

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Adéla Prymusová

Radionuklidová diagnostika v endokrinologii

Bakalářská práce

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

Olomouc 2021

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

Datum

podpis

Chtěla bych poděkovat panu Ing. Bc. Petru Vybíralovi, DiS. za odborné vedení práce, za ochotu, trpělivost a věnovaný čas.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Radionuklidová diagnostika v endokrinologii

Název práce: Radionuklidová diagnostika v endokrinologii

Název práce v AJ: Radionuclide diagnostics in endocrinology

Datum zadání: 2020-01-28

Datum odevzdání: 2021-04-26

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

Autor práce: Prymusová Adéla

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

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

Abstrakt v ČJ: Práce se zabývá využitím radionuklidových diagnostik při vyšetřování v endokrinologii. Popisuje základní principy nukleární medicíny, onemocnění endokrinního systému, které lze prokázat pomocí zobrazovacích metod v nukleární medicíně a vybrané vyšetřovací metody nukleární medicíny. Cílem práce je popsat přípravu pacienta, postupy zobrazování v nukleární medicíně a popsat typy nálezů. Rešerše byla provedena pomocí odborných článků z databází MEDLINE Complete, EBSCO, Google Scholar a pomocí odborné literatury. Informace byly také čerpány z věstníku MZČR.

Abstrakt v AJ: This thesis deals with the use of radionuclide diagnostics in examination in endocrinology. It describes the basic principles of nuclear medicine, diseases of the endocrine system, which can be demonstrated by nuclear medicine and selected examination methods of nuclear medicine. The aim of this thesis is to describe the preparation of the patient, imaging procedures in nuclear medicine and to describe the types of findings. The search was performed using professional articles from databases MEDLINE Complete, EBSCO, Google Scholar and using professional literature. The information was also drawn from the MZČR journal.

Klíčová slova v ČJ: nukleární medicína, endokrinologie, štítná žláza, příštítná tělíska, neuroendokrinní tumory, technecistan, ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI, ^{123}I – MIBG, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tektrotyd, ^{111}In -pentetretotid.

Klíčová slova v AJ: nuclear medicine, endocrinology, thyroid gland, parathyroid gland, neuroendocrine tumors, pertechnetate, ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI, ^{123}I – MIBG, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - tektrotyde, ^{111}In - pentetretotide.

Rozsah: 47/6

Obsah

Úvod.....	7
1. Principy nukleární medicíny.....	9
1.1 Radionuklidy	9
1.2 Typy radioaktivních přeměn druhy záření	10
1.3 Radiofarmaka	12
2 Endokrinologie.....	13
2.1 Poruchy endokrinního systému diagnostikovatelne pomocí zobrazovacích metod nukleární medicíny.....	13
2.2 Radiofarmaka využívaná v endokrinologii.....	16
3 Vyšetřovací metody nukleární medicíny v endokrinologii	18
3.1 Scintigrafie štítná žláza	18
3.2 Scintigrafie příštítných tělísek	22
3.3 Detekce neuroendokrinních tumorů.....	25
Závěr	32
Referenční seznam	33
Seznam zkratk.....	40
Obrazová příloha.....	42

Úvod

Nukleární medicína je obor, který se zabývá diagnostikou a léčbou otevřenými radioaktivními zářiči. Větší část tohoto oboru tvoří diagnostika, menší část je zastoupena terapií a laboratorní diagnostikou. (Kraft, 2020, s. 5) Základní princip, který se v nukleární medicíně využívá jak u diagnostiky, tak u terapie je tzv. stopovací princip, který objevil George de Hevesy. Tento princip je založen na sledování metabolických procesů v těle pomocí radiofarmak. (Kubinyi, 2018, s. 11)

Radioaktivní izotopy za účelem diagnostiky byly jako první využity v endokrinologii. V současné době se nukleární medicína využívá ke stanovení koncentrací hormonů v biologických tekutinách pomocí radioimunologické analýzy a k zobrazení endokrinních žláz a jejich patologických změn pomocí scintigrafie. Nukleární medicína přináší především doplňující informace o funkci žláz, oproti anatomickým informacím získaným pomocí sonografie, CT či MR. (Kupka, 2015, s. 85)

Cílem bakalářské práce bylo sumarizovat informace o radiodiagnostických metodách různých poruch endokrinního systému.

Dílčí cíle bakalářské práce:

1. Předložit aktuální informace o diagnostických postupech v nukleární medicíně se zaměřením na endokrinologii.
2. Sumarizovat informace o nemocích, které jsou spojené s endokrinním systémem a zároveň jsou diagnostikovatelné pomocí metod nukleární medicíny.
3. Předložit poznatky o radiační zátěži u jednotlivých typů vyšetření.

Jako vstupní literaturu pro tvorbu bakalářské práce jsem použila tyto tituly:

1. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, 2015. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K. ISBN 978-80-87343-54-8.
2. KORANDA, Pavel, 2017. *Nukleární medicína*. Dotisk 1. vydání z roku 2014. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4031-6.

3. KORANDA, Pavel, Miroslav MYSLIVEČEK a Václav HUŠÁK, 2002. Nukleární medicína v endokrinologii a terapie otevřenými zářiči. Olomouc: Univerzita Palackého. ISBN80-244-0415-X.
4. VLČEK, Petr, 2010. *Praktická cvičení z nukleární medicíny*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1819-7.

Rešeršní činnost byla provedena v českém i anglickém jazyce za použití klíčových slov a s použitím booleovských operátorů.

Klíčová slova: nukleární medicína, endokrinologie, scintigrafie, radionuklidové zobrazení.

Vyhledávala jsem v období od roku 2017 po rok 2021. Další kritéria byla: Vyhledání pouze recenzovaných periodik, a s přístupem k plnému textu článku. Byla vyčleněna slova jako léčba a terapie, a to z důvodu, že toto téma nebylo předmětem bakalářské práce. Vyhledávala jsem v databázích MEDLINE Complite, EBSCO a Google Scholar.

Celkem bylo vyhledáno 104 článků, z nichž byly vyřazeny duplicitní články, články, které neodpovídaly cílům práce a kvalifikační práce. V konečném výsledku bylo pro tvorbu bakalářské práce použito 27 článků, a bylo také čerpáno z věstníku ministerstva zdravotnictví České republiky.

1. Principy nukleární medicíny

Nukleární medicína je lékařský obor, zahrnující použití radioaktivních látek za účelem diagnostickým či terapeutickým. Vyšetřovací metody nukleární medicíny nám ukazují funkci, fyziologii a metabolismus a mají schopnost určit příčinu, povahu či projev nemoci nebo stavu. Může zde být zahrnuto i sledování progresu, či regrese nemoci, nebo poranění v reakci na terapii. (Piciu, 2017, s. 3) Na rozdíl od ostatních zobrazovacích metod je získání anatomických detailů pomocí metod nukleární medicíny méně vhodné. Pokud však použijeme hybridní přístroje, které kombinují jinou zobrazovací metodu s tomografickou scintigrafií, dojde k fúzi obrazů a vzniklé anatomicko-funkční zobrazení nám poskytne přesnější výklad výsledků daného vyšetření. (Koranda, 2017, s. 7)

V nukleární medicíně jde rozlišit dvě metody využívání otevřených zářičů. Metodu in vivo, kdy se radioaktivní látka vpravuje do těla pacienta a metodu in vitro, kdy pacient nepřichází do kontaktu s radioaktivní látkou, a pracuje se pouze se vzorkem plazmy, nebo jiné tělesné tekutiny pacienta. Při aplikaci radiofarmak do těla pacienta rozlišujeme, jestli používáme radionuklidy za účelem diagnostickým, či terapeutickým. Při scintigrafickém, či jiném diagnostickém vyšetření jsou použity radionuklidy emitující fotony elektromagnetického záření. Toto záření registrují vnější detektory, a získáváme obraz rozložení radiofarmak v těle. Radiofarmaka použitá při terapiích emitují korpuskulární záření, které má v tkáních krátký dosah. Proto je musíme podávat takovým způsobem, aby byla co nejvíce koncentrovaná v cílové oblasti. (Koranda, 2017, s. 7) Zobrazovací metoda, kterou v nukleární medicíně používáme, se jmenuje scintigrafie, která je pojmenovaná po scintilacích, jenž probíhají ve scintilačním krystalu. Tento krystal je základem scintilačních kamer. Scintilační kamerou jsou snímány obrazy, které nám ve vyšetřované oblasti ukazují prostorové rozložení použitého radiofarmaka. (Kupka, 2015, s. 14)

1.1 Radionuklidy

Dosud je známo přes 2000 radionuklidů, které dělíme na přirozené a umělé. V nukleární medicíně používáme pouze uměle vytvořené radionuklidy. (Koranda, 2017, s. 8) Radionuklidy jsou zdrojem ionizujícího záření a jejich primární zdroj je cyklotron, nebo jaderný reaktor, zde jsou připravovány uměle. Některé radionuklidy však mají krátký poločas rozpadu, a tak se k jejich přípravě používají sekundární

zdroje. Sekundárním zdrojem je radionuklidový generátor, v něm dochází k samovolné radioaktivní přeměně mateřského prvku v dceřiný prvek. Tento dceřiný prvek má vhodné vlastnosti pro využití v nukleární medicíně. (Koranda, 2017, s. 17)

Radionuklidy jsou nestabilní nuklidy, které se snaží dostat zpátky do své stabilní formy, a to přes radioaktivní rozpady. Některé radionuklidy jsou extrémně nestabilní a rozpadají se během mikrosekund, jiné se rozpadají po miliardy let. Čas potřebný k rozpadu jedné poloviny původního radioaktivního vzorku je fyzikální poločas. Velikost atomu je jedním z hlavních determinantů jaderné stability; proto těžké nuklidy, které mají velké atomové průměry, jsou méně stabilní než lehké nebo středně těžké nuklidy. Typ rozpadu je do značné míry určen tím, zda existuje přebytek neutronů nebo nedostatek neutronů ve vztahu ke stabilní konfiguraci. Radioaktivní druhy často obsahují jádra, která jsou v excitovaném stavu, a proto mají přebytek energie. Jak se jádro rozpadá na základní stav, vydává přebytek energie. Celý proces relaxace a emise energie obvykle probíhá během 10–12 s. Několik radioaktivních druhů zůstává v excitovaném stavu delší dobu od nanosekund po dny. Tyto nuklidy se nazývají metastabilní. Zdaleka nejpoužívanějším diagnostickým radionuklidem v nukleární medicíně je technecium-99m (^{99m}Tc). (Piciu, 2017, s. 5)

Pro nukleární medicínu jsou vhodné pouze ty radionuklidy, které jsou dostupné cenově i výrobně. Také záleží na druhu a energii emitovaného záření, a na fyzikálním poločase přeměny (rozpadu). Během vývoje nukleární medicíny došlo k vyzkoušení stovek radionuklidů, ale nakonec se výběr ustálil jen na několika, které splňovaly chtěné požadavky. Mezi nejvýznamnější patří třeba ^{18}F , ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{81m}Kr . (Koranda, 2017, s. 9-15)

1.2 Typy radioaktivních přeměn druhy záření

Radioaktivní přeměny dělíme na tři základní typy: přeměnu α , přeměnu β a přeměnu γ . (Koranda, 2017, s. 8)

Přeměna alfa je typ radioaktivního rozpadu, při kterém je alfa částice emitována z jádra atomu. Alfa částice se skládá z dvou protonů a dvou neutronů, což odkazuje na jádro helia. Alfa rozpad je možný pro řadu různých radionuklidů, které mají atomové číslo Z větší než 82. V tomto případě je nestabilní jádro dosáhne bodu, kdy již nemůže zůstat neporušené a z jádra je emitována alfa částice. Jádro se pak může „přeskupit“ a rozhodnout, zda je nové uspořádání vhodné. V případě, že bude

stále nestabilní, dojde k novému radioaktivnímu rozpadu. Tyto částice jsou nabitě kladně. Tímto procesem rozpadu prochází například ^{222}Ra který se emisí alfa částice rozpadá na ^{218}Po . (Piciu, 2017, s. 6) Částice alfa, které jsou emitovány při tomto druhu radioaktivní přeměny mají energii v rozmezí 4-8 MeV, ale jejich dosah ve tkáni je pouze 0,03 mm. (Kupka, 2015, s. 18) Alfa částice lze použít k terapii zhoubných nádorů, ale jejich použití ztěžuje hned několik komplikací, jako komplikovaná výroba stabilních radiofarmak, které jsou značeny alfa zářiči, riziko stochastických účinků, či možné zdravotní poškození pracovníků. Až v současné době se k terapii kostních metastáz u pacientů s hormonálně refrakterními karcinomy prostaty začíná používat terapie pomocí ^{223}Ra . (Koranda 2017, s. 10)

U beta přeměny rozlišujeme přeměnu β^- , přeměnu β^+ a elektronový záchyt. (Koranda, 2017, s. 8) Při přeměně β^- se neutron přemění na proton, elektron a antineutrino. Dochází k emisi elektronu a antineutrína z jádra, a proton dále zůstává v jádře. Jelikož se počet protonů v jádru nově vzniklého nuklidu zvýší o jedna, dojde také k posunu v periodické tabulce prvků, a to o jedno místo doprava. Jelikož je energie, která se při této přeměně uvolní, náhodně rozdělena mezi elektron a antineutrino, dochází ke vzniku spojitého spektra, které má definováno svoje maximum. (Kupka, 2015, s. 18) Protože je střední dosah elektronů ve tkáni v řádu milimetrů, používají se zářiče β^- při terapii. Přidružené záření γ způsobuje zbytečné ozáření zdravé tkáně pacienta, ale emise fotonů je lepší k monitoraci průběhu léčby. Mezi smíšené zářiče β - γ patří ^{131}I který se používá při terapii onemocnění štítné žlázy. (Koranda, 2017, s. 10) Při přeměně β^+ se proton nacházející v jádře přemění na neutron, pozitron a neutrino, Během této přeměny vyletí z jádra pozitrony, což jsou antičástice elektronů. Nově vzniklý dceřiný radionuklid se posune o jedno místo doleva v periodické soustavě prvků, protože se protonové číslo mateřského jádra sníží o jedna. (Kupka, 2015, s. 18) Pozitron, který je emitován zářiči β^+ urazí od desetin milimetrů po několik milimetrů a interaguje s elektronem, při této interakci dochází k anihilaci, což je přeměna hmoty na elektromagnetické záření. Dojde ke vzniku dvou anihilačních fotonů, které mají stejnou energii a opačný směr. Tento princip je základ pro PET (pozitronovou emisní tomografii). (Koranda, 2017, s. 10) K elektronovému záchytu dochází tak, že proton z jádra pohltí elektron, který se nachází ve vnitřní slupce elektronového obalu, a změní se v neutron. Po chybějícím elektronu vznikne díra, která je zaplněna elektronem, který se nachází ve vyšší

slupce elektronového obalu. Při přesunu elektronu dochází k vyzáření rozdílu vazbových energií elektronu v obalu, a tedy k emisi charakteristického rentgenového záření. V nukleární medicíně je použito při vyšetření in vitro pomocí ^{125}I a u scintigrafie pomocí ^{201}Tl . (Koranda, 2017, s. 8-10) Dojde k posunu dceřiného jádra v periodické soustavě prvků o jedno místo doleva, protože se protonové číslo o jedna zmenší. (Kupka, 2015, s. 18-19)

Záření gama často doprovází přeměny beta. Dceřiné jádro se totiž nemusí nacházet v základním stavu, ale může být i ve stavu excitovaném, při přechodu ze stavu excitovaného do základního dochází k vyzáření přebytečné energie, a to ve formě elektromagnetického vlnění. Pokud nedojde k přechodu mezi stavy téměř okamžitě, nazýváme tento excitovaný stav jako metastabilní. Pokud metastabilní jádra izolujeme, můžeme vytvořit čistý γ zářič. Čistý γ zářič v přírodě není. V nukleární medicíně se zářičů γ využívá u všech vyšetření in vivo a také se jich využívá u většiny vyšetření in vitro. Část fotonů γ při vyšetření in vivo tělem proniká a je detekováno mimo pacientovo tělo, část fotonů je pohlcena tkání a způsobuje radiační zátěž pacienta. Pro diagnostiku jsou nevhodné radionuklidy, které kromě γ záření emitují i záření β , zvyšuje se jím radiační zátěž pacienta. (Koranda, 2017, s. 8-10)

1.3 Radiofarmaka

Díky radiofarmakům jsou postupy nukleární medicíny schopné mapovat fyziologické nebo patologické činnosti a tím poskytnout konkrétnější informace o funkci a dysfunkci orgánu. (Piciu, 2017, s. 43) Radiofarmaka také mohou zobrazovat průtok krve, kapilární permeabilitu, specifickou extrakci tkáně nebo specifické cesty metabolismu a patofyziologické procesy. (Piciu, 2017, s. 3-4)

Radiofarmaka můžeme rozdělit na látky s dlouhým přetrváváním v cílovém orgánu a látky s plynulým transportem cílovým orgánem. Radiofarmaka, která přetrvávají v cílovém orgánu jsou používány pro statickou scintigrafii a radiofarmaka, která daným orgánem jen projdou a plynule se vyloučí jsou využívána pro dynamickou scintigrafii. (Koranda, 2017, s. 20)

2 Endokrinologie

Lidský organismus je řízený několika systémy a to nervovým, imunitním a endokrinním. Tyhle systémy se navzájem propojují různými způsoby. Endokrinní systém je ovládán pomocí hormonů. Hormony jsou látky různých chemických struktur, které jsou produkovány endokrinně aktivními buňkami (které mohou tvořit endokrinní žlázy), tyto látky jsou uvolňovány do krve a ovlivňují různé tkáně v těle. Hormony nemusí vznikat pouze v endokrinních žlázách, mohou být tvořeny i z prekurzorů v krevním oběhu. Hormony se do krevního oběhu mohou uvolňovat periodicky, kdy cykly mohou trvat různou dobu, od minut až po měsíce, či roky, nebo se mohou hormony uvolňovat ve formě pulsů, které se opakují. Regulace tvorby hormonů je přímo, či nepřímo ovlivněna jejich metabolickou aktivitou, a to pomocí negativní, nebo pozitivní zpětné vazby.

Onemocnění endokrinního systému mohou být vyvolány rozdílnými mechanismy. Může dojít k deficitu hormonů, nebo nedostatku účinných hormonů. Tento stav může být způsoben např. nádorem, infekcí, dědičnými poruchami tvorby hormonů. Nadbytek hormonů může vzniknout zvýšenou tvorbou ve tkáni, která je fyziologickým místem tvorby, či ve tkáni, kde se daný hormon přirozeně netvoří. Může být způsobena nadměrnou konverzí prekurzorů, či iatrogenním podáváním léčiv. Endokrinní onemocnění můžou vzniknout produkcí abnormálních hormonů, či mutací, která aktivuje receptory. Dále může dojít k rezistenci k působení hormonů, hladina daných hormonů je normální, či zvýšená, ale hormony neúčinkují tak, jak by měly. V neposlední řadě může dojít i k patologickým stavům, které postihují více endokrinních systémů. (Marek, 2017, s. 1-4)

2.1 Poruchy endokrinního systému diagnostikovatelné pomocí zobrazovacích metod nukleární medicíny

Cushingův syndrom vzniká jako následek nadměrné endogenní produkce glukokortikoidů pomocí kůry nadledvin nebo jejich zvýšeným exogenním přísunem. (Herrmann, 2020, s. 56) Až v 68 % případů je způsoben zvýšenou produkcí ACTH v hypofýze, která je způsobena u většiny případů adenomem. Další příčinou může být ektopická produkce ACTH v nádorech, a to hlavně u starších pacientů. U dětí může být způsoben primárními nádory kůry nadledvin. (Hána, 2019, s. 47) Mezi příznaky patří obezita, tuk se ukládá v oblasti mediastina a to intraperitoneálně, dále

v oblasti hlavy a krku, tuk však mizí z končetin. Kůže je tenká a vrásčitá, v abdominální oblasti se mohou nacházet purpurové strie. Dochází ke svalové atrofii, osteoporóze, emoční labilitě či arteriální hypertenzi. (Marek, 2017, s. 356) Jako jedna z diagnostických metod může být i scintigrafie kůry nadledvin, za zjištěním nádoru, či hyperplazie nadledvin. (Herrmann, 2020, s. 59)

Primární hyperparathyreóza je způsobena dlouhodobou nadměrnou sekrecí parathormonu (PTH), tato zvýšená sekrece způsobuje poruchu kalciového, fosfátového a kosterního metabolismu. (Marek, 2017, s. 323) U 85-90 % případů je způsobena adenomem, který se nejčastěji nachází u štítné žlázy, v horním mediastinu a v thymu, může se však nacházet i na jiných místech. U 10-15 % případů může být způsobena hyperplazií příštítných tělísek a vzácně může být způsobena karcinomem příštítných tělísek a velmi vzácně i ektopickou produkcí PTH. (Hána, 2019, s. 125) Mezi příznaky patří: polyurie, ledvinové kameny, nefrokalcinóza, renální insuficience, nauzea, zvracení, bolet kostí, zlomeniny těla obratlů a jiné. Zobrazovací metody pomocí nukleární medicíny se využívají pro lokalizaci, a to obvykle před druhou operací u perzistující formy. Nejčastěji se vyhotoví scintigrafie příštítných tělísek, ale může se použít i PET/CT pomocí cholinu. (Herrmann, 2020, s. 119-121)

Hyperthyreóza je stav, kdy dochází k nadbytku hormonů štítné žlázy, a následnému negativnímu účinku na lidský organismus. (Marek, 2017, s. 243) Nejčastější příčina hyperthyreózy je Gravesova-Basedowova choroba. Mezi další příčiny patří toxická polynodózní struma a toxický adenom. (Hána, 2019, s. 91) Příznaky můžeme rozdělit do skupin podle příčin. Příznaky spojené s nadbytkem hormonů jsou: zvýšené pocení, intolerance tepla, svalová slabost, únava, neklid. Dále se může u starších osob zhoršit angina pectoris, či supraventrikulární arytmie. Příznaky spojené s poruchou imunitního systému mohou být např. zarudnutí spojivek, tlak a bolest za očními bulby, rozšíření proximálních falang prstů, pretibilární myxedém a další. (Marek, 2017, s. 244-245) K úplné diagnostice se využívá scintigrafie štítné žlázy. (Herrmann, 2020, s. 135)

Hypothyreóza je stav způsobený nedostatkem thyroxinu, tento stav vzniká nedostatečnou sekrecí hormonů štítné žlázy. Příčiny vzniku můžeme dělit na periferní a centrální. Mezi periferní příčiny patří např. autoimunitní thyreoiditida se

strumou, nebo také bez strumy, dále nedostatek, či nadbytek jodu, prodělání autoimunitní tyreoiditidy, pooperační, poléková a jiné. Mezi centrální příčiny patří nádory, infekce traumata, vrozené defekty, a jiné. (Marek, 2017, s. 257) Mezi příznaky hypotyreózy v dětském věku patří zpomalení růstu a vývoje. (Hána, 2019, s.107) U malého vzrůstu se může dělat scintigrafie štítné žlázy jako průkaz štítné žlázy. (Herrmann, 2020, s. 201) U dospělých dochází ke zpomalení metabolických procesů, vzniku myxedému, dále se objevují příznaky jako zimomřivost, spavost, únava, apatie, zvyšující se hmotnost, zhrubnutí hlasu, vypadávání vlasů, zpomalený puls a zvýšený diastolický tlak, s vývojem perikardiálního výpotku. (Hána, 2019, s. 107) Jako doplnění k diagnostice se dá použít scintigrafie štítné žlázy. (Herrmann, 2020, s. 178)

Osteoporóza je onemocnění skeletu, které je charakteristické úbytkem kostní hmoty a zvýšenou křehkostí kostí z důvodu narušení mikroarchitektury kostní tkáně. (Marek, 2017, s. 607) Možné příznaky jsou bolesti zad, zlomeniny těla obratlů, zlomeniny femuru, a to především jeho proximálního konce. Pomocí kostní scintigrafie můžeme odhalit skryté zlomeniny, nebo určit jejich stáří, dále můžeme objevit i kostní metastázy. (Herrmann, 2020, s. 249)

Feochromocytom je nádor z chromafinních buněk, dochází u něj k trvalé nebo paroxysmální hypersekreci katecholaminů. Vyrůstat může ze dřene nadledvin, či z extramedulární tkáně sympatického či parasympatického nervového systému. (Hána, 2019, s. 156) Mezi příznaky řadíme tachykardii, neklid, hypertenzi, hyperglykémii, bolest hlavy, pocení, třes, retrosternální bolest. Záchvat hypertenze s bolestí hlavy, tachykardií a pocením je typický znak akutního rozvoje. (Herrmann, 2020, s. 260) Pokud jsou výsledky CT nebo MR negativní, lze použít i vyšetření nukleární medicíny, jako scintigrafii se ^{123}I – metajodbenzilguanidinem (MIBG) nebo ^{111}In -pentetreidem, či zobrazení pomocí PET. (Marek, 2017, s. 379-380)

Uzly ve štítné žláze mohou být způsobeny tyreoiditidou, různými malignitami, může jít o adenom příštítných tělísek, adenomatózní hyperplazii, cystu a jiné. Komplikace jsou pouze mechanického charakteru, jako je pocit tlaku, chrapot, polykací obtíže. Pro diagnostiku můžeme použít scintigrafii s použitím technecianu, či $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI. (Herrmann, 2020, s. 283-286)

Struma je jakékoliv zvětšení štítné žlázy. Jako příčina zvětšení může být autoimunitní onemocnění, nádor štítné žlázy, zánět, kongenitální defekt syntézy tyreoidálních hormonů či ukládání amyloidu. (Marek, 2017, s. 239) Můžou se vyskytnout příznaky jako šelest, bolestivost, polykací a dýchací obtíže, pocit tlaku a jiné. Pomocí scintigrafie hodnotíme především funkci a lokální vlastnosti vychytávání. (Herrmann, 2020, s. 306-310)

Při **virilizaci** dochází k hirsutismu s vývojem dalších sekundárních pohlavních znaků. Mezi jedny z příčin patří onemocnění kůry nadledvin, jako nádory produkující androgeny, vrozená adrenální hyperplazie nebo Cushingův syndrom. Dále můžou být příčinou polycystická ovaria nebo poruchy pohlavní diferenciacce. Při nádoru, či hyperplazii kůry nadledvin lze tento stav odhalit pomocí scintigrafie kůry nadledvin. (Herrmann, 2020, s. 331-333)

Medulární karcinom štítné žlázy se také může diagnostikovat pomocí scintigrafie štítné žlázy, při vyšetření dochází ke sníženému vychytávání radiofarmaka ve štítné žláze. (Herrmann, 2020, s. 212-213) U **karcinoidního syndromu** můžeme udělat scintigrafii s octreotidem a eventuelně i PET pro zjištění metastáz. Metastázy či nádory u endokrinních nádorů neprodukujících hormony můžeme zobrazit pomocí scintigrafie se somatostatinem a MIBG. (Herrmann, 2020, s. 239)

2.2 Radiofarmaka využívaná v endokrinologii

Podle účelu můžeme radiofarmaka rozdělit na diagnostické a terapeutické. Mezi diagnostické patří:

1. ^{18}F – FDG který je využívána k detekci nádorů s velkou spotřebou energie.
2. ^{18}F – FCH se jeví jako slibná a efektivní zobrazovací metoda pro lokalizaci hyperfunkční přístítné tkáně. Výkon ^{18}F – FCH na PET/CT byl lepší než standardní metody $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI, zejména u pacientů s mnohočetnými lézemi nebo hyperplazií. Nedostatečná dostupnost a náklady vážně omezují použití tohoto radiofarmaka.
3. ^{67}Ga citrát byl považován za hlavní radiofarmakum pro zobrazování nádorů a detekci zánětlivých míst. Je však velmi ovlivněn rozšířením hybridními systémy PET/CT.

4. Izotop ^{123}I s poločasem rozpadu 13,22 h se používá jako indikátor pro hodnocení anatomické a fyziologické funkce štítné žlázy. Je nejvhodnější izotop jódu pro diagnostické studium onemocnění štítné žlázy. Díky poločasu 13,2 hodin je ideální pro 24hodinový test absorpce jódu a také pro diagnostické skenování tkáně štítné žlázy. Zároveň dochází k menší radiační zátěži štítné žlázy.
5. ^{124}I lze použít k získání přímého obrazu štítné žlázy pomocí pozitronové emisní tomografie.
6. ^{123}I – MIBG se používá k zobrazení nádorů neuroendokrinního původu.
7. ^{111}In pentetretid je diagnostické radiofarmakum s indikací v diagnostice neuroendokrinních nádorů.
8. $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ - technecistan se používá hlavně při zobrazování štítné žlázy.
9. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI se používá při zobrazování příštítných tělísek. Původně se ale jednalo o radiofarmakum, které se používalo pro perfuzi myokardu a zobrazování prsou.
10. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - tektrotyd je radiofarmakum indikované k diagnostice patologických lézí, ve kterých jsou nadměrně exprimovány receptory somatostatinu jako: gastro-entero-pankreatický neuroendokrinní nádory; adenomy hypofýzy; nádory pocházející ze sympatického systému; feochromocytom, paraganglioma, neuroblastom a ganglioneurinom; a medulární karcinom štítné žlázy. (Piciu, 2017, s. 45-57)

3 Vyšetřovací metody nukleární medicíny v endokrinologii

3.1 Scintigrafie štítná žláza

Onemocnění štítné žlázy postihuje přibližně 5 % lidí ve vyspělých zemích, jejich výskyt ovlivňují různé faktory, ženy postihuje onemocnění štítné žlázy častěji než muži. Výskyt je dále ovlivněn věkem, nedostatečným zásobením jódem a selénem. V jisté míře je výskyt ovlivněn také genetickými faktory. (Kupka, 2015, s. 85) Porucha funkce štítné žlázy se může projevit v každém orgánu nebo systému těla a pokrýt celou řadu příznaků. Umístění štítné žlázy však umožňuje jednoduchou kontrolu a zjištění přítomnosti nemoci. (Piciu, 2017, s. 65-66)

Při scintigrafii štítné žlázy máme možnost rozlišit hormonálně aktivní a neaktivní části žlázy. (Koranda, 2017, s. 178) Pro zobrazování štítné žlázy se celosvětově používají dva typy scintigrafie. Scintigrafie ^{99m}Tc je levná a snadno dostupná pro zobrazování, scintigrafie ^{123}I je dražší a má také značné logistické problémy. (Baser, 2019, s. 901) Scintigrafie pomocí ^{99m}Tc -technecistan má ještě výhodu krátké retence ve žláze a absence β -záření. (Alswat, 2020, s. 4) ^{123}I se však může použít pro vyhledávání ektopicky uložené tyreoidální tkáně, a to tehdy, pokud scintografií pomocí technecistanu danou tkáň nenajdeme. $^{131}\text{I}^-$ je pro použití v diagnostice méně vhodný, jelikož emituje i záření β kterým je zvýšena radiční zátěž pacienta. (Koranda, 2017, s. 178-179) Diagnostická referenční úroveň technecistanu je 200 MBq, u ^{123}I je to 20 MBq a u ^{131}I je to 7 MBq. (MZČR, 2016, s. 288)

3.1.1 Scintigrafie štítné žlázy pomocí technecistanu ($^{99m}\text{TcO}_4^-$)

Příprava pacienta vyžaduje pouze v uplynulých 2-3 měsících nepožití abnormální množství léků s jódem a je potřeba aby nebylo ve štítné žláze uloženo nadbytečné množství neradioaktivního jodu. (Koranda, 2017, s. 179) Zvýšená pozornost by se měla klást na kojící matky, děti a potenciální expozice plodu. (Piciu, 2017, s. 76)

Patnáct minut po intravenózním podání radiofarmaka pořizujeme přední snímky krku pomocí gama kamery vybavené kolimátorem s paralelními otvory s vysokým rozlišením. (Giovanella, 2019, s. 2) Doba akvizice by měla být maximálně 10-15 minut, s tím, že je potřeba dosáhnout alespoň 200 000 impulzů. (MZČR, 2016, s. 289) Detektor by měl být co nejbližší krku pacienta. Během snímání bychom měli

označit i suprasternální zářez, a to pomocí bodového zdroje. Díky tomuto označení můžeme zpětně odhalit ektopicky uloženou štítnou žlázu. Můžeme udělat i snímky boční, či bočno-šikmé. (Piciu, 2017, s. 76)

Z hlediska radiační zátěže pacienta, je orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou horní část tlustého střeva, odhad dávky v orgánu s nejvyšší absorbovanou dávkou a odhad efektivní dávky lze stanovit vynásobením aplikovanou aktivitou radiofarmaka (MBq) s hodnotou střední absorbované dávky v orgánu ($\text{mGy} \cdot \text{MBq}^{-1}$) a hodnotou střední efektivní dávky radiofarmaka ($\text{mSv} \cdot \text{MBq}^{-1}$). Tyto hodnoty jsou $0,057 \text{ mGy} \cdot \text{MBq}^{-1}$ a $0,013 \text{ mSv} \cdot \text{MBq}^{-1}$. (MZČR, 2016, s. 289)

Typy nálezů:

Scintigrafie štítné žlázy poskytuje mapu fungujícího parenchymu štítné žlázy, včetně hypofunkčních uzlin („studené“ oblasti při skenování) nebo autonomně fungujících uzlin („horké“ oblasti při skenování, s variabilním příjmem v extranodulárním parenchymu štítné žlázy. - až do úplného potlačení). (Mariani, 2021, s. 4)

Tradičně je známo, že horké uzliny štítné žlázy jsou výhradně benigní léze, jako je folikulární adenom. Horké uzliny jsou mnohem méně časté než studené uzliny. Údaje v literatuře naznačují, že riziko malignity u pacientů s horkými uzlinami je podobné jako u studených uzlin, míra výskytu je v rozmezí 5 % - 15 % pro všechny tyroidní uzliny (Baser, 2019, s. 898-903)

Pokud dochází ke špatnému vylučování radiofarmaka v celé štítné žláze, nebo jen v části žlázy může jít o subakutní tyreoiditidu. I když subakutní tyreoiditida postihuje primárně jeden lalok štítné žlázy, může sken ukazovat zcela chybějící vylučování stopové látky v celé žláze, a to kvůli potlačeným hladinám TSH v důsledku tyreotoxické fáze onemocnění. (Mariani, 2021, s. 12)

Ektopická tkáň štítné žlázy (ETT) se vyskytuje v důsledku poruchy embryonálního vývoje štítné žlázy s neúplnou migrací tkáně štítné žlázy ze střední desky dna hltanu do jejího obvyklého místa. ETT je vzácná entita s odhadovanou prevalencí 1/100 000–300 000 v obecné populaci, která se zvyšuje na 1/4 000–8 000 u pacientů s dysfunkcí štítné žlázy. Mechanismy odpovědné za morfogenezi štítné žlázy ještě nebyly zcela objasněny. ETT postihuje hlavně mladé ženy a je často asymptomatická. V 90 % případů se ETT nachází na spodní části jazyka. Výskyt

dvou ektopických ložisek současně je obzvláště vzácný. Dvojitá ektopická štítná žláza je vzácná klinická entita, u které je vyžadována vysoká míra klinického podezření. (Matta-coelho, 2018)

3.1.2 Celotělová scintigrafie po aplikaci ^{131}I

Celotělová scintigrafie po aplikaci ^{131}I se může provádět jak po podání diagnostické dávky radiofarmaka, tak i po podání terapeutické dávky radiofarmaka ^{131}I . Při zobrazování za účelem diagnostickým může dojít k falešně pozitivním, či falešně negativním výsledkům, ale při zobrazování terapeutické dávky může nastat zlepšení detekce skutečných i falešných lézí. Snímáním pacienta za účelem lepší detekce vzdálených metastáz dochází k maximalizaci přínosu terapeutické dávky. Obecně platí, že v méně fungujících tkáních štítné žlázy dochází k menší odezvě na dávku tohoto radiofarmaka. (Al-shammer, 2017, s. 26) Detekce rekurentního onemocnění u pacientů s diferencovaným karcinomem štítné žlázy (DTC) může být náročná, a to hlavně u těch u kterých dochází ke zvýšení či neustálému stoupaní hladiny sérového thyroglobulinu (Tg) a zároveň s přítomností více negativních konvenčních zobrazovacích studií, a to především, pokud je negativní i skenování na PET/CT a to pomocí ^{18}F – FDG. (Wu, 2018, s. 57)

V průběhu let se časový interval mezi tyreoidektomií a adjuvantní radiojodová terapie (RITh) zkrátil. V současné době se RITh často podává 2–3 týdny po operaci. Příprava pacienta spočívá v nepřijímání jódu v jakékoliv formě. (Bacher, 2019, s. 631)

^{131}I je podáván perorálně, a to ve formě tablet. (Rudzki, 2019, s. 158) ^{131}I je zachycen ve všech buňkách štítné žlázy, které jsou v těle rozšířeny z diferencovaného karcinomu štítné žlázy. Celé tělo pacienta je zachyceno pohybem vyšetřovacího stolu. (Piciu, 2017, s. 108) Diagnostická referenční úroveň při podání diagnostické dávky radiofarmaka je 185 MBq. (MZČR, 2016, s. 290)

Příprava pacienta spočívá v nepřijímání jídla nejméně 6 hodin před aplikací radiofarmaka, vyhnutí se kontaktu s jódem, a to v různých formách jako jsou například kontrastní látky, dezinfekce, a také léky. Pozornost by se měla věnovat také blokování zachycování radiojodu, tato situace nastává při nedávném snímání pacienta pomocí ^{131}I . Úplnou kontraindikací pro podání radiofarmaka je těhotenství pacientky. (Piciu, 2017, s. 108) Z hlediska radiační zátěže pacienta je orgán s

nejvyšší absorbovanou dávkou močový měchýř, hodnota střední absorbované dávky v tomto orgánu je $0,61 \text{ mGy} \cdot \text{MBq}^{-1}$ a hodnota střední efektivní dávka je $0,061 \text{ mSv} \cdot \text{MBq}^{-1}$. (MZČR, 2016, s. 291)

K hodnocení přítomnosti rekurentního karcinomu štítné žlázy nebo přítomnosti vzdálených metastáz štítné žlázy lze použít postterapeutické a diagnostické skeny. Vyšší kvality obrazu nebo lepší detekce dalších lézí však lze v terapeutickém skenu dosáhnout zpožděným zobrazením o 4–7 dní. (Al-shammer, 2017, s. 25) Snímání pacienta probíhá 24 hodin po podání radiofarmaka a dále po 48 hodinách a po 72 hodinách. (Rudzki, 2019, s. 158)

Při podání jak diagnostické, tak terapeutické dávky radiofarmaka může nastat takzvaný stunning efekt, jde o menší počet terapeutických lézí při scintigrafii po podání terapeutické dávky oproti diagnostické scintigrafii. Tomu lze zabránit použitím nižší dávky pro diagnostické skenování, pokud se očekává, že terapeutická dávka bude podána krátce poté. Za tímto účelem by mohlo být užitečné vyhnout se jakémukoli množství jódu, ať už stabilního nebo nestabilního. (Al-shammer, 2017, s. 27)

Pacient je snímán vleže na zádech s mírným podložením krku. Snímání probíhá v přední a zadní projekci co nejbližší pacienta. Pokud je potřeba, lze snímky pořídít také v boční či šikmé projekci. (Piciu, 2017, s. 108-109) Doba akvizice celotělové scintigrafie v přední i zadní projekci při matici aspoň 768×256 je minimálně 30 minut, ale pokud je scintigrafie prováděna jako série statických scintigramů v přední i zadní projekci při matici 256×256 je minimální délka akvizice pro jeden scintigram 5-10 minut. (MZČR, 2016, s. 291)

Uvádí se, že vzdálené metastázy jsou hlavní příčinou úmrtí u pacientů s karcinomem štítné žlázy. Bylo prokázáno, že skenování celého těla I-131 je účinným nástrojem pro sledování karcinomu štítné žlázy. (Al-shammer, 2017, s. 25)

K celotělové scintigrafii dochází z důvodu posouzení odpovědi na terapii diferencovaného karcinomu štítné žlázy (DTC), správného stagingu DTC a také k hodnocení zbytkové tkáně štítné žlázy po operaci DTC. (Piciu, 2017, s. 108) Posouzení odpovědi probíhá až 6–9 měsíců po terapii radiojodem pomocí celotělové scintigrafie s použitím velmi nízkých aktivit. (Schmidt, 2018, s. 1200)

U vzniklých snímků se hodnotí přítomnost zbytku štítné žlázy v oblasti vyjmuté štítné žlázy, počet a umístění metastáz, absorpce v lymfatických uzlinách, oblasti přirozeného vychytávání radiofarmaka a oblasti s nejasným vychytáváním, u kterých je potřeba tuto záležitost objasnit. (Piciu, 2017, s. 109)

Fyziologicky se ^{131}I vychytává v centrální oblasti obličeje (v oblasti nosu a úst), ve slinných žlázách (příušní a submandibulární žlázy), v močovém měchýři, v žaludku, v tenkém střevě, v esovité kličce tlustého střeva a konečníku. Také můžeme zpozorovat slabé vychytávání celým tělem.

Patologicky se ^{131}I vychytává ve zbytku štítné žlázy v oblasti krku a v lymfatických uzlinách. Dále se může vychytávat v metastázách v plicích, v mozku a také v kostech. Dále jsou podezřelé všechny oblasti, kterými je radiofarmakum vychytáváno, a zároveň nejde o oblast s fyziologickým vychytáváním radiofarmaka. (Piciu, 2017, s. 109)

3.2 Scintigrafie příštítných tělísek

Primární hyperparatyreóza (PHPT) je nejčastější příčinou hypokalcémie u ambulantní populace. Ve většině případů je sporadická a příležitostně může být součástí familiárního syndromu, jako je mnohočetná endokrinní neoplazie (MEN1, MEN2 a MEN 4), hyperparatyreóza-syndrom čelistních nádorů (HPJT), familiární izolovaná hyperparatyreóza (FIHPT) a novorozenecké závažné hyperparatyreoidismus (NSHPT). Pokud se onemocnění neléčí, může pokračovat nefrokalcinózou a demineralizací kostí. (Aydın, 2019, s. 94-95) Při zjišťování anamnézy pacienta by se měl brát ohled na věk a pohlaví pacienta. Dále také na poruchy trávení, které mohou být způsobeny hyperkalcémií, rychlý vývoj osteoporózy, litiáza ledvin a žlučníku, která se vyskytuje při familiární agregaci. Pozor by se mělo dávat i na souvislosti patologií příštítných tělísek s jinými syndromy jako MEN I či MEN II. Pokud se objevuje rychlé zvětšování krční oblasti, dysfagie, chraptot nebo dušnost může jít symptomy poukazující na malignitu. (Piciu, 2017, s. 181-182)

Primární hyperparatyreóza (PHPT) je běžná endokrinní porucha, která se dnes nejčastěji objevuje u asymptomatických pacientů během jejich rutinních laboratorních prohlídek včetně měření kalcemie. Pacienti jsou během raného stadia nemoci odesíláni na paratyroidektomii. Tento trend vede k posunu chirurgického přístupu od bilaterálního průzkumu krku k miniinvazivní chirurgii. Tento méně

invazivní přístup je však vhodný pouze pro pacienty s úspěšně lokalizovaným solitárním adenomem. (Krcálová, 2019, s. 2) Kromě toho je paratyreoidektomie preferovanou léčbou pro případy jednoho adenomu, není vhodná pro multiglandulární onemocnění (tj. Mnohočetné adenomy nebo hyperplazie), které byly hlášeny u 15 až 20 % případů. Tito pacienti vyžadují zejména bilaterální vyšetření krku. (Ozderya, 2017, s. 1101-1102)

Dvě nejpoužívanější zobrazovací metody pro předoperační lokalizaci jsou ultrasonografie a scintigrafie pomocí ^{99m}Tc – MIBI. Citlivost skenování ^{99m}Tc – MIBI je vyšší v kombinaci se SPECT/CT. I když se v kombinaci používá SPECT/CT a ultrazvuk, dosáhne se 80%-90% citlivosti na lokalizaci paratyroidní léze či lézí. To znamená, že i když jsou použity tyto dvě metody, chirurg nebude schopen provádět miniinvazivní paratyreoidektomii (MIP) stále v 10 % - 20 % případů. (Aydın, 2019, s. 94-95) Doba akvizice je většinou 10 minut, nebo do dosažení požadovaného počtu impulzů, což je v tomto případě 400 000. (MZČR, 2016, s. 293)

Příprava pacienta spočívá pouze ve vysazení léků na osteoporózu, a to nejméně týden před vyšetřením. Dále by se měla klást zvýšená pozornost na kojící pacientky, děti a potenciální expozici plodu. (Piciu, 2017, s. 184)

3.2.1 Detekce adenomu příštítných tělísek pomocí dvoufázové scintigrafie

Pro scintigrafii příštítných tělísek se používá lipofilní kation označený ^{99m}Tc methoxyisobutilisonitril (^{99m}Tc – MIBI). Radiofarmakum je akumulován v tkáních s intenzivním oxidačním metabolismem, včetně štítné žlázy a příštítných tělísek. (Krcálová, 2019, s. 2) Diagnostická referenční úroveň tohoto radiofarmaka je 800 MBq. (MZČR, 2016, s. 292)

U dvoufázové scintigrafie příštítných tělísek se jako radiofarmakum používá ^{99m}Tc – MIBI. Pět až deset minut po aplikaci se začne snímat oblast krku, a to v přední a zadní projekci, případně můžeme doplnit také přední šikmé projekce. Poté následuje SPECT/CT oblasti krku a hrudníku. (Kushchayeva, 2019, s. 1052) Detektory se otáčejí kolem pacienta a snímá projekce po 3° a získáme tak 120 nebo 128 projekcí. (MZČR, 2016, s. 293) Při tomto snímání je scintilační kamera vybavena LEHR kolimátory. Přibližně po dvou hodinách se natáčí pozdní fáze, kde je opět použit LEHR kolimátor. Radiofarmakum se hromadí ve tkáni štítné žlázy a příštítných tělískách. Při této metodě se využívá rozdílného času vyplavování radiofarmaka

ze štítné žlázy a příštítných tělísek. Radiofarmakum déle setrvává v příštítných tělískách. Proto by při pozdní fázi měly být zobrazeny jen příštítná tělíska, to se však děje jen u 70-75 % případů. U některých se vyloučí radiofarmakum ze štítné žlázy a z příštítných tělísek zároveň, tento jev může vést k nejednoznačným nálezům, či k diagnostickému selhání. (Kushchayeva, 2019, s. 1052)

V mnoha případech je obtížné nebo dokonce nemožné odlišit paratyroidní léze od lézí štítné žlázy pomocí US i scintigrafie. ^{99m}Tc – MIBI se zpočátku koncentruje spíše v normální tkáni štítné žlázy a adenomech štítné žlázy než v příštítných tělískách a hyperplastických příštítných tělískách. Aktivita v normální tkáni štítné žlázy v průběhu času významně klesá, což může při scintigrafii způsobit falešně pozitivní nálezy hyperfunkční příštítné žlázy, pokud existuje pevný uzlík, jako je solitární adenom štítné žlázy nebo multinodulární struma. Kromě toho mohou maligní nádory a jejich metastázy v lymfatických uzlinách také způsobit falešně pozitivní výsledky. Naproti tomu malé adenomy příštítných tělísek nebo hyperplazie mohou způsobit falešně negativní výsledky. (Ozderya, 2017, s. 1102)

Negativní MIBI sken je definován jako absence ohniskového vychytávání na časných nebo pozdních snímcích. Neprůkazný MIBI sken je definován jako pouze vágní absorpce v měkké tkáni sousedící se štítnou žlázou nebo absorpce možná spojená s uzlinami štítné žlázy. (Liu, 2020, s. 6)

Při tomto vyšetření je orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou žlučník, hodnota střední efektivní dávky je $0,009 \text{ mSv} \cdot \text{MBq}^{-1}$. Hodnota střední absorbované dávky ve žlučníku je $0,039 \text{ mGy} \cdot \text{MBq}^{-1}$. (MZČR, 2016, s. 294)

3.2.2 Detekce adenomu příštítných tělísek pomocí subtrakce

Zobrazení ^{99m}Tc – MIBI v duálním bodě je založeno na výrazně zpožděném vymývání ^{99m}Tc – MIBI z hyperfunkční tkáně příštítných tělísek. Přesnost je zlepšena použitím subtrakční metody, kdy je od snímku s aplikací ^{99m}Tc – MIBI odečten snímek kde je použit jako radifarmakum technecistan. Technecistan je vychytáván pouze štítnou žlázou, takže by při odečtení těchto dvou snímků mělo dojít k zobrazení příštítných tělísek. (Krčálová, 2019, s. 2) Diagnostická referenční úroveň u ^{99m}Tc - technecistanu je 200 MBq a u ^{99m}Tc – MIBI je takto hodnota 800 MBq. (MZČR, 2016, s. 292)

Skeny štítné žlázy jsou získány 20 minut po intravenózním podání ^{99m}Tc -pertechnetátu. Následně je injikováno ^{99m}Tc – MIBI a 10 minut poté získáme raný planární snímek (od horního pólu průušných žláz po celé mediastinum). Poté jsou obě planární skenování odečtena. Pozdní skenování (pro posouzení vymývání) je získáno 2 hodiny po počátečním skenování ^{99m}Tc – MIBI. (Krčálová, 2019, s. 3) Můžeme použít i postup kdy bezprostředně před zahájením snímání štítné žlázy podáme pacientovi 400 mg chloristanu draselného, který zajistí rychlé vymývání pertechnetátu ze štítné žlázy a sníží jeho interferenci s ^{99m}Tc – MIBI. (Piciu, 2017, s. 185)

Radiační zátěž pacienta při tomto vyšetření je ovlivněna jak podáním $^{99m}\text{TcO}_4^-$ tak podáním ^{99m}Tc – MIBI. Radiační zátěž po podání ^{99m}Tc – MIBI byla popsána u dvoufázové scintigrafie štítných tělísek viz kapitola 3.2.1. Radiační zátěž po podání $^{99m}\text{TcO}_4^-$ byla popsána u scintigrafie štítné žlázy v kapitole 3.1.1. (MZČR, 2016, s. 294)

Nejsilnější korelace mezi výsledkem zobrazování a histopatologií byla pozorována v kombinaci US + SPECT / CT. (Özdemir, 2020, s. 23)

3.3 Detekce neuroendokrinních tumorů

Zobrazovací studie NET se obecně provádějí kvůli počátečnímu vyhodnocení rozsahu onemocnění a kvůli následnému sledování. Cílem počátečního zhodnocení je identifikace primárního nádoru, staging a plánování léčby. Další scintigrafická vyšetření provádíme kvůli kontrole po úplné resekci, nebo během období stability a také kvůli vyhodnocení odpovědi na léčbu. (Piciu, 2017, s. 218)

Neuroendokrinní nádory (NET) představují spektrum nádorů, které mohou vzniknout z různých částí těla a mají variabilitu v klinickém zobrazení. Často se dělí podle embryonálního původu na nádory předního, středního a zadního střeva. Nádory předního střeva se vyvíjejí v dýchacích cestách, brzlíku, žaludku, dvanáctníku a slinivce břišní; nádory středního střeva se vyvíjejí v tenkém střevě, slepém střevě, apendixu a ve vzestupném tračníku; tumory zadního střeva se vyvíjejí v příčném tračníku, sestupném tlustém střevě, sigmoidním tlustým střevě nebo konečníku. (Navalkissoor, 2017, s. 462)

Zobrazování NET se v současné době může provádět dvěma různými způsoby, buď použitím zobrazování pomocí PET, nebo SPECT. Pro zobrazování pomocí SPECT se už 2 desetiletí používá katecholaminový analog ^{123}I -metaiodobenzylguanidin (MIBG) a ligand somatostatinových receptorů ^{111}In -pentetretid. (Zhang-yin, 2017, s. 1230-1231) Na rozdíl od mnoha druhů rakoviny má velký podíl NET tendenci pomalu růst a není spojen se zvýšenou metabolickou aktivitou. Proto nejsou vizualizovány na PET/CT s použitím fludeoxyglukózy (FDG). (Navalkissoor, 2017, s. 462)

V době počátečního vyhodnocení se doporučují vyšetření jako RTG hrudníku, CT a MR břicha a pánve, a scintigrafické vyšetření pomocí ^{111}In – DTPA (OctreoScan) (Piciu, 2017, s. 218)

U pacientů, kteří jsou pod pravidelnou kontrolou po úplné resekci se doporučuje rentgen hrudníku a výpočetní tomografie a magnetická rezonance břicha a pánve každých 6-12 měsíců. (Piciu, 2017, s. 218-219)

Scintigrafii můžeme provést i u pacientů s dlouhodobě působícím oktretidem, ale nejlépe až na konci dávkového intervalu, což je přibližně 3-6 týdnů po poslední dávce. U pacientů, kterým je podáván octretid pomocí kontinuální infuzní pumpy se doporučuje jeho vysazení na 48 hodin před a během scintigrafií, pokud je to možné. (Piciu, 2017, s. 219)

Molekulární radioterapie je důležitou součástí léčby pacientů s neuroendokrinními tumory (NET). Výběr pacientů pro molekulární radioterapii NET je založen na vychytávání jejich radionuklidové zobrazovací studie. Zobrazovací činidlo má stejný mechanismus absorpce jako terapeutické činidlo. Zobrazovací studie tedy předem vybírá pacienty, u nichž je pravděpodobné, že koncentrují záření v nádorech. (Navalkissoor, 2017, s. 462)

3.3.1 Detekce neuroendokrinních tumorů pomocí ^{123}I – MIBG

Toto radiofarmakum se široce používá zejména pro zobrazování NET vylučujících katecholamin, jako je feochromocytom, paragangliom, neuroblastom a medulární karcinom štítné žlázy. (Arora, 2018, s. 153)

Zobrazování pomocí ^{123}I – MIBG má několik nevýhod, včetně omezeného prostorového rozlišení, omezené citlivosti u malých lézí a prodloužených akvizičních

relací. Většinu z těchto omezení lze překonat pomocí hybridního zobrazování pomocí SPECT / CT. (Bar-sever, 2018, s. 2010)

Příprava pacienta spočívá v zablokování štítné žlázy pomocí podání jodidu draselného (KI) nebo chloristanu draselného ($KClO_4$), a to 3x denně 1 den před podáním radiofarmaka a 2 dny po aplikaci radiofarmaka. To zabrání ozáření štítné žlázy v důsledku přítomnosti 3–5 % volného radiojodu v přípravku. (Agrawal, 2018, s. 2) Kontraindikací vyšetření je gravidita či laktace pacientky. (MZČR, 2016, s. 303-304)

O mnoha lécích je známo, že interferují s absorpcí a ukládáním MIBG, což má za následek změněnou biodistribuci, takže může interferovat se správnou interpretací studie. Je známo, že běžné léky, jako je pseudoefedrin, labetalol, fenothiaziny, stimulanty centrálního nervového systému (kokain, amfetamin), tricyklická antidepresiva, blokátory kalciových kanálů, sympatomimetika, antihistaminika, opioidní analgetika (Tramadol) a reserpin, by měly interferovat s MIBG a měly by být vysazeny před scintigrafií nebo terapií. Ty by měly být vysazeny po dobu 24–72 hodin. Několik neuroleptik, jako je haloperidol, flupentixol a fluphenazin, potřebuje vysadit po dobu 24 hodin až 1 měsíc. Je také známo, že potraviny obsahující vanilin a katecholamin, čokoládu a sýr s modrou plísní interferují s absorpcí MIBG a je třeba se jim před tímto druhem vyšetření vyhnout. (Agrawal, 2018, s. 2)

Radiofarmakum je podáváno intravenózně, a po 24 hodinách proběhne celotělová scintigrafie. Používá se nízkoenergetický kolimátor s paralelními otvory s vysokým rozlišením. Při celotělovém zobrazení je rychlost skenování přibližně 12 cm lidského těla za jednu minutu. Ihned po planárním zobrazení bylo provedeno SPECT/CT v oblastech hlavy a krku, hrudníku, nebo břicha. Oblast zájmu závisí na diagnóze pacienta. Pomocí metody SPECT bylo získáno 80 projekcí, s dobou akvizice 20 s na jednu projekci. (Kroiss, 2017, s. 359) Diagnostická referenční úroveň je 400 MBq. (MZČR, 2016, s. 303)

Kromě NET se radiofarmakum ^{123}I – MIBG fyziologicky absorbuje také v srdci, plicích, slinných žlázách, játrech, slezině, tlustém střevě a také v močovém měchýři. Uvádí se, že má celkovou citlivost přibližně 90 % a specificitu až 99 % pro detekci nádorů vznikajících z chromafinových buněk, jako je feochromocytom,

paragangliom a neuroblastom. Scintigrafie MIBG u karcinoidních nádorů však prokázala nižší senzitivitu než častěji používané ^{111}In -penteteotid. (Arora, 2018, s. 153)

Nejvyšší absorpce v nádorech je dosažena po 24–96 h. V těle není MIBG metabolizován a vylučuje se hlavně ledvinami glomerulární filtrací. Během prvních 24 hodin se přibližně 50% injikované aktivity vylučuje močí a přibližně 90 % se vyloučí za 4 dny po injekci u pacientů s normální funkcí ledvin. Velmi minimální množství se vylučuje stolicí, potem a slinami. (Agrawal, 2018, s. 1-2)

Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou jsou játra. Hodnota střední efektivní dávky je $0,013\text{mSv.MBq}^{-1}$. Hodnota střední absorbované dávky v játrech je $0,067\text{mGy.MBq}^{-1}$. (MZČR, 2016, s. 305)

3.3.2 Detekce neuroendokrinních tumorů pomocí zobrazení somatostatinových receptorů ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ – tektrodydem, ^{111}In – pentetretidem)

Scintigrafie somatostatinových receptorů (SSR) s jednofotonovou emisní počítačovou tomografií (SPECT) hraje klíčovou roli ve funkčním zobrazování NET. Jedná se o první způsob volby stagingu, lokalizace metastáz a hodnocení odpovědi po terapii. Použití hybridní metody SPECT/CT v kombinaci se SSR vytvořilo jednu z nejcitlivějších zobrazovacích metod pro detekci neuroendokrinních tumorů. (Arora, 2018, s. 153)

SSR jsou exprimovány v řadě normálních buněk, včetně hypofýzy, štítné žlázy, sleziny a ledvin. Kromě toho bylo zjištěno, že několik nádorů exprimuje SSR. Zejména bylo prokázáno, že NET mají vysoký výskyt a hustotu receptorů. Bylo identifikováno pět podtypů somatostatinových receptorů, nejvíce nadměrně exprimovaným somatostatinovým receptorem je podtyp-2. (Navalkisoor, 2017, s.463)

OctreoScan je firemní název neaktivní substance která je následně radioaktivně značena, tato substance je analog somatostatinu indikovaný pro scintigrafickou lokalizaci neuroendokrinních nádorů nesoucích receptory somatostatinu. (Piciu, 2017, s. 220)

^{111}In -pentetretid

Scintigrafie pomocí ^{111}In -pentetreotid je již několik let uznáván jako zlatý standardní postup v diagnostických zobrazovacích studiích pro NET. Důvody jejího úspěchu, i v současnosti, spočívaly ve vysoké citlivosti a spolehlivosti této metody, která se nedávno zlepšila díky dostupnosti hybridního SPECT / CT, jak pro lokalizaci a staging tumoru, tak pro sledování. (Cuccurullo, 2017, s. 52)

Příprava pacienta spočívá v premedikaci lexativy, může být i podán nálev, který přispívá ke zvýšení přehlednosti snímání v oblasti břicha a zároveň snižuje radiační zátěž tlustého střeva. Je potřeba přijímat dostatečné množství tekutin, a to jak před podáním radiofarmaka, tak i jeden den po aplikaci. Jako kontraindikace je brána gravidita, či laktace pacientky. (MZČR, 2016, s. 301)

Radiofarmakum je podáno intravenózně, první scintigrafie probíhá až po čtyřech až šesti hodinách. Pozdní snímky mohou být pořízeny po 24 hodinách nebo i po 48-72 hodinách. (Hasegawa, 2017, s. 14) Diagnostická referenční úroveň tohoto radiofarmaka je 190 MBq. (MZČR, 2016, s. 301) Pacient při scintigrafii leží na zádech. Při tomto vyšetření se použije kolimátor MEGP, a dochází k celotělové scintigrafii v přední i zadní projekci, kdy rychlost celotělové scintigrafie je přibližně 3 cm/min. Mohou být pořízené i scintigramy v boční projekci, a to zaměřené na oblast hlavy, hrudníku a břicha. Při použití SPECT se zaznamenává 36 projekcí každá po 10°. (Kanzaki, 2020, s. 9-10)

Toto radiofarmakum používáme za účelem zobrazení neuroendokrinních gastroenteropankreatických nádorů, karcinoidních nádorů nesoucích receptory, dále k diagnostice karcinoidů, gastrinomu, karcinomu buněk Langerhansových ostrůvků, glukagonomu, inzulinomu, VIPomu a motilinomu. (Piciu, 2017, s. 220)

Pokud by nedošlo k absorpci radiofarmaka, není dále doporučeno pokračovat léčbou analogy somatostatinu. (Piciu, 2017, s. 220)

Jeho celková hlášená citlivost je 80 % až téměř 100 % pro karcinoidy a 60 – 90 % pro pankreatický NET, většinou v závislosti na typu nádoru a velikosti léze. (Arora, 2018, s. 154)

Z hlediska radiační zátěže je orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou slezina. Hodnota střední efektivní dávky je $0,054 \text{ mSv} \cdot \text{MBq}^{-1}$ a střední hodnota absorbované dávky ve slezině je $0,57 \text{ mGy} \cdot \text{MBq}^{-1}$. (MZČR, 2016, s. 302-303)

^{99m}Tc -tektrotyd

^{99m}Tc tektrotyd je radiofarmakum, které je indikováno k diagnostice patologických lézí, ve kterých jsou nadměrně exprimovány receptory somatostatinu, zejména podtyp 2 a v menší míře i podtypy 3 a 5) (Piciu, 2017, s. 220-221)

Fyzikální vlastnosti ^{99m}Tc -tektrotyd významně zlepšují kvalitu zobrazování ve srovnání s ^{111}In -pentreotidem. V současné době je standardem zobrazování použití techniky celotělového SPECT, včetně získání SPECT/CT pro korekci rozptylu a pro strukturální lokalizaci pomocí CT. Studie je prováděna se strukturami podobnými technice PET. Několik vědeckých zpráv prokázalo vyšší citlivost scintigrafického vyšetření při použití ^{99m}Tc – *HYNICTOC* ve srovnání s ^{111}In -pentreotidem. ^{99m}Tc – *HYNICTOC* (Tektrotyd) má následující kladné vlastnosti: kratší doba vyšetření, nižší dávka absorbovaná pacientem a mnohem větší dostupnost, s možností vyšetření pacientů prakticky každý den. (Kos-kudła, 2017, s. 123)

Příprava pacienta spočívá v doporučení zůstat jeden den před vyšetřením na lehké stravě, a v den vyšetření nejíst až do konce scintigrafie. Příprava pacienta může být také ovlivněna použitým protokolem pro dané vyšetření a na lokalizaci zobrazených lézí. Například optimální zobrazení břišní dutiny se nejlépe dosáhne po podávání tekuté stravy 2 dny před vyšetřením. (Piciu, 2017, s. 221)

^{99m}Tc -tektrotyd je podáván intravenózně. Pacient při vyšetření leží na zádech. Celotělové snímky byly získány mezi hodinou a třemi hodinami od aplikace radiofarmaka. (Kolasińska-ćwikła, 2019, s. 3) Pro snímání je použit kolimátor LEHR. Vyšetření by se mělo provádět jako celotělové, a to v přední i zadní projekci. Může být i zaznamenán scintigram v boční projekci, a to v oblasti hlavy a krku, hrudníku a břicha. (Piciu, 2017, s. 221) SPECT můžeme použít v oblastech zájmu, nastavíme ho na otáčení přibližně po pěti stupních a získáme přibližně 64 projekcí. K lepšímu rozlišení a citlivost můžeme použít i SPECT/CT. (Kolasińska-ćwikła, 2019, s. 3)

Toto radiofarmakum se používá při scintigrafii za účelem diagnostiky gastroenteropankreatických neuroendokrinních nádorů, adenomů hypofýzy, nádorů pocházejících ze synaptického systému, medulárního karcinomu štítné žlázy. Potencionálně může být užitečný i v případě jiných nádorů exprimujících somatostatinové receptory. Další nádory s vyšší expresí somatostatinových receptorů mohou být sarkom, karcinom ledvin, rakovina prsu, lymfomy, melanom,

diferencovaný karcinom štítné žlázy, rakovina prostaty, nemalobuněčný karcinom plic, rakovina vaječníků, meningiom a astrocytom. (Piciu, 2017, s. 221-222)

Pokud by v dané oblasti nedošlo k absorpci ^{99m}Tc – tektrotydu, není při léčbě doporučené používat analogy somatostatinu. V porovnání s detekcí pomocí ^{111}In – pentetrotidem, jehož neaktivní substance má firemní název OctreoScan, jsou výsledky detekcí srovnatelné. Ale při použití ^{99m}Tc -tektrotydu dochází k nižší radiační zátěži, lepší dozimetrii a větší dostupnosti. (Piciu, 2017, s. 222)

Závěr

V nukleární medicíně dochází k neustálému vývoji nových diagnostických metod. Hledají se stále nová radiofarmaka, která by mohla zobrazovat různé typy tkání, mohla by snižovat radiační zátěž pacienta a zároveň zachovat diagnostickou výpověď snímaného obrazu bez prodlužování doby akvizice. V bakalářské práci jsem se hlavně zaměřila na vyšetření, která se provádí na Klinice nukleární medicíny v Olomouci. Existují ještě další metody a radiofarmaka, která se používají v diagnostice, například metody používající PET/CT, ale tyto metody nejsou předmětem této bakalářské práce.

V první kapitole jsem se zaměřila na obecné principy nukleární medicíny, které jsou základem pro pochopení problematiky a orientaci se diagnostických metodách. Druhá kapitola je zaměřená na přehled jednotlivých poruch endokrinního systému, které se mohou odhalit pomocí nukleární medicíny. V třetí kapitole se přímo zaměřuji na jednotlivá vyšetření, na přípravu pacienta, radiační zátěž, kontraindikace i indikace.

V úvodu této práce jsem si stanovila za cíl sumarizovat informace o radiodiagnostických metodách různých poruch endokrinního systému. Z hlediska endokrinologie je jeden z nejčastěji vyšetřovaných orgánů na klinikách nukleární medicíny štítná žláza. Štítná žláza má hned několik radiofarmak, které se v ní fyziologicky vychytávají. Dále se na klinikách nukleární medicíny vyšetřují příštítná tělíka, která se vyšetřují pomocí subtrakční scintigrafie, nebo dvoufázové scintigrafie. U obou těchto metod se využívá jako radiofarmakum $^{99m}\text{Tc} - \text{MIBI}$ ale u každého je využití trochu jiné. Dále se mohou zobrazovat i neuroendokrinní tumory. Avšak běžně se neprovádí scintigrafie kůry ani dřeně nadledvin, a proto tyto metody nemám v práci zahrnuty. Pro vyšetření hypotalamo-hypofyzárního systému nemáme v současné době vhodná radiofarmaka.

Tato přehledová bakalářská práce by mohla přispět studentům radiologické asistence v pochopení dané problematiky a prohloubení vědomostí o spojení endokrinologie s nukleární medicínou.

Referenční seznam

AGRAWAL, A., V. RANGARAJAN, S. SHAH, A. PURANIK a N. PURANDARE. 2018. MIBG (metaiodobenzylguanidine) theranostics in pediatric and adult malignancies. *The British journal of radiology* [online]. **91**(1091): 20180103 [cit. 2021-04-24]. DOI: 10.1259/bjr.20180103. ISSN 1748880X.

AL-SHAMMER, Iman, Saad Al-Deen MAHMOOD, Shihab AL-MOHANNADI a Nasser BALLANI. 2017. COMPARISON BETWEEN RADIOIODINE THERAPEUTIC AND DIAGNOSTIC WHOLE BODY SCANS IN POSTOPERATIVE DIFFERENTIATED THYROID CARCINOMA PATIENTS. *Lebanese Medical Journal* [online]. **65**(1): 25 [cit. 2021-04-08]. ISSN 00239852. Dostupné z: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=14&sid=6c22915f-8901-43e1-a9d8-c8aa94357b5b%40pdc-v-sessmgr01>

ALSWAT, K., S. A. ASSIRI, Althaqafi RMM, A. ALSUFYANI, A. ALTHAGAFI, S. ALREBAIEE a N. ALSUKHAYRI. 2020. Scintigraphy evaluation of hyperthyroidism and its correlation with clinical and biochemical profiles. *BMC research notes* [online]. **13**(1): 324 [cit. 2021-03-29]. DOI: 10.1186/s13104-020-05164-5. ISSN 17560500. Dostupné na internete: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=21&sid=ddf6e48b-0952-47e5-af82-56532c668f89%40sessionmgr102>

ARORA, G. a G. BANDOPADHYAYA. 2018. Paradigm shift in theranostics of neuroendocrine tumors: conceptual horizons of nanotechnology in nuclear medicine. *Annals of nuclear medicine* [online]. **32**(3): 151-164 [cit. 2021-04-16]. DOI: 10.1007/s12149-018-1235-2. ISSN 18646433. Dostupné na internete: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=12&sid=aa3b7ffc-4aef-4ad0-8209-350e77aa6a3c%40sessionmgr101>

AYDIN, C., S. B. POLAT, F. D. DELLAL, et al. 2019. The diagnostic value of parathyroid hormone washout in primary hyperparathyroidism patients with negative or equivocal 99 m Tc-MIBI results. *Diagnostic cytopathology* [online]. **47**(2): 94-99 [cit. 2021-03-15]. DOI: 10.1002/dc.24065. ISSN 10970339. Dostupné na internete: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=25913c81-03d9-4c1a-a901-937e2e2e6765%40sdc-v-sessmgr01>

BACHER, R., M. HOHBERG, M. DIETLEIN, M. WILD, C. KOBE, A. DRZEZGA a M. SCHMIDT. 2019. Thyroid Uptake and Effective Half-Life of Radioiodine in Thyroid Cancer Patients at Radioiodine Therapy and Follow-Up Whole-Body Scintigraphy Either in Hypothyroidism or Under rhTSH. *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine* [online]. **60**(5): 631-637 [cit. 2021-04-07]. DOI: 10.2967/jnumed.118.217638. ISSN 15355667. Dostupné na internete: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=47419321-f625-4709-a1e8-880b5b0f9576%40sdc-v-sessmgr02>

BAR-SEVER, Z., L. BIASSONI, B. SHULKIN, et al. 2018. Guidelines on nuclear medicine imaging in neuroblastoma. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging* [online]. **45**(11): 2009-2024 [cit. 2021-04-16]. DOI: 10.1007/s00259-018-4070-8. ISSN 16197089. Dostupné na internete: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=e9c51a83-1ff3-432b-b2f8-a735059d6796%40sdc-v-sessmgr03>

BASER, H., O. TOPALOGLU, M. C. BILGINER, S. ULUSOY, A. KILICARSLAN, E. OZDEMIR, R. ERSOY a B. CAKIR. 2019. Are cytologic and histopathologic features of hot thyroid nodules different from cold thyroid nodules? *Diagnostic cytopathology* [online]. **47**(9): 898-903 [cit. 2021-03-28]. DOI: 10.1002/dc.24251. ISSN 10970339. Dostupné na internete: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=1f824dea-c0dc-40e1-b3a0-286c8af5a278%40sdc-v-sessmgr01>

CUCCURULLO, V. a L. MANSI. 2017. Radioguided surgery with radiolabeled somatostatin analogs: not only in GEP-NETs. *Nuclear medicine review. Central* [online]. **20**(1): 49-56 [cit. 2021-04-16]. DOI: 10.5603/NMR.2017.0003. ISSN 16444345. Dostupné na internete: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=22&sid=8681e1c7-913a-426c-903f-86bb4c6a39cc%40sessionmgr101>

GIOVANELLA, Luca, Gaetano PAONE, Teresa RUBERTO, Luca CERIANI a Pierpaolo TRIMBOLI. 2019. 99mTc-Perchnetate Scintigraphy Predicts Successful Postoperative Ablation in Differentiated Thyroid Carcinoma Patients Treated with Low Radioiodine Activities. *Endocrinology* [online]. **34**(1): 63-69 [cit. 2020-02-27]. DOI: 10.3803/EnM.2019.34.1.63. ISSN 2093596X. Dostupné na internete:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=135807749&lang=cs&site=ehost-live>

HÁNA, Václav, [2019]. *Endokrinologie pro praxi*. 2. aktualizované vydání. Praha: Maxdorf. Jessenius. ISBN 978-80-7345-625-2.

HASEGAWA, S., N. KOBAYASHI, M. TOKUHISA, et al. 2017. Clinical Usefulness of Somatostatin Receptor Scintigraphy in Japanese Patients with Gastroenteropancreatic Neuroendocrine Tumors. *Digestion* [online]. **96**(1): 13-20 [cit. 2021-04-16]. DOI: 10.1159/000470838. ISSN 14219867. Dostupné na internete: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=8681e1c7-913a-426c-903f-86bb4c6a39cc%40sessionmgr101>

HERRMANN, Frank, Peter MÜLLER, Tobias LOHMANN a Henri WALLASCHOFKI. 2020. *Endokrinologie pro praxi: diagnostika a léčba od A do Z*. 7. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-1040-7.

KANZAKI, T., Y. TAKAHASHI, T. HIGUCHI, X. ZHANG, N. MOGI, T. SUTO a Y. TSUSHIMA. 2020. Evaluation of a Correction Method for 111 In-Pentetreotide SPECT Imaging of Gastroenteropancreatic Neuroendocrine Tumors. *Journal of nuclear medicine technology* [online]. **48**(4): 326-330 [cit. 2021-04-16]. DOI: 10.2967/jnmt.120.249680. ISSN 15355675.

KOLASIŃSKA-ĆWIKŁA, A. D., S. J. KONSEK, J. R. BUSCOMBE, et al. 2019. The Value of Somatostatin Receptor Scintigraphy (SRS) in Patients with NETG1/G2 Pancreatic Neuroendocrine Neoplasms (p-NENs). *Nuclear medicine review. Central* [online]. **22**(1): 1-7 [cit. 2021-04-17]. DOI: 10.5603/NMR.a2018.0032. ISSN 16444345. Dostupné na internete: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=40&sid=8681e1c7-913a-426c-903f-86bb4c6a39cc%40sessionmgr101>

KORANDA, Pavel. 2017. *Nukleární medicína*. Dotisk 1. vydání z roku 2014. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4031-6.

