

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

SPECT/CT zobrazení nádorů štítné žlázy – úloha radiologického asistenta

Lucie Zezulová

Bakalářská práce

2018

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lucie Zezulová**
Osobní číslo: **Z15284**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **SPECT/CT zobrazení nádorů štítné žlázy - úloha radiologického asistenta**
Zadávající katedra: **Katedra informatiky, managementu a radiologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

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 grafických prací: **dle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

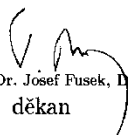
1. GREENSPAN, Francis S. a John D. BAXTER. Základní a klinická endokrinologie. 4. vyd. Praha: H&H, 2003. ISBN 80-86022-56-0.
2. HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2350-0.
3. KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
4. ŠLAMPA, Pavel a Jiří PETERA. Radiační onkologie. Praha: Galén, c2007. ISBN 978-80-7262-469-0.
5. VLČEK, Petr a Jan NEUMANN. Karcinom štítné žlázy: pooperační sledování nemocných. Praha: Maxdorf, 2002. ISBN 80-85912-50-3.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Petr Vicherek**

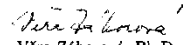
Katedra informatiky, managementu a radiologie

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2018**


prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.
děkan

L.S.


Věra Záhorová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2018

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, 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. 111/98 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23.4.2018



Lucie Zezulová

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Petru Vicherkovi za jeho cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval při psaní této práce. Další poděkování patří kolektivu nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové za rady, informace a prostor pro zpracování teoretické a praktické části bakalářské práce. Velký dík patří mé rodině a blízkým, kteří mě po celou dobu studia na vysoké škole a při psaní této práce podporovali.

ANOTACE

Tématem bakalářské práce je úloha radiologického asistenta při zobrazení karcinomu štítné žlázy pomocí metody SPECT/CT. Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou.

Teoretická část práce obsahuje základní poznatky nukleární medicíny, fyzikální základy, anatomii a fyziologii štítné žlázy, základní rozdělení nádorových onemocnění štítné žlázy, vyšetřovací metody nukleární medicíny u karcinomů štítné žlázy a terapie pomocí radiojódů.

V praktické části bude na základě přímého pozorování popsána činnost radiologického asistenta u vyšetření karcinomu štítné žlázy na oddělení nukleární medicíny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Radiologický asistent, štítná žláza, scintigrafie, ionizující záření, radiofarmaka

TITLE

SPECT/CT imaging of thyroid cancer—the role of radiological assistant

ANNOTATION

The topic of the bachelor thesis is role of a radiological assistant in imaging of thyroid cancer using the SPECT/CT method. The thesis is divided into two parts, theoretical and practical.

The theoretical part of the thesis contains basic knowledge of nuclear medicine, physical foundations thyroid anatomy and physiology, basic classification of thyroid cancer, diagnostic methods of nuclear medicine used in thyroid cancer and radioiodine therapy.

In the practical part will be described the observation of the activity of a radiological assistant at examination of thyroid carcinoma on the department of nuclear medicine.

KEYWORDS

Radiological assistant, thyroid gland, scintigraphy, ionizing radiation, radiopharmaceuticals

OBSAH

0	Úvod.....	13
1	Cíl práce	14
2	Teoretická část.....	15
2.1	Nukleární medicína	15
2.1.1	Charakteristika oboru	15
2.1.2	Kategorizace a uspořádání pracoviště.....	16
2.1.3	Kategorizace radiačních pracovníků.....	17
2.1.3.1	Radiologický asistent.....	17
2.1.4	Zobrazovací metody nukleární medicíny.....	18
2.1.4.1	Scintigrafie	18
2.1.4.1.1	Statická scintigrafie.....	18
2.1.4.1.2	Dynamická scintigrafie	18
2.1.4.2	SPECT	18
2.1.4.3	SPECT/CT	19
2.1.4.4	PET.....	19
2.2	Fyzikální základy nukleární medicíny.....	20
2.2.1	Stavba atomu	20
2.2.2	Fyzikální veličiny pro radioaktivitu a dozimetrii	21
2.2.3	Ionizující záření	21
2.2.4	Druhy emitovaného ionizujícího záření	22
2.2.4.1	Záření alfa.....	22
2.2.4.2	Záření beta	22
2.2.4.3	Záření gama	22
2.2.4.4	Charakteristické rentgenové záření	23
2.2.5	Druhy radioaktivních přeměn	23
2.2.5.1	Přeměna alfa	23
2.2.5.2	Přeměna beta.....	24
2.2.5.3	Přeměna gama.....	25
2.2.6	Radionuklidy a jejich požadavky pro NM	25
2.2.6.1	Zdroje radionuklidů	26
2.2.6.1.1	Výroba radionuklidů v jaderných reaktorech	26
2.2.6.1.2	Výroba radionuklidů v cyklotronu	27
2.2.6.1.3	Získávání radionuklidů z generátorů.....	27
2.2.7	Radiofarmaka	28
2.2.7.1	Kontrola kvality radiofarmak.....	28
2.2.7.2	Lékové formy	29
2.2.8	Detekce záření	29
2.2.8.1	Princip scintilačního detektoru.....	29

2.2.8.2	Detekční přístroje pro nescintigrafická vyšetření	30
2.2.8.3	Scintilační kamery	30
2.2.8.4	Kolimátory	31
2.2.8.4.1	Kolimátory s paralelními otvory	31
2.2.8.4.2	Kolimátory konvergentní	31
2.2.8.4.3	Kolimátory divergentní	31
2.2.8.4.4	Kolimátor pinhole	31
2.3	Radiační ochrana v NM	32
2.3.1	Principy radiační ochrany	32
2.3.2	Radiační limity	33
2.3.3	Radiační ochrana pracovníků.....	34
2.4	Anatomie, fyziologie a patologie štítné žlázy	35
2.4.1	Anatomie štítné žlázy	35
2.4.2	Fyziologie štítné žlázy	36
2.4.3	Patologie štítné žlázy	36
2.4.3.1	Eufunkční struma.....	37
2.4.3.2	Hypertyreóza	37
2.4.3.3	Hypotyreóza.....	37
2.4.3.4	Záněty ŠŽ	37
2.4.3.5	Karcinomy	37
2.4.4	Klasifikace nádorů TNM systémem	38
2.4.4.1	Benigní nádory	38
2.4.4.2	Maligní nádory	39
2.4.4.2.1	Papilární karcinom	39
2.4.4.2.2	Folikulární karcinom.....	39
2.4.4.2.3	Medulární karcinom	39
2.4.4.2.4	Nediferencované karcinomy	39
2.4.5	Vyšetření štítné žlázy.....	40
2.4.5.1	Funkční vyšetření štítné žlázy.....	40
2.4.5.2	Morfologické vyšetření	40
2.5	Vyšetřovací metody v nukleární medicíně u nádorů ŠŽ.....	41
2.5.1	Radiofarmaka	41
2.5.2	Akumulační test.....	42
2.5.2.1	Indikace akumulčního testu.....	42
2.5.2.2	Příprava pacienta	42
2.5.2.3	Provedení	42
2.5.2.4	Hodnocení.....	42
2.5.3	Scintigrafie štítné žlázy	43
2.5.3.1	Indikace scintigrafie štítné žlázy	43

2.5.3.2	Příprava pacienta	43
2.5.3.3	Provedení	43
2.5.3.4	Hodnocení.....	43
2.5.4	Celotělová scintigrafie s ¹³¹ I	44
2.5.4.1	Indikace celotělová scintigrafie s ¹³¹ I.....	44
2.5.4.2	Příprava pacienta	44
2.5.4.3	Průběh.....	44
2.5.4.4	Hodnocení.....	45
2.5.5	Celotělová scintigrafie s ^{99m} Tc-MIBI.....	45
2.5.5.1	Indikace celotělové scintigrafie s ^{99m} Tc-MIBI	45
2.5.5.2	Příprava pacienta	45
2.5.5.3	Průběh.....	45
2.5.5.4	Hodnocení.....	46
2.6	Léčebná strategie	46
2.6.1	Chirurgická terapie	46
2.6.2	Hormonální terapie	47
2.6.3	Chemoterapie.....	47
2.6.4	Terapie radiojódem.....	47
2.6.4.1	Charakteristika ¹³¹ I.....	47
2.6.4.2	Kontraindikace.....	48
2.6.4.3	Negativní účinky.....	49
2.6.4.4	Průběh terapie	49
3	Praktická část.....	50
3.1	Příprava pacienta.....	50
3.2	Akumulační test	51
3.3	Scintigrafie štítné žlázy	53
3.4	Radiojódová terapie	54
3.5	Celotělová scintigrafie s ¹³¹ I.....	54
3.6	Celotělová scintigrafie s ^{99m} Tc-MIBI	59
4	Diskuze.....	61
4.1	Vzdělání radiologického asistenta v zahraničí	62
4.1.1	Rakousko	62
4.1.2	Německo	63
4.1.3	Italie	63
4.1.4	Švýcarsko	63
4.1.5	Shrnutí	63
4.2	Statistické údaje o pracovnících nukleární medicíny v České republice	64
5	Závěr	65
6	Použitá literatura.....	66

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 - Akvizice a rekonstrukce SPECT obrazu (zdroj 5)	19
Obrázek 2 - Akvizice a rekonstrukce PET obrazu (zdroj 5)	20
Obrázek 3 - Radioaktivní přeměna alfa (zdroj 6)	23
Obrázek 4 - Radioaktivní přeměna β^- (zdroj 6)	24
Obrázek 5 - Radioaktivní přeměna β^+ a elektronový záchyt (zdroj 6)	24
Obrázek 6 - Radioaktivní přeměna gama (zdroj 6)	25
Obrázek 7 - Uložení štítné žlázy (zdroj 4)	35
Obrázek 8 - Planární scintigrafie štítné žlázy (zdroj 1)	44
Obrázek 9 - Vyšetřovna na lůžkovém oddělení (zdroj 3)	50
Obrázek 10 - Měření impulzů v oblasti štítné žlázy	51
Obrázek 11 - Měření impulzů radioaktivního pozadí pacienta	52
Obrázek 12 - Měření fantomu	52
Obrázek 13 - Poloha pacienta při scintigrafii štítné žlázy	53
Obrázek 14 - Gama kamera, na které se provádí vyšetření	55
Obrázek 15 - Kolimátor pro střední energii	55
Obrázek 16 - Uložení pacienta na scintigrafii štítné žlázy ^{131}I	56
Obrázek 17 - Žluté značení	57
Obrázek 18 - Poloha při SPECT/CT štítné žlázy	57
Obrázek 19 - Výsledný obraz celotělové scintigrafie s ^{131}I doplněn o SPECT/CT (zdroj 2) ...	58
Obrázek 20 - Poloha pacienta při scintigrafii $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI	59
Obrázek 21 - Výsledný obraz celotělové scintigrafie s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI (zdroj 2)	60
Tabulka 1 - Radionuklidy používané v nukleární medicíně (Koranda, 2014, str.15)	26
Tabulka 2 - Klasifikace nádorů ŠŽ dle TNM (Šlampa, 2007, str.114)	38

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

A	Nukleonové číslo
Bq	Becquerel
cm	Centimetr
CT	Výpočetní tomografie
ČR	Česká republika
E	Efektivní dávka
H _T	Ekvivalentní dávka
i.v.	Intravenózní
IZ	Ionizující záření
keV	Kiloelektronvolt
MBq	Meqabecquerel
MIBI	Methoxyisobutylisonitril
mm	Milimetr
mSv	Milisievert
N	Neutronové číslo
NM	Nukleární medicína
p.o.	Perorální
PET	Pozitronová emisní tomografie
PET/CT	Pozitronová emisní tomografie – výpočetní tomografie
PET/MRI	Pozitronová emisní tomografie – magnetická rezonance
RA	Radiologický asistent
RF	Radiofarmakum
RO	Radiační ochrana

RTG	Rentgenové záření
SPECT	Jednofotonová emisní výpočetní tomografie
SPECT/CT	Jednofotonová emisní výpočetní tomografie – výpočetní tomografie
Sv	Sievert
ŠŽ	Štítná žláza
$T_{1/2}$	Poločas přeměny
T3	Trijodtyronin
T4	Tyroxin
T_b	Biologický poločas
T_{ef}	Efektivní poločas
TSH	Tyreostimulační hormon
TTE	Totální thyroidektomie
w_r	Radiační váhový faktor
Z	Protonové číslo

0 ÚVOD

Tématem mé bakalářské práce je nádorové onemocnění štítné žlázy, především její zobrazení a následná terapie. Štítná žláza patří mezi životně důležité orgány. Její hormony zasahují do všech metabolických dějů a významně tak ovlivňují funkci ostatních orgánů v těle. Maligní nádory štítné žlázy neřadíme do častých diagnóz na onkologických a radioterapeutických pracovištích, ale jedná se o nejčastější nádory endokrinní žlázy. Tímto onemocněním jsou ve většině případů postiženy ženy. [17]

V mé bakalářské práci se zaměřuji na zobrazení štítné žlázy pomocí SPECT/CT, které se provádí po terapii radiojódem. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Na začátku teoretické části představuji obor nukleární medicína, ve kterém popisuji charakteristiku oboru, rozdělení pracovišť a pracovníků a dále stručně představuji přístrojovou techniku, se kterými se na tomto oddělení pracuje. V další části se věnuji fyzikálním základům, radiofarmakům, detekci ionizujícího záření a radiační ochraně. Dále představuji anatomii, fyziologii a patologii štítné žlázy a vyšetřovací metody pro nádory štítné žlázy. Na konci teoretické části se věnuji léčebné strategii, ve které podrobněji popisuji léčbu pomocí radiojódu. V praktické části popisuji úlohu radiologického asistenta při vyšetření pacienta s karcinomem štítné žlázy, se zaměřením na SPECT/CT zobrazení karcinomu štítné žlázy po ukončení radiojódové terapie.

1 CÍL PRÁCE

Cílem práce je na základě studia odborné literatury a získaných poznatků z odborné praxe na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Hradec Králové popsat činnost radiologického asistenta a zhodnotit jeho úlohu při zobrazení karcinomu štítné žlázy pomocí SPECT/CT.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Nukleární medicína

2.1.1 Charakteristika oboru

Nukleární medicína (NM) je samostatným lékařským oborem, který využívá otevřené radioaktivní zářiče v diagnostice, terapii i v lékařském výzkumu. NM je nenahraditelnou součástí léčebně preventivní péče. Diagnostické metody v NM lze rozdělit na vyšetření *in vivo* a *in vitro*. Při metodách *in vivo* se přímo do těla pacienta aplikuje radiofarmakum (RF) obvykle intravenózní (i.v.) cestou. Používají se radionuklidy emitující při své přeměně částice fotonů elektromagnetického záření, a to charakteristické rentgenové záření, gama záření a záření, které vzniklo při anihilaci pozitronů. Protože je toto záření pronikavé a v těle se absorbuje jen z malé části, lze ho zachytit pomocí vnějších detektorů umístěných na přístrojích. Při scintigrafickém vyšetření se sledují a poté hodnotí fyziologické a patologické procesy v těle pacienta a určuje se uložení patologických ložisek ze získaného obrazu distribuce RF v těle pacienta. V terapii jsou využívána RF, které emitují částicové záření s krátkým dosahem v tkáni. Jsou to částice β^- , eventuálně α . Cílem je maximální ozáření vybrané patologicky změněné tkáně, a naopak minimální ozáření zdravé tkáně. Je třeba odlišit nukleárně medicínskou terapii od klasické radioterapie, při které se využívají nejčastěji radionuklidy ve formě uzavřených zářičů nebo svazky brzděného záření, elektronové či protonové svazky. Vyšetření *in vitro* zahrnuje 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. [5, 9]

Metody NM jsou podstatně méně vhodné ke zobrazení detailů anatomických struktur, ale dokážou poskytnout informaci o funkci orgánů, průběhu fyziologických a patologických dějů a charakteru tkání. Dále hybridní přístroje, které jsou kombinací nukleárního, tomografického a rentgenového přístroje, jako jsou SPECT/CT (single photon emission computerised tomography – computerised tomography, jednofotonová emisní výpočetní tomografie – výpočetní tomografie), PET/CT (positron emission tomography – computerised tomography, pozitronová emisní tomografie – počítačová tomografie) a PET/MRI (positron emission tomography – magnetic resonance imaging, pozitronová emisní tomografie – magnetická rezonance), vytváří pomocí fúze obrazu tzv. anatomicko-funkční zobrazení, které umožňuje přesnější výsledek vyšetření v NM. Obor NM může fungovat pouze v úzké vazbě na další

klinické obory. V oblasti radiodiagnostiky jsou to hlavně onkologie, kardiologie, neurologie, endokrinologie a urologie. V oblasti terapie především onkologie, endokrinologie, revmatologie a ortopedie. [5, 9]

2.1.2 Kategorizace a uspořádání pracoviště

Pracoviště, na kterých se vykonávají radiační činnosti se rozdělují do kategorií vzestupně podle ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením (IZ) na pracoviště I., II., III., a IV. kategorie. Běžné oddělení NM spadá do II. kategorie, na kterém se nachází jednoduché zdroje IZ, v tomto případě otevřené radionuklidové zářiče. Pokud se na oddělení provádí jodová terapie, řadí se pracoviště i do III. kategorie, jelikož se používá radionuklidový zářič ^{131}I , který má dlouhý poločas rozpadu a podávaná terapeutická dávka se pohybuje v řádu tisíce megabecquerelů (MBq). [5, 8]

Pracoviště NM se zpravidla rozděluje na několik základních částí, a to na ambulantní část, radiofarmaceutickou část a část lůžkovou. Podle povahy práce s radioaktivními zářiči a míře rizika, zařazujeme jednotlivé prostory buď do sledovaného pásma nebo do kontrolovaného pásma. Ambulantní část je určena převážně pro radionuklidové metody *in vivo*. Úsek slouží k aplikaci RF pacientům, k potřebným požadovaným vyšetřením a také k odběrům biologického materiálu od pacientů, které jsou nutné k danému vyšetření. Úsek radiofarmak slouží pro příjem, skladování, přípravu, kontrolu a předaplikační úpravu RF a k likvidaci radioaktivního odpadu. Lůžková část pracoviště, pokud je na pracovišti zřízeno, je určena k hospitalizaci pacientů při terapii s otevřenými zářiči. Oddělení je vybaveno speciálními jednolůžkovými pokoji s vlastním příslušenstvím, dále místností pro terapeutické aplikace a pro odběry značeného radioaktivního biologického materiálu. Z důvodu složitějšího provozu oddělení a také z důvodu vysokých aplikovaných aktivit a možnosti kontaminace okolí, se lůžkové oddělení umísťuje zcela samostatně a jeho provoz se řídí jako na uzavřeném oddělení. Na lůžkovém oddělení i v ambulantním provozu musí být umístěn vymírací box. Jedná se o oddělenou místnost či prostor pro skladování použitých a nepotřebných radioaktivních látek a dalších kontaminovaných materiálů, které jsou určeny k vyzáření a likvidaci. Dále se na pracovišti NM nachází pracovny laborantů a sester, kanceláře, denní místnosti a provozní místnosti, kde není přímý styk s radioaktivními zářiči. Mezi aktivní a neaktivní částí pracoviště

se nachází hygienické ochranné prostory sloužící k oblékání a odkládání ochranného oděvu, případné dekontaminaci povrchu těla či k proměrování pracovníků a jejich oděvu. [5, 8, 9]

2.1.3 Kategorizace radiačních pracovníků

Pro účely monitorování a lékařského dohledu se radiační pracovníci dělí do dvou kategorií, a to kategorie A nebo B. Dělí se podle ohrožení zdraví IZ, kvůli očekávanému ozáření za běžného provozu a kvůli předvídatelným poruchám a odchylkám od běžného provozu, i s výjimkou ozáření v důsledku radiační nehody nebo havárie. [5]

Na odděleních NM převažuje kategorie A, což je radiační pracovník, který by mohl obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně, ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv na oční čočku, nebo ekvivalentní dávku vyšší než 0,3 limitu ozáření pro kůži a končetiny. [3, 28]

2.1.3.1 Radiologický asistent

Radiologický asistent (RA) je zdravotnický pracovník, který ve spolupráci s lékařem poskytuje diagnostickou a léčebnou péči s využitím IZ. Uplatní se na odděleních radioterapie, radiodiagnostiky a NM. Činnost RA usměrňuje vyhláška č.55/2011 Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků, konkrétně § 7. [11]

RA bez specializace na pracovišti NM provádí zobrazování pomocí nukleárněmedicínských zobrazovacích přístrojů a terapeutické výkony pomocí otevřených zářičů bez odborného dohledu na základě indikace lékaře. Edukuje a připravuje pacienta před vyšetřením. Provádí a vyhodnocuje zkoušky provozní stálosti a dodržuje pravidla radiační ochrany. Přijímá, kontroluje a ukládá léčivé přípravky, manipuluje s nimi a zajišťuje jejich dostatečnou zásobu. Pod odborným dohledem lékaře je oprávněn aplikovat léčivé přípravky i.v. cestou nutné k provedení výkonů. [28]

Radiologický asistent se specializací pro NM může bez odborného dohledu a bez indikace lékaře připravovat k aplikaci a likvidovat RF, provádět měření dávkového příkonu u pacientů, kteří podstupují terapii za pomoci radionuklidů a dekontaminovat použité prostředky a pracovní prostředí. Bez odborného dohledu na základě indikace aplikujícího lékaře může RA aplikovat i.v. cestou RF a kontrastní látky. [28, 31]

2.1.4 Zobrazovací metody nukleární medicíny

2.1.4.1 Scintigrafie

Scintigrafie je diagnostická metoda používaná v NM. Funguje na principu snímání záření γ , které je emitované z orgánů po podání RF pomocí tzv. gamakamery. Scintigrafické zobrazovací metody dělíme na planární a tomografické. Planární zobrazovací systémy se dále dělí na statickou a dynamickou scintigrafii a jsou založené na detekci záření a jeho následného převedení do dvojrozměrného obrazu. 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). [5, 8]

2.1.4.1.1 Statická scintigrafie

Po uplynutí různého časového odstupu po aplikaci RF pacienta uložíme na lůžko nebo posadíme na židli a gama kamera provádí několik minut snímky zvolené oblasti těla. Takto se vytvoří tzv. planární snímek, který je velmi podobný klasickému skiografickému snímku, ale zobrazuje rozložení RF v tkáních. [5, 8]

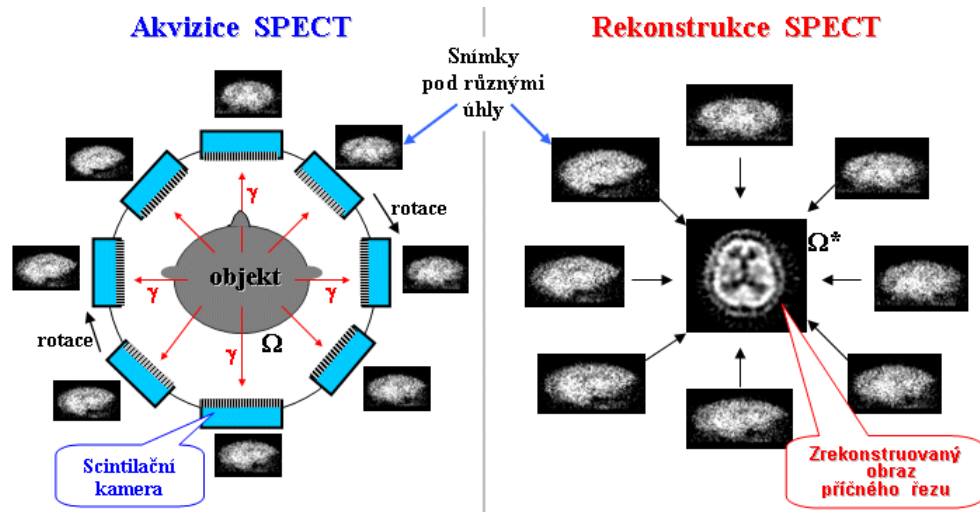
2.1.4.1.2 Dynamická scintigrafie

Dynamická scintigrafie umožňuje sledovat děj měnící se s časem v těle pacienta za pomoci radionuklidů. Jde o sérii statických snímků vyšetřované oblasti, které jsou snímány postupně v různých časech. Výsledkem je série planárních snímků, ukazující změny rozložení aktivity RF v daném vyšetřovaném orgánu měnící se v čase. Vyšetření se hodnotí podle vzniklého grafu závislosti počtů impulsů na čase, kde je zakreslen průběh RF, a to ve fázi perfuzní, kumulační a exkrece. [5, 8]

2.1.4.2 SPECT

Tento přístroj tvoří sérii planárních obrazů vyšetřovaného místa v těle pacienta, které vysílá záření γ po podání RF. Toto místo je snímáno pod různými úhly detektorem kamery obíhajícím po orbitě 0° - 360° kolem 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 (tj. krokově), 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 (Obrázek 1). [5, 12]



Obrázek 1 - Akvizice a rekonstrukce SPECT obrazu (zdroj 5)

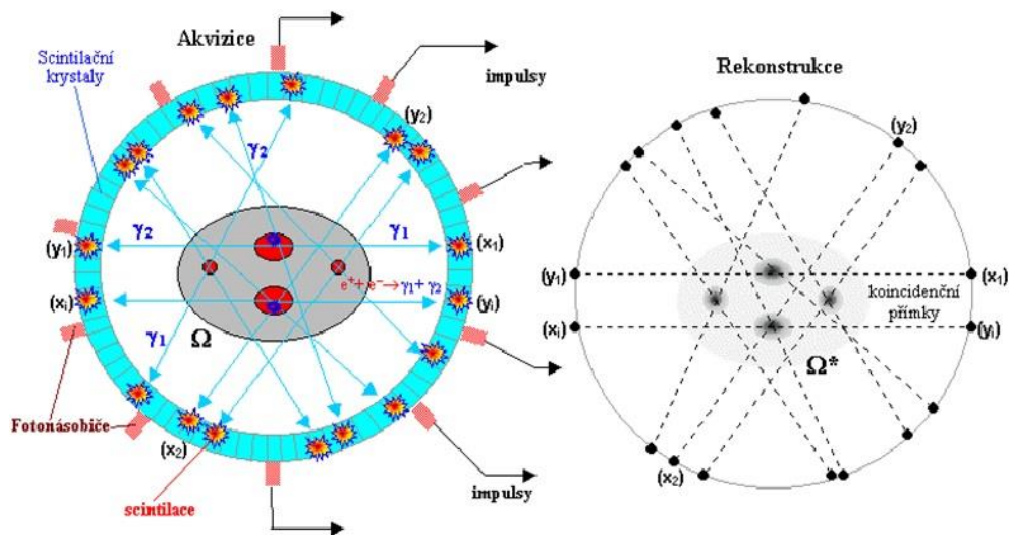
2.1.4.3 SPECT/CT

Jedná se o hybridní systém, který umožňuje vytvořit dva různé typy skenů – anatomické a funkční zobrazení jedním systémem v těsném sledu za sebou. Fúzovaný sken může poskytnout přesnější informace o tom, jak různé části těla fungují, což vede k přesnější diagnostice. Přístroje CT (Computerised Tomography – výpočetní tomografie) spojené se SPECT jsou různé konstruované. Některé CT přístroje mají pevně spojenou rentgenku s gantry SPECT kamery, čímž je omezena rychlost rotace. Z tohoto důvodu se používají pouze v tzv. nízkodávkových režimech (low dose), 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, které jsou ale spojeny s vyšší radiační zátěží pro pacienta. [5, 23]

2.1.4.4 PET

Přístroj pro PET tvoří mnoho drobných detektorů, které jsou kruhovitě uspořádány do prstenců obklopujících pacienta. Detektory jsou pevně umístěné a při vyšetření se neotáčejí. Princip PET

využívá koincidenční detekci dvojice fotonů anihilačního záření gama o energii 511keV. Tato dvojice fotonů vzniká při anihilaci pozitronu β^+ s elektronem ve tkáni, které vylétají z místa svého vzniku v protilehlých směrech-pod úhlem 180° . 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 koincidencí anihilace fotonů, dochází k tvorbě tomografického obrazu s možností trojrozměrné rekonstrukce, kde můžeme sledovat rozložení RF v těle pacienta (Obrázek 2). [16, 21]



Obrázek 2 - Akvizice a rekonstrukce PET obrazu (zdroj 5)

2.2 Fyzikální základy nukleární medicíny

2.2.1 Stavba atomu

Jako nejmenší částice hmoty se považuje atom, který je chemicky dále nedělitelný a definuje vlastnosti určitého prvku. Atom je tvořen obalem a jádrem. V obalu se nachází elektrony, což jsou záporně nabitě částice. Za normálního stavu je elektronů stejné množství jako nukleonů. Pokud se z elektricky neutrálního atomu vyjme, nebo naopak vloží elektron, vznikne nabitý iont. Jádro atomu obsahuje kladně nabitě částice protony a částice bez náboje neutrony. Tyto částice jsou společně nazývané nukleony. Složení jádra atomu lze popsat protonovým (Z), neutronovým (N) a nukleonovým číslem (A). Protonové číslo určuje počet protonů v jádře. Neutronové číslo udává počet neutronů v jádře. Nukleonové číslo udává počet nukleonů v jádře atomu, tedy součet protonů a neutronů. Jádra s jiným počtem protonů a stejným počtem

nukleonů se označují jako izobary. Stejný počet neutronů v jádře mají izotony. Další skupinou jsou izomery, které mají shodný počet protonů i neutronů v atomovém jádře, ale liší se energetickým stavem ovlivňující dočasnou stabilitu jádra. Tyto jádra jsou označovány jako metastabilní a označují se symbolem m za nukleonovým číslem (např. ^{99m}Tc). Atomová jádra se stejným Z a rozdílným A se nazývají izotopy. Izotopy mohou být dvojího typu, stabilní a nestabilní. Pro nestabilní jádra se používá název radionuklid. [10]

2.2.2 Fyzikální veličiny pro radioaktivitu a dozimetrii

Poločas přeměny ($T_{1/2}$) je definován jako doba, za kterou se přemění právě jedna polovina z celkového počtu jader. Biologický poločas (T_b) se označuje jako doba, za kterou se biologicky vyloučí z organismu polovina množství daného radionuklidu. Efektivní poločas (T_{ef}) je čas, během kterého dojde ke snížení celkové aktivity radionuklidu vpraveného do organismu. Jednotkou pro poločasy přeměny jsou sekundy, minuty, hodiny i dny podle daného izotopu. [10]

Aktivita je úbytek počtu dosud nepřeměněných jader za časovou jednotku. Jednotkou aktivity je becquerel (Bq). Dávka je definován, jako podíl střední sdělené energie, kterou předá IZ látce a hmotnosti této látky. Jednotkou je gray, energie jednoho joule absorbovaná v jednom kilogramu látky. Ekvivalentní dávka (H_T) je součin radiačního váhového faktoru (w_R) a absorbované dávky v tkáni či orgánu pro IZ. Jednotkou je sievert (Sv). Radiační váhový faktor určuje míru poškození organismu, které IZ v organismu způsobí. Jednotkou je Sv. Efektivní dávka (E) je definována jako součet součinů w_R a H_T v ozářených tkáních nebo orgánech. Jednotkou E je Sv. [5, 10]

2.2.3 Ionizující záření

Ionizující záření je záření, jehož kvanta mají tak vysokou energii, že jsou schopna vyrážet elektrony z atomového obalu a tím ionizovat látku. IZ vzniká buď při radioaktivním rozpadu, vlivem kosmického záření nebo ho lze vytvořit uměle např. pomocí cyklotronu či lineárního urychlovače. Podle charakteru ionizačního procesu lze IZ rozdělit na přímo ionizující a nepřímo IZ. Přímé IZ je tvořeno kladně a záporně nabitými částicemi, jako jsou protony, elektrony a pozitrony. Nepřímé IZ se skládá z nenabitých částic (neutrony, fotony), které samy v prostředí neionizují, ale při interakci s prostředím uvolňují sekundární přímo IZ, kterými je ionizace způsobena. [5, 9]

2.2.4 Druhy emitovaného ionizujícího záření

2.2.4.1 Záření alfa

Částice α je tvořena jádrem hélia, které je tvořeno dvěma protony a dvěma neutrony. Velmi intenzivně ionizují atomy a molekuly prostředí, jelikož se jedná o velmi těžkou částici v porovnání s elektronem, ale jejich dosah ve tkáni je velmi krátký, asi 0,1 milimetrů (mm). Protože částice α mají vysokou ionizační schopnost, bylo by vhodné je využívat v NM pro terapii nádorů. Jejich plnému uplatnění v terapii ale brání především riziko poškození zdravých tkání při léčbě patologických ložisek pacienta. Až v současnosti se začíná používat izotop ^{223}Ra pro terapii kostních metastáz u pacientů s hormonálně odolnými karcinomy prostaty. [5, 9]

2.2.4.2 Záření beta

Záření vzniká při β radioaktivních přeměnách, ve kterých počet nukleonů v jádře zůstává stejný, změní se pouze neutron na proton – β^- záření nebo naopak proton na neutron – β^+ záření. Přeměny jsou vždy doprovázeny v případě β^- záření emisí elektronu a antineutrína nebo v případě záření β^+ pozitronu a neutrína. [5]

Částice β^- tvoří elektrony – záporně nabitě částice. Nejvíce vhodné jsou pro terapii nádorových a dalších onemocnění, protože střední dosah tohoto záření ve tkáni je řádově mm a žádaný biologický účinek je dostatečný. Většina energie je absorbovaná v cílové tkáni. Z hlediska RO jsou nejvhodnější čisté zářiče β^- , jelikož přidružená emise záření γ má za následek zbytečné ozáření zdravé tkáně u ozařované osoby a zvyšuje se riziko zevního ozáření pracovníků. Na druhou stranu emise fotonů γ umožňuje lépe sledovat průběh terapie pomocí scintigrafie, tedy zobrazení tkáně, ve které se radionuklid akumuloval. Využívá se například ^{89}Sr a ^{90}Y a smíšený β - γ zářiče ^{131}I , který se používá při terapii štítné žlázy. [5, 9]

Zářiče β^+ emitují pozitrony, což jsou antičástice elektronů, které podle energie urazí ve tkáni velmi krátkou dráhu. Při následné interakci s elektronem z obalu jiného atomu ve tkáni dojde k procesu anihilace, při kterém vznikají dva anihilační fotony elektromagnetického záření, které poté z místa anihilace odlétají s energií 511 keV opačným směrem. Detekce těchto fotonů je principem PET. Jako β^+ zářič se využívá například ^{18}F , ^{11}C a ^{13}N . [5, 9]

2.2.4.3 Záření gama

Záření γ jsou emitované fotony z jader atomů, proto se v NM využívají při všech vyšetřeních *in vivo* a ve většině vyšetření *in vitro*. Při vyšetření *in vivo* je část fotonů γ emitovaných radioaktivní látkou přítomnou v těle pacienta absorbována a část fotonů tkáň opouští, což

umožňuje jejich detekci detektory přístroje mimo tělo pacienta. Pro diagnostiku v NM není vhodné používat radionuklidy, které emitují kromě záření γ i přidružené záření β , jelikož zbytečně zvyšují radiační zátěž pacienta ve srovnání s čistým γ zářičem. Nejvíce používaným γ zářičem v NM je ^{99m}Tc . [5, 9]

2.2.4.4 Charakteristické rentgenové záření

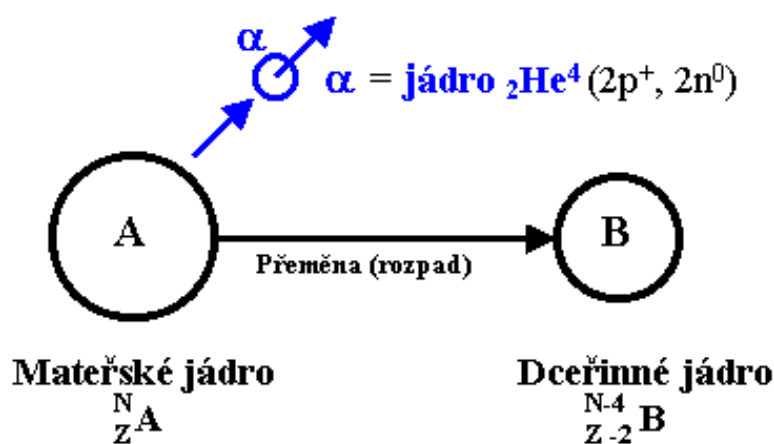
Rentgenové záření (RTG) je forma elektromagnetického záření pocházející z atomového obalu. Nalezneme ho v přítomnosti dceřiných jader radionuklidů při přeměně elektronovým záchytem. V NM se toto záření využívá k detekci radionuklidů např. ^{111}In , ^{123}I a ^{201}Tl při scintigrafii a ^{125}I při vyšetření *in vitro*. [5, 9]

2.2.5 Druhy radioaktivních přeměn

V průběhu radioaktivní přeměny je emitováno z jádra atomů záření, které při interakci s okolní hmotou atomy ionizuje nebo excituje několika způsoby. Radioaktivní přeměny lze dělit do tří základních typů přeměn, a to přeměna alfa, beta a gama. [5]

2.2.5.1 Přeměna alfa

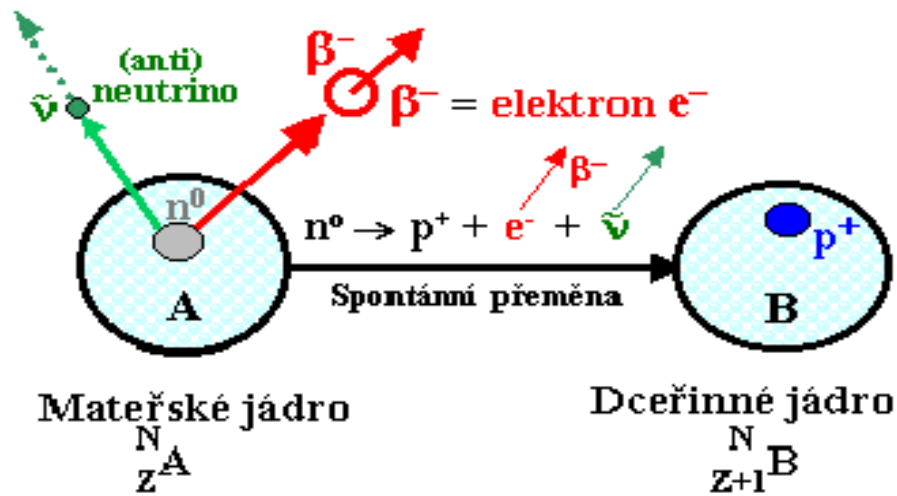
Přeměna α se vyskytuje pouze u radioaktivních izotopů prvků s vysokým Z , kdy je Z větší než 82. Emitují se při ní kladně nabitě částice α (jádra helia), které se skládají ze dvou protonů a dvou neutronů (Obrázek 3). Nuklid vzniklý rozpadem α obsahuje o 2 protony méně z důvodu zachování A a elektrického náboje, tedy v periodické soustavě prvků se posouvá o dvě místa vlevo. [5, 9, 10]



Obrázek 3 - Radioaktivní přeměna alfa (zdroj 6)

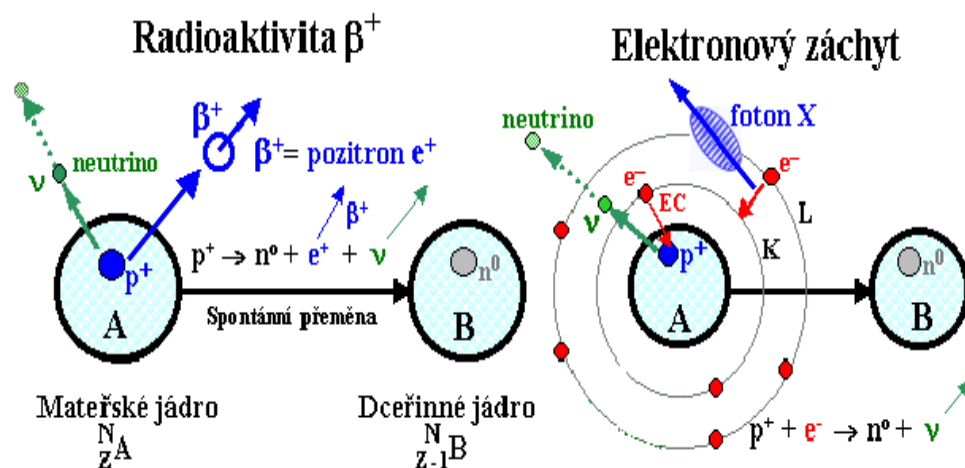
2.2.5.2 Přeměna beta

Přeměna β je širší pojem a dále se dělí na tři typy přeměn. Pokud se přemění v jádře atomu jeden neutron na proton, je emitována částice β se záporným nábojem (elektronem), tedy přeměna β^- (Obrázek 4). [5, 10]



Obrázek 4 - Radioaktivní přeměna β^- (zdroj 6)

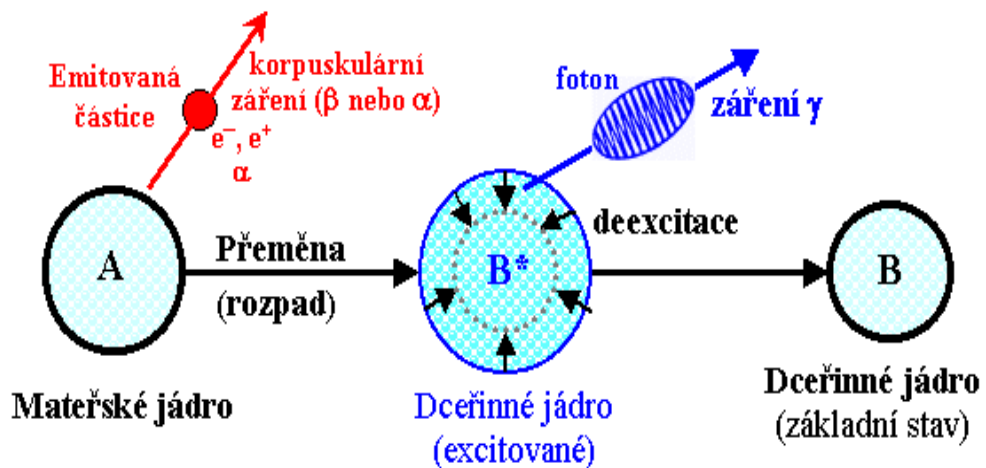
Dojde-li v jádře k přeměně protonu na neutron, je emitována částice β s kladným nábojem (pozitron) – přeměna β^+ (Obrázek 5). Pokud je elektron z elektronového obalu pohlcen protonem z jádra, proton se změní na neutron a tím vzniká přeměna elektronovým záchytem doprovázená emisí charakteristického rentgenového záření z elektronového obalu (Obrázek 3). [5, 9, 10]



Obrázek 5 - Radioaktivní přeměna β^+ a elektronový záchyt (zdroj 6)

2.2.5.3 Přeměna gama

Záření γ není primární přeměnou jader, často vzniká spolu s α či β zářením při radioaktivním rozpadu jader. Přeměnou α a β vzniká většinou dceřiné jádro, které se nachází v energeticky excitovaném stavu. Jádro se zbaví přebytečné energie vyzářením elektromagnetického záření, tedy záření γ při přechodu z excitovaného stavu do stavu základního (Obrázek 6). Záření γ má různé, ale přesně určené energie. Je to díky různým energiím excitovaných stavů jádra. [5, 9,10]



Obrázek 6 - Radioaktivní přeměna gama (zdroj 6)

2.2.6 Radionuklidy a jejich požadavky pro NM

Radionuklid je atom podléhající radioaktivnímu rozpadu. Jádro obsahuje větší množství energie a samovolně se přeměňuje na stabilní nuklidy radioaktivním rozpadem. Z velkého počtu známých uměle vytvořených radionuklidů jsou pro NM vhodné jen radionuklidy, které jsou výrobně a cenově dostupné a musí splňovat určitá kritéria podle toho, zda je zamýšleno jejich použití v diagnostice či v terapii. Mezi ně patří druh emitovaného záření, energie emitovaného záření od 30 keV do několika set keV a fyzikální poločas. Pro metody *in vivo* jsou vhodné radionuklidy s fyzikálním $T_{1/2}$ desítek sekund až několik dnů a pro metodu *in vitro* jsou to radionuklidy s $T_{1/2}$ několik desítek až stovek dnů. Během dlouholetého vývoje se v NM vyzkoušelo spousta radionuklidů a bylo vybráno několik desítek vhodných zářičů, z nichž nejvýznamnější jsou uvedeny v tab.1. [5, 8]

Tabulka 1 - Radionuklidy používané v nukleární medicíně (Koranda, 2014, str.15)

Radionuklid	Fyzikální poločas	Druh přeměny	Emitované záření	Energie záření gama, resp. CHRZ (keV)	Energie záření beta (max.) (keV)
^{18}F	109 min	β^+	β^+	511	634
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,03 hod	IP	γ	140	
^{131}I	8,04 dní	β^-	β^- γ	364	606
^{90}Y	2,6 dní	β^-	β^-		2284
^{201}Tl	73 hod	EZ	CHRZ γ	75 167	
^{111}In	2,8 dní	EZ	γ	171 245	
^{67}Ga	78,3 hod	EZ	γ	93 185 300	

Význam zkratk: IP – izomerní přechod, EZ – elektronový záchyt, CHRZ – charakteristické rentgenové záření

2.2.6.1 Zdroje radionuklidů

Radionuklidy používané pro účely v NM jsou připravovány uměle v jaderném reaktoru a cyklotronu nebo se získávají jako tzv. dceřiné radionuklidy z radionuklidových generátorů. Pro přípravu RF se používají pouze radionuklidy uměle vytvořené. Umělé radionuklidy se získávají různými jadernými reakcemi, při kterých dochází ke změně stavby mateřského prvku za vzniku dceřiného jádra, které je vhodné pro použití v NM. [5, 8]

2.2.6.1.1 Výroba radionuklidů v jaderných reaktorech

Jaderný reaktor je zařízení, v kterém lze připravit radionuklidy dvěma procesy. Prvním procesem je ozáření terčového materiálu v reaktoru neutronovým svazkem, který uvádí

v činnost dosud stabilní jádra. Druhým procesem je izolace ze štěpených produktů z ^{235}U . Procesem ozáření terčového materiálu v reaktoru neutronovým svazkem vznikají například ^{99}Mo a ^{131}I . Druhým procesem se získává opět ^{99}Mo a ^{131}I . Produkt je poměrně levný, jelikož lze v reaktoru ozařovat velké množství materiálu. [5, 6, 9]

2.2.6.1.2 Výroba radionuklidů v cyklotronu

V cyklotronu dochází k urychlení kladně nabitých částic, jako jsou protony, deuterony nebo α částice elektrickým polem a jejich dráhu zakřivuje magnetické pole, tak že se pochybují po spirále se zvětšujícím se poloměrem, až dojde k nárazu na připravený terč, který má specifické složení. Zde díky jaderným reakcím vznikají požadované radionuklidy. Pro ozařování se terč rozpouští nejčastěji v alkalických rozpouštědlech nebo kyselinách a vyrobené radionuklidy se dále oddělují různými chemickými metodami. Ve velkých cyklotronech se vyrábí pro hromadnou výrobu RF například radionuklidy ^{111}In , ^{67}Ga , ^{201}Tl . V malých tzv. lékařských cyklotronech se vyrábí radionuklidy s velmi krátkým $T_{1/2}$, nejčastěji ^{13}N , ^{15}O a ^{11}C . [5, 6, 9]

2.2.6.1.3 Získávání radionuklidů z generátorů

Radionuklidový generátor je zařízení obsahující dva geneticky příbuzné radionuklidy. Lze tak jednoduše získat v čisté beznosičové formě požadovaný radionuklid, tzv. dceřiný s kratším $T_{1/2}$. Tento radionuklid vzniká v generátoru radioaktivní přeměnou za pomoci mateřského radionuklidu s delším $T_{1/2}$. Na diagnostických pracovištích NM lze pomocí generátoru připravit RF značená krátkodobými radionuklidy. Nejčastěji používaným generátorem pro NM je generátor molybden – techneciový (^{99}Mo - ^{99}Tc). Je tvořen kolonkou ze skla obsahující oxid hlinitý s absorbovaným molybdenanem amonným. Při přeměně ^{99}Mo s $T_{1/2}$ 66 hodin vzniká $^{99\text{m}}\text{Tc}$ jako technecistanový aniont ($^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$) s poločasem 6 hodin, který je ze sloupce odloučen promytím generátoru fyziologickým roztokem. Touto tzv. 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. [5, 6]

Často používaným generátorem je také generátor rubidium – kryptonový (^{81}Rb - $^{81\text{m}}\text{Kr}$), který se využívá pro výrobu radioaktivního kryptonu v plynné formě. Krátký poločas mateřského radionuklidu (4,58 hodin) je nevýhodou tohoto generátoru. [5, 6]

2.2.7 Radiofarmaka

Jedná se o léčivé přípravky obsahující jeden nebo více radionuklidů, jako zdroje IZ, vytvořené pro lékařské účely. Přípravky jsou používány na odděleních NM za účelem diagnostickým nebo terapeutickým. Jsou to léčiva, při jejichž výrobě, přípravě, manipulaci a používání musí být dodrženy a splněny zvláštní podmínky, které u normálních léčiv nejsou nutná. Skládá se z farmaka (funkce nosiče) a radionuklidu (účinná látka). Radionuklid je vázán na různé druhy nosičů, jako jsou například biologické a chemické aktivní látky, krevní elementy, peptidy, molekuly organických látek a komplexních solí. Důležité charakteristiky radionuklidů obsažených v RF jsou $T_{1/2}$, druh a energie záření. RF se volí podle specifického šíření a chování v lidském těle. Volíme ho tedy podle cílového orgánu a dále také podle vylučování z organismu. [5, 6]

2.2.7.1 Kontrola kvality radiofarmak

Radiofarmaka, stejně jako ostatní léčiva musí splňovat určité požadavky, a navíc se u nich provádí zkoušky kvality specifická pro RF, což jsou zkoušky pro stanovení aktivity a ověření radionuklidové a radiochemické čistoty. Radioaktivita se určuje za pomoci měřiče aktivity, který je vybaven ionizační komorou. Radionuklidová čistota je poměr radioaktivity daného radionuklidu a celkové radioaktivity měřeného RF v procentech. Nežádoucí radionuklidy v RF zbytečně zvyšují radiační zátěž pacienta a znehodnocují vyšetření. Kontrola radioaktivních nečistot, tedy nežádoucích prvků, se nejpřesněji měří pomocí energetického spektra záření emitovaného radionuklidem. Radiochemická čistota vyjadřuje poměr radioaktivity daného radionuklidu přítomného v RF, dané chemické formy a celkové radioaktivity radionuklidu, která je vyjádřena 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. [5, 6]

Radiofarmaka určená k parenterálnímu podání se připravují podle předpisů, které vylučují mikrobiální znečištění a zaručují sterilitu. Za hromadně vyráběná RF zodpovídá výrobce, za připravovaná RF na pracovištích se zaručuje pracovník na daném pracovišti. Sterilita je zajištěna při přípravě RF aseptickou přípravou ze sterilních surovin. U některých RF vznikají určité problémy z důvodu krátkého $T_{1/2}$, malých velikostí šarží či nebezpečí ozáření. Z tohoto důvodu není vždy možné před použitím RF čekat na výsledky zkoušky sterility. Apyrogenita látek se testuje jen u určitých RF, která jsou převážně podávána parenterálně. [5, 6]

2.2.7.2 Lékové formy

Způsob podání RF je nejčastěji parenterální, perorální (p.o.) a inhalační cestou. Parenterální přípravky se podávají ve formě pravých roztoků, koloidních disperzí nebo ve formě suspenzí. Například technecistan sodný je podáván injekční formou. Perorální přípravky jsou podávány ve formě roztoků, koloidů, emulzí i pevných látek. Je to například jodid sodný aplikován buď ve formě vodného roztoku nebo v podobě želatinové tobolky. Inhalační přípravky se podávají ve formě plynu nebo aerosolů. Nejpoužívanější plyn je ^{81m}Kr . [5, 6]

2.2.8 Detekce záření

Ionizující záření lze měřit v různých oborech vědy, techniky a zdravotnictví řadou detektorů, které se liší principem a provedení. V NM se nejvíce používají scintilační detektory, výrazně méně se uplatňují ionizační komory, Geiger-Müllerovy detektory a proporcionální detektory. Ionizační komora je založena na ionizaci plynové náplně vlivem IZ. V proudovém režimu je hlavní součástí měřičů aktivity používaných pro kontrolu aktivity RF při přípravě a před jejich aplikací pacientům. Její nevýhodou je nízká citlivost, proto není vhodné tento detektor používat pro měření nízkých aktivit, jako jsou například vzorky tělních tekutin. Naopak vysokou citlivostí při měření záření γ nebo RTG záření se vyznačují scintilační detektory, které jsou založené na převodu IZ na světlo a jsou součástí všech detekčních přístrojů využívaných v oboru NM při vyšetřeních *in vivo* a *in vitro*. [8, 9]

2.2.8.1 Princip scintilačního detektoru

Scintilační detektor využívá schopnost radioaktivního záření vyvolat světélkování v některých látkách. Detektor je složen ze tří základních částí: scintilačního krystalu, fotonásobiče a elektronické vyhodnocovací soupravy. Scintilační krystal používaný v NM obsahuje detekční látku jodid sodný aktivovaný thaliem, díky které je záření γ detekovatelné. Interakce fotonového záření probíhá na základě Comptonova jevu nebo fotoefektu, při nichž se uvolňují elektrony, které způsobují excitaci atomů detekční látky s následným vznikem viditelných záblesků světla. Z důvodu vysoké hustoty a Z jódu se v jodidu sodném aktivovaném thaliem velmi intenzivně absorbuje záření γ . Velikost a tvar scintilačního krystalu odpovídá aplikaci, pro kterou se přístroj používá. Fotonásobič je ke scintilačnímu krystalu fotovodivě přilepen a zajišťuje detekci světla ze scintilačního krystalu a následný převod na elektrický signál. Z fotokatody jsou po absorpci světelných fotonů emitovány elektrony a ty jsou pomocí

elektrického pole usměrněny na systém dynod, ze kterých jsou sekundární emisí uvolňovány další elektrony. Dále jsou zpracovány v elektronické části zařízení elektrické impulzy z výstupu fotonásobiče. Elektrické impulzy po zesílení v zesilovači dále postupují do amplitudového analyzátoru, kde se třídí podle výšky. Za pomoci scintilačního detektoru s připojeným analyzátozem lze tímto způsobem změřit tzv. scintilační spektrum zářiče γ , jež se skládá z jednoho nebo více fotonů a Comptonova spojitého spektra. V oblasti spojitého spektra se zaznamenávají impulzy, odpovídající fotonům pro záření γ , které jsou ovlivněny Comptonovým rozptylem ve scintilačním krystalu nebo ve tkáni a ve scintilátoru se absorbovala pouze část energie. [5, 8, 9]

2.2.8.2 Detekční přístroje pro nescintigrafická vyšetření

Přístroje umožňují detekovat a velmi citlivě měřit aktivitu ve zvoleném orgánu, ale neposkytují žádnou obrazovou informaci o distribuci radioaktivní látky ve tkáni. Detekční jednotka v přístroji obsahuje scintilační krystal s fotonásobičem, olovněným stíněním a kolimátorem. Scintilační krystal je tvaru válce a jeho úkolem je zamezit detekci fotonového záření z okolních oblastí tkání mimo zorné pole kolimátoru. Kolimovaný detektor se nastavuje tak, aby zorné pole pokrývalo pouze oblast nad vyšetřovaným orgánem. [5, 8]

Pomocí radiační navigovaná chirurgie se peroperačně lokalizují sentinelové lymfatické uzliny, do kterých často směřují metastatické procesy. Uzliny obsahující RF se zobrazí na základě údajů na displeji nebo podle akustického signálu vydávaného vyhodnocovací aparaturou. [5, 9]

2.2.8.3 Scintilační kamery

Scintilační kamery neboli gamakamery se používají pro scintigrafická vyšetření, což je zobrazování na základě distribuce RF v těle pacienta. Skládá se z detektorů a počítače. Detektor gamakamery se skládá ze scintilačního krystalu, kolimátoru a souboru fotonásobičů. Scintilačním krystalem je jodid sodný, který je aktivovaný thaliem-NaI(Tl). Nejčastěji je obdélníkového tvaru o rozměrech cca 40-50 centimetrů (cm). Nad krystalem je umístěno 60-90 fotonásobičů opticky připojených ke krystalu světlovodivou hmotou, který má za úkol usnadnit převod světelných fotonů za záblesků v krystalu a zabráňuje lom světla na optických rozhraních. Pokud fotony γ záření způsobí v krystalu scintilaci, světlo se v krystalu bude šířit všemi směry a poté dopadají na fotokatody jednotlivých fotonásobičů. Nejvíce světla z krystalu se dostane do fotonásobiče, který je umístěn nejbližší k místu nad interakcí fotonu s krystalem. Podle vyhodnocení výstupních signálů ze všech fotonásobičů v elektrickém polohovém obvodu

se získá informace o poloze, kde v krystalu došlo ke scintilaci. Jestliže je znám směr, odkud fotony přilétly z těla pacienta, může se určit přesné místo. [8, 9]

2.2.8.4 Kolimátory

Kolimátor funguje jako filtr, který propouští pouze fotony letící v žádaném směru. U scintilačních kamer pro planární scintigrafii a tomografickou scintigrafii se používají různé typy kolimátorů, které jsou zhotoveny z olova. Kolimátory se rozlišují podle počtů otvorů a konfigurace, dále se dělí podle energie záření γ vyzařované RF, které je aplikované pro vyšetření a podle rozlišovací schopnosti a citlivosti. Podle počtů otvorů a konfigurace máme kolimátory mnohootvorové, či jednootvorové. Aplikované RF pro vyšetření vykazuje určitou energii záření γ , podle které rozdělujeme kolimátory na nízkoenergetické, pro střední energii a vysokoenergetické. Kolimátory nízkoenergetické (do 160 keV) se používají například pro ^{99m}Tc , ^{201}Tl , ^{123}I . Kolimátory pro střední energii (do 300 keV) se používají pro ^{111}In a ^{67}Ga . Kolimátory vysokoenergetické (do 400 keV) se nejčastěji používají pro ^{131}I . [8, 9]

2.2.8.4.1 Kolimátory s paralelními otvory

Tyto kolimátory jsou nejčastěji používaným typem. Obraz vytvořený v detektoru má stejnou velikost jako zobrazovaný objekt bez závislosti na vzdálenosti objektu od kolimátoru. Propouštějí pouze fotony letící ve směru kolmém na detekční plochu krystalu a poté záblesky vytváří v krystalu obraz orgánu v reálné velikosti. Používá se například pro dynamické vyšetření ledvin a slinných žláz. [5, 8]

2.2.8.4.2 Kolimátory konvergentní

Jsou tvořeny sbíhajícími otvory, které směřují do ohniska zájmu. Tyto kolimátory umožňují zvětšení obrazu promítnutého na scintilační krystal kamery. Konvergentní kolimátory se především používají pro zobrazení malých orgánů, jako je například mozek. [5, 8]

2.2.8.4.3 Kolimátory divergentní

Tvoří je rozbíhající se otvory směřující do ohniska. Kolimátory umožňují zmenšení obrazu promítnutého na scintilační krystal kamery, proto se využívají ke zmenšení obrazu, pokud je zorné pole gamakamery malé, jako je tomu u plic. [5, 9]

2.2.8.4.4 Kolimátor pinhole

Jedná se o kolimátor jednootvorový ve tvaru trychtýře, který poskytuje zvětšený a převrácený obraz. Zvětšení obrazu se snižuje s rostoucí vzdáleností objektu od čela kolimátoru. Poskytuje obraz s velmi dobrou rozlišovací schopností v případě malé vzdálenosti od kolimátoru, naopak

nevýhodou tohoto kolimátoru je nízká citlivost a zkreslení obrazu, hlavně v případě, kdy má objekt velkou tloušťku. Využívá se pro zobrazení štítné žlázy. [5, 9]

2.3 Radiační ochrana v NM

Cílem radiační ochrany (RO) je potlačit deterministické účinky IZ a omezit vznik stochastických účinků. Deterministické účinky záření, mezi které například patří akutní nemoc z ozáření nebo porucha krvetvorby, vzniká po dosažení prahové dávky v krátkém čase po ozáření. Dávkový práh pro vznik deterministických účinků je různý pro jednotlivé tkáně. Pokud se dávka záření v těle a orgánech pohybuje pod prahovou dávkou pro vznik deterministických účinků záření, tyto účinky nenastanou. Stochastické účinky záření jsou účinky pravděpodobnostní neboli pro tyto účinky neexistuje dávkový práh, ale se zvyšující se dávkou se zvyšuje pravděpodobnost výskytu mutací DNA a vznik nádorových onemocnění. [5, 9]

Obecné principy a zásady RO a radiační limity platí pro pracoviště NM, ale také pro ostatní pracoviště, které pracují s IZ, jako je pracoviště radiodiagnostiky a radioterapie. Práce na oddělení NM má povinnost se řídit legislativními předpisy, a to atomovým zákonem č. 263/2016 Sb., který vešel v lednu 2017 v platnost a nahradil zákon č.18/1997 Sb., dále vyhláškou o radiační ochraně č. 422/2016 Sb. a zákonem o specifických zdravotních službách 202/2017 Sb.. Nový atomový zákon přináší v oblasti RO poměrně hodně změn, a to zejména z toho důvodu, že transponuje novou evropskou legislativu – tedy direktivu 2013/59/Euratom, která v sobě zahrnuje nové doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany z roku 2007. Díky nové evropské legislativě došlo k mnoha dalším změnám v systému RO, která se například dotkne i oblasti ozáření z přírodních zdrojů. [5, 8, 27, 30]

2.3.1 Principy radiační ochrany

Každý, kdo provádí činnost vedoucí k ozáření se musí řídit třemi principy. První z principů je princip zdůvodnění, který říká, že každá činnost vedoucí k ozáření a rizikům s ním spojeným musí být odůvodněná a musí mít větší přínos pro pacienta než zátěž spojená se zářením. Druhým principem je princip optimalizace, říkající, že každý, kdo vykonává činnost vedoucí k ozáření, je povinen dodržovat takovou úroveň RO, aby riziko škodlivých účinků záření bylo optimálně nízké z hlediska technického i ekonomického. Poslední princip nepřekročení limitů,

zahrnuje povinnost omezovat ozáření osob tak, aby nedošlo k překročení stanovených limitů. [5]

Obecně se rozlišují druhy ozáření na ozáření při práci, lékařské ozáření a ozáření obyvatel. Ozáření při práci, obsahuje všechna ozáření radiačních pracovníků, ke kterým došlo při práci a v důsledku práce. Lékařské ozáření, je ozáření fyzických osob v rámci jejich vyšetření nebo léčby. Nepodléhá limitům a smí se uskutečnit pouze tehdy, je-li odůvodněno přínosem převažujícím rizika, která při ozáření vznikají nebo mohou vzniknout. Ozáření obyvatel, jsou veškerá ostatní ozáření. [5, 8]

2.3.2 Radiační limity

Limitem pro omezování ozáření se v RO rozumí kvantitativní ukazatel, který v žádném případě nemůže být překročen. Limity jsou rozděleny do čtyř skupin, a to na obecné limity, limity pro radiační pracovníky, limity pro učně a studenty a limity pro zvláštní případy. Limity se vztahují na dávky, které jsou způsobené při zevním ozářením ze zdrojů mimo tělo, tak i na ozáření způsobené vnitřní kontaminací radionuklidy. Do stanovených limitů dávek se nezahrnuje i ozáření z přírodního pozadí. Pro stanovení limitů se užívají veličiny E a H_T , které jsou vyjádřeny v jednotkách Sv. [8,30]

Obecné limity platí pro obyvatele. Limitem E je 1 mSv za rok, H_T v oční čočce 15 mSv za rok a průměrná H_T v 1 cm² kůže nesmí přesáhnout 50 mSv/rok. [8, 30]

Limity pro radiační pracovníky jsou takové, že E nesmí překročit za jeden rok 20 mSv, popřípadě hodnotu schválenou úřadem podle atomového zákona, přesto nesmí překročit 100 mSv za pět po sobě jdoucích let. Dále H_T v oční čočce nesmí za 5 po sobě jdoucích let překročit dávku 100 mSv, nejvýše však může být 50 mSv za kalendářní rok. Průměrná H_T na končetiny nesmí být větší než 500 mSv za rok a průměrná dávka na cm² kůže nesmí být větší než 500 mSv za jeden rok. [8, 30]

Limity pro žáky a studenty, kteří jsou v rámci výuky ve styku s IZ jsou stanoveny tak, že nesmí být E vyšší než 6 mSv/rok, H_T v oční čočce 15 mSv/rok a průměrná H_T na končetiny a kůži nesmí přesáhnout 150 mSv za rok. [8, 30]

Limity odvozené určeny pro radiační pracovníky se považují za nepřekročené, pokud nedojde k překročení kvantitativního ukazatele hodnot, které jsou v měřitelných veličinách. Pro zevní

ozáření se jedná o hodnoty 500 mSv v hloubce 0,07 mm, 20 mSv v hloubce 3 mm a 20 mSv v hloubce 10 mm za kalendářní rok pro osobní dávkový ekvivalent. Odvozené limity pro vnitřní ozáření za 1 kalendářní rok jsou určeny pro radiační pracovníky při požití či vdechnutí radionuklidu. K výpočtu aktivity slouží vzorce uvedené ve vyhlášce č. 422/2016, Sb., § 6 Odvozené limity. [8, 30]

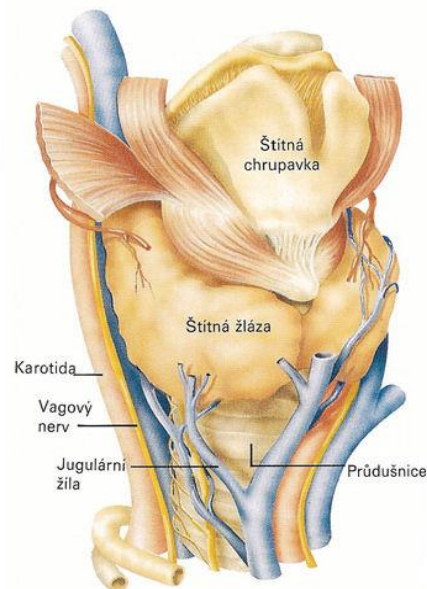
2.3.3 Radiační ochrana pracovníků

Radiační ochrana pracovníků v NM, tak jako v dalších oborech, kde se vyskytuje IZ, se využívají tři metod – ochranu časem, vzdáleností a stíněním. Ochrana časem využívá toho, že dávka pracovníka roste s dobou, po kterou pobývá v blízkosti zdroje záření. Kvalifikace, zkušenosti a dovednosti pracovníku jsou potřebné pro snížení nutného času při manipulaci s RF. Ochrana vzdálenosti je založena na tom, že dávkový příkon pro záření γ a RTG záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření. Ochrana působí, pokud pracovníci dodržují co největší možnou vzdálenost od zdroje, dále pokud pracovníci k práci s RF používají pinzety a pokud se zbytečně nezdržují v blízkosti pacienta, kterému byla aplikovaná radioaktivní látka. Ochrana stíněním se uplatňuje tak, že mezi pracovníka a zdroj záření umístíme stínící vrstvu vhodného materiálu o vysoké hustotě, která má za úkol výrazně zeslabit svazek záření. Nejvíce používaným materiálem je v tomto případě olovo, popřípadě wolfram. Pro záření β se používají k odstínění lehké materiály, jako například hliník. Pro lepší ochranu se v praxi kombinují dvě nebo tři uvedené metody ochrany. Kromě ochrany před zevním ozářením je nutné na oddělení NM také zajistit ochranu před vnitřní kontaminací, například zákazem konzumace jídla a nápojů v kontrolovaném pásmu. [3, 5]

2.4 Anatomie, fyziologie a patologie štítné žlázy

2.4.1 Anatomie štítné žlázy

Štítnou žlázu (glandula thyroidea, ŠŽ) tvoří dva laloky, připomínající tvarově motýla, které jsou umístěné v podkoží na přední straně krku, pod štítnou chrupavkou po obou stranách průdušnice (Obrázek 7). [1]



Obrázek 7 - Uložení štítné žlázy (zdroj 4)

Patří mezi endokrinní žlázy s vnitřní sekrecí. Velikost ŠŽ je ovlivněna mnoha faktory (pohlaví, věk, rasa, zásobení organismu jódem a selenem) a váží v průměru 20 až 40 gramů. Povrch žlázy je nerovný a její barva je červenohnědá. ŠŽ je obalena vazivovým pouzdem, které se dělí na průsvitnou *capsula externa* a *capsula propria* přiléhající těsně za parenchym žlázy. Tvoří ji folikuly vyplněné tekutinou, tzv. koloidem. Tyto folikuly jsou tvořeny folikulárními buňkami, které produkují hormony ŠŽ – tyroxin (T4) a trijodtyronin (T3). Hormony jsou v podobě molekuly tyreoglobulinu uloženy uvnitř folikulu v koloidu a v případě potřeby se uvolňují do krve. [1, 2]

Cévní zásobení ŠŽ zajišťuje *arteria thyroidea superior*, zásobující horní pól laloku a *arteria thyroidea inferior*, zásobující dolní pól laloku. Žilní krev je odváděna do tří žilních kmenů. *Vena thyroidea superior*, ústící do *vena facialis*, má za úkol odtok krve z horních pólů ŠŽ.

Vena thyroidea media, která vychází ze střední třetiny laloku ŠŽ, dále ústí do *vena jugularis interna*. *Vena thyroidea inferior* sestupuje z dolního pólu ŠŽ a odvádí krev ústící do *vena brachiocephalica*. [1, 2]

2.4.2 Fyziologie štítné žlázy

Štítná žláza patří mezi žlázy s vnitřní sekrecí s tvorbou tří hormonů – hormon T4, T3 a kalcitonin. Regulačním a nadřazeným centrem je podvěsek mozkový, který tvoří tyreostimulační hormon (TSH). 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 syntézovaný ve folikulárních buňkách. Jódové tyrosinové zbytky, což jsou monojodtyrosin nebo diiodtyrosin, se dále kondenzují a tvoří jodtyroniny nebo tyroxin. Ty jsou ale nyní neaktivní a jsou stále navázány na tyreoglobulin. Vytvořený tyreoglobulin obsahuje hormony ŠŽ T3 a T4, které jsou skladovány v koloidu lumenu folikulů. Principem regulace funkce ŠŽ je tzv. negativní zpětná vazba, která při poklesu hormonů v krvi způsobí zvýšení produkce TSH v adenohipofýze. Pomocí endocytózy se hormony ŠŽ vrací do buněk, kde jsou působením proteolytického enzymu odštěpí a hotové hormony jsou uvolněny do krve. Z tohoto důvodu je TSH v krvi nejcitlivějším diagnostickým markerem pro primární poruchy funkce ŠŽ. [2, 4, 14]

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. Potřebné jsou též pro správný růst a sexuální vývoj. Kalcitonin spolu s parahormonem a aktivním metabolitem vitamínu D ovlivňuje metabolismus vápníku a fosforu. [2, 4]

2.4.3 Patologie štítné žlázy

Onemocnění ŠŽ více ohrožuje ženy, převážně je podmíněno genetickou složkou. Každé zvětšení ŠŽ nad 18 ml pro ženy a nad 22 ml pro muže se nazývá struma, které se z funkčního hlediska rozlišuje na strumy eufunkční, hypofunkční a hyperfunkční. [2, 7]

2.4.3.1 Eufunkční struma

Eufunkční struma je zvětšení ŠŽ bez poruch funkce nebo dalších patologií, jako jsou například autoimunitní procesy nebo nádory. Hlavní příčina vzniku onemocnění je nedostatek jódu v potravě. Pokud dojde k náhlému zvýšení příjmu jódu, například po podání RTG kontrastní látky, může dojít k rozvoji hypertyreózy, ale i ke vzniku hypotyreózy. [2, 7]

2.4.3.2 Hypertyreóza

Jde o stav vznikající v důsledku nadměrného množství tyreoidálních hormonů ve tkáních. Ve většině případů se projevuje jako nápadné zvětšení ŠŽ. Důvod vzniku hypertyreózy je nejčastěji Gravesova Basedowova choroba a hyperfunkční adenom ŠŽ. Pacienti s hypertyreózou jsou více neklidní, snadno ztrácejí tělesnou hmotnost i při správném stravování, mají často poruchy srdeční funkce, svalové slabosti a osteoporózu. Léčba závisí na příčině, která nemoc způsobuje. [2, 7, 17]

2.4.3.3 Hypotyreóza

Hypotyreózu způsobuje nedostatek hormonů ŠŽ a následným nedostatečným působením na tkáň. Příznaky hypotyreózy jsou například únava, zimomřivost, zpomalení řeči i pochybu, bradykardie i častá zácpa s nabíráním tělesné hmotnosti. Léčba spočívá v podávání tyreoidálních hormonů. [2, 7, 17]

2.4.3.4 Záněty ŠŽ

Záněty ŠŽ patří do skupiny chorob různé etiologie. Rozlišují se záněty akutní, subakutní a chronické. Mohou se projevovat, jako zvětšená struma nebo naopak bude nález na krku negativní. Některé záněty TSH zvyšují, některé naopak snižují nebo jsou v normě. Léčba je indikovaná podle druhu zánětu, nejčastěji chirurgicky nebo pomocí medikamentů. [2, 4]

2.4.3.5 Karcinomy

Štítná žláza může být postižena různými typy karcinomů. Nádory ŠŽ tvoří asi 0,5-1 % mezi všemi karcinomy, ovšem v endokrinologii představují nejrozsáhlejší skupinu onkologických onemocnění, asi 92 % všech diagnostikovaných nádorů. [2, 4]

Rizikové faktory pro vznik karcinomu ŠŽ jsou hlavně předchozí radiační zátěž, jiná onemocnění ŠŽ, jódová nedostatečnost, hormonální a reprodukční faktory, a především genetické podklady. [2, 4, 7]

2.4.4 Klasifikace nádorů TNM systémem

Pro klasifikaci nádorů existuje řada kritérií např. anatomická lokalizace, klinický a patologicko-anatomický rozsah onemocnění, udávaná doba trvání symptomů choroby, pohlaví a věk nemocného, histologický typ či stupeň diferenciaci. Kritériem tzv. TNM systému je klasifikace anatomického rozsahu nemoci, který je určen klinicky a histopatologicky. Systém TNM slouží k zhodnocení každého histologicky zkoumaného onemocnění. Skládá se ze tří kategorií. Písmeno T znamená tumor a značí rozsah primárního nádoru. Písmeno N znamená node a označuje se ním stav regionálních lymfatických uzlin a písmeno M znamená metastasis, značící přítomnost či nepřítomnost vzdálených metastáz. [13, 16]

Tabulka 2 - Klasifikace nádorů ŠŽ dle TNM (Šlampa, 2007, str.114)

Tx	primární nádor nelze hodnotit
T0	bez známek primárního nádoru
T1	primární nádor do 1 cm, ohraničený na štítnou žlázu
T2	primární nádor do 1–4 cm, ohraničený na štítnou žlázu
T3	primární nádor nad 4 cm, ohraničený na štítnou žlázu
T4a	solitární nádor
T4b	multifokální nádor
N1a	ipsilaterální metastázy v regionálních mízních uzlinách
N1b	metastázy v krčních uzlinách oboustranných, ve střední čáře nebo druhostranných, v mediastinálních uzlinách
M0	nenalezeny vzdálené metastázy
M1	nalezeny vzdálené metastázy

Nádory ŠŽ můžeme rozdělit tak jako ostatní nádory na benigní a maligní. Maligní nádory dále dělí na epitelové, neepitelové a sekundární metastatické nádory. [2]

2.4.4.1 Benigní nádory

Tyto nádory jsou poměrně časté. Nejčastějším benigním nádorem ŠŽ je folikulární adenom. Jsou to opouzřené nádory tvořené epiteliálními buňkami ŠŽ s různou velikostí. Může být samostatný nebo vícečetný. Neepitelové benigní nádory se vyskytují velmi vzácně. Terapie benigních nádorů zahrnuje konzervativní a chirurgickou léčbu. Jako konzervativní léčba je v tomto případě tzv. substitučně – supresní terapie, která spočívá v aplikaci tyreostatik nebo syntetického analogu hormonu ŠŽ. K chirurgické léčbě se přistupuje, pokud konzervativní léčba nebyla účinná. Provádí se buď totální thyreoidektomie (TTE), což je úplné odstranění

celé ŠŽ, lobektomie, odstranění pravého nebo levého laloku štítnice nebo tzv. subtotální thyreoidektomie-odstranění větší části štítnice. [2, 7]

2.4.4.2 Maligní nádory

Maligní karcinomy ŠŽ jsou poměrně vzácné, ale během posledních let se zvýšil jejich výskyt. Dále se mohou v oblasti ŠŽ vyskytnout sarkomy, lymfomy a metastázy jiných karcinomů. [2, 7, 15]

2.4.4.2.1 Papilární karcinom

Nejčastěji se projevuje jako tuhý samostatný nebolestivý uzel na přední straně krku, s dobrou schopností akumulace radiojódů. Vyskytuje se hlavně u dětských pacientů, kde se navíc poměrně často lokalizují vzdálené plicní metastázy. Metastazuje převážně lymfogenní cestou. Jedná se o pomalu rostoucí epitelový karcinom s častými lokálními recidivami. [2, 7, 15]

2.4.4.2.2 Folikulární karcinom

Jde o druhý nejčastější epitelový maligní nádor ŠŽ. Je charakterizován přítomností malých folikulů. Tento tumor v porovnání s papilárním karcinomem je více agresivnější a šíří se lokálně do lymfatických uzlin nebo krevní cestou současně s metastázemi do kostí a plic. Primární tumor i jeho metastázy dobře akumulují radiojód. Z tohoto důvodu tumory velmi dobře reagují na léčbu radiojódem. Převážně se vyskytují u žen středního a vyššího věku, ale také méně často u mužů. [2, 7, 15]

2.4.4.2.3 Medulární karcinom

Medulární karcinom je složen z parafolikulárních buněk bez schopnosti vylučovat radiojód. Parafolikulární buňky ve zvýšeném množství produkují kalcitonin, prokazatelný při laboratorních testech, který je cenným ukazatelem svědčícím pro přítomnost karcinomu. Tento karcinom je více agresivní a má i horší prognózu než folikulární nebo papilární karcinom. V porovnání s diferencovaným karcinomem ŠŽ je naopak méně agresivní. Šíří se lokálně do uzlin i do okolních svalů. Velmi často metastazuje do jater a plic. Tento karcinom se léčí chirurgicky, a to úplným odstraněním celé ŠŽ, včetně primárních lymfatických a laterálních krčních uzlin. Radioterapie pomocí ^{131}I a chemoterapie v tomto případě není účinná. [2, 7, 15]

2.4.4.2.4 Nediferencované karcinomy

Tvoří je tumory malobuněčné, velkobuněčné a vřetenobuněčné. Jsou charakteristické vysokou agresivitou s rychlým růstem nebo náhlou progresí stabilního nádoru. Je pro ně typická lokální invaze do okolí postižené tkáně s následným postižením dýchacích cest, kůže a nervových

svazků. Často jsou doprovázené vzdálenými metastázemi do plic, kostí nebo mozku. Nejčastěji se vyskytuje u starších osob s několikaletou strumou, která se náhle začne zvětšovat a vyvolávat obtíže, které mohou skončit smrtí. Důvodem je velmi dobrá rezistentnost tumorů na léčbu. [2, 7, 15]

2.4.5 Vyšetření štítné žlázy

2.4.5.1 Funkční vyšetření štítné žlázy

Základem diagnostiky onemocnění ŠŽ je rozhovor s nemocným (odebrání anamnestických údajů) a jeho tělesné vyšetření. Dále pacient podstupuje laboratorní testy na stanovení koncentrace TSH. [5]

Stanovení koncentrace TSH v krvi je základní krok pro diagnostiku onemocnění ŠŽ. Hladina TSH se zjišťuje biochemicky nebo pomocí radioimunoanalýzy na oddělení NM. Jeho koncentrace se zvyšuje tehdy, když přestává ŠŽ tvořit hormony v dostatečném množství. Dále se může hodnotit volný hormon T4 a T3, který má ale přínos jen ve specifických situacích. Vysoké hodnoty kalcitoninu v séru ukazují na přítomnost medulárního karcinomu ŠŽ. [5, 8]

Akumulační test ^{131}I slouží k měření akumulace jodidů ve ŠŽ. Jeho původním úkolem bylo odlišit eutyreózu od hypertyreózy. Radioaktivní jodid je metabolizován ve ŠŽ stejně jako je metabolizován jodid stabilní. Jako nepřímý ukazatel funkce ŠŽ slouží rychlost a intenzita vychytávání radiojodu po p. o. nebo i. v. aplikaci. Tento test je dnes indikován pouze pro zjištění akumulace RF po chirurgickém výkonu na ŠŽ, z důvodu jejího karcinomu. Díky stanovení akumulace ve zbytkové tkáni ŠŽ lze naplánovat optimální léčebné dávky pro terapeutickou aplikaci radiojodu. [5, 8]

2.4.5.2 Morfologické vyšetření

Mezi morfologická vyšetření řadíme palpaci krku, sonografii aspirační biopsii tenkou jehlou a scintigrafii. Palpačním vyšetřením krku se provádí na přední straně krku a slouží k prvotnímu zhodnocení velikost ŠŽ. Sonografie ŠŽ patří mezi základní zobrazovací postupy, která přesně určí velikost laloků ŠŽ a definuje jejich strukturu. Aspirační biopsie tenkou jehlou se provádí pod kontrolou sonografie a informuje o etiologii patologického ložiska či uzlu ještě před léčebnou intervencí. Umožňuje zvolit optimální postup léčby. Scintigrafie ŠŽ podává informaci o rozložení funkční aktivity v parenchymu ŠŽ. [5, 8]

2.5 Vyšetřovací metody v nukleární medicíně u nádorů ŠŽ

2.5.1 Radiofarmaka

[^{99m}Tc]technecistan sodný (Na[Tc^{99m}]O₄) je svými vlastnostmi velmi podobný radiojód. Po i.v. aplikaci se vychytává jodidovou pumpou na buněčné membráně tyreocytů, v nichž se akumuluje, ale nevstupuje do dalších metabolických reakcí. Je ideálním RF pro scintigrafii, díky možnosti získání z generátoru, a hlavně krátkému T_{1/2} – 6 hodin a emisí záření γ o energii 140 keV. [5, 8]

[¹²³I]jodid sodný (Na[¹²³I]) se využívá především při diagnostice zhoubných nádorů ŠŽ. Vychytává se jodidovými symportéry a poté jsou vestavěny do organických sloučenin. ¹²³I má sice ideální vlastnosti pro scintigrafické zobrazení, ale nepoužívá se z důvodu vysoké ceny díky výrobě v cyklotronu [5, 8]

[¹³¹I]jodid sodný (Na[¹³¹I]) se běžně pro scintigrafii nepoužívá, protože se jedná o β a γ zářič zároveň, tudíž má dlouhý T_{1/2} a vyšší radiační zátěž. Tyto vlastnosti se ale využívají pro celotělovou scintigrafii u karcinomu ŠŽ po terapii radiojódem, a to z důvodu, že se pacientovi nemusí podávat další dávka RF. Výroba je možná dvěma způsoby, v jaderném reaktoru ozařováním ¹³⁰Te neutrony a následnou přeměnou γ a β⁻, nebo separací ze štěpných produktů ²³⁵U. [5, 8]

^{99m}Tc-MIBI (methoxyisobutylisonitril), případně ^{99m}Tc-DMSA (dimerkaptojantarová kyselina) slouží jako indikátory, které jsou vhodné pro průkaz tkáně diferencovaných karcinomů ŠŽ, popřípadě jejich uzlinových či vzdálených metastáz. [5, 8]

¹¹¹In-pentetrotid se využívá v NM pro stanovení nádorových markerů a pro detekci ložisek tkáně s expresí somatostatinových receptorů – neurodermálních tumorů. Využívá se také pro vyšetření meningiomů, astrocytomů, neuroblastomů, lymfomů, nádorů prsu, plic a ledvin. Pro ŠŽ se toto farmakum běžně nevyužívá. RF se vyrábí v cyklotronu. [20]

¹⁸F-FDG (fludeoxyglukóza) je RF, které se vychytává ve tkáních a orgánech využívajících glukózu jako zdroj energie. Využití má pouze pro PET přístroje. RF emituje záření β⁺ o energii 511keV s T_{1/2} 110 minut a je vyrobeno v cyklotronu. U karcinomů ŠŽ se běžně PET vyšetření nevyužívá. Výjimku tvoří pacienti po terapii radiojódem, u kterých byla hladina tyreoglobulinu zvýšená, ale při post-terapeutické celotělové scintigrafii ¹³¹I nebyla tato tkáň nalezena. Tato

situace může nastat, pokud tkáň přestane akumulovat jód po terapii radiojódem. Dále se tato metoda využívá před terapií či následnou léčbou u špatně akumulujících karcinomů ŠŽ. [25]

2.5.2 Akumulační test

Akumulační test prováděný na oddělení NM slouží ke změření a vyhodnocení akumulace ^{131}I ve ŠŽ. [5]

2.5.2.1 Indikace akumulčního testu

Mezi indikace pro toto vyšetření patří hypertyreóza, záněty ŠŽ a zjištění akumulace zbytkové tkáně ŠŽ po TTE před radiojódovou terapií. [8]

2.5.2.2 Příprava pacienta

Příprava spočívá ve vysazení preparátů, které by mohli ovlivnit akumulaci jódu ve ŠŽ. Zejména se jedná o léky obsahující jód, které je nutné vysadit přibližně 2 měsíce před vyšetřením, dále pacientovi nesmí být nejméně 2 měsíce před vyšetřením aplikována jodová kontrastní látka a měl by být nejméně 2 týdny před provedení testu snížen příjem jódu z potravy. [5, 8]

2.5.2.3 Provedení

Akumulační test se provede za 6 a 24 hodin od podání roztoku ^{131}I . Měření četnosti impulzů probíhá na kolimované scintilační sondě nad oblastí ŠŽ. Dále se sonda přiloží nad pacientovo koleno a opět se změří četnosti impulzů. To slouží pro změření radioaktivního pozadí v pacientovi. Poté za stejných podmínek jako u pacienta probíhá měření četnosti impulzů na fantomu. [5, 8]

2.5.2.4 Hodnocení

Četnost impulzů se vyjadřuje v %. Hodnota akumulace ŠŽ se vypočítá tak, že četnost impulzů nad oblastí ŠŽ u pacienta se vydělí četností impulzů za stejných podmínek nad fantom a získaná hodnota se vynásobí číslem 100. Normální akumulace ŠŽ se pohybuje mezi 20–45 %. Snížená akumulace ŠŽ má hodnoty pod 20 %. Důvodem je nadbytek jódu, snížená funkce ŠŽ nebo správně provedená TTE před radiojódovou terapií. Zvýšená akumulace ŠŽ se projeví hodnotami nad 45 %. Tyto hodnoty mají pacienti s hypertyreózou nebo nedostatkem jódu v potravě. [5, 8]

2.5.3 Scintigrafie štítné žlázy

Jedná se o nukleárněmedicínskou metodu, při které dochází ke zobrazení funkčního parenchymu ŠŽ. [8]

2.5.3.1 Indikace scintigrafie štítné žlázy

Hlavní indikací je stav po strumektomii, průkaz hemiogeneze ŠŽ, průkaz funkční autonomie uzlu, diagnostika retrosternální strumy, průkaz rezidua akumulující tkáně po chirurgickém výkonu, vyhledávání lokálních a vzdálených akumulujících metastáz a scintigrafická charakteristika uzlu hodnoceného ultrazvukem [5, 8]

