosis and treatment*. Am Fam Physician. 2005 Aug 15;72(4):623-30. PMID: 16127951.

### 6.4 Internetové zdroje

KOŠŇAŘOVÁ, B. *Příznaky onemocnění štítné žlázy jsou velice různorodé. Jak léčit hypotyreózu a hypertyreózu?* [online]. 2020 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/leky/onemocneni-stitne-zlazy-priznaky-hypotyreoz/>

ČESKO. § 8 odst. 2 zákona č. 96/2004 Sb., o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činnosti souvisejících s poskytováním zdravotní péče a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o nelékařských zdravotnických povoláních). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-96#p8-2>

ULMANN, V. *Jaderná fyzika, ionizující záření, radiologie* [online]. 2010 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/>.

## **7 PŘÍLOHY**

Příloha A1 – *Souhlas pacienta s aplikací radiofarmaka a vyšetřením* (ONM FNHK).....52

Příloha A2 – *Souhlas pacienta s aplikací radiofarmaka a vyšetřením* (ONM FNHK).....53

Příloha A1 – Souhlas pacienta s aplikací radiofarmaka a vyšetřením (ONM FNHK)



Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové - Nový Hradec Králové

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny - 6681

Tel.: 495 832 337

**Souhlas pacienta/tky – zákonného zástupce  
s aplikací radiofarmaka a následným vyšetřením na gamakameře**

**Pacient/ka:** .....  
příjmení jméno titul

**Rodné číslo:** ..... **Pojišťovna:** .....

**Zákonný zástupce:** .....  
(otec, matka) příjmení jméno titul

**Doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:**

.....  
příjmení jméno titul pracovní zařazení  
(zdravotní sestra, zřízenec)

**Plánovaný výkon:** Scintigrafie štítné žlázy

**Radiofarmakum:** <sup>99m</sup>Tc-pertechnetát

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Váš ošetřující lékař scintigrafické vyšetření na našem oddělení. Vyšetření se provádí na gamakameře po předchozí aplikaci radiofarmaka (léku označeného radioaktivním izotopem), obvykle nitrožilní. Zobrazení zachytu radiofarmaka umožňuje posoudit stav orgánů, přítomnost patologických ložisek apod. Dle potřeby je scintigrafie doplněna nízkodávkovým CT. Interval mezi aplikací a vyšetřením závisí na typu výkonu. Vyšetření způsobuje nevelkou radiační zátěž organismu.

Nežádoucí vedlejší účinky (alergické reakce) se po aplikaci radiofarmak vyskytují zcela ojediněle. Pokud by se objevily po odchodu z našeho oddělení, obraťte se na svého ošetřujícího lékaře nebo pohotovost v místě bydliště, event. na Oddělení urgentní medicíny FN HK (495834120 nebo 495834130).

Před vyšetřením sdělte případné alergie v minulosti, u žen v reprodukčním věku těhotenství, podezření na těhotenství, kojení.

V den vyšetření je doporučen zvýšený příjem tekutin. Po vyšetření není nutné omezení obvyklého způsobu života, nedochází ke změně pracovní způsobilosti, není třeba měnit Váš léčebný režim. Po celý den vyšetření, je třeba omezit kontakt s malými dětmi a těhotnými ženami.

Podrobnější dotazy Vám ochotně zodpoví lékař aplikující radiofarmakum nebo jiný lékař oddělení.

**Byl/a jsem srozumitelně seznámen/a s průběhem vyšetření. Byly mi zodpovězeny všechny mé otázky, a to srozumitelně, včetně všech rizik či komplikací.**

Prohlašuji, že jsem lékařům nezamlčel/a žádné údaje o svém zdravotním stavu (včetně alergií), mně známé, které by mohly nepříznivě ovlivnit průběh vyšetření. Současně prohlašuji, že v případě výskytu neočekávaných komplikací, vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně mého života nebo zdraví souhlasím s tím, aby byly provedeny veškeré další potřebné a neodkladné výkony nutné k záchraně mého života nebo zdraví.

Souhlasím s plánovaným vyšetřením dne: ..... v ..... hodin

Podpis: .....

## Příloha A2 – Souhlas pacienta s aplikací radiofarmaka a vyšetřením (ONM FNHK)

### Aplikace radiofarmaka

Čas:

Způsob:       i.v.       s.c.       jiný: .....

Místo: kubitální žíla       vpravo       vlevo

         předloktí       vpravo       vlevo

         dorsum ruky       vpravo       vlevo

         dorsum nohy       vpravo       vlevo

         jiné .....

Dle anamnestických údajů:      Gravidita: ANO      NE      Kojení: ANO      NE

Alergie:

Lékař/ka provádějící poučení a aplikaci radiofarmaka. Lékařské ozáření schválil/a lékař/ka:

– jmenovka a podpis: .....

Vyšetření provedl/a: