

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Tereza Nesvadbová

Scintigrafie štítné žlázy

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Bc. Petr Vybíral, DiS.

Olomouc 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

V Olomouci

podpis

Mé poděkování patří panu Ing. Bc. Petru Vybíralovi DiS. za věnovaný čas, cenné rady, ochotu a trpělivost při odborném vedení mé práce.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Nukleární endokrinologie

Název práce: Scintigrafie štítné žlázy

Název práce v AJ: Thyroid scintigraphy

Datum zadání: 2021-11-10

Datum odevzdání: 2022-04-29

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav radiologických metod

Autor práce: Tereza Nesvadbová

Vedoucí práce: Ing. Bc. Petr Vybíral, DiS.

Oponent práce: Ing. Bc. Jiří Horalík, DiS.

Abstrakt v ČJ:

Přehledová bakalářská práce je zaměřena na scintigrafická vyšetření štítné žlázy v nukleární medicíně. V práci je popsána fyziologie a patologie štítné žlázy. Dále se věnuje základním principům nukleární medicíny, ionizujícího záření, radiofarmak a přístrojového vybavení. Poslední část práce se zabývá jednotlivými vyšetřeními štítnice v nukleární medicíně. Popis vyšetření zahrnuje indikace, kontraindikace, použité radiofarmakum, přípravu, postup, akviziční parametry a typy nálezů. Při tvorbě této bakalářské práce bylo čerpáno z databází Google Scholar, EBSCO a ProQuest, dále byla využita odborná literatura a Věstník MZ ČR.

Abstrakt v AJ:

This summary thesis analyzes thyroid scintigraphic methods in nuclear medicine. The thesis describes physiology and pathology of thyroid gland. It also deals with basic principles of nuclear medicine, ionizing radiation, radiopharmaceuticals and scintillation camera. The last part of the thesis deals with individual examinations of the thyroid gland in nuclear medicine. The description of the examination includes

indications, contraindications, used radiopharmaceutical, preparation, procedure, acquisition parameters and types of finding. During the creation of this thesis I used databases like Google Scholar, EBSCO and ProQuest. Professional literature and the Bulletin of the Ministry of Health of the Czech Republic were also used.

Klíčová slova v ČJ: štítná žláza, nukleární medicína, scintigrafie, ionizující záření, radiofarmakum, technecistan, ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc(V)-DMSA}$, $^{123}\text{I-MIBG}$

Klíčová slova v AJ: thyroid gland, nuclear medicine, scintigraphy, ionizing radiation, radiopharmaceutical, pertechnetate, ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc(V)-DMSA}$, $^{123}\text{I-MIBG}$

Rozsah: 45/7

Obsah

ÚVOD	7
1 POPIS REŠERŠNÍ ČINNOSTI	9
2 ŠTÍTNÁ ŽLÁZA	10
2.1 Fyziologie	10
2.2 Patologie	11
3 PRINCIP NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY	16
3.1 Ionizující záření	17
3.2 Radiofarmaka	21
3.3 Přístrojové vybavení	23
4 SCINTIGRAFIE ŠTÍTNÉ ŽLÁZY	26
4.1 Scintigrafie pomocí $^{99m}\text{TcO}_4^-$	27
4.2 Supresní scintigrafie	30
4.3 Radiojodový akumulární test	31
4.4 Celotělová scintigrafie s použitím ^{131}I	32
4.5 Scintigrafie medulárního karcinomu ŠŽ	35
ZÁVĚR	37
REFERENČNÍ SEZNAM	38
SEZNAM ZKRATEK	43
SEZNAM SYMBOLŮ	45

ÚVOD

Nukleární medicína je považována za samostatný lékařský obor zahrnující aplikaci radioaktivních látek ve formě radiofarmak pro diagnostiku nebo terapii nemocí. Nejdůležitější charakteristikou je, že se jedná o metodu, díky které lze získat informace o funkci vyšetřovaného orgánu. Jedním z vědců mající důležitou roli při vzniku nukleární medicíny byl doktor Saul Hertz, který použil v roce 1937 radiojód během studie fyziologie štítné žlázy a v roce 1941 jako první aplikoval ^{131}I k její léčbě (Piciu, 2017, s. 3).

V nukleární medicíně je využíván indikátorový princip, který objevil Maďar György Hevesy. Je založen na neinvazivním sledování vyzařovaného ionizujícího záření z aplikovaného radionuklidu, díky čemuž lze hodnotit metabolické děje v těle vyšetřovaného (Kupka, 2015, s. 13).

Jako první došlo k použití radioaktivních nuklidů k diagnostice v endokrinologii. Scintigrafické vyšetření zajišťuje zobrazení rozložení radiofarmaka v parenchymu endokrinních žláz, čímž lze zobrazit případné patologické změny. Na rozdíl od zobrazovacích metod jako je CT, MR nebo ultrazvuk, poskytuje scintigrafie informace o funkčnosti žláz (Kupka, 2015, s. 85-86).

Scintigrafické vyšetření u štítné žlázy je indikováno k odhalení ektopicky uložené tkáně, zhodnocení funkční tkáně a vyšetření pacientů, které postihl diferencovaný karcinom štítné žlázy (MZ ČR, 2016, s. 288). Dále je využívána pro zobrazení medulárního karcinomu štítnice a jeho případných metastáz (Ullah khan, 2014, s. 73).

Hlavním cílem bakalářské práce bylo dohledání poznatků o štítné žláze, nukleární medicíně a diagnostických metodách štítné žlázy v nukleární medicíně. Cíl byl následně specifikován do několika dílčích:

- I. popsat fyziologii a patologii štítné žlázy
- II. vysvětlit princip nukleární medicíny, ionizující záření, využití radiofarmak, přístrojové vybavení a typy zobrazení
- III. popsat scintigrafické metody štítné žlázy

Jako vstupní literaturu pro tvorbu této práce jsem použila následující tituly:

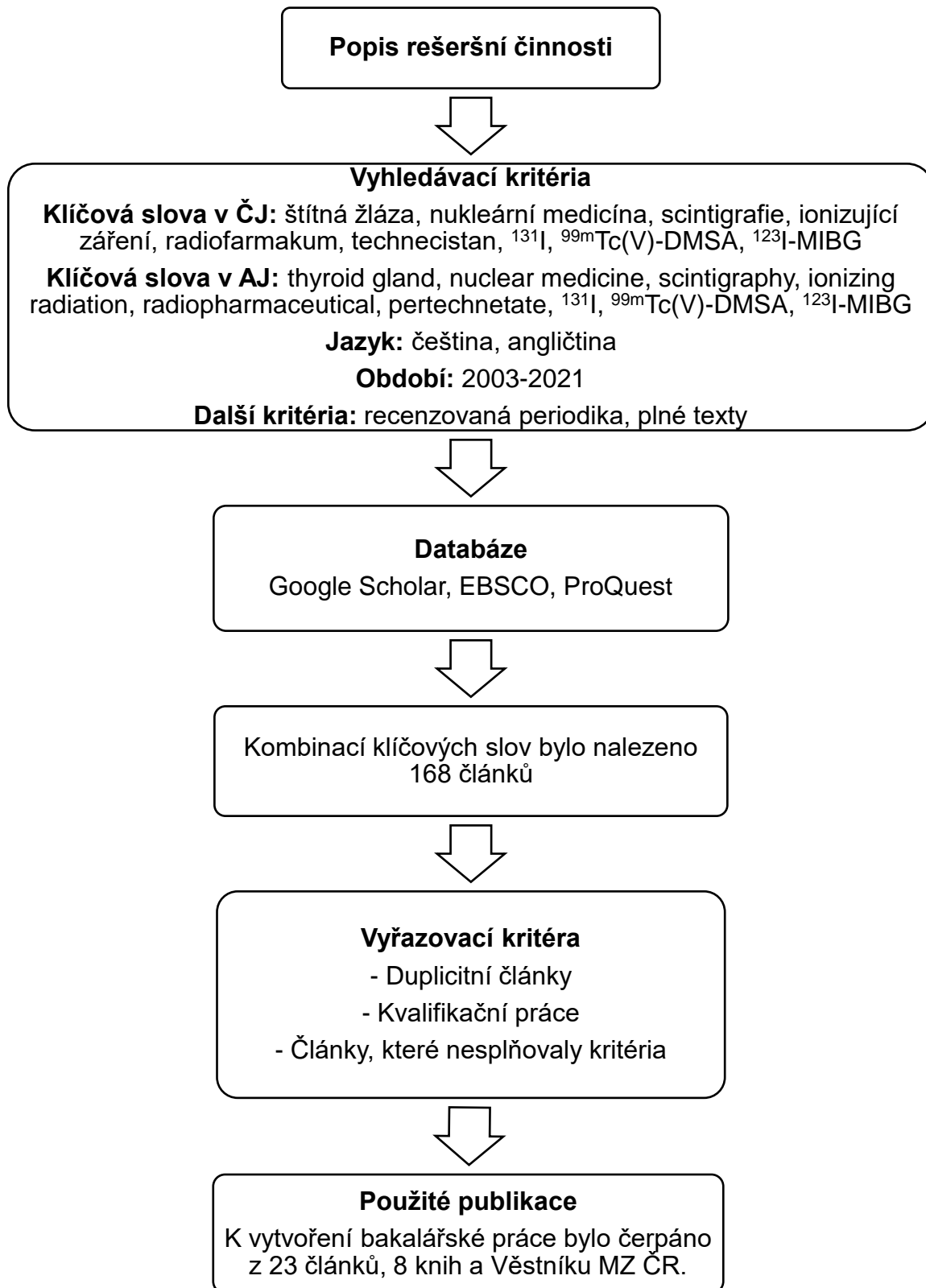
BRUNOVÁ, Jana a Josef BRUNA. *Klinická endokrinologie a zobrazovací diagnostika endokrinopatií*. Praha: Maxdorf, c2009. Jessenius. ISBN 978-80-7345-190-5.

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

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

1 POPIS REŠERŠNÍ ČINNOSTI

V následujícím textu je popsáno, jak byla realizována rešeršní činnost, podle které došlo k vyhledání validních zdrojů pro tvorbu této bakalářské práce.



2 ŠTÍTNÁ ŽLÁZA

2.1 Fyziologie

Štítná žláza produkuje hormony nezbytné pro optimální růst a rozvoj jedince a podílí se na řízení látkové přeměny lipidů a sacharidů. Hormony vznikající ve štítné žláze se nazývají tetrajodtyronin (*tyroxin*, T_4) a trijodtyronin (T_3). Oba tyto hormony mají velice podobný význam, ale liší se v době začátku působení a síle působení. Tyroxin je přibližně čtyřikrát méně účinný než trijodtyronin, ale za to jeho účinky trvají delší dobu (Petřek, 2019, s. 143).

Pomocí hypofýzy může hypothalamus řídit činnost všech endokrinních žláz v těle. Díky tomuto spojení vzniká hypothalamo-hypofýzární systém, který ovlivňuje aktivitu a sekreci hormonů endokrinních žláz na základě změn vnitřního a vnějšího prostředí organismu. Hypothalamus kromě řízení hypofýzy ovlivňuje i aktivitu funkčních systémů a buněk v těle jako je výměna elektrolytů a vody, přeměna živin nebo změna vlastností na povrchu membrán. Celkový systém hraje důležitou roli v udržování acidobazické rovnováhy mezi kyselými a zásaditými látkami v organismu a podílí se na udržování homeostázy. Tvorba hormonů ve štítné žláze je řízena složitým procesem mezi hypothalamem produkujícím TRH, pod jehož vlivem je v předním laloku hypofýzy (adenohypofýza) uvolňován hormon TSH, který stimuluje buňky ke tvorbě hormonů přímo ve štítné žláze (Petřek, 2019, s. 141-143).

Ke správné tvorbě hormonů je potřeba dostatečné množství jodu, jehož deficit může negativně ovlivnit jejich syntézu. Pokud dojde k nedostatku hormonů v období před narozením nebo těsně po narození, je významně ovlivněn vývoj mozku, což u jedince způsobuje rozvoj kretenismu. Pokud se nedostatek objeví až v dospělém věku, dochází ke změnám vzhledu, které se označují jako myxedém (Petřek, 2019, s. 143).

T_4 hraje u ženy důležitou roli v možnosti početí plodu. Aby mohlo dojít k oplodnění, je potřeba, aby tělo ženy bylo připravené a došlo k souhře v řadě imunologických, hormonálních a jiných vztahů. T_4 patří mezi nejdůležitější prvky, které umožňují vznik gravidity, zdařilý průběh těhotenství a správný růst a vývoj plodu. Dostatečné množství hormonu je potřeba zejména na začátku těhotenství (Límanová, 2015, s. 862-863).

Celkově mají hormony T_3 a T_4 široký význam. Podílejí se na optimálním růstu skeletu a vývoji mozku. Zvyšují tepovou frekvenci, redukují množství cholesterolu v krvi, ovlivňují vstřebávání sacharidů v zažívacím traktu a látkovou přeměnu tuků (Petřek, 2019, s. 143).

Štítná žláza kromě těchto dvou hormonů produkuje i hormon kalcitonin. Jeho hlavní význam je snížení zpětného vstřebání vápníku v ledvinách a podpoření ukládání vápníku v kostech, čímž dochází k redukci množství vápníku obsaženého v krevní plazmě (Petřek, 2019, s. 144).

2.2 Patologie

2.2.1 Struma

Jako struma je u štítné žlázy označován stav, kdy dochází k jejímu zvětšení. Může se vyskytovat ve formě eufunkční, označováno jako prostá struma, kdy štítná žláza vykonává normální funkci a hladiny hormonů mají fyziologickou hodnotu nebo v dysfunkční formě spojenou se sníženou nebo zvýšenou funkcí štítné žlázy (Sovová, 2012, s. 210). Prostá struma se častěji vyskytuje u žen, a to v poměru 7:1 až 9:1 k mužům. V oblastech se sníženým výskytem jodu jsou obě pohlaví postižena stejně. Fyziologická objemová hodnota štítné žlázy je u žen do 18 ml a u mužů do 22 ml (Brunová, 2009, s. 83, 85).

Prostá struma, která je pouze mírně zvětšená se může vyskytovat bez příznaků a nemusí postiženého nijak omezovat. Výrazně zvětšená štítná žláza může utlačovat vedlejší tkáně, což u jedince vyvolává dušnost, dysfagii (potíže s polykáním), chrapot, nesnášenlivost upnutého oblečení kolem krku nebo pocit tlaku na krku (Sovová, 2012, s. 210).

2.2.2 Hypertyreóza

Hypertyreóza je onemocnění vznikající při zvýšené produkci hormonů štítné žlázy (Fryšák, 2014, s. 232). Dělí se na primární (periferní), kdy je původ přímo ve štítné žláze, nebo sekundární (centrální), která je způsobena poruchou hypotalamu nebo hypofýzy. Nejčastěji primární hypertyreózu vyvolává Graves- Basedowa nemoc, což je autoimunitní onemocnění, při kterém dochází k tvorbě

protilátek napadajících vlastní buňky štítné žlázy. Příčinou centrální hypertyreózy je zvýšená produkce TSH hormonu, např. při adenomu hypofýzy. Dále se zvýšená funkce může vyskytovat u žen v začátku těhotenství nebo po porodu a u jedinců léčených radiojódem nebo amiodaronem (Sovová, 2012, s. 214). Amiodaron je lék využívající se zejména v kardiologii k léčbě srdečních arytmií, jehož molekula je tvořena z 37 % jodem. Užívání 200-600 mg/den při terapeutických dávkách způsobuje až 250násobně zvýšený denní příjem jodu. Lék má poměrně dlouhý poločas rozpadu, který trvá v rozmezí 30 až 100 dní. Vyloučení přebytečného jodu močí bývá po šesti měsících od skončení léčby (Tajťáková, 2012, s. 141).

Mezi nejčastější příznaky patří zrychlení srdečního tepu, palpitace nebo nepravidelný srdeční rytmus. Jedinci bývají podráždění, nervózní, pociťují vnitřní napětí a trpí nespavostí. Nemoc je doprovázena třesem prstů a jazyka, pocením, návaly horka a častým vyprazdňováním, což může způsobit úbytek váhy nemocného, ale není snížena chuť k jídlu. U nemocných trpících Graves-Basedowou chorobou se asi v 30 % objevují oční příznaky, jako jsou otoky a nedovírání víček, dvojitě vidění, narušená funkce okohybných svalů nebo exoftalmus (vypouklé oči) (Brunová, 2009, s. 100-103).

2.2.3 Hypotyreóza

Jedná se o onemocnění projevující se nedostatkem hormonů štítné žlázy. Podle příčiny vzniku se rozlišuje hypotyreóza primární, která je způsobena poruchou funkce přímo ve štítné žláze. Mezi nejčastější příčiny patří chirurgické odstranění štítné žlázy, autoimunitní tyreopatie, zvýšený nebo snížený příjem jodu či léčba radioterapií v oblasti krku. Méně častěji vzniká sekundární hypotyreóza při nízké tvorbě TSH v adenohipofýze, vyvolané např. aneurysmatem, úrazem hlavy, primárními a sekundárními nádory hypofýzy, nebo terciální při nedostatečné produkci TRH hypothalamem. Snížená funkce štítné žlázy se vyskytuje ve větším množství u žen než u mužů a její výskyt roste s přibývajícím věkem (Brunová, 2009, s. 122-123).

Symptomy hypotyreózy se odvíjejí podle závažnosti onemocnění. Mezi nejčastější příznaky patří snížená tepová frekvence, pocit chladu, suchá kůže, spavost a únava. Dochází k vypadávání vlasů a obočím, objevují se otoky víček

a jazyka. Pacienti trpí zácpou a přibývají na váze. U žen dochází ke snížení plodnosti až infertilitě a k poruchám menstruačního cyklu. Závažnější stavy nemoci v kombinaci s infekcí, traumatem nebo cévní mozkovou příhodou mohou vyústit až k myxedémovému kómatu (Sovová, 2012, s. 212).

2.2.4 Záněty

Onemocnění štítné žlázy se vyskytuje převážně u žen v poměru 4-6:1 k mužům a jejich výskyt po 65. roce života roste. Velká část jedinců je postižena záněty – tyroiditidy. Skupina těchto onemocnění vzniká z různé příčiny, jsou doprovázeny zánětlivými projevy a často i poruchou funkce. Na základě průběhu nemoci se rozlišují záněty akutní, subakutní nebo chronické. Nejčastěji se vyskytují záněty v chronické formě (Šarapatková, 2013, s. 291).

Mezi akutní záněty patří akutní tyroiditida nebo akutní infekční tyroiditida. Tyto záněty jsou vzácné a nevyskytují se příliš často. Bývají spojené s přestupujícím zánětem z okolí, se sepsí šířící se hematogenní cestou nebo s operačním výkonem v oblasti krku. Nejčastěji má infekce bakteriální původ, dále pak fungální, parazitární nebo může vznikat i jako komplikace při tuberkulóze. Onemocnění postihuje hlavně osoby se sníženou imunitou nebo HIV. Nemocní mají vysoké hodnoty CRP, vysoký počet bílých krvinek a trpí teplotami společně s bolestmi v oblasti krku a dysfagií. K poruchám funkce štítné žlázy dochází pouze výjimečně. Léčba spočívá v užívání širokospektrálních antibiotik, při tvorbě hnisavého výpotku se provádí punkce (Šarapatková, 2013, s. 291).

Subakutní tyroiditida a de Quirvainova obrovskobuněčná tyroiditida se řadí mezi záněty se subakutním průběhem. Tato onemocnění jsou častější než akutní záněty, ale jejich původ je neznámý. Často se přisuzuje nespecifické odpovědi štítné žlázy na viry a bakterie nebo předcházející infekci dýchacích cest virového původu. Lehká forma onemocnění často není diagnostikována, probíhá jako lehká viróza a projevuje se stejně jako chřipka únavou a svalovou slabostí. Závažnější forma se projevuje slabostí celého těla, vysokými horečkami, bolestí v oblasti krku a problémy s polykáním. Často se objevují i příznaky hypertyreózy – nervozita, psychické napětí a zrychlená srdeční činnost. V lehkých případech léčba probíhá podáváním protizánětlivých léků, v těžkých se užívají kortikoidy a antibiotika.

Podávání tyreostatik není potřeba, protože nedochází ke zvýšené tvorbě hormonů T₃ a T₄, ale pouze k jejich hromadnému uvolnění po rozpadu tyreocytů. K utlumení symptomů hypertyreózy jsou podávány betablokátory (Šarapatková, 2013, s. 291-292).

Jedním z chronických zánětů je Graves-Basedowa nemoc. Jedná se o autoimunitní onemocnění, které způsobuje tvorbu protilátek proti receptoru TSH, čímž dochází k větší syntéze T₃ a T₄ hormonů. Dalšími zástupci je chronická lymfocytární tyroiditida (CLT), vyskytující se bez strumy nebo se strumou jako Hashimotova tyroiditida, a poporodní tyroiditida, které jsou doprovázeny hypotyreózou (Šarapatková, 2013, s. 292-293). Během těhotenství dochází ke zvýšení hladin T₃ a T₄, což následně vyvolává nástup adaptačních imunologických mechanismů, které mohou mít vliv na tato onemocnění. Graves-Basedowa nemoc se během těhotenství uklidňuje, zatímco stabilizovaná nebo bezpříznaková CLT se může výrazněji projevit. Po skončení těhotenství je situace naopak, společně s Graves-Basedowou nemocí se rozvíjí i poporodní tyroiditida (Límanová, 2015, s. 863). Kromě genetiky ovlivňují výskyt onemocnění i faktory vnějšího prostředí – infekční, nutriční (množství niklu, jodu, selenu...), chemické (léčiva, kontrastní látky) a fyzické (kouření, ionizující záření). Projevy CLT se odvíjí podle stupně postižení funkce, věku a velikosti strumy. Léčba je individuální a závisí na stavu pacienta. Podávají se preparáty k léčbě snížené funkce štítné žlázy a v případě vzniku velké strumy, která u nemocného vyvolává potíže s polykáním nebo dýcháním se volí chirurgická léčba (Šarapatková, 2013, s. 292-293).

Zvláštní typ zánětu tvoří Riedelova tyroiditida, která se vyskytuje velmi zřídka, buď ve formě autoimunitní nebo fibrotické a její původ není známý. Postihuje zejména ženy, a to ve středním a vyšším věku. Fibrotická forma se masivně šíří a postihuje i okolní tkáň. Jeví se jako rychle rostoucí tvrdá až kamenná struma způsobující potíže s dýcháním a polykáním. I přesto, že se jedná o benigní onemocnění, nelze se vyhnout chirurgické léčbě kvůli potížím, které struma způsobuje (Šarapatková, 2013, s. 293).

2.2.5 Nádory

Ve štítné žláze dochází k častému výskytu uzlů, které mohou mít benigní nebo i maligní potenciál. V posledních letech dochází k jejich časté diagnostice díky využívání ultrazvukového vyšetření společně s FNAB. Punkce umožňuje cytologické vyšetření odebraného vzorku a na základě jeho výsledku je stanovena léčba. Nádory se objevují třikrát více u žen než u mužů a téměř jedna jejich třetina se projeví mezi 20-40 rokem života (Fialová, 2021, s. 7).

Benigní tumory jsou označovány jako adenomy, které vznikají ze žláznatého epitelu, a jejich léčba je prováděna odstraněním laloku štítné žlázy nebo kompletním odstraněním celé štítné žlázy (Fialová, 2021, s. 7).

Maligní tumory štítné žlázy patří mezi nejčastěji se vyskytující nádory v endokrinologii. Nádory se vyskytují pětkrát více u žen než u mužů (Brunová, 2009, s. 93). Díky snadné dostupnosti ultrasonografického vyšetření se jejich výskyt zvýšil. Na základě histologického vyšetření je rozlišeno několik typů nádorů. Velká část je zastoupena epitelovými diferencovanými tumory, kam spadají folikulární a papilární karcinomy. Tyto tumory jsou citlivé na léčbu radiojódem a jejich léčba má tedy dobrou prognózu. Medulární karcinom vzniká z parafolikulárních buněk a má špatnou prognózu, protože není citlivý na radiojód. V menším zastoupení se vyskytují epitelové nádory nediferencované, též označované jako anaplastické. Mohou se objevovat i tumory neepitelové a smíšené, jako jsou lymfomy, fibrosarkomy a teratomy, nebo sekundární nádory – metastáze nejčastěji z ledvin a prsu (Hlaváčková, 2020, s. 100).

3 PRINCIP NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

Nukleární medicína je samostatný lékařský obor sloužící k diagnostice nebo k terapii onemocnění, který využívá aplikace radioaktivních látek emitujících ionizující záření. Důležitou charakteristikou metod nukleární medicíny je schopnost použití látek jako indikátorů odrážejících funkci jednotlivých orgánů. Kromě zhodnocení funkce orgánů vyšetření poskytuje informace i o struktuře, metabolismu a příčině nebo povaze onemocnění, což umožňuje sledovat progresi či regresi nemoci a poranění (Piciu, 2017, s. 3). Zdrojem ionizujícího záření jsou otevřené radioaktivní zářiče používající se ve formě radiofarmak (farmaka značená radionuklidy). Tato medicínská disciplína se rozkládá na pomezí několika dalších lékařských oborů (farmakologie, fyziologie, patologická fyziologie, neurologie, endokrinologie, kardiologie aj.) a nelékařských oborů (fyzika, výpočetní technika, radiační ochrana, radiobiologie, radiofarmacie) (Kupka, 2015, s. 13).

Nukleární medicína ve srovnání s radiologií využívá jiných vzorců během vyšetření. V radiologii je zdrojem záření stroj. Využívá se transmise, kdy je ze stroje emitováno záření, které projde skrze pacienta a následně je zaznamenáno na přilehlé detektory. Výsledkem je snímek ozářené oblasti jedince. V nukleární medicíně je jako základní princip využívaná emise, kdy je radioaktivní látka aplikována přímo do těla pacienta, jenž se stane zdrojem záření, a to pak zaznamenávají okolní detektory. Jako výsledek slouží obraz rozložení radiofarmaka v těle (Piciu, 2017, s. 4).

Pro použití radionuklidových zdrojů jsou rozlišeny 2 základní metody – in vivo a in vitro. In vivo metoda zahrnuje podání radioaktivní látky přímo do těla pacienta neinvazivním způsobem, nejčastěji intravenózně. Při diagnostických a scintigrafických metodách zdroj emituje fotony elektromagnetického záření, jedná se o charakteristické rentgenové záření, gama záření a záření, které vzniká anihilací pozitronů. Tyto druhy záření mají pronikavý charakter, což znamená, že jsou v těle vyšetřovaného absorbovány jen z části a dají se zaznamenávat vnějšími detektory gama-kamer okolo pacienta. Výsledkem vyšetření je obraz rozložení radiofarmaka v těle, což slouží k zobrazení a hodnocení fyziologických a patologických dějů a ke znázornění umístění patologických ložisek. U léčebných metod se využívá korpuskulární záření (částice alfa a beta), které má krátký dosah. Cílem je podat záření s největší koncentrací v patologickém ložisku, aby došlo k co největšímu

ozáření nezdavé tkáně a nejmenšímu ozáření zdravých tkání. Během nescintigrafických in vivo metod se používají přístroje, nejčastěji scintilační sonda, které neposkytují obraz o rozložení radiofarmaka v těle. Tato metoda se využívá v radiačně navigované chirurgii, kdy má operatér za úkol lokalizovat sentinelové lymfatické uzliny na základě zvukového signálu sondy, která detekuje aktivitu naaplikovaného radiofarmaka (Koranda, 2014, s. 7, 27).

Vyšetření in vitro se skládá z radioimunoanalytické metody sloužící k určení množství látek v tělních tekutinách pacienta. Nejčastěji se pracuje se vzorkem plazmy nebo jiné tekutiny a pacient se tak do kontaktu s radioaktivní látkou vůbec nedostane. Měřený vzorek je uložen do studnového otvoru v přístroji, složeného z detektoru a scintilačního krystalu. Studnový otvor zajišťuje, že během analýzy dochází k maximální detekci emitovaného záření z vyšetřovaného vzorku. Během vyšetření nevzniká obraz o rozložení radiofarmaka (Koranda, 2014, s. 7, 26).

3.1 Ionizující záření

Nejmenší částici hmoty tvoří atom. Atom se skládá z kladně nabitého jádra, kde jsou uloženy 2 druhy částic, společně označovány jako nukleony. Jde o kladně nabitě protony a neutrony, které nenesou žádný náboj. Okolo jádra jsou elektronové slupky s elektrony, které jsou vázány určitou energií k jádru podle jejich vzdálenosti. Aby došlo k přeskočení elektronu z vnitřní slupky na vnější nebo k uvolnění elektronu z atomu, je potřeba atomu dodat dostatečné množství energie. Pokud je elektronu dodána energie větší, než je vazebná síla elektronu k jádru, dojde k přeskočení elektronu do vyšší slupky a atom se nachází v excitovaném stavu. Elektron se následně vrátí zpět do původní slupky a přebytečná energie se uvolní jako foton elektromagnetického záření. Při uvolnění přebytečné energie na zevních slupkách dojde k emisi fotonů ve formě UV záření nebo viditelného světla a na vnitřních slupkách jako charakteristického rentgenového záření. Jestliže je atomu dodána příliš velká energie, dojde k vyražení elektronu z atomu a dochází k ionizaci. Atom je následně rozdělený na uvolněný záporný elektron a kladně nabitý iont (Kupka, 2015, s. 17).

Počet protonů v jádře udává protonové číslo Z a neutronové číslo N vyjadřuje počet neutronů v jádře. Nukleonové číslo A udává celkový počet nukleonů a hmotnost atomu. Prvky s rovným počtem neutronů a protonů v jádře se označují jako nuklidy. Nuklidy stejného prvku, které mají rozdílný počet neutronů, se nazývají jako izotopy projevující se stejnými chemickými vlastnostmi, ale odlišnými fyzikálními vlastnostmi (Kupka, 2015, s. 17).

Zdroje ionizujícího záření jsou přirozené nebo umělé. Přirozené se vyskytují volně a vytvářejí přirozené prostředí, jsou obsažené v horninách nebo kosmickém záření. V přírodě se jich vyskytuje přibližně sto, nejznámějšími jsou ^{40}K , ^{222}Ra a ^{87}Rb . Přirozené zdroje se v nukleární medicíně nevyužívají kvůli nevhodným energiím a fyzikálním poločasům rozpadu. Jejich vznik umožnil až objev umělé radioaktivity v roce 1932. Umělé radionuklidy se vyrábějí uměle v urychlovačích a jaderných reaktorech. Radionuklidy (přirozené i umělé) mají různé fyzikální vlastnosti a dokážou se různými způsoby přeměnit na jiné nuklidy, což umožňuje jejich využití k léčbě v nukleární medicíně a radioterapii nebo k diagnostice (Koranda, 2014, s. 8). Ionizující záření se dělí na přímo a nepřímo ionizující. Přímo ionizující korpuskulární záření je tvořené částicemi (elektrony, deuterony, protony, těžkými ionty nebo částicemi alfa). Nepřímo ionizující korpuskulární záření je tvořeno neutrony a nepřímo ionizující elektromagnetické záření tvoří fotony rentgenového záření a fotony záření gama (Vomáčka, 2015, s. 13).

3.1.1 Radioaktivní přeměny

U radioaktivních prvků se vyskytuje jev – radioaktivita, kdy dojde k samovolné přeměně jádra určitého prvku na jádro stejného prvku v jiném energetickém stavu nebo jádro jiného prvku doprovázené emitováním záření nebo částice. Měnicí se jádro se označuje jako mateřské a přeměněné jako dceřiné. Přeměny se rozlišují podle druhu záření, které je během přeměny uvolněno (Kupka, 2015, s. 17).

Přeměna alfa probíhá pouze u nestabilních izotopů prvků, tedy těžkých radionuklidů, které mají protonové číslo větší než 82. Jedná se o druh radioaktivního rozpadu, při němž dochází k emitaci kladně nabitých částic alfa z atomu – 2 protony a 2 neutrony, což odpovídá jádru helia (Koranda, 2014, s. 8). Všechny částice při alfa přeměnách daného druhu jádra mají stejnou kinetickou energii, protože alfa částice

s sebou odnesou rozdíl energií vznikající mezi dceřným a mateřským jádrem, který je konstantní (Kupka, 2015, s. 17). Alfa částice nese dva elektrické náboje, proto jsou silně ionizující, excitují a nazývají se jako těžké částice. Mají krátký dosah kvůli rychlé ztrátě jejich energie a ve vzduchu tak doletí jen několik milimetrů daleko. Díky tomu není vnější ozáření nebezpečné (kromě ozáření oka) a k odstínění záření stačí pouze papír nebo oblečení. Vnitřní ozáření je velmi nebezpečné, protože dochází k absorpci záření ve velmi malém objemu tkáně, což vede k jejímu poškození (Rosina, 2013, s. 158-159). Příkladem izotopu s alfa přeměnou je radon-222, měnící se v polonium-218, a polonium-210, které se přirozeně vyskytuje v tabáku a velmi zvyšuje riziko vzniku rakoviny plic u kuřáků (Piciu, 2017, s. 6).

Přeměna beta má 3 typy: β^+ , β^- a elektronový záchyt. U přeměny β^- dochází v jádře k přeměně jednoho neutronu na proton a vzniká antineutrino částice. Přeměněný proton zůstává v jádře a elektron společně se vzniklou částicí vyletí z atomu. Energie, která se uvolní během tohoto rozpadu, se rozdělí mezi antineutrino a elektron. Částice antineutrino ve většině případů nese více než polovinu vzniklé energie (Kupka, 2015, s. 17). Tento typ rozpadu je znám také jako emise elektronů (Piciu, 2017, s. 6).

β^+ přeměna, též označovaná jako emise pozitronů, probíhá u radionuklidů mající větší množství protonů než neutronů. Dochází k přeměně nadbytečného protonu na neutron a ke vzniku neutrino částice. Vzniklý neutron zůstává v jádře a pozitron společně s neutrinem jsou velkou rychlostí vyraženy ven z atomu (Kupka, 2015, s. 17).

Během elektronového záchytu dochází k pohlcení elektronu protonem z jádra a k jeho následné přeměně na neutron. Místo na vnitřní slupce pohlceného elektronu obsadí elektron z vyšších slupek elektronového obalu, čímž dojde k uvolnění přebytečné vazebné energie v elektronovém obalu ve formě charakteristického rentgenového záření (Koranda, 2014, s. 8).

Oproti částicím α jsou β částice lehčí, mají tedy větší dosah, pohybují se větší rychlostí a jsou méně ionizující. Při ochraně před zářením beta se využívají materiály, které mají nízké protonové číslo, nejvhodnější je plexisklo. Cílem ochrany je omezit tvorbu pronikavého brzdového rentgenového záření, které vzniká pod vlivem

zabrzdnění letících elektronů při kontaktu s látkou mající vysoké protonové číslo (Rosina, 2013, s. 159).

Radionuklidy s β přeměnou se vyskytují volně v přírodě nebo jsou uměle vyrobené. Příkladem radionuklidu s β^- přeměnou je jod-131, mezi další beta zářiče patří uhlík-14 a dusík-14, které se přirozeně vyskytují v lidském těle (Piciu, 2017, s. 7).

Záření gama a X často doprovázejí přeměny beta. Dochází totiž k tomu, že dceřiné jádro není v základním energetickém stavu, ale je v excitovaném (vzbuzeném) stavu. Při návratu z excitovaného do základního energetického stavu dochází k uvolnění přebytečné energie ve formě fotonů (Koranda, 2014, s. 8).

Záření gama není tvořeno částicemi jako záření alfa a beta, ale fotony. Jedná se tedy o elektromagnetické vlnění, které má krátkou vlnovou délku v rozmezí 10^{-13} až 10^{-16} metrů (Rosina, 2013, s. 159). Záření gama a X se liší místem (způsobem) vzniku, ale ne energií či druhem částice. Rentgenové záření X (zahrnující brzdné a charakteristické záření) doprovází elektronové přechody a vzájemné působení v elektronovém obalu a záření gama vzniká jako součást procesů odehrávajících se v jádru atomu. Při průchodu hmotou ztrácejí fotony svou energii třemi způsoby: Comptonovým rozptylem, vytvořením pozitron-elektronového páru nebo fotoelektrickým jevem. Aby byl možný vznik pozitron-elektronového páru, je potřeba dosáhnout energie fotonu větší než 1,02 MeV. V nukleární medicíně se uplatňuje záření gama pouze s energií 50-550 keV, proto se využívá Comptonova rozptylu a fotoefektu (Kupka, 2015, s. 18-19).

Během Comptonova rozptylu dochází k rozptýlení fotonu na elektronu uloženém ve vnějších slupkách nebo na volném elektronu. Foton předá část své energie elektronu, na který dopadl, a zbylou energii nese nově vytvořený sekundární foton. Nově vzniklý foton má menší energii než primární foton a elektron, který převzal část energie, může ionizovat a excitovat atomy okolních látek. Fotoelektrický jev, označován také jako fotoefekt, je reakce, kdy veškerá energie fotonu je předána elektronu, který je umístěn ve vnitřních slupkách atomu. Původní foton zaniká a fotoelektron (elektron, který převzal energii) je vyražen z atomu. Místo na vnitřní slupce po původním elektronu je zaplněno elektronem z vnější vrstvy elektronového obalu, čímž dojde k uvolnění přebytečné energie ve formě emitace

charakteristického záření X. Jednotlivé procesy jsou ovlivněny hustotou prostředí a energií fotonu. Comptonův rozptyl dominuje u fotonů majících vyšší energii a při interakci s materiály s nízkým atomovým číslem, např. lidská tkáň ($Z = 7,5$) nebo voda ($Z = 7,4$). Naopak fotoelektrický jev převažuje u fotonů nižší energie a prostředí s vyšším atomovým číslem, např. olovo ($Z = 82$) (Kupka, 2015, s. 19).

3.2 Radiofarmaka

Radiofarmakum, jinak označované jako radiofarmaceutický přípravek, je specifický léčivý preparát využívající se v nukleární medicíně pro diagnostiku nebo terapii různých onemocnění (Kováčik, 2021, s. 171). Jejich příprava a aplikace jsou nenahraditelné výkony. Práce s radiofarmaky je velmi specifická a specializovaná činnost, při které je potřeba dodržovat zákonné normy definující zacházení s léčivými a otevřenými radionuklidovými zdroji (Havel, 2020, s. 2).

Radiofarmaka jsou tvořena samotným radioaktivním prvkem (např. jód-131 a xenon-133) nebo různými druhy značených sloučenin jako jsou proteiny, peptidy, anorganické komplexy a jiné. Nejčastěji radiofarmaka tvoří dvě složky: vlastní farmakum a radionuklid. Na základě jejich vlastností je určen jejich způsob použití. Za ideální radiofarmakum je považováno to, které má optimální strukturu, složení a vazebné poměry mezi jednotlivými složkami. Nosič radionuklidu musí být bezpečný pro klinické použití a mít minimální možnou toxicitu (Vlk, 2019, s. 43). U radionuklidu je důležitá výrobní a cenová dostupnost a splnění vhodných fyzikálních vlastností: druh emitovaného záření, energie emitovaného záření a fyzikální a biologický poločas rozpadu (Koranda, 2014, s. 9). Pouze velmi malé množství radionuklidů splňuje podmínky pro klinické použití (Fani, 2012, s. 12). V dnešní době jsou radiofarmaka tvořena z 95 % pro diagnostiku a ze zbylých 5 % pro terapii, kdy je cílem aplikovat co největší možné množství dávky do maligní ozařované tkáně (Vlk, 2019, s. 43).

Během výroby radiofarmaka je důležité stanovit, v jaké tkáni má být vychytáváno a podle toho vybrat vhodný nosič. Následně je vybrán radionuklid, který se na nosič naváže a díky němu bude z místa aplikace vychytáván v cílové tkáni (Vlk, 2019, s. 43). Radionuklidy jsou nestabilní, protože protony společně s neutrony obsaženými v jádře mají tendenci se přeměnit a následně rozpadnout na další

radionuklidy. Tato přeměna je dána poločasem rozpadu, což je doba, za kterou aktivita radionuklidu klesne na polovinu původní hodnoty. Během přeměny na jiné nuklidy dochází k uvolnění záření ve formě α , β^+ , β^- nebo γ (Kováčik, 2021, s. 171).

Radionuklidy využívané v nukleární medicíně jsou uměle připravovány primárně v jaderných reaktorech a cyklotronech (urychlovači) nebo sekundárně v radionuklidových generátorech (Koranda, 2014, s. 17).

Jaderný reaktor se využívá pro přípravu radionuklidů s dlouhým poločasem rozpadu, které mohou vznikat při ozáření terčového materiálu svazkem neutronů (např. jód-131, molybden-99, fosfor-32 aj.) (Kováčik, 2021, s. 172). Nebo dochází k izolaci ze štěpných produktů uranu-235. V cyklotronech je terčový materiál ozařován protony, částicemi α , deuterony aj. Oproti jadernému reaktoru je výroba radionuklidů v cyklotronu náročnější a finančně nákladnější. Umožňuje ale i přípravu radioizotopů s krátkým poločasem rozpadu, kdy dochází k jejich zhotovení přímo na pracovištích nukleární medicíny ve speciálních lékařských cyklotronech. Jedná se o uhlík-11 s poločasem rozpadu 20 min, kyslík-15 s poločasem rozpadu 2 min a další. (Koranda, 2014, s. 17).

Posledním zdrojem radionuklidů je radionuklidový generátor. Ten umožňuje získat přeměnou mateřského radionuklidu s dlouhým poločasem rozpadu dceřiný radionuklid s krátkým poločasem rozpadu. Na základě zvolené metody separace mezi mateřským a dceřiným radionuklidem jsou rozlišovány generátory sublimační, extrakční nebo eluční. Nejčastěji používaným generátorem v nukleární medicíně je ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátor elučního typu, který umožňuje získat přeměnou mateřského molybdenu dceřiné technecium (Kováčik, 2021, s. 172).

Podle aplikační formy se radiofarmaka dělí na parenterální, perorální a inhalační. Parenterální (injekční) radiofarmaka se nejčastěji vyskytují jako pravé roztoky (např. NaTcO_4), dále jako suspenze (např. makroagregáty značené $^{99\text{m}}\text{Tc}$) nebo koloidní suspenze. Perorální radiofarmaka jsou využívána ve formě roztoků, kdy se radioaktivní částice dostávají do cílové tkáně přes buněčné membrány, nebo ve formě želatinové tobolky, kdy je radionuklid nanesen na její vnitřní straně. Mezi inhalační radiofarmaka patří radioaktivní plyny, např. krypton-81m (Koranda, 2014, s. 20).

3.3 Přístrojové vybavení

Základní zobrazovací systém využívající se v nukleární medicíně je gama (scintilační) kamera. Její nepostradatelnou částí je detektor, který je tvořen scintilačním krystalem, kolimátorem, fotonásobiči a vyhodnocovací aparaturou (Kupka, 2015, s. 27). Detektor pracuje na principu přeměny zaznamenaného ionizujícího záření na záblesky viditelného světla. Radiofarmakum naaplikované pacientovi vyzařuje ionizující záření, které je následně detekováno scintilačním krystalem a přeměno na světlo. Na krystal nasedá fotonásobič, který zaznamenává záblesky světla a převádí ho na elektrický signál. Následně jsou elektrické impulzy fotonásobičem vedeny do zesilovače a amplitudového analyzátoru. Vyhodnocovací soustava poté na základě detekovaných impulzů vytváří obraz rozložení radiofarmaka v těle (Koranda, 2014, s. 24).

Ionizující záření je z těla pacienta uvolňováno všemi směry, a aby došlo ke správné tvorbě obrazu, je potřeba fotony záření vyfiltrovat. Tuto úlohu zajišťuje kolimátor, který je tvořen olovem, a propouští pouze fotony v žádaném směru (Piciu, 2017, s. 32). Kolimátory se dělí na několik typů. Podle energie záření aplikovaného radiofarmaka na kolimátory pro nízké energie (méně než 160 keV), střední energie (max 300 keV) a vysoké energie (více než 300 keV), dále pak podle citlivosti a rozlišovací schopnosti, konfigurace a počtu otvorů. Nejčastěji je používán kolimátor s paralelními otvory, který propouští pouze fotony letící v kolmém směru na detektor. Dalším často využívaným je kolimátor typu pinhole připomínající svým tvarem trychtýř s jedním otvorem, který se uplatňuje především k zobrazení malých částí v těle (např. štítná žláza) (Koranda, 2014, s. 27-28).

Nejdůležitější částí detektoru je scintilační krystal tvořen z NaI(Tl). Jedná se asi o 1 cm tlustou obdélníkovou desku o rozměrech 40 až 50 cm, která pokrývá celé zorné pole detektoru (Kupka, 2015, s. 28). Krystal je velmi křehký, a aby nedošlo k jeho narušení, je zapouzdřen v oloveném stínění, které ho chrání před mechanickým poškozením a zároveň zabraňuje vstupu nežádoucím fotonům (Piciu, 2017, s. 34). Na krystal navazuje přibližně 60 až 65 fotonásobičů, které jsou ke krystalu připevněny světlovodivou hmotou zabraňující lomu světla na optických rozhraních. Fotonásobič je složen z fotokatody, která zaznamenává viditelné záblesky světla, což následně vede k uvolnění elektronů šířících se v systému dynod napojených na vysoké napětí, které způsobuje znásobení množství elektronů.

To zajišťuje dostatečnou hodnotu elektrického impulzu zaznamenaného na anodě (Koranda, 2014, s. 24, 27). Signály detekované na anodě jsou vedeny elektronickými obvody přes zesilovač a amplitudový analyzátor do vyhodnocovací soustavy. Ta následně podle místa dopadu na krystal a intenzity fotonu vytváří obraz o rozložení radiofarmaka v těle vyšetřovaného (Kupka, 2015, s. 29).

Scintigrafické vyšetření představuje získání obrazu rozložení radiofarmaka v těle díky gama kameře. Scintigrafie se dělí na planární – statickou nebo dynamickou, a jednofotonovou (SPECT) nebo pozitronovou (PET) tomografii (Kupka, 2015, s. 29).

Planární statická scintigrafie je tvořena jedním scintigramem nebo sadou scintigramů, které jsou snímány nezávisle na sobě v různých projekcích. Tento typ vyšetření se využívá, pokud je radiofarmakum stabilně vychytáváno ve vyšetřované oblasti a je kladen důraz především na kvalitu pořízených snímků. Mezi statickou scintigrafii se řadí i celotělová scintigrafie, kdy je pacient posouván kontinuálně nebo krokově mezi detektory a vytvářející se obraz je ukládán ve vyhodnocovací soustavě. Výsledkem je scintigram celého těla v přední i zadní projekci (Koranda, 2014, s. 34).

Dynamická scintigrafie zaznamenává dynamické procesy v cílové tkáni. Poloha pacienta ani projekce, ve které je vyšetření prováděno se nemění. Během vyšetření jsou pořizovány série snímků, které na sebe navazují v čase a poskytují informace o měnící se aktivitě aplikovaného radiofarmaka (Kupka, 2015, s. 31).

SPECT patří mezi dvě hlavní tomografické zobrazování v nukleární medicíně. Pomocí detektorů, které jsou stejné jako u planární kamery, detekuje gama záření vycházející z těla vyšetřovaného pacienta. Nejčastěji jsou kamery konstruovány jako dvoudetektorové (Kupka, 2015, s. 32). Detektory se otáčejí kolem pacienta buď krokově (častější způsob) nebo plynule. V nejčastějších případech jsou snímky pořizovány ve 120 projekcích na 360 stupňů. Při použití dvou detektorů tedy každý zaznamená 60 projekcí po 3 stupních a pohybuje se pouze po ose do 180 stupňů (Koranda, 2014, s. 29).

PET je velmi finančně nákladné a složité zobrazování metabolismu v těle. Je složen z několika detektorů a jedná se tak o multidetektorový systém. Detektory bez kolimátoru jsou uloženy po celém obvodu v gantry okolo pacienta a během vyšetření se neotáčí. PET využívá radionuklidy s β^+ přeměnou, kdy dojde k uvolnění

pozitronu. Pozitron následně interaguje s elektronem a dochází k anihilaci, obě částice zaniknou a vyzáří se dva fotony letící v opačném směru o energii 511 keV. Fotony následně současně dopadnou na detektory, kde jsou zaznamenány a podílejí se na utváření obrazu (Kupka, 2015, s. 33).

Přístroje SPECT a PET v nukleární medicíně slouží k funkčnímu zobrazení orgánů a poskytují informace o jeho činnosti. Naopak v klinické diagnostické radiologii jsou přístroje jako je CT, MR a ultrazvuk využívány pro anatomické zobrazení orgánů a tkání. V dnešní době se proto využívají hybridní systémy kamer jako jsou SPECT/CT, PET/CT nebo PET/MR pro současné zobrazení funkční i anatomické struktury (Kováčik, 2021, s. 171).

4 SCINTIGRAFIE ŠTÍTNÉ ŽLÁZY

Nemoci štítné žlázy se řadí mezi nejvýznamnější poruchy žláz s vnitřní sekrecí postihující 5-8 % české populace, a proto je v ČR kladen vysoký důraz na diagnostiku a léčbu těchto onemocnění (Kupka, 2015, s. 85). Častěji jsou postiženy ženy, ale nemoc má agresivnější průběh u mužů. Porucha štítné žlázy se může projevovat v jakémkoliv orgánu nebo systému těla a zahrnuje velké množství příznaků a symptomů. Při diagnostice onemocnění štítné žlázy hraje důležitou roli anamnéza, protože poruchy jsou ovlivněny mnoha faktory jako jsou věk, pohlaví nebo vystavení záření. Zároveň se zvyšuje riziko vzniku patologie u pacientů s výskytem karcinomu štítné žlázy v rodině a Cowdenovým nebo Gardnerovým syndromem (Piciu, 2017, s. 65). Následuje vizuální a palpační vyšetření. U pacientů s diagnostikovanou strumou je prováděno ultrasonografické vyšetření ke zhodnocení morfologického stavu, díky němuž je určena velikost strumy a patologických lézí společně i s jejich echogenitou. Pro funkční diagnostiku je základem stanovení hladiny hormonu TSH, čímž lze odhalit subklinické formy narušené funkce. Subklinická forma znamená, že hodnoty tyreoidálních hormonů jsou v normě, ale hladina TSH je od normy odchýlena. Scintigrafické vyšetření nám na rozdíl od jiných zobrazovacích metod umožňuje zobrazit funkční aktivitu parenchymu štítné žlázy, tedy rozlišit hormonálně aktivní a neaktivní uzly (Koranda, 2014, s. 177-178).

Štítná žláza má jedinečnou schopnost koncentrovat jód. Tento fenomén nabízí perfektní zázemí pro širokou škálu diagnostických testů využívající radioaktivní nuklidy jódu a technecia (Czeczczynski, 2012, s. 113). Běžná scintigrafie štítné žlázy je po celém světě prováděna dvěma způsoby. Buď pomocí široce používaného izotopu ^{99m}Tc , který je levný a tím tak snadno dostupný pro provedení, nebo je využíván jód-123, jenž je vyráběn v cyklotronech a jeho cena je mnohem vyšší (Baser, 2019, s. 901-902).

Hodnocení parenchymu pomocí $^{99m}\text{TcO}_4^-$ se používá jako neinvazivní metoda k vyšetření hypertyreózy, která má výhodu krátkého působení radiofarmaka ve žláze a nepřítomnosti β^- záření (Alswat, 2020, s. 4). Jód-123 má poločas rozpadu 13 hodin a emituje γ záření s energií 159 keV. Jód-131 není pro běžnou diagnostiku vhodný, protože má dlouhý poločas rozpadu, při kterém dochází k vyzařování fotonů γ ale i záření β , což má za následek zvýšení radiační zátěže u pacienta, a proto je

využíván pouze k diagnostice nebo terapii u pacientů s diferencovanými karcinomy štítné žlázy. Neoptimálnější vlastnosti pro využití ve scintigrafickém vyšetření má technecistan, jehož poločas rozpadu je 6 hodin a vyzařuje záření γ o energii 140 keV, proto se používá nejčastěji a jód-123 je využíván, pokud vyšetření technecistanem není přínosné (Koranda, 2014, s. 178-179). Ačkoli jsou oba izotopy jodidovou pumpou transportovány do folikulárních buněk štítné žlázy, pouze jód má vlastnost organifikace, což znamená, že je jód zabudováván do organických sloučenin (Baser, 2019, s. 901-902). Díky této vlastnosti lze vyhodnotit přesnou kinetiku jódu ve štítné žláze a je umožněn zisk detailnějších snímků s jasnějším ohraničením tkáně štítné žlázy od okolních struktur (Czepczyński, 2012, s. 115).

4.1 Scintigrafie pomocí $^{99m}\text{TcO}_4^-$

Scintigrafie pomocí technecistanu je využívána pro zobrazení parenchymu štítné žlázy. Je prováděna při třech základních indikacích. První indikací je odhalení ektopicky uložené tyreoidální tkáně, dále slouží ke zhodnocení funkčního parenchymu štítnice (jedná se hlavně o diagnostiku latentní a rozvinuté hypertyreózy – prokázání autonomního adenomu, subakutní tyroiditidy a diferenciální autoimunní hypertyreózy) a k vyšetření jedinců postižených diferencovanými karcinomy štítné žlázy v myxedému (MZ ČR, 2016, s. 288)

Příprava pacienta začíná již 2 až 3 měsíce před samotným vyšetřením, kdy pacient nesmí přijít do kontaktu s abnormálním množstvím jódu, např. perorálně s léky obsahující jód, intravenózně s kontrastními látkami a transdermálně s dezinfekčními přípravky. Pokud by se tak stalo, dojde k zablokování jodidové pumpy nadbytečným neradioaktivním jódem, který by zabránil vychytávání radioaktivního jódu a vyšetření by bylo neprůkazné (Koranda, 2014, s. 179). Kontraindikací k vyšetření je těhotenství a kojení (Alswat, 2020, s. 2).

Při scintigrafii štítné žlázy je pacientovi podán intravenózně technecistan, který se volně naváže na protein, ale jeho většina opustí plazmu během několika minut a poté se rozptýlí do extracelulární tekutiny. Vzhledem k tomu, že většina technecistanu je vylučována ledvinami, je vystavení pacienta radiační zátěži menší než u jiných scintigrafických metod (Günay, 2020, s. 569). Technecistan je

fyziologicky vychytáván i ve slinných žlázách a žaludeční sliznici (Czepczyński, 2012, s. 114). Jeho diagnostická referenční úroveň je 200 MBq (MZ ČR, 2016, s. 288).

Maximální akumulace technecistanu je dosaženo po 15 minutách od aplikace, kdy dochází k zahájení vyšetření (Czepczyński, 2012, s. 113). Před vyšetřením by měl být označen suprasternální zářez, který umožňuje určit ektopicky uloženou tkáň, zvětšení nebo retrosternální postavení štítné žlázy (Piciu, 2017, s. 179). Pomocí scintilační kamery s nízkoenergetickým kolimátorem pro vysoké rozlišení jsou následně prováděny přední snímky krku (Uher, 2013, s. 15). Planární snímky jsou pořizovány vleže na zádech a pacient má krk v dorzální flexi, jako doplnění pro vyšetření mohou být snímány i scintigramy v boční nebo šikmé boční projekci (Piciu, 2017, s. 179)

K nahrávání scintigramů slouží gama kamery, které pomocí detektorů zaznamenávají emitující záření. Detektory mohou obsahovat dva typy kolimátorů. Prvním typem je kolimátor pro nízké energie, při jehož použití musí být matice přizpůsobena velikosti zorného pole kamery – velikost pixelu musí být menší než 2 mm. U kamer majících velké zorné pole je ideální volbou matice 256 x 256, případně 128 x 128 se zoomem 2. Pokud má kamera malé zorné pole, využívá se pouze matice 128 x 128 a zoom 2. Doba nahrávání scintigramu trvá v rozmezí 10 až 15 minut, během kterých by mělo dojít k zaznamenání alespoň 200 000 impulzů (MZ ČR, 2016, s. 289).

Druhým typem kolimátoru pro scintigrafii štítné žlázy je pinhole kolimátor, který využívá matice 256 x 256, případně 128 x 128, při snaze dosáhnout aspoň 200 000 impulzů. Akviziční doba vyšetření je maximálně 10 až 15 minut a detektor je co nejblíže skenované oblasti (MZ ČR, 2016, s. 289).

Při scintigrafii provedené pomocí technecistanu je z pohledu radiační zátěže pacienta orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou vrchní část tlustého střeva (MZ ČR, 2016, s. 289). Pokud je provedené vyšetření pomocí $^{99m}\text{TcO}_4^-$ nepřesné, provádí se scintigrafie pomocí jódu-123 (Koranda, 2014, s. 179). Jeho diagnostická referenční úroveň je 20 MBq. Při tomto druhu scintigrafie je při 35 % akumulaci jodidu ve štítné žláze orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou štítná žláza (MZ ČR, 2016, s. 290).

Typy nálezů:

Role scintigrafie v tomto případě je ukázat, zda uzel který se projevuje ultrazvukem, je ohniskem nadměrné hormonální aktivity (horký uzel) nebo akumuluje radioindikátor na úrovni podobné nebo nižší než ostatní (teplý a studený uzel) (Czepczyński, 2012, s. 113-114). Studené uzly jsou tedy hypofunkční, teplé normofunkční a horké hyperfunkční (Baser, 2019, s. 899).

Posouzení vychytávání v ohnisku štítné žlázy je důležité při určení rizika malignity. Nejvyšší pravděpodobnost malignity se nachází v uzlinách se sníženým vychytáváním radiofarmaka, tedy u studených uzlů. Pravděpodobnost závisí především na zásobě jódu v populaci: v zemích s relativně nízkým příjmem jódu se riziko pohybuje od 5 do 10 % (Rakousko 5,5 %, Itálie 8,2 %), zatímco v zemích s vysokým příjmem – více než 10 % (Spojené království 11,4 %, USA 20,5 %) (Czepczyński, 2012, s. 116).

Normální obraz štítné žlázy je tvořen symetrickým útvarem podobný motýlovitému tvaru, který je umístěn mezi chrupavkou štítnou a jugulem. Rozložení absorbovaného radiofarmaka je v celé tkáni homogenní (Kupka, 2015, s. 87).

Horké uzly představují místa se zvýšenou aktivitou (Kupka, 2015, s. 87). Tyto uzly představují autonomní adenomy, při jež vyobrazení na scintigramu dochází k současnému nezobrazení okolního parenchymu štítné žlázy. To je způsobeno potlačením její funkční aktivity díky hypertyreóze, kterou autoimunitní adenom vyvolává (Koranda, 2014, s. 180). Obecně se uvádí, že horké uzly tvoří převážně benigní ložiska a jejich malignita je vzácná (Baser, 2019, s. 899).

Studené uzly jsou charakterizovány sníženou nebo chybějící aktivitou (Kupka, 2015, s. 87). Jedná se o nejčastější typ uzlů vyskytující se ve štítné žláze. Na obraze se projevují neakumulací radiofarmaka, zatímco okolní tkáň je vyobrazena normálně. Nejčastěji studené uzly představují benigní adenomy (Koranda, 2014, s. 179-180). I přesto, že většina lézí je benigní, malignita se vyskytuje ve 3 až 15 % případů (Baser, 2019, s. 899).

Difuzní snížení vychytávání radiofarmaka může být způsobeno zablokovanou jodidovou pumpou při nadměrném zajišťování neradioaktivním jódem. Úplné nezobrazení štítné žlázy je projevem počátečního stádia subakutního tyreoiditidy (Kupka, 2015, s. 88). I přesto, že subakutní tyreoiditida zasáhne převážně pouze

jeden lalok, může dojít k celkovému nezobrazení kvůli snížení množství TSH při tyreotoxické fázi nemoci (Mariani, 2021, s. 12). Úplné nezobrazení štítné žlázy znamená agenezi štítné žlázy (Kupka, 2015, s. 88).

Ektopická tkáň štítné žlázy (ETT) má původ v embryonálním vývoji jedince. Vzniká při poruše, kdy tkáň štítné žlázy od střední desky dna hltanu neúplně migruje na její fyziologické místo. ETT se objevuje vzácně s prevalencí 1 případ na 100 000 až 300 000 jedinců v celkové populaci a její výskyt se zvyšuje u nemocných postižených dysfunkcí štítné žlázy na 1 případ na 4 000 až 8 000 pacientů. Původ ani příčiny ETT se dosud nepodařilo objasnit. ETT probíhá ve většině případů bez příznaků a objevuje se především u mladých žen. Nejčastěji je ETT umístěna na dolní části jazyka. Ve vzácných případech se mohou vyskytovat dvě ložiska ETT, kdy se jedná o vzácný klinický úkaz a je potřeba vysoké míry klinického podezření (Matta-coelho, 2018, s. 1).

4.2 Supresní scintigrafie

Supresní scintigrafie je pomocná metoda, jejíž cílem je zobrazení autonomní tkáně štítné žlázy, tedy fungující nezávisle na ose hypothalamus-hypofýza-štítná žláza (Czepczyński, 2012, s. 118). Hlavní indikací je diferenciální diagnostika teplých uzlů (Koranda, 2014, s. 182) Kvůli genetickým mutacím unikne malý počet uzlů regulaci normálním systémem zpětné vazby hormonu stimulujícího štítnou žlázu (TSH) a autonomně produkuje hormon štítné žlázy (Knox, 2013, s. 194).

Vyšetření zahrnuje dvoutýdenní užívání hormonu trijodtyroninu, v množství 3 x 20 µg, což je hodnota odpovídající denní fyziologické spotřebě hormonů člověkem. Díky podávání hormonů dojde k utlumení tvorby TSH a tím i současně k útlumu funkční aktivity v normálním parenchymu štítné žlázy. Po ukončení suprese hormonem T₃ následuje scintigrafie pomocí technecistanu. (Koranda, 2014, s. 182-183).

Samotná scintigrafie je zahájena 15 minut po intravenózní aplikaci technecistanu, jehož diagnostická referenční úroveň je 200 MBq. Během vyšetření pacient leží na zádech s podloženými rameny a krk má v dorzální flexi (MZ ČR, 2016, s. 288-289).

Ke scintigrafii jsou využívány detektory, které mohou obsahovat dva typy kolimátorů. Prvním typem je kolimátor pro nízké energie. Při jeho použití musí být zorné pole kamery nastaveno tak, aby velikost pixelu byla maximálně 2 mm. U kamer, které mají velké zorné pole, je využívána matice 256 x 256. Při malém zorném poli se používá matice 128 x 128 se zoomem 2. Akviziční doba vyšetření trvá maximálně 10 až 15 minut, během kterých je potřeba dosáhnout alespoň 200 000 zaznamenaných impulsů. Druhým typem kolimátoru je pinhole kolimátor využívající matici 256 x 256, případně 128 x 128 se zaznamenáním nejméně 200 000 impulzů. Akviziční doba je stejná jako u prvního typu kolimátoru (MZ ČR, 2016, s. 289).

Z hlediska radiační zátěže obdrží nejvyšší absorbovanou dávku horní část tlustého střeva (MZ ČR, 2016, s. 289).

V normálním parenchymu štítné žlázy hormon snižuje akumulaci radioaktivního jódu alespoň o 50 %. Pokud nedojde ke změně absorpce nebo je snížení absorpce méně než 30 %, znamená to, že se v parenchymu odehrává autoimunitní proces. Pokud autonomní uzel, který se jevil na prvotním scintigramu jako teplý s normálním zobrazením okolní tkáně, je na výsledném obrazu po supresi T_3 zobrazen jako horký uzel s potlačením normální okolní tkáně, svědčí nálezu vyšetření pro autonomní adenom (Czepczyński, 2012, s. 118).

4.3 Radiojodový akumulační test

Radiojodový akumulační test je využíván pro zhodnocení kritérií kinetiky jódu v tkáni štítnice před terapií ^{131}I . Je stanoven podíl radiofarmaka, který je zjištěn v daný čas v parenchymu ŠŽ, na celkovou podanou aktivitu. Kontraindikací k provedení vyšetření je těhotenství nebo kojení (MZ ČR, 2016, s. 357). Méně často se akumulační radiojodový test využívá k diagnostice subakutní tyreoiditidy, k jejíž prokázání je preferována scintigrafie pomocí technecianu (Koranda, 2014, s. 183).

Příprava pacienta spočívá ve vyloučení neaktivní jódu nejméně 4 týdny před vyšetřením. Pokud vyšetřovaný přijde do styku s větším množstvím jódu (léčba pomocí amiodaronu, jódová kontrastní látka, jódové dezinfekční látky aj.) může být vyšetření provedeno až po 3 měsících. Dále je potřeba vysadit tyreostatickou terapii alespoň 2 dny před vyšetřením, medikaci 1-tyroxinem 4 týdny před a trijodtyroninu 10

dni před testem. Před samotným vyšetřením musí pacient lačnit 4 hodiny a po podání radiojodu 1 hodinu (MZ ČR, 2016, s. 357).

Pacientovi je perorálně podán ^{131}I , jehož diagnostická referenční úroveň je 0,8 MBq. Následná akumulace radiojodu ve štítné žláze je měřena s odstupem 4 až 6 hodin a následně 24 hodin po aplikaci. Pokud je měření prováděno před radiojódovou terapií, je potřeba změřit akumulaci i po dobu dalších 4 až 8 dní pro stanovení efektivního poločasu rozpadu. Během měření pacient leží na zádech a akumulace je snímána pomocí kolimované detekční sondy (MZ ČR, 2016, s. 358).

Výsledkem testu je hodnota akumulace jódu ve štítné žláze, který je vyjádřen v procentech z podané aktivity. Normální hodnota akumulace po 24 hodinách od podání se uvádí mezi 20 až 40 % (Czepczyński, 2012, s. 113). Z hlediska radiační zátěže je orgánem s nejvyšší absorbovanou dávkou štítná žláza (MZ ČR, 2016, s. 358).

4.4 Celotělová scintigrafie s použitím ^{131}I

Vzdálené metastázy jsou hlavní příčinou úmrtí u pacientů s karcinomem štítné žlázy a po několika studiích bylo vyhodnoceno, že sken celého těla s využitím jódu-131 je účinný nástroj pro jeho sledování. Celotělová scintigrafie se může provádět po podání diagnostické i terapeutické dávky ^{131}I . U diagnostického zobrazování se mohou zobrazit falešně pozitivní nebo falešně negativní výsledky, ale při využití terapeutického skenu, který je účinnější, dochází ke zkvalitnění snímání pravých i nepravých ložisek (Al-shammeri, 2017, s. 25-26).

4.4.1 Diagnostická scintigrafie

Celotělová diagnostická scintigrafie se využívá k určení správného stagingu diferencovaného karcinomu štítné žlázy (DTC), dále pak k posouzení zbytkové tkáně štítné žlázy po chirurgické léčbě DTC a ke zhodnocení odpovědi na léčbu DTC (Piciu, 2017, 109). Po terapii radiojódem dochází ke zhodnocení léčby až po 6 až 9 měsících za použití nízkých aktivit (Schmidt, 2018, s. 1200). Kontraindikací k vyšetření je těhotenství nebo kojení (MZ ČR, 2016, s. 290).

Před samotným vyšetřením nesmí pacient přijít 2 až 3 měsíce do kontaktu s nadměrným množstvím neradioaktivního jódu jako jsou dezinfekce, léky s obsahem jódu, oční kapky aj (Piciu, 2017, s. 108). Dále je potřeba vysadit případnou medikaci 1-tyroxinem 4 až 5 týdnů před vyšetřením a medikaci trijodtyroninem 2 týdny před vyšetřením (MZ ČR, 2016, s. 290-291). Před podáním radiofarmaka musí vyšetřovaný lačnit alespoň 4 hodiny a 1 hodinu po podání. Je potřeba stimulovat tvorbu slin a pacient se před vyšetřením musí vymočit (Piciu, 2017, s. 108).

Jód-131 je aplikován v podobě kapslí nebo v kapalně formě perorálně a vstřebává se z gastrointestinálního traktu. Proces organifikace spočívá ve vychytávání jódu ve štítné žláze a v buňkách štítné žlázy po celém těle, které jsou uvolněny z diferencovaného karcinomu (Piciu, 2017, s. 108). Při diagnostickém skenování je diagnostická referenční úroveň ^{131}I 185 MBq (MZ ČR, 2016, s. 290).

Diagnostická scintigrafie probíhá za 72 hodin nebo minimálně za 48 hodin po podání radiofarmaka (MZ ČR, 2016, S. 291). Během vyšetření pacient leží na zádech na vyšetřovacím stole s mírně podloženým krkem. Snímají se scintigramy celého těla v přední a zadní projekci, kdy jsou detektory co nejbližší k pacientovi. Pro doplnění se mohou provádět i skeny v boční či šikmé boční projekci (Piciu, 2017, s. 108-109).

Pro vyšetření je potřeba nastavit okénko analyzátoru na fotopík jódu-131. Vyšetření může probíhat dvěma způsoby. První typ scintigrafie probíhá pomocí kontinuálního posunu vyšetřovacího stolu mezi detektory. Dochází k tvorbě scintigramů v přední a zadní projekci o matici nejméně 768 x 256 a akviziční čas scintigrafie je alespoň 30 minut. Druhý typ scintigrafie je tvořen sérií statických snímků také v přední a zadní projekci. Jeden snímek je tvořen maticí 256 x 256 a je nahráván 5 až 10 minut. Pro záznam vyšetření jsou nevhodnější dvoudetektorové kamery, kdy dochází k záznamu dvou projekcí současně. Pro detekci impulzů je využíván detektor s kolimátorem pro vysoké energie (MZ ČR, 2016, s. 290-291).