2.5.3.2 Příprava pacienta

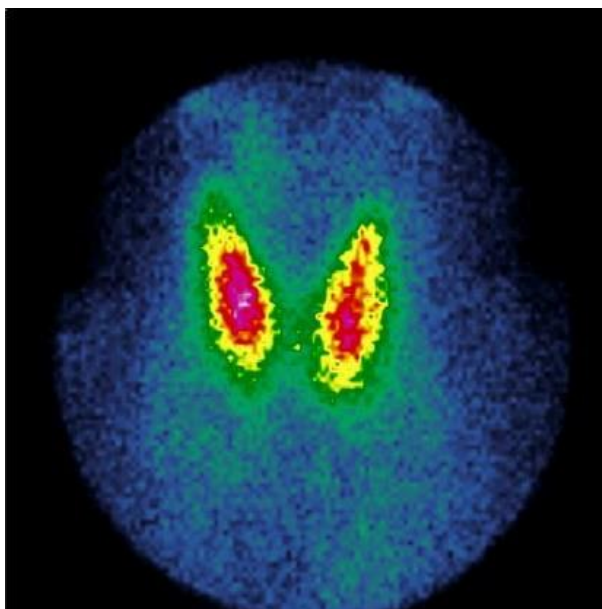
Pacient nesmí po dobu 2-3 měsíců před scintigrafickým vyšetřením získat abnormální množství jódu p.o. cestou, jako například z léků obsahujících jód, i.v. cestou z kontrastních látek nebo ve formě očních kapek. V některých případech není nutné, aby pacient vysazoval thyreostatika, protože jejich efekt se projeví až na úrovni syntézy tyreoidálních hormonů. Dále je nutné vysadit jód v potravě alespoň na 2 týdny před vyšetřením. [5, 8]

2.5.3.3 Provedení

Při rutinním scintigrafickém vyšetření se používá scintilační kamera opatřená pinhole kolimátorem, za účelem zvětšení obrazu ŠŽ. V některých případech je vhodné využít zobrazení pomocí SPECT, případně SPECT/CT. Pacientovi je aplikováno i. v. 50 až 100 MBq [^{99m}Tc]technecistanu sodného. Scintigrafie se provádí nejdříve za 20 minut od aplikace RF. Pacient se uloží na záda a nad oblast ŠŽ se umístí kolimátor. Spustí se statická scintigrafie z přední projekce a po skončení se označí jugulum značkovací kuličkou nebo stříkačkou, obsahující roztok s ^{99m}Tc. [5, 8]

2.5.3.4 Hodnocení

Normální zobrazení ŠŽ po podání RF je asymetrické vykreslení obou laloků, lokalizovaných mezi průmětem jugula a chrupavky štítné (Obrázek 7). Hyperfunkční uzel se projeví jako ložisko zvýšené akumulace, tzv. horký uzel. Naopak hypofunkční uzel bude mít sníženou akumulaci RF, tzv. studený uzel. Mezi „studené“ uzly patří benigní adenomy nebo maligní léze. Jako „horký“ uzel se může považovat hyperfunkční autonomní adenom. Difúzní snížení kumulace ^{99m}Tc ve ŠŽ až nezobrazení ŠŽ může být způsobeno blokádou akumulace RF při „zajodování“ organismu, například po podání jódové kontrastní látky, nebo projev některých forem zánětu ŠŽ. [5, 8]



Obrázek 8 - Planární scintigrafie štítné žlázy (zdroj 1)

2.5.4 Celotělová scintigrafie s ^{131}I

Toto vyšetření pacienti podstupují po terapii radiojódem, nejčastěji kolem šestého dne od podání terapeutické dávky radiojodu. Slouží k prokázání či vyloučení metastáz u diferencovaných karcinomů ŠŽ. [18]

2.5.4.1 Indikace celotělová scintigrafie s ^{131}I

Celotělová scintigrafie s ^{131}I se indikuje k prokázání nebo vyloučení metastáz u diferencovaných karcinomů ŠŽ, po radiojódové terapii. Indikuje se také, jako diagnostické zobrazení ŠŽ před terapií. Nejedná se ale o běžně využívanou metodu. Důvodem je riziko snížené akumulace radiojodu u nádorových buněk karcinomu ŠŽ. [18]

2.5.4.2 Příprava pacienta

Pro toto vyšetření není nutné podávat pacientovi žádné další RF, jelikož [^{131}I]jodid sodný podaný pro radiojódovou terapii obsahuje nejen β záření, ale i γ , které lze detekovat na γ kameře. Příprava spočívá pouze ve výměně nízkoenergetického kolimátoru na kolimátor se střední energií, protože se jedná o záření se střední energií. [8,18]

2.5.4.3 Průběh

Vyšetření se provádí v poloze na zádech, hlavou ven z přístroje. Ruce má pacient položené podél těla a je volně přepásán popruhy. Vyšetření probíhá 20-25 minut a je doplněno o

SPECT/CT na oblast ŠŽ, kdy je nutné změnit polohu pacienta. Radiologický asistent uloží pacienta na záda hlavou do přístroje. Změnu polohy je nutné změnit i v protokolu, kde se dále podle instrukcí lékaře nastaví další parametry vyšetření. Nejdříve se spustí na několik minut CT, po kterém automaticky následuje SPECT. Po ukončení SPECT pacient odchází. [8, 18]

2.5.4.4 Hodnocení

Jestliže se na scintigrafii nezobrazí ložisko patologické akumulace radiojódu a další zobrazovací metody (UZ, RTG) neprokáží metastázy, je zahájena hormonální supresní léčba přípravky obsahující T4. Pokud se na scintigrafickém záznamu zobrazí metastázy, pacient je indikován k podání další terapeutické dávky radiojódu s odstupem 3 měsíců. Pacient špatně snáší hlubokou hypotyreózu, proto je možné na přechodnou dobu podávat supresní léčbu preparáty T4, která musí být ukončena 5 týdnů před podáním ablační dávky ^{131}I nebo podávat preparáty T3, kdy musí být léčba ukončena nejpozději 3 týdny před ablační léčbou radiojódem. [13,15,18]

2.5.5 Celotělová scintigrafie s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI

Celotělová scintigrafie s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI se provádí s časovým odstupem několika měsíců od ukončení léčby karcinomu ŠŽ. [18]

2.5.5.1 Indikace celotělové scintigrafie s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI

Toto vyšetření je indikováno jako kontrola s časovým odstupem po ukončení léčby radiojódem. [18]

2.5.5.2 Příprava pacienta

Radiologický asistent připraví pacienta pro i.v. aplikaci a lékař aplikuje RF s aktivitou v řádu stovek MBq. Poté je pacient odeslán do čekárny. Před samotným vyšetřením je nutné, aby si pacient došel na WC. Pacient odloží všechny kovové předměty. [8,18]

2.5.5.3 Průběh

Vyšetření probíhá přibližně za 15 minut od aplikace RF v poloze na zádech hlavou dovnitř přístroje, tak aby obě gama kamery byly nad oblastí ŠŽ a zároveň snímaly celé horní mediastinum. Do počítače RA nastaví zvětšení vyšetření a zapíše informace o poloze vyšetřovacího stolu. Poté se spustí první statické snímání. Po ukončení prvního statického snímání se provede SPECT/CT na vybranou oblast. Poté probíhá druhé statické snímání, které

je nastaveno podle zaznamenaných údajů o poloze stolu a času prvního snímání. Po ukončení celého vyšetření je pacient edukován o chování během dne. [8, 18]

2.5.5.4 Hodnocení

Při normálním nálezu se RF vychytává ve tkáních bohatých na mitochondrie, jako je například srdce nebo játra. Dále mohou být zobrazeny ložiska akumulace RF svědčící o přítomnosti metastáz, nejčastěji v lymfatických uzlinách a plicích. [18]

2.6 Léčebná strategie

Většina nezhoubných uzlů nezpůsobuje pacientům žádné problémy. Pokud se uzly nezvětšují, není potřeba žádná léčba. Pacient v tomto případě dochází na pravidelné kontroly ultrazvukem, popřípadě se léčí porucha ŠŽ. Uzly benigní, které se zvětšují, utlačují orgány v dutině hrudní a způsobují pacientům obtíže se léčí chirurgicky. U karcinomů ŠŽ, tedy maligních uzlů je primární léčba chirurgické odstranění celé ŠŽ neboli TTE. Další postup se dělí podle druhu karcinomu. U papilárního, folikulárního karcinomu ŠŽ a některých druhů metastáz se využívá terapie za pomoci radiojódu. Pro ostatní druhy karcinomů, pro které není vhodná terapie radiojodem se využívá léčba za pomoci hormonů, či chemoterapie. Jsou to například nediferencované karcinomy ŠŽ. [13, 15]

2.6.1 Chirurgická terapie

Operační terapie spočívá v částečném nebo úplném odstranění ŠŽ. Nejčastěji se výkon provádí u zhoubných nádorů před zahájením další léčby. U diagnostikovaných diferencovaných karcinomů a karcinomů se vzdálenými metastázami je indikována TTE. Úplné odstranění tkáně ŠŽ je z důvodů následné léčby za pomoci radiojódu. U mikrokarcinomů ŠŽ bez klinického nálezu regionálních a vzdálených metastáz se provádí pouze lobektomie. Pro medulární karcinom je chirurgický výkon základní léčebnou metodou. U tohoto typu karcinomu je vždy nutná TTE, z důvodů omezených možností pooperační eradikace zbytků tyreoidální tkáně postižené karcinomem. Preventivní TTE je indikovaná v dětském věku u nositelů dědičných mutací RET (rearranged during transfection, přeskupený během transfekce) protoonkogenu, což je mutace genu uloženého na 10. chromozomu. Tento gen se uplatňuje při růstu a

diferenciaci buněk a jeho produkt má charakter tyrozinkinázového receptoru. U anaplastického karcinomu se chirurgický výkon provádí převážně jako paliativní léčba. [13, 15]

2.6.2 Hormonální terapie

Tato terapie je vhodná pouze pro diferencované karcinomy ŠŽ. Indikuje se po chirurgickém výkonu a dále před nebo po radiojódové terapii. Supresní terapie tyreoidálními hormony působí útlum sekrece TSH a odstranění jeho negativního vlivu na reziduální nádorové buňky, dochází tak ke zpomalení či zastavení růstu nádoru. K léčbě se využívají léčivé přípravky s levothyroxinem (T4). Pacient užívá hormonální léčbu 5-10 let. Další postup se řeší individuálně podle stavu pacienta. [13, 15]

2.6.3 Chemoterapie

Chemoterapie se v léčbě karcinomu ŠŽ převážně nevyužívá z důvodu malé účinnosti. Tuto léčebnou metodu využíváme pouze pro anaplastický karcinom. U tohoto typu karcinomu se chemoterapie indikuje především pro zesílení účinku zevního ozáření, méně často samostatně s paliativním záměrem. Mnohem více se chemoterapie využívá k terapii lymfomů ŠŽ. [13]

2.6.4 Terapie radiojódem

Léčba radiojódem (^{131}I) je součástí kombinovaného léčebného postupu u diferencovaných karcinomů ŠŽ. Výhodou léčby ^{131}I je dobrá tolerance léčby, vysoká akumulace β zářiče v buňkách ŠŽ a jejich diferencovaných karcinomech. Umožňuje léčebně podávat vysoké dávky bez velkého rizika poškození okolních i vzdálených zdravých tkání a orgánu. Léčba diferencovaného karcinomu ŠŽ se provádí na lůžkovém oddělení NM. Lůžkové oddělení pro tuto terapii musí splňovat podmínky dané vyhláškou o radiační ochraně č. 422/2016 Sb.. Terapie ostatních maligních nádorů ŠŽ je prováděná v péči onkologů na jiných specializovaných pracovištích. [13, 15, 22]

2.6.4.1 Charakteristika ^{131}I

Pro léčbu se využívá radionuklid ^{131}I , který se rozpadá β rozpadem na ^{131}Xe . Rozpad je provázen emisí β a γ záření s fyzikálním $T_{1/2}$ 8,04 dne. Tento druh radionuklidu umožňuje

tzv. teranostiku – terapeutické a diagnostické využití zároveň. Beta složka slouží pro terapii. Její maximální dosah v měkké tkáni je 2,4 mm. Gama složka záření dovoluje provést scintigrafické zobrazení biodistribuce ^{131}I v tkáních a nádoru po jeho podání. [13, 15]

Radiojód je podáván adjuvantně, kurativně, pooperačně nebo s paliativním záměrem perorálně ve formě želatinových kapslí či roztoků. Rychle se absorbuje z horní části tenkého střeva do krve. Vylučuje se převážně ledvinami (do 48 h je vyloučeno 95 % podané aktivity), dále pak potem, respirační a stolicí. Biologický poločas vylučování radiojódu ze ŠŽ je okolo 80 dní. Efektivní poločas radiojódu ve ŠŽ je 7,3 dne. Léčba radiojódem se podstupuje, když se pacient nachází v hluboké hypotyreóze. Důvodem je akumulace jódu v reziduích diferencovaného karcinomu ŠŽ či jeho metastáz díky stimulaci vysokou hladinou TSH. [13, 15, 26]

Před zahájením terapie radiojódem je důležité znát kromě objemu a typu onemocnění ŠŽ také hodnoty akumulace radiojódu ve ŠŽ a jeho T_{ef} . Ke zjištění těchto parametrů nám slouží radiojódový akumulační test. Výsledek je vyjádřen v procentech z celkové podané aktivity. Aktivita RF se volí tak, aby se dosáhlo plánované dávky v cílovém orgánu a zároveň se šetřila okolní tkáň. Aplikovaná aktivita se vypočítá pomocí Marinelliho vzorce (1). [26]

$$A = \frac{m \cdot D \cdot 22,5}{UP_{24hod} \cdot T_{1/2ef}} \quad (1)$$

Vzorec se vypočítá tak, že hmotnost (m) hyperfunkční tkáně v gramech, je vynásobena hodnotou (D) absorbované dávky v jednotkách gray, kterou je plánováno tkáň ozářit a koeficientem zahrnujícím geometrické vlivy a střední energii elektronů β radiojódu. To celé je vyděleno součinem hodnot akumulace jódu za 24 hodin (UP_{24hod}) vyjádřené v procentech a T_{ef} rozpadu jódu udávaném ve dnech ($T_{1/2ef}$). Před každou terapeutickou aplikací je třeba měřit aktivitu želatinových kapslí a roztoků na měřiči aktivit obsahující studnovou ionizační komoru. [13, 26]

2.6.4.2 Kontraindikace

Úplná kontraindikace pro radiojódovou terapii je těhotenství a doba po porodu v době kojení. Z tohoto důvodu je nutné ověřovat u žen v reprodukčním věku možné těhotenství. Žena by neměla otěhotnět dříve než za 1 rok od aplikace ^{131}I . Muž by po aplikaci radiojódu neměl počít dítě po dobu 4 měsíců. [13, 15]

2.6.4.3 Negativní účinky

Negativní účinky aplikace radiojódů se dělí na časné a pozdní. Časné účinky trvají několik dní po aplikaci. Jedná se o postradiační gastritidu, sialoadentidu, postradiační thyrooiditidu ve zbytku ŠŽ. Do pozdních účinků patří vznik leukemie a solidních nádorů (nejčastěji maligní nádory močového měchýře nebo slinných žláz), které mají velmi malou pravděpodobnost vzniku. Riziko vzniku pozdních účinků se zvyšuje po opakovaných aplikacích ^{131}I . [13]

2.6.4.4 Průběh terapie

Pacient před hospitalizací musí mít potvrzení o diagnóze karcinomu ŠŽ (biopsie, histologie) a musí podstoupit TTE. Nenasadí se supresní léčba hormony ŠŽ z důvodu žádaného výrazného vzestupu TSH a vyvolání hypotyreózy. Pacient musí omezit příjem jódu v potravě a lécích na minimum. [13, 15]

Za 5–6 týdnů po TTE se pacientovi provede test akumulace radiojódem ve zbytkové tkáni ŠŽ. Podaná aktivita radiojódů je v řádu stovek kBq. Pokud je akumulace za 24 hodin ve zbytkové tkáni ŠŽ vyšší než 5 %, svědčí to o příliš velkém ponechání rezidua. Pacient v tomto případě dostane supresní hormonální léčbu a je indikován k reoperaci. Pokud je akumulace za 24 hodin menší než 5 %, pacient podstupuje thyreoelimační léčbu za pomoci ^{131}I o aktivitě přibližně 3,7 GBq, která zaručí zničení funkčních zbytků ŠŽ. [13, 22]

Za několik dní po podání thyreoelimační dávky se provádí diagnostická celotělová scintigrafie využívající gama složku záření eliminované ^{131}I . [13, 15]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části detailně popíší úlohu RA při vyšetření karcinomu ŠŽ na oddělení NM, která je zacílena na zobrazení případných metastáz nádorů ŠŽ pomocí post-terapeutické celotělové scintigrafie s ^{131}I , včetně celotělové scintigrafii s $^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$.

3.1 Příprava pacienta

Pacient přichází s řádně vyplněnou žádankou na oddělení NM. Před tím, než se pacient dostaví musí být splněny některé podmínky, a to potvrzení o diagnóze karcinomu ŠŽ, chirurgické odstranění ŠŽ, tedy TTE a snížení příjmu jódu na minimum v potravě a lécích (např. antiarytmikum amiodaron) po dobu 6 týdnů. Radiologický asistent si žádanku převezme a zkontroluje údaje o pacientovi. Doprovodí pacienta na lůžkové oddělení, kde si pacienta převezme lékař, který provede vstupní vyšetření, ultrasonografii a zajistí odběry krve (Obrázek 9).