KOS-KUDŁA, B., J. Blicharz-Dorniak, J. Strzelczyk, et al. 2017. Diagnostic and therapeutic guidelines for gastro-entero-pancreatic neuroendocrine neoplasms (recommended by the Polish Network of Neuroendocrine Tumours). *Endokrynologia*

Polska [online]. **68**(2): 79-110 [cit. 2021-04-17]. DOI: 10.5603/EP.2017.0015. ISSN 22998306.

KRAFT, Otakar a Martin HAVEL. 2020. *Nukleární medicína pro studenty se specifickými potřebami*. Ostrava: Ostravská univerzita. ISBN 978-80-7599-084-6.

KRČÁLOVÁ, E., J. HORÁČEK, E. NOVÁKOVÁ, et al. 2019. Dual Tracer 99mTc-Pertechnetate/99mTc-MIBI Dual-Time-Point SPECT/CT Parathyroid Gland Assessment Regarding to Parathyroid Gland Size and Biochemical Parameters - Two Years Single Imaging Centre Experience. *Acta medica (Hradec Kralove)* [online]. **62**(1): 1-5 [cit. 2021-03-30]. DOI: 10.14712/18059694.2019.38. ISSN 18059694. Dostupné na internete: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=29e49334-da80-4ed3-8e2e-64f945287a89%40sdc-v-sessmgr01>

KROISS, A. S., C. UPRIMNY, B. L. SHULKIN, et al. 2017. Compared to 123 I-MIBG SPECT/CT, 18 F-DOPA PET/CT provides accurate tumor extent in patients with extra-adrenal paraganglioma. *Annals of nuclear medicine* [online]. **31**(5): 357-365 [cit. 2021-04-16]. DOI: 10.1007/s12149-017-1162-7. ISSN 18646433. Dostupné na internete: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=8&sid=e9c51a83-1ff3-432b-b2f8-a735059d6796%40sdc-v-sessmgr03>

KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0168-9.

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

KUSHCHAYEVA, Y. S., S. H. TELLA, S. V. KUSHCHAYEV a K. KULKARNI. 2019. Comparison of hyperparathyroidism types and utility of dual radiopharmaceutical acquisition with Tc99m sestamibi and 123 I for localization of rapid washout parathyroid adenomas. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* [online]. **30**(5): 1051-1057 [cit. 2021-04-04]. DOI: 10.1007/s00198-019-04846-6. ISSN 14332965. Dostupné na internete:

<http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=a96638a3-13a9-44e0-b3ce-5762a05a435a%40sessionmgr4006>

LIU, Y., Y. DANG, L. HUO, et al. 2020. Preoperative Localization of Adenomas in Primary Hyperparathyroidism: The Value of 11 C-Choline PET/CT in Patients with Negative or Discordant Findings on Ultrasonography and 99m Tc-Sestamibi SPECT/CT. *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine* [online]. **61**(4): 584-589 [cit. 2021-04-04]. DOI: 10.2967/jnumed.119.233213. ISSN 15355667. Dostupné na internete: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=8&sid=bbd54b8e-2538-4bed-be1d-ca3031016385%40sessionmgr4007>

MAREK, Josef a Václav HÁNA, [2017]. *Endokrinologie*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-4843.

MARIANI, G., M. TONACCEHRA, M. GROSSO, et al. 2021. 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]. [cit. 2021-03-29]. DOI: 10.2967/jnumed.120.251504. ISSN 15355667. Dostupné na internete: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=8&sid=ddf6e48b-0952-47e5-af82-56532c668f89%40sessionmgr102>

MATTA-COELHO, C., S. DONATO, M. CARVALHO a H. VILAR. 2018. Dual ectopic thyroid gland. *BMJ case reports* [online]. **2018**: 1-2 [cit. 2021-03-15]. DOI: 10.1136/bcr-2018-225506. ISSN 1757790X. Dostupné na internete: <https://www.proquest.com/docview/2115630099/fulltextPDF/3DF4791796404710PQ/1?accountid=16730>

MZČR. 2016. *Věstník MZ ČR*. Praha, 364 s. Dostupné na internete: <https://www.mzcr.cz/vestnik/vestnik-c-2-2016/>

NAVALKISSOOR, S., G. FLUX a J. BOMANJI. 2017. Molecular radiotheranostics for neuroendocrine tumours. *Clinical medicine (London, England)* [online]. **17**(5): 462-468 [cit. 2021-04-16]. DOI: 10.7861/clinmedicine.17-5-462. ISSN 14734893. Dostupné na internete:

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=a86e28c9-d1e8-4695-905b-71c383afcf1%40pdc-v-sessmgr01>

ÖZDEMİR, E., M. GENÇ, U. AYDOS, Polat ŞB, Z. KANDEMİR, A. A. TAM, N. YILDIRIM a Türkölmez Ş. 2020. Comparison of 99m Tc-MIBI planar scintigraphy, SPET/CT and ultrasonography in detection of parathyroid adenoma in patients with primary hyperparathyroidism. *Hellenic journal of nuclear medicine* [online]. **23**(1): 21-26 [cit. 2021-04-04]. DOI: 10.1967/s002449912002. ISSN 17905427. Dostupné na internete:

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=51eda003-2f14-4caa-bafc-87f0b80da9ea%40pdc-v-sessmgr02>

OZDERYA, A., S. TEMIZKAN, K. CETIN, S. OZUGUR, A. E. GUL a K. AYDIN. 2017. THE RESULTS OF PARATHYROID HORMONE ASSAY IN PARATHYROID ASPIRATES IN PRE-OPERATIVE LOCALIZATION OF PARATHYROID ADENOMAS FOR FOCUSED PARATHYROIDECTOMY IN PATIENTS WITH NEGATIVE OR SUSPICIOUS TECHNETIUM-99M-SESTAMIBI SCANS. *Endocrine practice: official journal of the American College of Endocrinology and the American Association of Clinical Endocrinologists* [online]. **23**(9): 1101-1106 [cit. 2021-03-15]. DOI: 10.4158/EP171921.OR. ISSN 1530891X. Dostupné na internete:

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=28&sid=9045e4bc-27bc-4a93-871f-f3d5bd965407%40pdc-v-sessmgr03>

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

RUDZKI, G. M., M. LENART-LIPIŃSKA, A. SMOLEŃ, B. E. CHRAPKO a B. MATYJASZEK-MATUSZEK. 2019. Subclinical hyperthyroidism in the course of autonomous nodules - clinical evaluation. *Endokrynologia Polska* [online]. **70**(2): 157-164 [cit. 2021-04-08]. DOI: 10.5603/EP.a2018.0088. ISSN 22998306. Dostupné na internete:

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=9&sid=6c22915f-8901-43e1-a9d8-c8aa94357b5b%40pdc-v-sessmgr01>

SCHMIDT, M., R. GÖRGES, A. DRZEZGA a M. DIETLEIN. 2018. A Matter of Controversy: Is Radioiodine Therapy Favorable in Differentiated Thyroid Carcinoma? *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine* [online].

59(8): 1195-1201 [cit. 2021-04-08]. DOI: 10.2967/jnumed.117.191338. ISSN 15355667. Dostupné na internete: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=5&sid=6c22915f-8901-43e1-a9d8-c8aa94357b5b%40pdc-v-sessmgr01>

WU, D., D. YLLI, W. LEE, K. D. BURMAN a L. WARTOFSKY. 2018. Use of 99m Tc-sestamibi SPECT/CT when conventional imaging studies are negative for localizing suspected recurrence in differentiated thyroid cancer: a method and a lesson for clinical management. *Endocrine* [online]. **62(1):** 57-63 [cit. 2021-04-06]. DOI: 10.1007/s12020-018-1636-y. ISSN 15590100. Dostupné na internete: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=dabd1d3c-63ff-444b-84b3-c0f7feaf0935%40pdc-v-sessmgr02>

ZHANG-YIN, J., A. S. DIRAND, M. SASANELLI, et al. 2017. Equivalent Dose Rate 1 Meter from Neuroendocrine Tumor Patients Exiting the Nuclear Medicine Department After Undergoing Imaging. *Journal of nuclear medicine: official publication, Society of Nuclear Medicine* [online]. **58(8):** 1230-1235 [cit. 2021-04-16]. DOI: 10.2967/jnumed.116.187138. ISSN 15355667. Dostupné na internete: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=fba650cb-32e3-46ef-b365-f52a97d59c92%40pdc-v-sessmgr03>

Seznam zkratek

ACTH	adrenokortikotropní hormon
CT	výpočetní tomografie
DTC	diferencovaným karcinomem štítné žlázy
ETT	ektopická tkáň štítné žl
FIHPT	familiární izolovaná hyperparatyreóza
HPJT	hyperparatyreóza-syndrom čelistních nádorů
LEHR	Nízkoenergetický kolimátor s vysokým rozlišením
MBq	megabequerel
MEGP	kolimátor na střední energie
MEN 1,2,4	mnohočetná endokrinní neoplazie
mGy	miligray
MIP	miniinvazivní paratyroidektomii
MR	magnetická rezonance
mSv	milisievert
NET	neuroendokrinní tumor
NSHPT	novorozenecké závažné hyperparatyreoidismus
PET	pozitronová emisní tomografie
PHPT	primární hyperparatyreóza
PTH	parathormon
RITh	radiojodová terapie
RTG	rentgen
SPECT	jednofotonová emisní tomografie
SSR	Scintigrafie somatostatinových receptorů

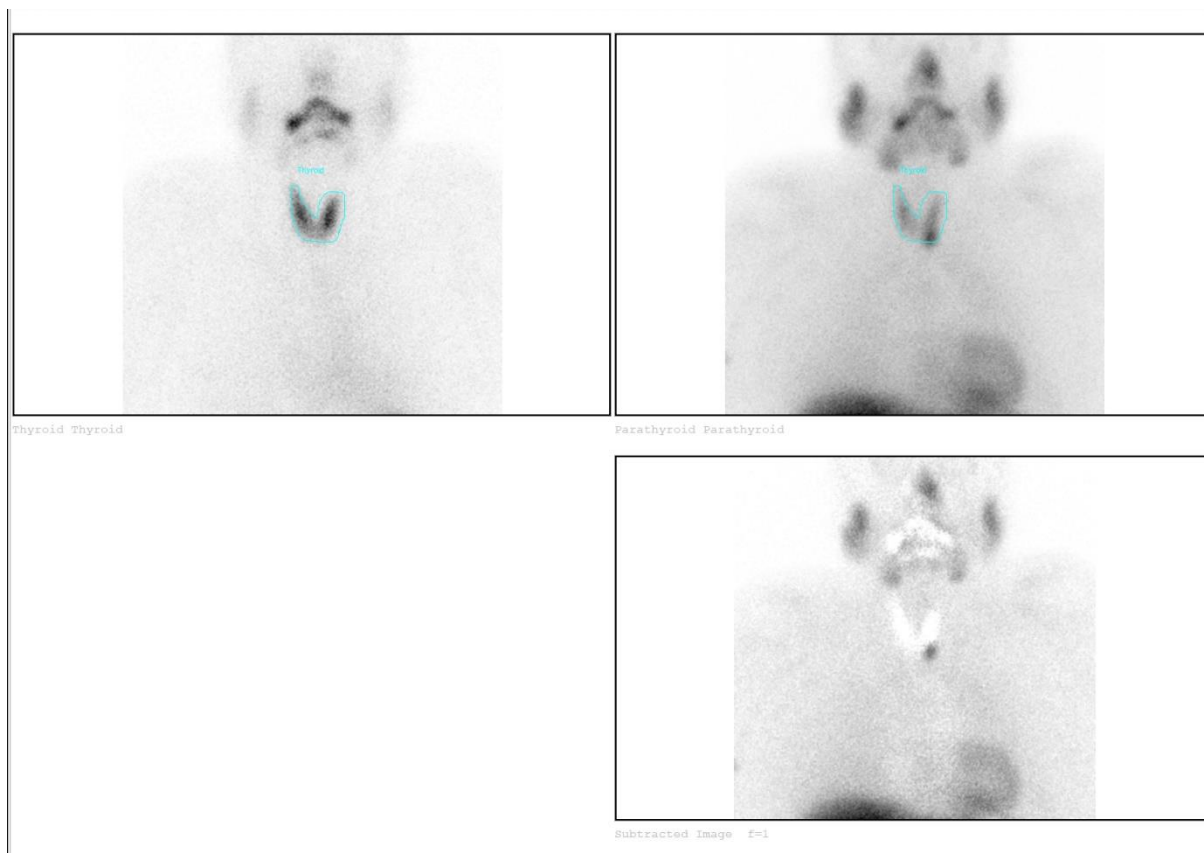
Tg	thyroglobulinu
TSH	tyreotropní hormon
US	ultrasonografie