^{131}I se vychytává fyziologicky v některých tkáních a orgánech, např. v oblasti obličeje okolo nosu a úst, v průšních a podčelistních slinných žlázách, v žaludku, střevě, močovém měchýři a konečníku. Toto vyšetření slouží k posouzení patologických lézí jako jsou zbylá tkán ŠŽ, lymfatické uzliny a metastázy, které se nejčastěji vyskytují v mozku, plicích a kostech. Pokud dojde k vychytávání

radiofarmaka i na jiných místech (kromě fyziologické akumulace), je potřeba danou oblast řádně vyšetřit a určit příčinu zvýšené akumulace radiofarmaka (Piciu, 2017, s. 109). Z hlediska radiační zátěže vyšetřovaného je orgánem s nejvyšší absorbovanou dávkou močový měchýř (MZ ČR, 2016, s. 291).

4.4.2 Terapeutická scintigrafie

Terapeutická scintigrafie je prováděna po aplikaci terapeutické dávky ^{131}I při léčbě diferencovaného karcinomu štítné žlázy. Pacient před podáním nesmí přijít do kontaktu s větším množstvím jódu a musí lačnit 6 hodin před terapií a 1 hodinu po terapii. Jód-131 je podáván ve formě roztoku nebo kapslí. Aktivita podaného jódu-131 je stanovena podle charakteru a stádia diferencovaného karcinomu štítné žlázy a kinetiky jódu v parenchymu štítné žlázy (MZ ČR, 2016, s. 351).

Postterapeutická scintigrafie se provádí obvykle 3. až 7. den po léčbě. Díky tomuto vyšetření je možné ověřit akumulaci radionuklidu v těle. U části vyšetřovaných se na scintigramu prokážou uzliny nebo vzdálené metastázy, které diagnostický sken neodhalil. U pacientů, kteří podstoupili radikální odstranění štítné žlázy, je na výsledném skenu zobrazeno reziduum štítnice. Pokud by se prokázalo velké množství zbytkové tkáně, uvažuje se nad reoperací a odebráním zbytkového parenchymu (Vlček, 2003).

Pacient během scintigrafie leží na zádech. Před vyšetřením je potřeba nastavit analyzátor na fotopík jódu-131. Detektory využívané při tomto typu scintigrafie obsahují kolimátory pro vysoké energie. Výsledný scintigram může vznikat dvěma způsoby. První možností je celotělová scintigrafie nahrávající se v přední a zadní projekci v matici nejméně 768 x 256. Doba nahrávání scintigramu je alespoň 30 minut. Druhou možností je provádění vyšetření ve formě sérií jednotlivých statických snímků v přední a zadní projekci. Jeden snímek je zaznamenáván v matici 256 x 256 po dobu 5 až 10 minut (MZ ČR, 2016, s. 291).

Pokud dojde k podání diagnostické i terapeutické dávky, může se objevovat tzv. „stunning“ efekt. To znamená, že při terapeutické scintigrafii bylo zobrazeno méně lézí než při diagnostické. Tomuto efektu se lze vyhnout, pokud dojde k aplikaci nižší dávky při diagnostické scintigrafii za předpokladu, že pacient v krátké následující době obdrží i terapeutickou dávku (Al-shammeri, 2017, s. 26).

Pokud je terapeutická dávka radiojódů podána pacientce v produktivním věku, je potřeba ji poučit o potřebné antikoncepci na 6 až 12 měsíců. Skutečná absorbovaná dávka v cílové tkáni se stanovuje individuálně v závislosti na charakteru kinetiky radiojódů, která byla naměřena při terapii, aplikované aktivity a objemu cílové tkáně (MZ ČR, 2016, s. 353).

4.5 Scintigrafie medulárního karcinomu ŠŽ

Medulární karcinom štítné žlázy (MTC) je vzácným maligním onemocněním. Jedná se o neuroendokrinní nádor vycházející z parafolikulárních buněk ŠŽ, které produkují kalcitonin (Krishnamurthy, 2014, s. 146). Proto je zvýšená hladina kalcitoninu spolehlivým markerem pro dobře diferencovaný MTC. Tento typ nádoru má velmi špatnou prognózu, protože je odolný vůči chemoterapii i vnějšímu záření. Jeho hlavní léčba spočívá v chirurgickém odstranění. Aby bylo odstranění co nejpřesnější a nejefektivnější, je potřeba využít několika zobrazovacích metod jako je MR, ultrazvuk nebo CT pro anatomickou strukturu, ale i radionuklidového vyšetření pro posouzení funkční aktivity. Pro scintigrafii jsou využívány dva typy radiofarmaka: $^{99m}\text{Tc(V)}$ -DMSA a ^{123}I -MIBG (Ullah khan, 2014, s. 73-74).

4.5.1 Scintigrafie využívající $^{99m}\text{Tc(V)}$ -DMSA

Radiofarmakum $^{99m}\text{Tc(V)}$ -DMSA bylo vyrobeno pro zobrazování nádorů. Je vyrobeno pomocí alkalizace DMSA, což je radiofarmakum využívající se při statickém zobrazení ledvin. Během alkalizace dojde k redukci ^{99m}Tc na pětimocnou formu. Princip vylučování tohoto radiofarmaka v nádorových tkáních není přesně objasněn, s největší pravděpodobností ovlivňuje tento mechanismus podobnost $^{99m}\text{Tc(V)}$ -DMSA s fosfátovým iontem. Akumulace radiofarmaka je v různých typech nádorů odlišná, hlavní využití má především u pacientů postižených medulárním karcinomem štítné žlázy (Koranda, 2014, s. 144).

Planární sken celého těla s použitím radiofarmaka $^{99m}\text{Tc(V)}$ -DMSA, jehož aplikovaná dávka je 700 MBq, probíhá za 2 až 4 hodiny po nitrožilní aplikaci (Krishnamurthy, 2014, s. 146). K planární scintigrafii je přidáno i zobrazení SPECT. Při detekci metastáz MTC se uvádí 80 % účinnost (Koranda, 2014, s. 145).

4.5.2 Scintigrafie využívající ^{123}I -MIBG

Významnější roli hraje scintigrafie pomocí ^{123}I -MIBG, jehož diagnostická referenční úroveň je 400 MBq. Před vyšetřením je potřeba třídní blokáda štítné žlázy za použití KI nebo KClO_4 . Pacient by měl být zavodněn a musí vysadit veškeré léky, které by mohly ovlivnit vychytávání radiofarmaka v nádoru (např. tricyklická antidepresiva, sympatomimetika, některá antihypertenziva a kardiovaskulární léky, antipsychotika, opioidy, tramadol). Kontraindikací k vyšetření je těhotenství, pokud pacientka kojí, je potřeba kojení přerušit alespoň na 48 hodin (MZ ČR, 2016, s. 303-304).

Vyšetření je prováděno za 24 a případně 48 hodin po intravenózní aplikaci. Okénko fotonu musí být před vyšetřením nastaveno na hodnotu 159 keV. Scintigrafie může probíhat dvěma způsoby. Při prvním způsobu je scintigram v přední a zadní projekci tvořen kontinuálním posunem vyšetřovacího stolu rychlostí 4 až 5 cm za minutu. Matice scintigramu je nejméně 256 x 1024. U druhého způsobu je scintigram tvořen záznamem překrývajících se snímků, které počítač složí do jednoho. V oblasti trupu jsou snímky nahrávány na 250 000 impulzů během 10 až 20 minut. Další části těla jsou nahrávány podobnou dobu a matice jednotlivých snímků je 256 x 256. Pro detekci jsou využívány detektory s kolimátorem pro nízké energie (MZ ČR, 2016, s. 304). Po scintigrafii může být provedeno ještě zobrazení pomocí SPECT/CT se zaměřením na podezřelou nebo cílenou oblast (Koranda, 2014, s. 146). Z pohledu radiační zátěže jsou orgánem s nejvyšší absorbovanou dávkou játra (MZ ČR, 2016, s. 305).

Tato scintigrafická metoda je významná, protože pokud dojde k zobrazení metastáz díky akumulaci tohoto farmaka, znamená to ověřenou efektivitu pro případnou terapii pomocí ^{123}I -MIBG. Jestliže jsou metastázy MTC neoperabilní je léčba pomocí ^{123}I -MIBG jedinou terapeutickou volbou. V dnešní době se již začíná rozšiřovat použití i moderní biologické léčby (Koranda, 2014, s. 146).

ZÁVĚR

Nukleární medicína hraje významnou roli v diagnostice i terapii různých druhů onemocnění. Na rozdíl od zobrazovacích metod využívající CT, MR, RTG a ultrazvuk pro zobrazení anatomické struktury dokáže poskytnout informace o funkci a metabolickém procesu v daném orgánu nebo tkáni.

Bakalářskou práci jsem si rozdělila na tři hlavní kapitoly a každá je věnována jednomu dílčímu cíli. Veškeré cíle stanovené pro psaní této práce byly splněny. Kapitola zabývající se štítnou žlázou popisuje její fyziologickou funkci a patologii. Z fyziologického hlediska je správná funkce velmi důležitá, protože produkuje hormony T_3 a T_4 , které se podílejí na správném vývoji a růstu kostí. Štítná žláza může být postižena několika nemocemi. Jedná se o strumu, poruchu funkce, zánět nebo nádory. Maligní nádory štítnice jsou nejčastěji vyskytujícími se nádory v endokrinologii.

Druhá kapitola je věnována principům nukleární medicíny. Pro nukleární medicínu je typické využívání radiofarmak, která jsou vychytávána ve vyšetřovací oblasti. Radionuklid obsažený v radiofarmaku uvolňuje při radioaktivní přeměně ionizující záření, které je následně zaznamenáno pomocí detektorů scintilační kamery. Díky zaznamenaným impulzům je tvořen výsledný obraz vyšetření – scintigram.

Třetí kapitola popisuje jednotlivá scintigrafická vyšetření štítné žlázy v nukleární medicíně. Scintigrafické vyšetření lze provádět s využitím několika radiofarmak, jako je $^{99m}\text{TcO}_4^-$, ^{123}I , ^{131}I , $^{99m}\text{Tc(V)}\text{-DMSA}$ a $^{123}\text{I}\text{-MIBG}$, které je zvoleno podle indikace k vyšetření. Jednotlivá vyšetření obsahují indikace, přípravu, provedení, akviziční parametry a typy nálezů.

REFERENČNÍ SEZNAM

AL-SHAMMERI, I., S. AL-DEEN MAHMOOD, S. AL-MOHANNADI a N. BALLANI. Comparison between radioiodine therapeutic and diagnostic whole body scans in postoperative differentiated thyroid carcinoma patients: Correlation with serum thyroglobulin levels. *Journal Medical Libanais* [online]. 2017, **65**(1), 25 - 28 [cit. 2022-03-27]. ISSN 00239852. Dostupné z: doi:10.12816/0035667

ALSWAT, K., S.A. ASSIRI, R.M.M. ALTHAQAFI, A. ALSUFYANI, A. ALTHAGAFI, S. ALREBAIEE a N. ALSUKHAYRI. Scintigraphy evaluation of hyperthyroidism and its correlation with clinical and biochemical profiles. *BMC Research Notes* [online]. 2020, **13**(1), 1-9 [cit. 2022-03-14]. ISSN 17560500. Dostupné z: doi:10.1186/s13104-020-05164-5

BASER, H., O. TOPALOGLU, M.C. BILGINER, R. ERSOY, B. CAKIR, S. ULUSOY, A. KILICARSLAN a E. OZDEMIR. Are cytologic and histopathologic features of hot thyroid nodules different from cold thyroid nodules?. *Diagnostic Cytopathology* [online]. 2019, **47**(9), 898 - 903 [cit. 2022-03-14]. ISSN 10970339. Dostupné z: doi:10.1002/dc.24251

BRUNOVÁ, Jana a Josef BRUNA. *Klinická endokrinologie a zobrazovací diagnostika endokrinopatií*. Praha: Maxdorf, c2009. Jessenius. ISBN 978-80-7345-190-5.

CZEPCZYŃSKI, Rafał. Nuclear medicine in the diagnosis of benign thyroid diseases. *Nuclear Medicine Review* [online]. 2012, **15**(2), 113-119 [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: databáze Google Scholar

FANI, Melpomeni a Helmut R. MAECKE. Radiopharmaceutical development of radiolabelled peptides. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. 2012, **39**(S1), 11-30 [cit. 2022-02-25]. ISSN 1619-7070. Dostupné z: doi:10.1007/s00259-011-2001-z

FIALOVÁ, M. Nádory štítné žlázy z pohledu posudkového lékaře. *Revision* [online]. 2021, **24**(1), 7-18 [cit. 2022-01-03]. ISSN 12143170. Dostupné z: <https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=3862118e-b45d-485c-ba8f-0fd0ceeaede3%40redis>

FRYŠÁK, Zdeněk, David KARÁSEK a Milan HALENKA. Hypertyreóza z pohledu klinika. *Interní medicína pro praxi* [online]. 2014, **16**(6), 232-235 [cit. 2022-03-14]. ISSN 1803-5256. Dostupné z: <http://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2014/06/04.pdf>

GÜNAY, O., M. SARIHAN, O. YARAR, İ. AKKURT a M. DEMIR. Measurement of Radiation Dose in Thyroid Scintigraphy. *Acta Physica Polonica A* [online]. 2020, **137**(4), 569-573 [cit. 2022-03-25]. ISSN 1898-794X. Dostupné z: doi:10.12693/APhysPolA.137.569

HAVEL, Martin, Michal KOLÁČEK, Kateřina HÄRINGOVÁ, Otakar KRAFT, Michaela VÁVROVÁ, Kamil BUKOVANSKÝ a Gabriela HAVLOVÁ. Specifika využití pozitronového radiofarmaka v automatickém aplikátoru Medrad Intego. *Nuclear Medicine / Nukleární Medicína* [online]. 2020, **9**(1), 2-9 [cit. 2022-02-24]. ISSN 18051146. Dostupné z: <https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=0ac5e9fc-1811-463b-8008-d0ee09501d67%40redis>

Hlaváčková, Marie. Karcinomy štítné žlázy. *General Practitioner / Praktický Lekar* [online]. 2020, **100**(2), 100-102 [cit. 2022-01-03]. ISSN 00326739. Dostupné z: <https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=501828ee-c478-489b-965f-3057e50bf926%40redis>

KNOX, Mark A. Thyroid Nodules. *American Family Physician* [online]. 2013, **3**(88), 193-196 [cit. 2022-03-31]. ISSN 1532-0650. Dostupné z: <https://www.aafp.org/afp/2013/0801/p193.html>

KOVÁČIK, Andrej, Barbora VRANÍKOVÁ a Kateřina ŽILKOVÁ. Technologie a příprava radiofarmak na odděleních nukleární medicíny. *Praktické Lekarenství* [online]. 2021, **17**(3), 171-174 [cit. 2022-02-24]. ISSN 18012434. Dostupné z: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=e4489885-5a03-4d0e-a354-0aec29ee06a%40redis>

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

KRISHNAMURTHY, Arvind, Ramachandran Krishna KUMAR, Praveen RAVISHANKARAN, Vijayalaksmi RAMSHANKAR, Ahamed Sultan Balkis BEGUM a Gomadam Kuppuswamy RANGARAJAN. Exploring the role of technitium-99m dimercaptosuccinyl acid (V) scan in medullary carcinoma thyroid patients with postoperative persistent hypercalcitoninemia in the era of positron emission tomography-computerized tomography. *Indian Journal of Nuclear Medicine* [online]. 2014, **29**(3), 146-150 [cit. 2022-03-27]. ISSN 09723919. Dostupné z: doi:10.4103/0972-3919.136562

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

LÍMANOVÁ, Z. a Š. SVAČINA. Thyroid gland and pregnancy - Summary of important findings. *Vnitřní Lekarství* [online]. 2015, **61**(10), 862 - 867 [cit. 2022-01-29]. ISSN 18017592. Dostupné z: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=7ed1d499-014b-48f4-98db-ca3b2cf5bcfa%40redis>

MARIANI, Giuliano, Massimo TONACCHERA, Mariano GROSSO, et al. The Role of Nuclear Medicine in the Clinical Management of Benign Thyroid Disorders. Part 2. Nodular Goiter, Hypothyroidism, and Subacute Thyroiditis. *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine* [online]. 2021, **62**(12), 1 [cit. 2022-03-27]. ISSN 01615505. Dostupné z: doi:10.2967/jnumed.120.251504

MATTA-COELHO, Claudia, Sara DONATO, Manuel CARVALHO a Helena VILAR. Dual ectopic thyroid gland. *BMJ Case Reports* [online]. 2018, **11**(1), bcr-2018-225506 [cit. 2022-03-27]. ISSN 1757-790X. Dostupné z: doi:10.1136/bcr-2018-225506

MZČR. 2016. Věstník MZ ČR. Praha, 364 s. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/nuklearni-medicina/>

PETŘEK, Josef. *Základy fyziologie člověka pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-2208-0.

PICIU, Doina. 2017. *Nuclear Endocrinology*. 2nd ed. 2017. Cham: Springer International Publishing. ISBN 978-331-9565-828.

ROSINA, Jozef. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4237-3.

SCHMIDT, M., R. GÖRGES, M. DIETLEIN a A. DRZEZGA. A matter of controversy: Is radioiodine therapy favorable in differentiated thyroid carcinoma?. *Journal of Nuclear Medicine* [online]. 2018, **59**(8), 1195 - 1201 [cit. 2022-03-27]. ISSN 2159662X. Dostupné z: doi:10.2967/jnumed.117.191338

SOVOVÁ, Eliška. *Vybrané kapitoly z vnitřního lékařství pro nelékařské obory*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3133-8.

ŠARAPATKOVÁ, MUDr.Hana. Záněty štítné žlázy. *Medicína pro praxi* [online]. 2013, **10**(8-9), 291-293 [cit. 2022-01-09]. ISSN 1803-5310. Dostupné z: <http://medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2013/08/07.pdf>

TAJTÁKOVÁ, M. [Medicines and thyroid gland]. *Vnitřní lékařství* [online]. 2012, **58**(2), 140-4 [cit. 2022-01-29]. ISSN 0042773X. Dostupné z: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=11&sid=7ed1d499-014b-48f4-98db-ca3b2cf5bcfa%40redis>

UHER, Ivo. ZÁKLADNÍ ORIENTACE VE VYŠETŘENÍCH NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY aneb diagnostické a léčebné postupy v nukleární medicíně. *Practicus* [online]. 2013, **12**(5), 14-16 [cit. 2022-03-25]. ISSN 1213-8711. Dostupné z: https://theses.cz/id/7fyxvo/bakalka_123.pdf

ULLAH KHAN, Aakif, Aamir BAHADUR, Muhammad RAUF KHATTAK a Abdus SAEED SHAH. Mediastinal spread of medullary thyroid carcinoma imaged by locally formulated ^{99m}Tc-DMSA (V). *Pakistan Journal of Nuclear Medicine* [online]. 2014, **3**(1), 73-77 [cit. 2022-03-27]. ISSN 22210288. Dostupné z: <https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&sid=aeab14d8-0b7d-4ca4-892b-9cf0b36a236e%40redis>

VLČEK, Petr. Radionuklidy v diagnostice a terapii tyreopatií. *Postgraduální medicína* [online]. 2003, **4**(2) [cit. 2022-03-31]. ISSN 1212 – 4184. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/radionuklidy-v-diagnostice-a-terapii-tyreopatii-153020>

VLK, Martin, Petra SUCHÁNKOVÁ a Ján KOZEMPEL. Medicinální radionuklidové generátory - mateřské radionuklidy, principy funkce a kontrola kvality eluátu. *Nuclear Medicine / Nukleární Medicína* [online]. 2019, 8(3), 42-51 [cit. 2022-02-24]. ISSN 18051146. Dostupné z:

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=784ffe64-7f5f-4b03-8388-ff644626676a%40redis>

VOMÁČKA, Jaroslav. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Druhé, doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80-244-4508-3.

SEZNAM ZKRATEK

A	nukleonové číslo
ARS	akutní radiační syndrom
CLT	chronická lymfocytární tyreoiditida
cm	centimetr
CRP	C-reaktivní protein
CT	výpočetní tomografie
ČR	Česká republika
D	absorbovaná dávka
DNA	deoxyribonukleová kyselina
DTC	diferencovaný karcinom štítné žlázy
ETT	ektopická tkáň štítné žlázy
FNAB	aspirační biopsie pomocí tenké jehly
Gy	gray
I	jód
keV	kiloelektronvolt
MBq	megabecquerel
MeV	megaelektronvolt
µg	miligram
min	minuta
mm	milimetr
Mo	molybden
MR	magnetická rezonance
mSv	milisievert
MTC	medulární karcinom štítné žlázy
MZ	ministerstvo zdravotnictví
N	nukleonové číslo
Na	sodík
NaI(Tl)	jodid sodný aktivovaný thaliem
O	kyslík

PET	pozitronová emisní tomografie
RNA	ribonukleová kyselina
RTG	rentgen
SPECT	jednofotonová emisní tomografie
ŠŽ	štítná žláza
T ₃	trijodtyronin
T ₄	tetrajodtyronin, tyroxin
^{99m} Tc	technecium
^{99m} TcO ₄ ⁻	technecistan
TSH	thyreotropní hormon, tyrotropin
TRH	tyreotropin
Z	protonové číslo

SEZNAM SYMBOLŮ

α	alfa
β	beta
γ	gama

Seznam příloh

Příloha č. 1: Zobrazení štítné žlázy pomocí technecistanu (nahore) a ^{131}I (dole) s použitím různých kolimátorů.

Příloha č. 2: Normální zobrazení štítné žlázy.

Příloha č. 3: SPECT/CT medulárního karcinomu s použitím $^{99\text{m}}\text{Tc(V)-DMSA}$.

Příloha č. 4: Detekce medulárního karcinomu pomocí $^{99\text{m}}\text{Tc(V)-DMSA}$.

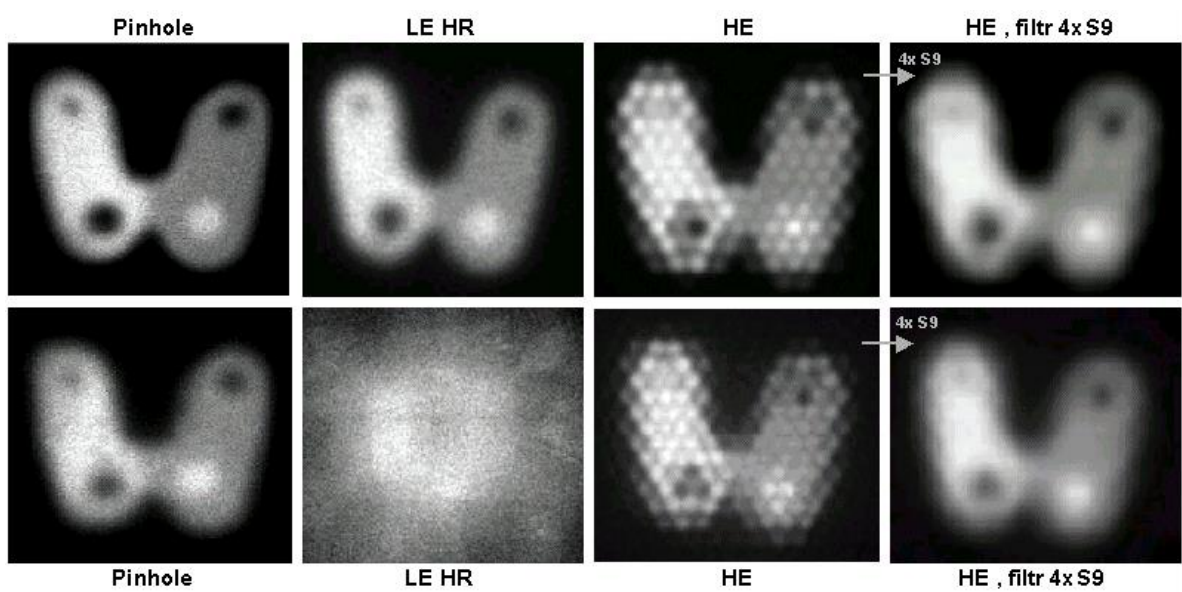
Příloha č. 5: Zobrazení tumorů pomocí $^{123}\text{I-MIBG}$.

Příloha č. 6: SPECT/CT zobrazení s použitím $^{123}\text{I-MIBG}$.

Příloha č. 7: SPECT/CT v transverzální rovině pomocí $^{123}\text{I-MIBG}$.

Obrazová příloha

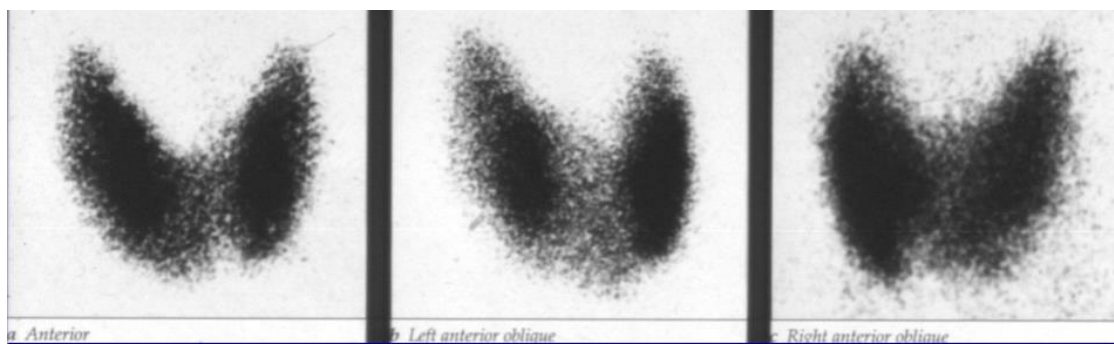
Příloha č. 1



Obrázek č. 1: Zobrazení štítné žlázy pomocí technecistanu (nahore) a ^{131}I (dole) s použitím různých kolimátorů.

Zdroj: <https://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

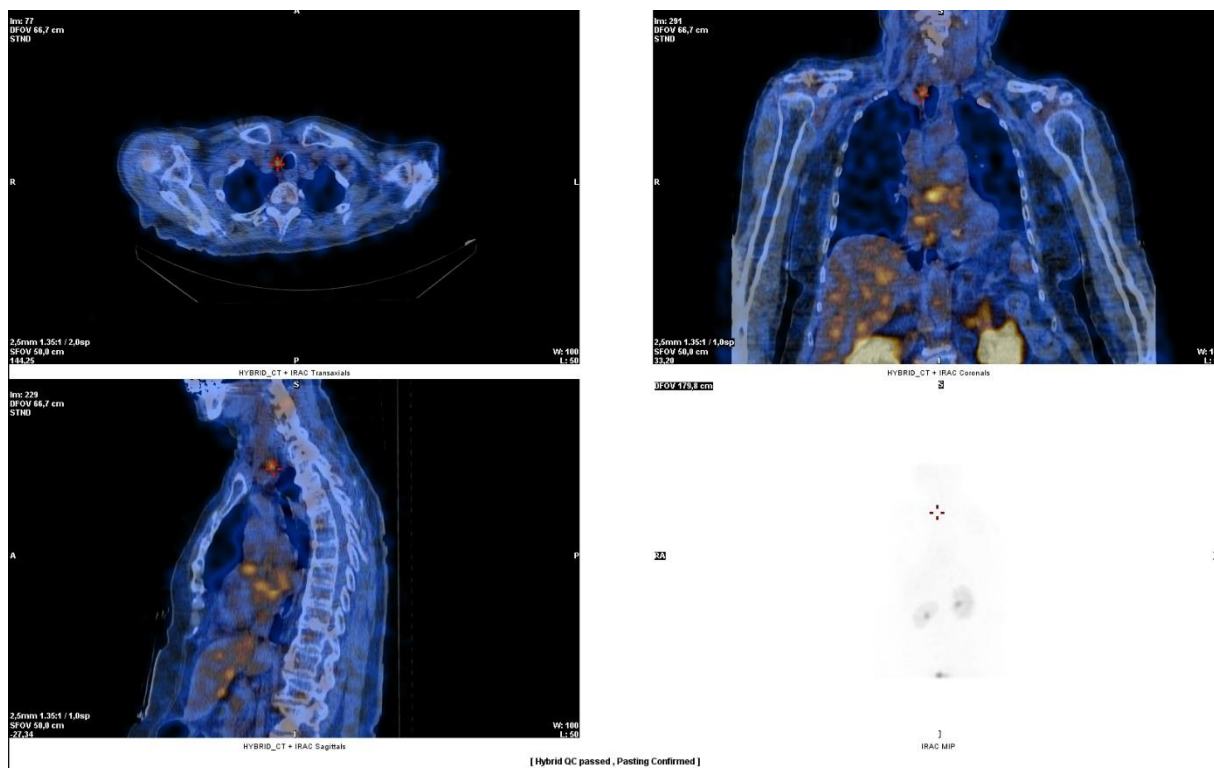
Příloha č. 2



Obrázek č. 2: Normální zobrazení štítné žlázy.