Obrázek 9 - Vyšetřovna na lůžkovém oddělení (zdroj 3)

RA poučí pacienta o podmínkách spojených s pobytem. Každý pacient má samostatný jednolůžkový pokoj. Pacient je povinen před ubytováním odevzdat své osobní věci a po celou dobu pobytu na oddělení musí používat jen nemocniční oblečení a ručníky, dále kapesníky na

jedno použití, je povinen se denně sprchovat a řádně si mýt ruce, močit pouze v sedě. Důležité je, aby pacient po celou dobu pobytu se zdržoval na pokoji a informoval personál o každé změně zdravotního stavu. Po edukaci RA předá pacientovi informovaný souhlas s vyšetřením, který podepíše, pokud se vším souhlasí.

Radiologický asistent připraví dva roztoky s ^{131}I o malé aktivitě, řádově stovek kBq. Jeden roztok pacient vypije, druhý roztok v malé plastové lahvičce se vloží do fantomu z plastu, který představuje ŠŽ. Pacient je od RA znovu poučen, jak se má chovat po vypití RF.

3.2 Akumulační test

Druhý den, tedy za 24 hodin od aplikace RF se zavolá pacient a provede se měření impulzů v oblasti ŠŽ pomocí měřicí sondy s tubusem, tzv. akumulací test. Pacient se posadí na stoličku a asistent nastaví sondu na oblast pacientova krku (Obrázek 10) a spustí přístroj na měření impulzů.



Obrázek 10 - Měření impulzů v oblasti štítné žlázy

Po skončení prvního měření RA nastaví sondu na oblast pacientova kolene (Obrázek 11) a opět spustí měření. Druhé měření nám slouží k zjištění radioaktivního pozadí v pacientovi.



Obrázek 11 - Měření impulzů radioaktivního pozadí pacienta

Dále probíhá vyšetření bez pacienta, který je poslán zpět do čekárny. Proveďte se měření fantomu (Obrázek 12), ve kterém je umístěna ampulka s roztokem ^{131}I o stejné aktivitě a za stejných podmínek jako u pacienta.

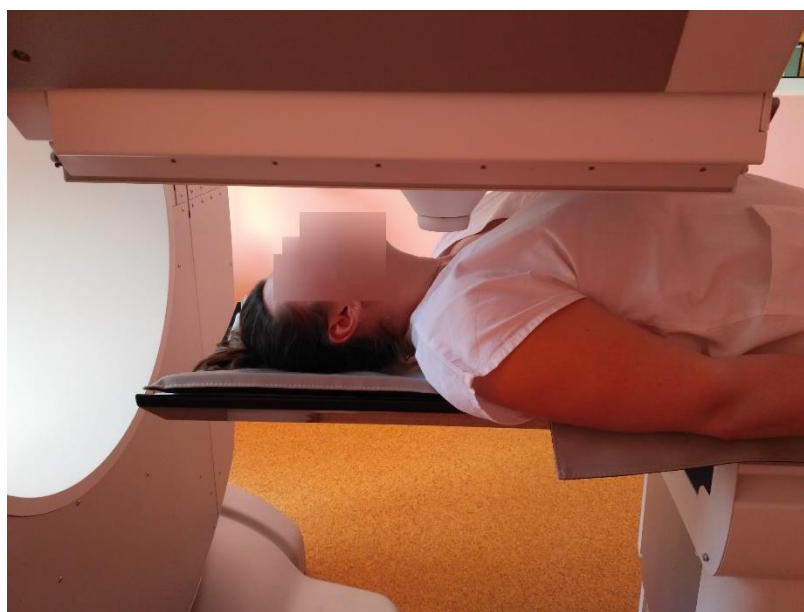


Obrázek 12 - Měření fantomu

Vyšetření končí po změření radioaktivního pozadí v prostředí, ve kterém vyšetření probíhalo. Přístroj vypočítá hodnoty akumulace ^{131}I ve ŠŽ, které se po ukončení vyšetření posílají lékařům. Výsledek akumulačního testu je vypočítán z počtu impulzů u pacienta vydělených počtem impulzů na fantomu, vynásobené 100. Pacienti s karcinomem ŠŽ, kteří podstoupili tyreoidektomie akumulují okolo 0,2-0,9 % radiojódů.

3.3 Scintigrafie štítné žlázy

Dále pacient musí podstoupit planární scintigrafické vyšetření ŠŽ, které lékařům slouží jako informace o množství zbytkové tkáně. Před scintigrafií RA připraví v digestoři potřebné aplikační dávky RF dle váhy pacienta do injekčních stříkaček. Přivolá aplikujícího lékaře a pacienta a dále jen asistuje lékaři při aplikaci RF. Jako RF pro scintigrafii ŠŽ se používá $[^{99\text{m}}\text{Tc}]\text{technecistan}$ sodný. Před provedením vyšetření RA nasadí kolimátor typu pinhole a zadá pacientovy údaje do počítače. Toto vyšetření se provádí na jednodetektorové kameře a pouze jako planární scintigrafie. Za 15-20 minut po aplikaci RF si RA zavolá pacienta a dá mu vypít 100 ml vody, aby došlo k vyplavení RF ze slinných žláz. Informuje pacienta o průběhu vyšetření a převezme si vyplnění a podepsaný informovaný souhlas o provedení vyšetření. Uloží ho do správné vodorovné polohy kolmo ke kolimátoru Pinhole se zakloněnou hlavou. Dále nastaví kolimátor na 3 cm od oblasti krku (Obrázek 13) a spustí vyšetření, které trvá 20-30 minut.



Obrázek 13 - Poloha pacienta při scintigrafii štítné žlázy

Před koncem vyšetření RA vyhmatá hrdelní jamku, a označí ji plastovou kuličkou, ve které je malé množství RF. Toto slouží pro prostorovou orientaci uložení ŠŽ. Po ukončení vyšetření pacient odchází na svůj pokoj.

3.4 Radiojódová terapie

Lékaři dle výsledku akumulačního testu a porovnání zbytkové tkáně vypočítají podanou terapeutickou aktivitu radiojódu. Aktivita se u karcinomu ŠŽ v rádech několika GBq. Po výpočtu terapeutické dávky pověřený RA odchází na lůžkové oddělení, kde pacientovi podá RF ve formě roztoku nebo kapsli. Jestli pacientovi bude podán roztok nebo kapsle ovlivňuje zvolená aktivita a stav pacienta. Roztok je indikovaný pro pacienty, kteří nejsou schopni spolknout kapsli nebo jim byla zvolena taková hodnota aktivity, která se ve formě kapsle nevyrábí a nelze ji jinak dosáhnout. Po podání terapeutické dávky radiojódu se musí pacient zdržovat po dobu 6 dní na svém pokoji a dodržovat pokyny, které mu RA před podáním radiojódu sdělí. Povinností RA je docházet za pacientem na lůžkové oddělení a kontrolovat jeho stav. Během pobytu se přeměřuje úroveň IZ pomocí měřiče dávkového příkonu ve vzdálenosti 1 m od pacienta. Toto měření dávkového příkonu je velmi důležité, jelikož pacient může být propuštěn z oddělení až po poklesu dávkového příkonu pod stanovenou mez, kterou určuje zákon č.263/2016 Sb. [22, 30]

3.5 Celotělová scintigrafie s ¹³¹I

Za 6 dní po podání terapeutické dávky radiojódu pacient podstoupí celotělovou scintigrafii ¹³¹I na gamakameře (Obrázek 14). Toto vyšetření slouží k prokázání nebo vyloučení metastáz u diferencovaného karcinomu ŠŽ. Bezprostředně před vyšetřením se pacientovi nepodává žádné RF, jelikož je detekován právě radiojód podaný v rámci terapie díky svému dlouhému poločasu a že je nejen β , ale zároveň i γ zářič. Beta záření je využito při léčbě a γ záření právě k zobrazení pomocí scintigrafie.



Obrázek 14 - Gama kamera, na které se provádí vyšetření

Jelikož se jedná o farmakum se střední energií, RA před zahájením vyšetření musí vyměnit na γ kameře kolimátor nízkoenergetický na kolimátor pro střední energie (Obrázek 15). Dále pak zadá v ovladovně do počítače údaje o pacientovi a vybere z nabídky daný typ vyšetření.



Obrázek 15 - Kolimátor pro střední energii

Po výměně kolimátoru RA zavolá pacienta do vyšetřovny a ověří si jeho jméno a datum narození. Požádá ho o sundání všech kovových předmětů a informuje ho o průběhu vyšetření, popřípadě zodpoví pacientovy dotazy. Požádá pacienta, aby si lehl na stůl na záda a ruce položil podél těla. Pokud je to možné, provádíme vyšetření bez použití polštářku pod hlavou. Volně se pacient připásá popruhy a zajede se pomocí ovladače do základní polohy (Obrázek 16) a poté spustí vyšetření zhruba na 20-25 minut. Po celou dobu vyšetření sledujeme pacienta a dotazujeme se, zda je vše v pořádku. Celotělová scintigrafie je doplněna o SPECT/CT na oblast ŠŽ.



Obrázek 16 - Uložení pacienta na scintigrafii štítné žlázy ¹³¹I

SPECT/CT je hybridní metoda umožňující vytvořit dva různé typy skenů – anatomické a funkční zobrazení jedním systémem v těsném sledu za sebou. Pro SPECT/CT na oblast ŠŽ musíme změnit polohu pacienta a to tak, že pacienta uložíme hlavou do přístroje opět na záda. Řídíme se žlutými značkami na vyšetřovacím stole (Obrázek 17), které vymezují velikost pole vyšetření. Z tohoto důvodů RA nastaví oblast zájmu mezi tyto žluté značky.



Obrázek 17 - Žluté značení

Vysvětlíme pacientovi další postup vyšetření a zejména ho upozorníme, že se kolem něj budou hlavy otáčet, a proto je nutné, aby se nehýbal. Zkontrolujeme vyšetřovací stůl a polohu pacienta (Obrázek 18).

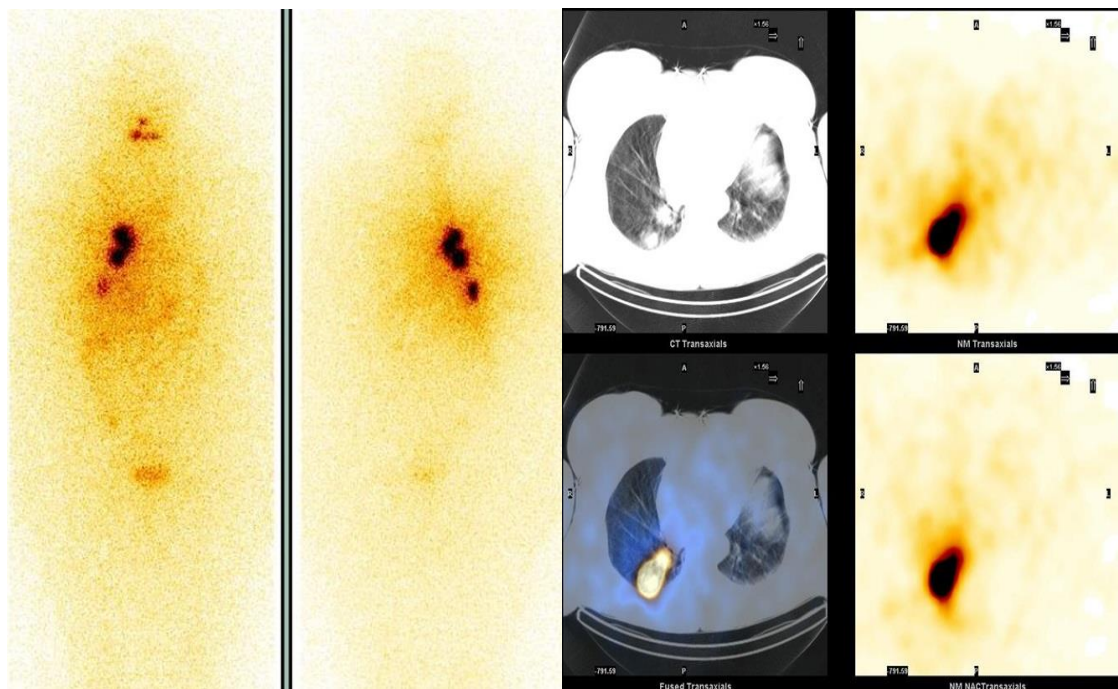


Obrázek 18 - Poloha při SPECT/CT štítné žlázy

V protokolu změníme polohu pacienta, nastavíme matici 64x64 nebo 128x128 podle instrukcí lékaře, čas snímání a dále po kolika stupních se budou hlavy otáčet. Protokol odsouhlasíme a pomocí ovladače kamery ve vyšetřovně spustíme vyšetření a odcházíme zpět do ovladovny.

Zavíráme za sebou dveře do vyšetřovny, jelikož se bude spouštět CT vyšetření. Gamakamery sice nemají plnohodnotné CT, ale pouze low dose CT, ale i přesto se jedná o určitou dávku záření, před kterou se RA i ostatní zaměstnanci na oddělení musí chránit. Na obrazovce se objeví žluté linie, které představují rozsah vyšetření. Tyto linie se dle požadavků lékaře nastaví a spustí se vyšetření. Jako první část vyšetření se spustí CT, které probíhá pár minut. Hodnoty daného CT vyšetření RA zapisuje do dokumentace pacienta pro případné dopočítání radiální zátěže pacienta. Po ukončení CT se automaticky spouští SPECT, který trvá mnohem déle.

V tuto chvíli se mohou otevřít dveře do ovladovny. Zkontroluje se pacient a upozorní se, že vyšetření pokračuje. Po skončení vyšetření se ukončí otevřený protokol a pacient odchází zpět na lůžkové oddělení, kde po konzultaci s lékařem odchází domů. Lékař zhodnotí výsledný obraz z celotělové scintigrafie ^{131}I a ze SPECT/CT ŠŽ (Obrázek 19) a hodnocení sepíše do zprávy.



Obrázek 19 - Výsledný obraz celotělové scintigrafie s ^{131}I doplněn o SPECT/CT (zdroj 2)

3.6 Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc -MIBI

Za rok od ukončení léčby karcinomu ŠŽ se provádí celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc -MIBI. Toto vyšetření slouží jako kontrola s časovým odstupem od ukončení léčby. Poté pacient podstupuje vyšetření nejčastěji jednou za dva roky, nebo podle rozhodnutí endokrinologa. Pacient přichází na oddělení NM na daný čas. Pozve se pacient do aplikační místnosti, RA připraví pacienta na i.v. aplikaci. Aplikační dávka se pohybuje v řádu stovek MBq. Lékař aplikuje RF, edukuje pacienta o průběhu vyšetření a odešle ho do čekárny. Mezitím RA v ovladovně zadá pacientovy údaje do počítače, vybere správný protokol vyšetření a odešle pacienta na WC. Poté si pacienta zavolá do vyšetřovny, převezme si vyplněný a podepsaný informovaný souhlas o vyšetření. Požádá pacienta o sundání všech kovových předmětů a uloží ho na vyšetřovací stůl. Pacient leží na zádech hlavou dovnitř přístroje – tak, aby obě kamery snímaly horní mediastinum a krk. Poté RA zajede s pacientem do přístroje (Obrázek 20) a odchází do ovladovny.

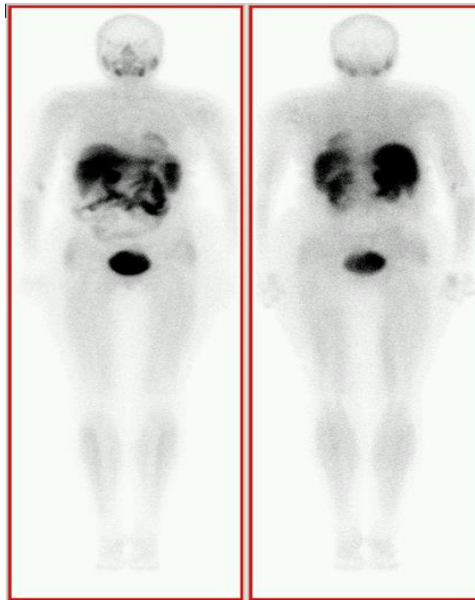


Obrázek 20 - Poloha pacienta při scintigrafii ^{99m}Tc – MIBI

Nastaví do počítače zvětšení vyšetření a zaznamená si údaje o poloze stolu. Spustí první statické vyšetření, při kterém hlídá zaznamenání stanoveného počtu kilocountů. Po dosažení této hodnoty RA zastavuje vyšetření a zaznamená si čas. Údaj o poloze stolu a čas první akvizice je důležitý, pro nastavení druhého statického snímání. Mezi prvním a druhým statickým

snímáním se provede celotělová scintigrafie doplněná o SPECT/CT na vybranou oblast. SPECT/CT probíhá stejně jako při celotělové scintigrafii s ^{131}I .

Po ukončení SPECT/CT se spouští druhé statické snímání. Po ukončení celého vyšetření se pacient oblékne a následně ho RA poučí, jak se má chovat během dne. Pacient by měl zvýšit příjem tekutin a vyhýbat se kontaktu s dětmi a těhotnými ženami po dobu 24 hodin. Výsledný obraz vyšetření (Obrázek 21) lékař zhodnotí a napíše výslednou zprávu.



Obrázek 21 - Výsledný obraz celotělové scintigrafie s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI (zdroj 2)

4 DISKUZE

Cílem bakalářské práce bylo popsat úlohu RA při zobrazování karcinomu ŠŽ pomocí SPECT/CT přístroje. Práce se dělí na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část obsahuje obecné a základní informace, které vycházejí z odborné literatury. Tyto informace by měl RA znát a umět využít v praxi.

Požadavky, které jsou kladeny na RA se postupem času zvyšují. Technika, která je hlavní součástí práce RA se postupem času stále mění a zdokonaluje. Díky technickému pokroku některé informace a vědomosti, které získal během studia využije pouze z části anebo jen dočasně a je nutné, aby se stále vzdělával ve svém oboru. Do roku 1997 stačilo k výkonu práce pouze vzdělání středoškolské, dále do roku 2005 studium na vyšších odborných školách a v současnosti (od roku 2005) je vzdělání potřebné k výkonu práce zajištěno pomocí tříletého bakalářského studia na vysokých školách. Potřebné vzdělání k výkonu práce RA upravuje zákon č.96/2004 Sb., o nelékařských zdravotnických povoláních. V České republice (ČR) je nyní 8 vysokých škol se studijním oborem radiologický asistent. [31]

V praktické části jsou popsána všechna vyšetření, která pacient s karcinomem ŠŽ podstupuje na NM. Jsou prováděná RA ve spolupráci s lékaři oddělení NM. Tyto vyšetření jsem si vyzkoušela sama prakticky provést při praxi na oddělení NM.

Na oddělení NM má RA velmi rozsáhlou náplň práce. Od první chvíle je v komunikaci s pacienty, objednává je a doprovází na vyšetření. Má za úkol pacientovi dostatečně vysvětlit průběh vyšetření a zodpovědět všechny jeho dotazy. Z tohoto důvodu, by měl RA být vlídný, ochotný a v jistých situacích dostatečně empatický. Tyto vlastnosti jsou také důležité pro práci RA na lůžkových odděleních, kde probíhá terapie. Pacienti podstupující radiojódovou terapii, musí setrvat přibližně týden sami na pokoji, bez jakéhokoliv kontaktu s blízkými, což vede k tomu, že se většina pacientů cítí osaměle a jsou více citliví. Proto je potřeba, aby se RA dokázal dostatečně vcítit do pacienta a ke každému přistupoval individuálně. Především je důležité, aby RA měl dostatečnou trpělivost s pacienty a byl pečlivý v ověřování informací, které mu byly sděleny. Další povinnosti RA je dodržování přísných pravidel na tomto oddělení. Například při přípravě roztoků či kapslí radiojodu a jejich následného podání pacientovy, dodržování dostatečné vzdálenosti od pacienta, hlavně během podávání radiojodu a při přeměňování aktivity u pacienta a správně provádět dekontaminaci. Další velmi podstatnou a důležitou povinností RA je provedení vyšetření dle příslušných standardů a správné zacházení

s přístrojovou technikou. Krom toho je RA oprávněn připravovat jednotlivé aplikační dávky RF, asistovat při jeho aplikaci a správnou likvidací kontaminovaného a radioaktivního odpadu. Musí dodržovat provozní řád pracoviště, provádět a vyhodnocovat rutinní zkoušky provozní stálosti. Spolupracuje s ostatním personálem na oddělení NM a ostatními zdravotnickými pracovníky a specialisty. Zásadní a velmi důležitá je spolupráce RA s lékaři, zejména s lékaři na NM. Před zahájením vyšetření se RA informuje lékaře o provedení vyšetření, konzultuje s ním případné nejasnosti a také asistuje při aplikaci radiofarmaka. Sděluje lékaři, jaké vyšetření v daný den proběhne a eventuálně přizpůsobí časový plán vyšetření dle přání. Během vyšetření konzultuje další postup a případné změny v provedení vyšetření. Důležitá je také spolupráce mezi RA a farmaceuty. Jelikož se na oddělení NM pracuje s radionuklidy, které mají určitý poločas rozpadu, a zároveň jednotlivá vyšetření jsou různě časově náročná, je velmi důležité, aby RA vytvořil takový časový rozpis pacientů, který bude odpovídat možnostem přípravy RF ze strany farmaceutů. U některých vyšetření, kde se používají radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu, jako je například ^{18}F , používaný při PET, je spolupráce mezi farmaceuty a RA zejména důležitá.

4.1 Vzdělání radiologického asistenta v zahraničí

Do diskuze jsem zahrnula informace o vzdělání radiologického asistenta v zahraničí.

4.1.1 Rakousko

V Rakousku se RA může stát student, který ukončil středoškolské vzdělání s maturitou nebo ukončil střední odbornou školu a absolvoval vysokoškolské vzdělání v oboru radiologický asistent. Bakalářské studium na vysokých školách trvá stejně jako v ČR šest semestrů a je zakončeno kvalifikací radiologického technologa-Bachelor of Science. Bakalářské studiu se taktéž zaměřuje na radiodiagnostiku, radioterapii i NM. Odlišností ve studiu u nás a v Rakousku je to, že si student ve třetím ročníku zvolí zaměření, kdy si vybírá z radiodiagnostiky, radioterapie a NM. Taktéž během studia studenti podstupují odbornou praxi v nemocnicích a jiných zdravotnických zařízeních s jejich zaměřením. [19]

4.1.2 Německo

V Německu může student absolvovat vysokoškolské vzdělání v oboru radiologický asistent po ukončení středoškolského studia. Před nástupem ke studiu je podmínkou absolvování týdenní praxe na radiologii. V Německu tento obor nabízí mnohem více vysokých škol v porovnání s ČR. V průběhu studia studenti absolvují povinnou šestitýdenní praxi ošetrovatelství a dále odborné praxe na odděleních radiodiagnostiky, terapie a NM jako je tomu v ČR. Studium trvá tři roky a je zakončeno státní závěrečnou zkouškou. [19]

4.1.3 Itálie

Studium RA v Itálii se liší ve studijním programu. Studenti jsou přijati do studijního programu v technikách lékařské radiologie, radioterapie a zobrazování na vysokou školu po absolvování střední školy nebo rovnocenné kvalifikace získané v zahraničí a jsou držiteli diplomu o absolvování střední školy. Studium bakalářského studijního programu trvá taktéž tři roky. Pro povolení k výkonu radiologického technika-asistenta musí student prokázat na konci studia své znalosti v oboru. [19]

4.1.4 Švýcarsko

RA získává odbornou způsobilosť k práci po absolvování tříletého studia na vyšší odborné škole. Podmínkou k přijetí je taktéž ukončení středoškolského vzdělání s maturitou. Obor zahrnuje rovněž všechny tři obory radiologie a po ukončení studia si jeden z oborů vybere. Navazující studium probíhá na lékařských univerzitách a vedou ke specializaci v oboru. Toto studium trvá šest semestrů a je ukončeno závěrečnou zkouškou. [19]

4.1.5 Shrnutí

Studium v zahraničí probíhá převážně za stejných podmínek jako v ČR. Studium potřebné k výkonu práce RA je v ČR i v zahraničí možné po ukončení středoškolského vzdělání s maturitou. Studium probíhá na vysokých školách po dobu tří let v prezenční formě a je ukončeno závěrečnou zkouškou. Výjimkou je Švýcarsko, kde k výkonu práce RA je dostačující vzdělání na vyšší odborné škole a následné studium na vysoké škole vede ke specializaci v oboru. V ČR i v zahraničí studijní obory zahrnují radiodiagnostiku, radioterapii a NM. Taktéž

studenti absolvují odborné praxe na jednotlivých oddělení. Studijní obor je v ČR i v zahraničí stejně pojmenován, s výjimkou Itálie, kde je obor pojmenovaný techniky lékařské radiologie, radioterapie a zobrazování. [29]

4.2 Statistické údaje o pracovnících nukleární medicíny v České republice

Pro zajímavost uvádím statistické údaje o pracovnících NM na území ČR a počtu výkonu provedených na SPECT a SPECT/CT v ČR. Využívala jsem údajů ze stránky Ústavu zdravotnických informací a statistiky ČR. [24]

Počet všech pracovníků na území ČR v oboru NM od roku 2007 do roku 2015 vzrostl. Konkrétně pro rok 2007 bylo na území ČR 101 lékařů s kvalifikací pro daný obor, 209 zdravotnických pracovníků způsobilých k výkonu zdravotnického povolání bez odborného dohledu po získání odborné a specializované způsobilosti s kvalifikací pro daný obor, 44 zdravotnických pracovníků způsobilých k výkonu zdravotnického povolání pod odborným dohledem nebo přímým vedením s kvalifikací pro daný obor a 12 radiologických fyziků s kvalifikací pro daný obor. K roku 2015 vzrost počet všech pracovníků, konkrétně 114 lékařů s kvalifikací pro daný obor, 225 zdravotnických pracovníků způsobilých k výkonu zdravotnického povolání bez odborného dohledu po získání odborné a specializované způsobilosti s kvalifikací pro daný obor, 51 zdravotnických pracovníků způsobilých k výkonu zdravotnického povolání pod odborným dohledem nebo přímým vedením s kvalifikací pro daný obor a 26 radiologických fyziků s kvalifikací pro daný obor. [24]

Zajímalo mě, v jakém kraji je nejvíce pracovníků na pracovištích NM. Nejvíce pracovníků oboru NM s kvalifikací pro daný obor se nachází v kraji Hlavní město Praha. Nejméně pracovníků oboru NM s kvalifikací pro daný obor se vyskytuje v Libereckém kraji. Tyto údaje jsou uvedeny k roku 2015. [24]

Z důvodu zaměření mé bakalářské práce mě zajímalo, jaký je počet výkonů provedených v ČR na dvouhlavové kameře přístroje SPECT a SPECT/CT. Roku 2009 bylo provedeno 237 784 výkonů na přístroji SPECT a 23 724 výkonů na SPECT/CT. Roku 2015 bylo provedeno 235 637 výkonů na SPECT a zároveň 71 670 na SPECT/CT. Podle těchto údajů je zřejmé, že se přístrojová technika SPECT a SPECT/CT využívá čím dál více. [24]

5 ZÁVĚR

Snahou mé bakalářské práce bylo přiblížit rozsah a náplň práce RA na oddělení NM u zobrazení karcinomu ŠŽ pomocí SPECT/CT. Při psaní bakalářské práce jsem používala odbornou literaturu a v praktické části jsem využila svých praktických zkušeností získaných v průběhu plnění odborné praxe na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové. Při psaní sem využila i ochoty a cenných rad od personálu na daném pracovišti.

Bakalářská práce byla zaměřena na nukleárně medicínské zobrazení karcinomů ŠŽ. Karcinomy ŠŽ jsou nejčastějším nádorovým onemocněním endokrinologických žláz. V posledních letech se jejich incidence zvyšuje, a to především u mladší populace. Myslím si, že důvod zvýšení incidence je především díky celkovému zvýšení výskytu nádorového onemocnění v populaci, ale také díky dostupným, a hlavně přesnějším diagnostickým zařízením, díky kterým dojde k včasnému odhalení onemocnění. Při psaní této práce jsem se seznámila s diagnostickými metodami a možnostmi léčby karcinomu ŠŽ. Zjistila jsem, že diagnostické a léčebné postupy jsou v současnosti velmi propracované a je více možností, jak toto onemocnění léčit. Pro diagnostiku tohoto onemocnění je velmi podstatná scintigrafie. Možnosti moderní techniky SPECT a SPECT/CT přispělo k dokonalejšímu zobrazení ŠŽ a případných metastáz, především po ukončení léčby. Nejčastějším druhem nádoru ŠŽ je diferencovaný karcinom, pro který se využívá terapie radiojódem. Léčebná strategie u ostatních druhů karcinomů ŠŽ spočívá v chirurgické léčbě, hormonální terapii a chemoterapii. Myslím si, že díky těmto diagnostickým a léčebným metodám se prognóza onemocnění velmi zlepšila. [2, 5, 13, 15]

Úlohou RA při zobrazování karcinomů ŠŽ je nejen obsluha diagnostických přístrojů na oddělení NM a činnost na lůžkových odděleních kde probíhá radiojódová terapie, ale také především komunikace s pacienty. Chtěla bych zdůraznit, že komunikace mezi RA a pacienty hraje velkou roli v kvalitě vyšetření. Jelikož se na oddělení NM pracuje převážně s onkologickými pacienty, musí se RA ke každému pacientovi chovat individuálně, především být vstřícný a trpělivý. Velmi důležitá je u onkologických pacientů správná edukace o nutné přípravě před vyšetřením a srozumitelné vysvětlení co se během vyšetření bude dít. Je to z důvodu, že dostatečně informovaný pacient je správně připravený, během vyšetření je klidnější, a především spolupracuje a řídí se pokyny RA.

6 POUŽITÁ LITERATURA

1. ČIHÁK, Radomír a Miloš GRIM. Anatomie 2. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2002. ISBN 80-247-0143-X.
2. GREENSPAN, Francis S. a John D. BAXTER. Základní a klinická endokrinologie. 4. vyd. Praha: H & H, 2003. ISBN 80-86022-56-0.
3. HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. Olomouc: Univerzita Palackého, 2009. ISBN 978-80-244-2350-0.
4. KAŇKOVÁ, Kateřina. Patologická fyziologie pro bakalářské studijní programy. 2. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2009. ISBN 978-80-210-4923-9.
5. KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
6. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. Radiofarmaka. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012. ISBN 978-80-7464-183-1.
7. KRŠEK, Michal. Endokrinologie. Praha: Galén, c2011. ISBN 978-80-7262-687-8.
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.
9. MYSLIVEČEK, Miroslav. Nukleární medicína. 1. díl. Olomouc: Univerzita Palackého, 2007. ISBN 978-80-244-1723-3.
10. PODZIMEK, František. Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05319-5.
11. SEIDL, Zdeněk. Radiologie pro studium i praxi. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.
12. SHARP, Peter F., H. G. GEMMELL a Alison D. MURRAY. Practical nuclear medicine. 3rd ed. New York: Springer, c2005. ISBN 185233875x.
13. ŠLAMPA, Pavel a Jiří PETERA. Radiační onkologie. Praha: Galén, c2007. ISBN 978-80-7262-469-0.
14. TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
15. VLČEK, Petr a Jan NEUMANN. Karcinom štítné žlázy: pooperační sledování nemocných. Praha: Maxdorf, 2002. ISBN 80-85912-50-3.
16. VOTRUBOVÁ, Jana. Klinické PET a PET/CT. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-619-9.

17. ZAMRAZIL, Václav a Jarmila ČEŘOVSKÁ. Jod a štítná žláza: optimální přívod jodu a poruchy z jeho nedostatku. Praha: Mladá fronta, 2014. ISBN 978-80-204-3302-2.

INTERNETOVÉ ZDROJE:

18. DOLEŽAL, Jiří. Onkologie. *Portál UPCE* [online]. 2016 [cit. 2018-04-13].
Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>
19. KUPSKÁ, Jana. Pregraduální a postgraduální studium radiologických asistentů ve vybraných státech Evropské unie [online]. České Budějovice, 2014 [cit. 2018-04-08].
Dostupné z: https://theses.cz/id/lazomw/Bc_JK.pdf. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, Katedra radiologie, toxikologie a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Zuzana Freitinger Skalická.
20. Octreotide scan. Wikipedia [online]. 2017 [cit. 2018-03-20].
Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Octreotide_scan
21. Pozitronová emisní tomografie. *PET-SPECT* [online]. c2009 [cit. 2018-03-20].
Dostupné z: <http://www.pet-spect.fbmi.cvut.cz/pet.html>
22. Požadavky SÚJB při provádění terapie onemocnění štítné žlázy radiojódem na pracovištích nukleární medicíny. *SÚJB* [online]. 2000 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/MP_terapie_stitne_zlasy.pdf
23. SPECT-CT scan. *Inside Radiology* [online]. 2017 [cit. 2018-03-20].
Dostupné z: <https://www.insideradiology.com.au/spect-ct-scan/>
24. Stručný přehled činnosti oboru radiační onkologie, klinická onkologie za období 2007–2015. *Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR* [online]. Praha, 2016 [cit. 2018-03-31]. Dostupné z: <http://www.uzis.cz/publikace/zdravotnictvi-cr-strucny-prehled-cinnosti-oboru-radiacni-onkologie-klinicka-onkologie-za-obdobi-2007>
25. Thyroid Cancer: Indications and Opportunities for Positron Emission Tomography/Computed Tomography Imaging. *Seminars in nuclear medicine* [online]. 2011 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: [http://www.seminarsinnuclearmedicine.com/article/S0001-2998\(10\)00138-8/fulltext](http://www.seminarsinnuclearmedicine.com/article/S0001-2998(10)00138-8/fulltext)
26. ULLMAN, Vojtěch. Terapie štítné žlázy radiojódem. *AstroNuklFyzika* [online].
Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm#ThyroidTerapie>

27. Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. *Zákony pro lidi* [online]. 2010 [cit. 2018-04-13].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>
28. Vyhláška č. 55/2011 Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků. *Zákony pro lidi* [online]. 2010 [cit. 2018-04-13].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-55>
29. Vzdělávání. *Společnost radiologických asistentů v ČR* [online]. [cit. 2018-04-13].
Dostupné z: <http://srlacr.cz/category/vzdelavani/>
30. Zákon č. 263/2016. Sb., atomový zákon. *Zákony pro lidi* [online]. 2010 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263?text=atomovovy+zakon>
31. Zákon č. 96/2004 Sb., o nelékařských zdravotnických povoláních. *Zákony pro lidi* [online]. 2010 [cit. 2018-04-13].
Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-96>

ZDROJE FOTOGRAFIÍ:

1. DOLEŽAL, Jiří. Endokrinologie. *Portál UPa* [online]. 2017 [cit. 2018-04-02].
Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>
2. DOLEŽAL, Jiří. Onkologie. *Portál UPa* [online]. 2017 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>
3. Léčba radiojódem. *FNHK* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.fnhk.cz/int-2h/lecba-radiojodem>
4. Stavba štítné žlázy. *Štítná žláza* [online]. 2011 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://stitna-zlaza.blog.cz/1105/stavba-stitne-zlazy>
5. ULLMANN, Vojtěch. Podstata a metody scintigrafie. *AstroNuklFyzika* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>
6. ULLMANN, Vojtěch. Radioaktivita. *AstroNuklFyzika* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>