Zdroj: <https://docplayer.cz/4197228-Radionuklidova-diagnostika-v-endokrinologii.html>

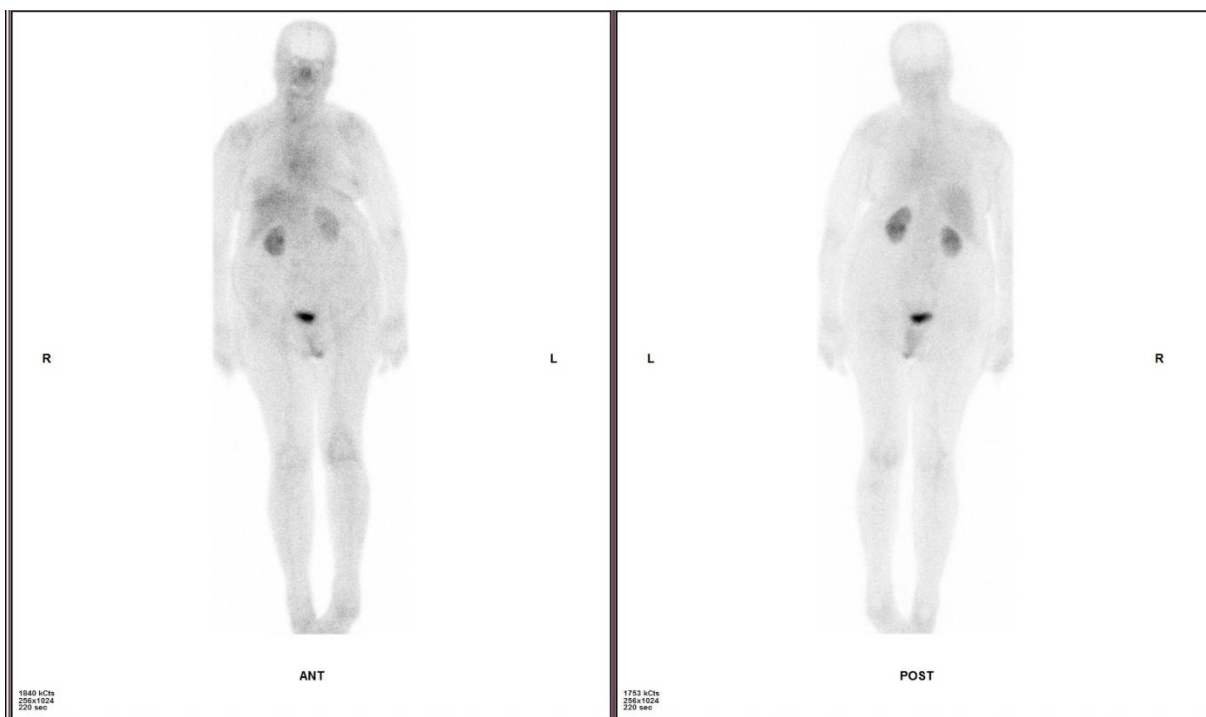
Příloha č. 3



Obrázek č. 3: SPECT/CT medulárního karcinomu s použitím $^{99m}\text{Tc}(\text{V})\text{-DMSA}$.

Zdroj: Archiv KNM FNOL

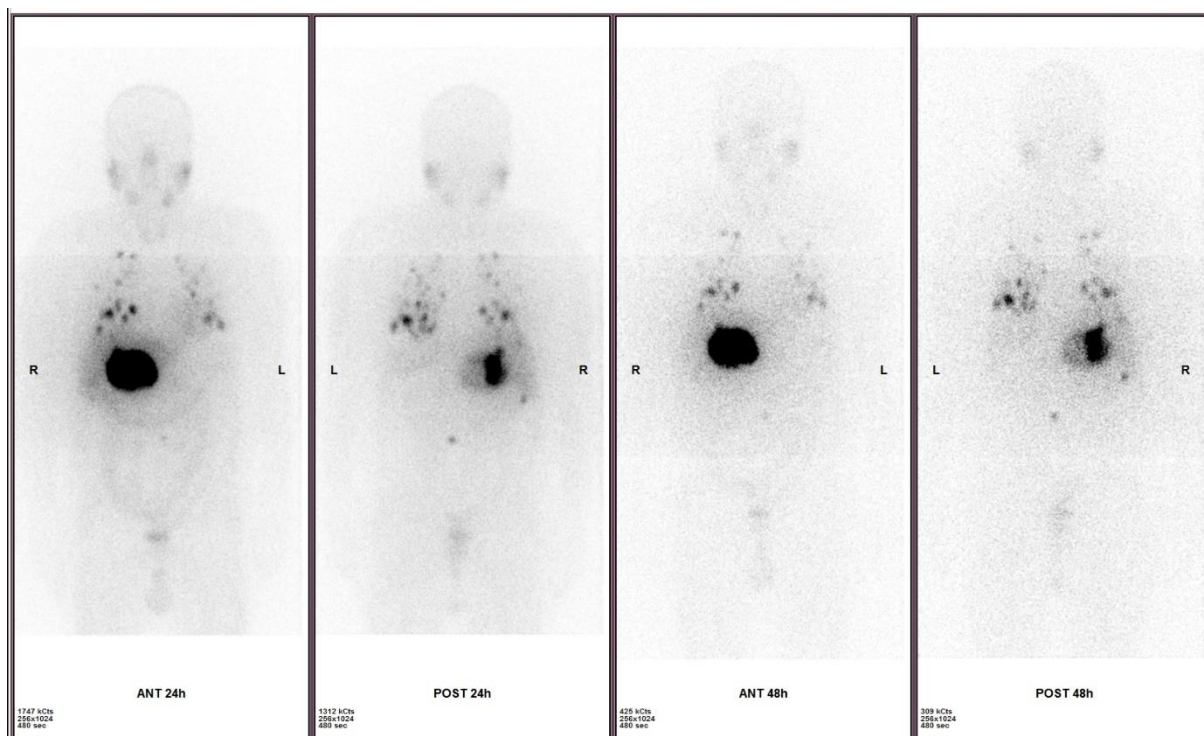
Příloha č. 4



Obrázek č. 4: Detekce medulárního karcinomu pomocí $^{99m}\text{Tc}(\text{V})\text{-DMSA}$.

Zdroj: Archiv KNM FNOL

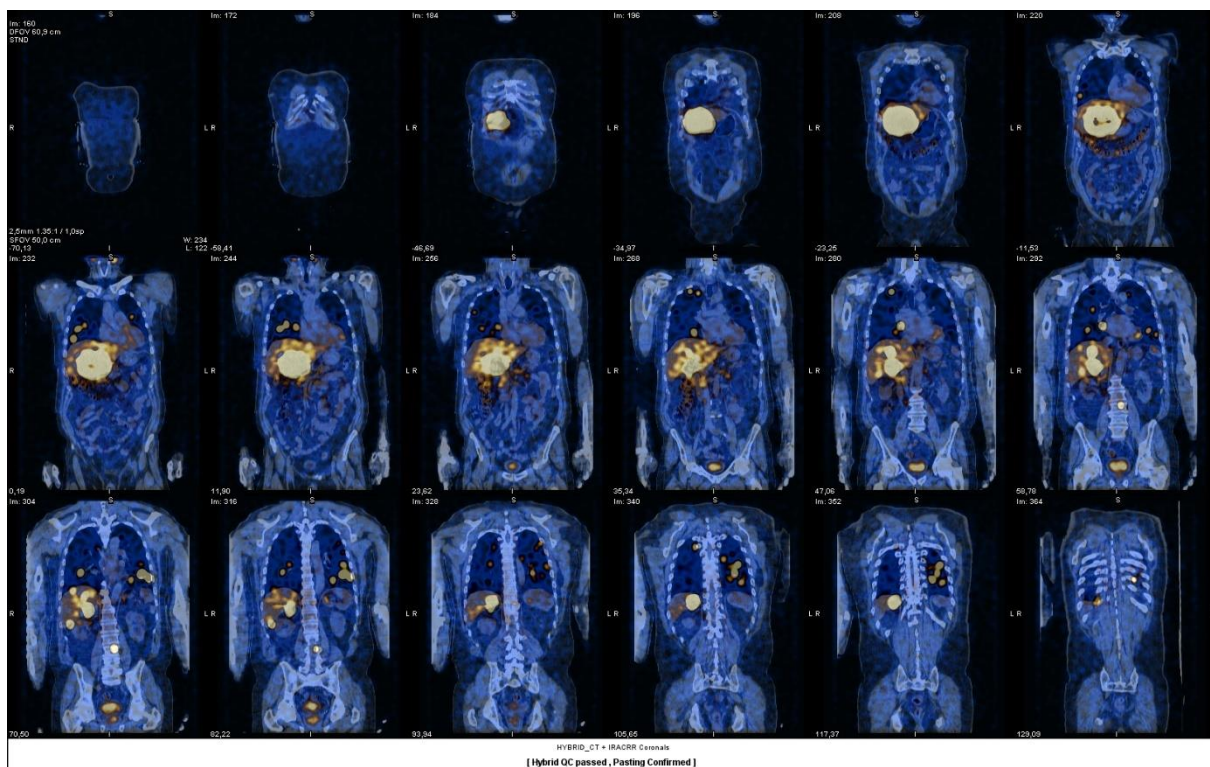
Příloha č. 5



Obrázek č. 5: Zobrazení tumorů pomocí ^{123}I -MIBG.

Zdroj: Archiv KNM FNOL

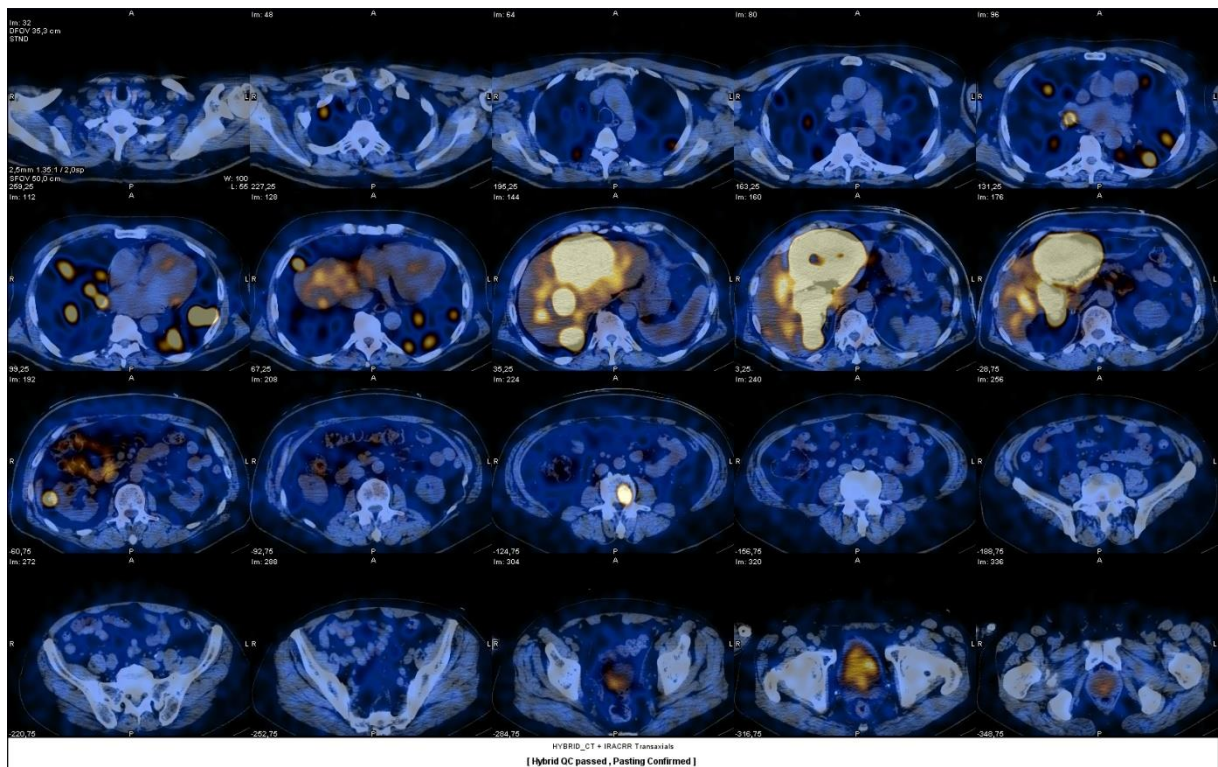
Příloha č. 6



Obrázek č. 6: SPECT/CT zobrazení s použitím ^{123}I -MIBG.

Zdroj: Archiv KNM FNOL

Příloha č. 7



Obrázek č. 7: SPECT/CT v transverzální rovině pomocí ^{123}I -MIBG.

Zdroj: Archiv KNM FNOL