Seznam příloh

Příloha č. 1: Scintigrafie příštítných tělísek pomocí subtrakce	42
Příloha č. 2: Scintigrafie příštítných tělísek	43
Příloha č. 3: SPECT/CT příštítných tělísek	44
Příloha č. 4: Detekce neuroendokrinních tumorů pomocí ^{123}I – <i>MIBG</i>	45
Příloha č. 5: SPECT/CT pomocí radiofarmaka ^{123}I – <i>MIBG</i>	46
Příloha č. 6: SPECT/CT neuroendokrinních tumorů pomocí $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tektrotyd	47

Obrazová příloha

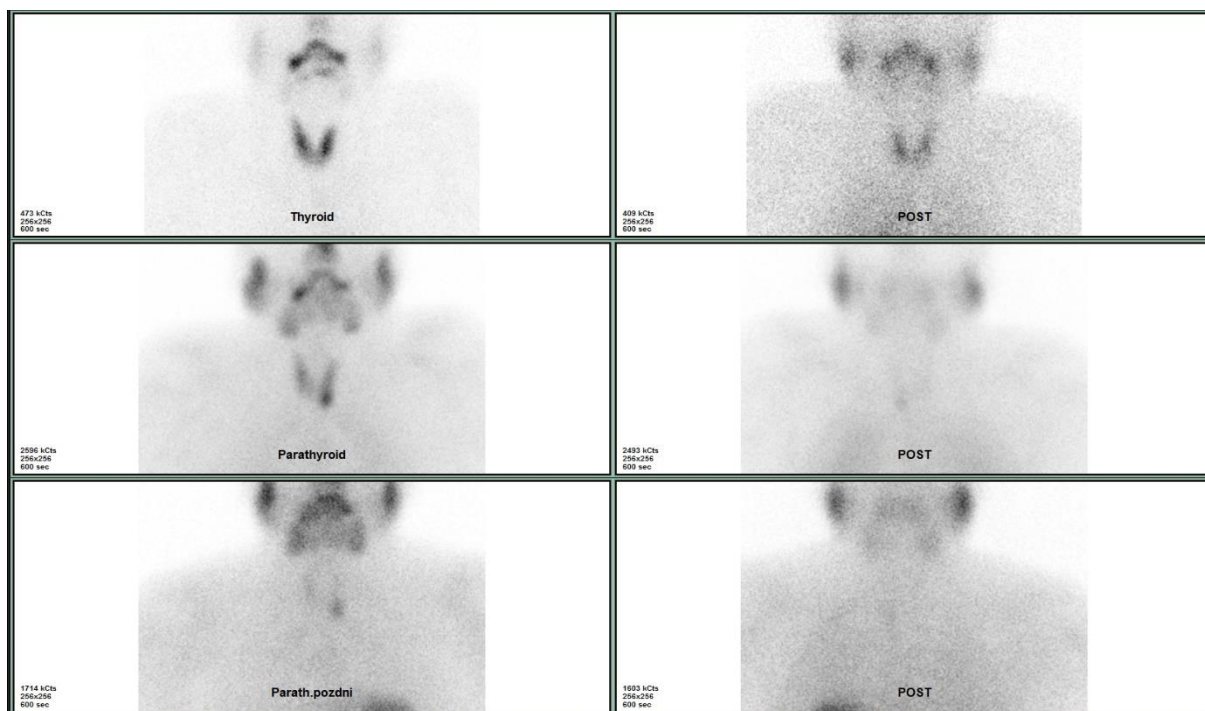
Příloha 1



Obrázek 1: Scintigrafie příštítných tělísek pomocí subtrakce

Zdroj: archív FNOL

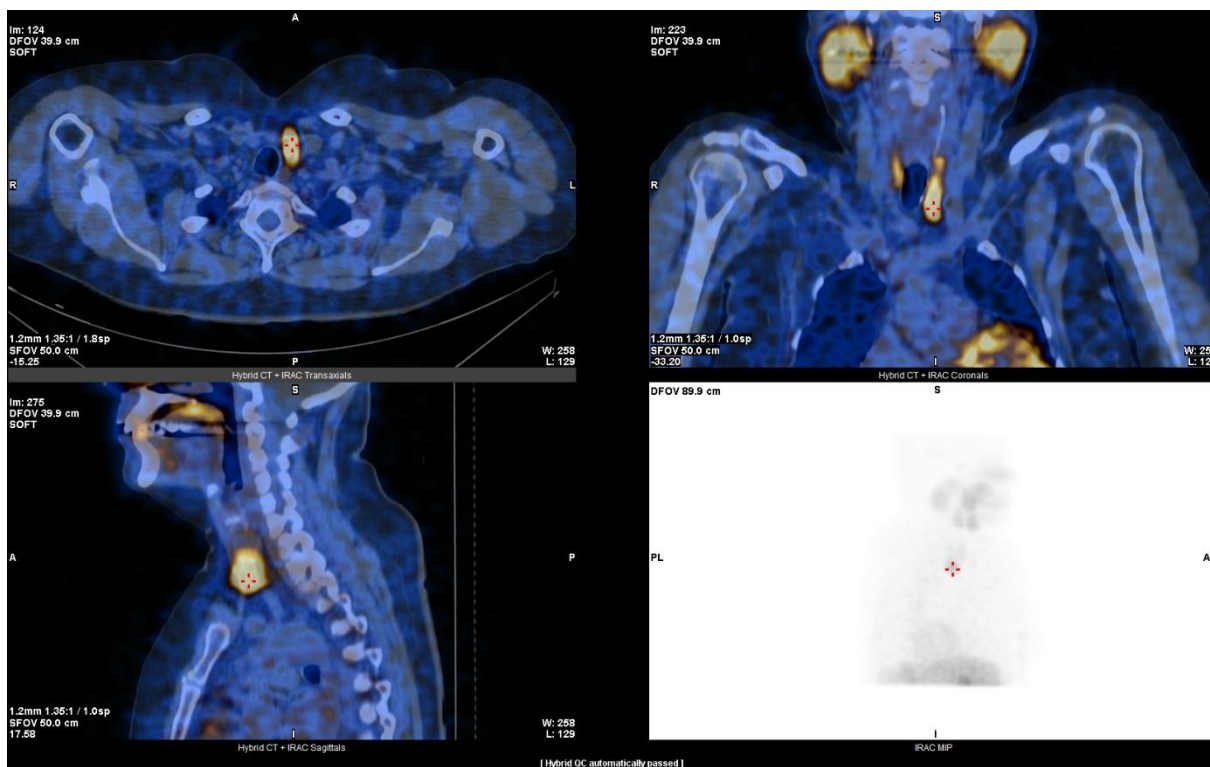
Příloha 2



Obrázek 2: Scintigrafie příštítných tělísek

Zdroj: archív FNOL

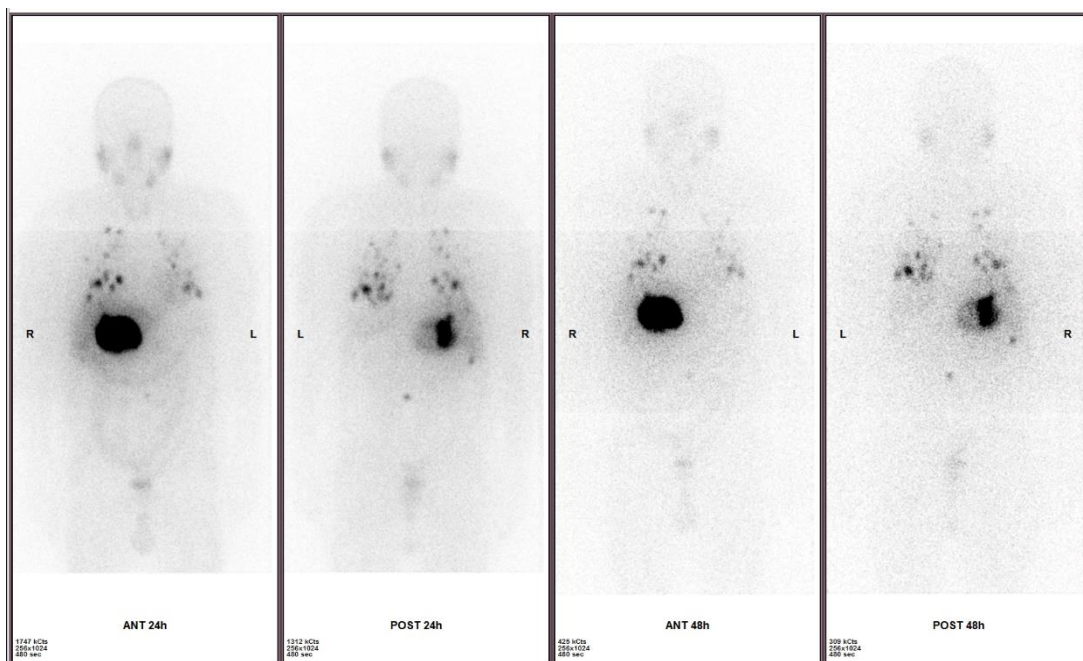
Příloha 3



Obrázek 3: SPECT/CT příštítných tělísek

Zdroj: archiv FNOL

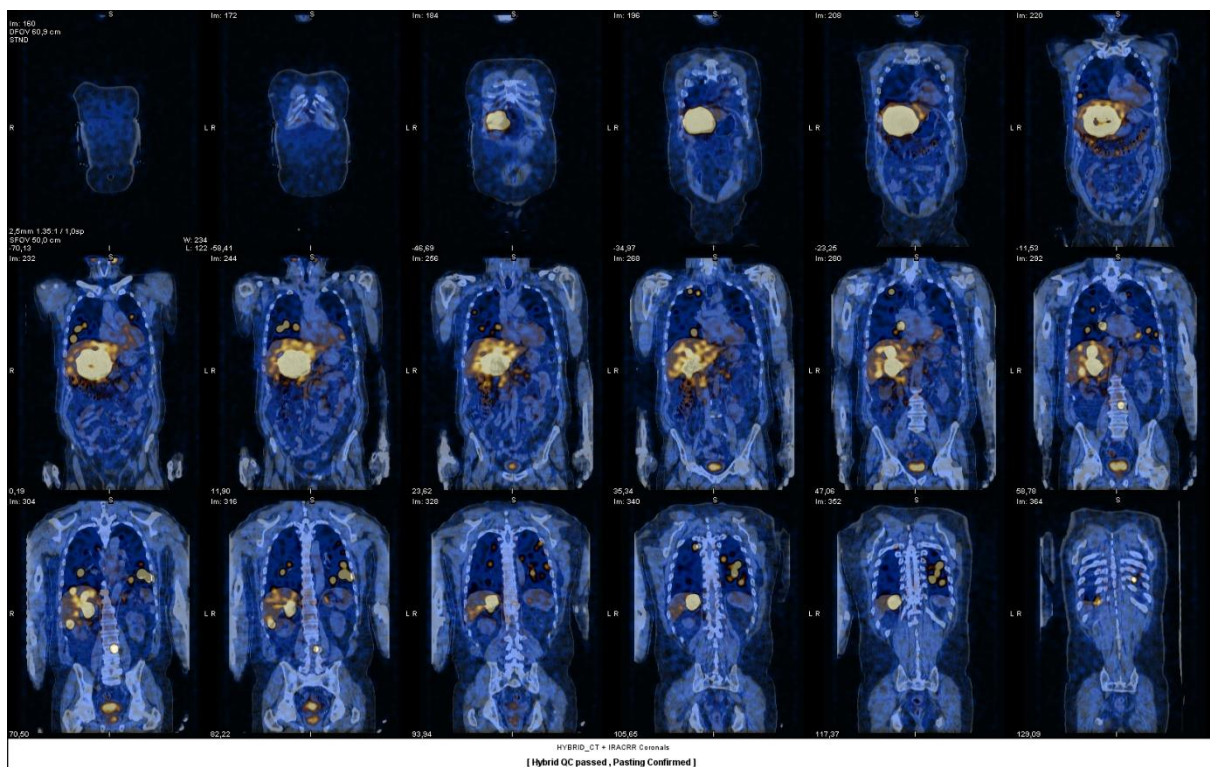
Příloha 4:



Obrázek 4: Detekce neuroendokrinních tumorů pomocí ^{123}I – MIBG

Zdroj: archív FNOL

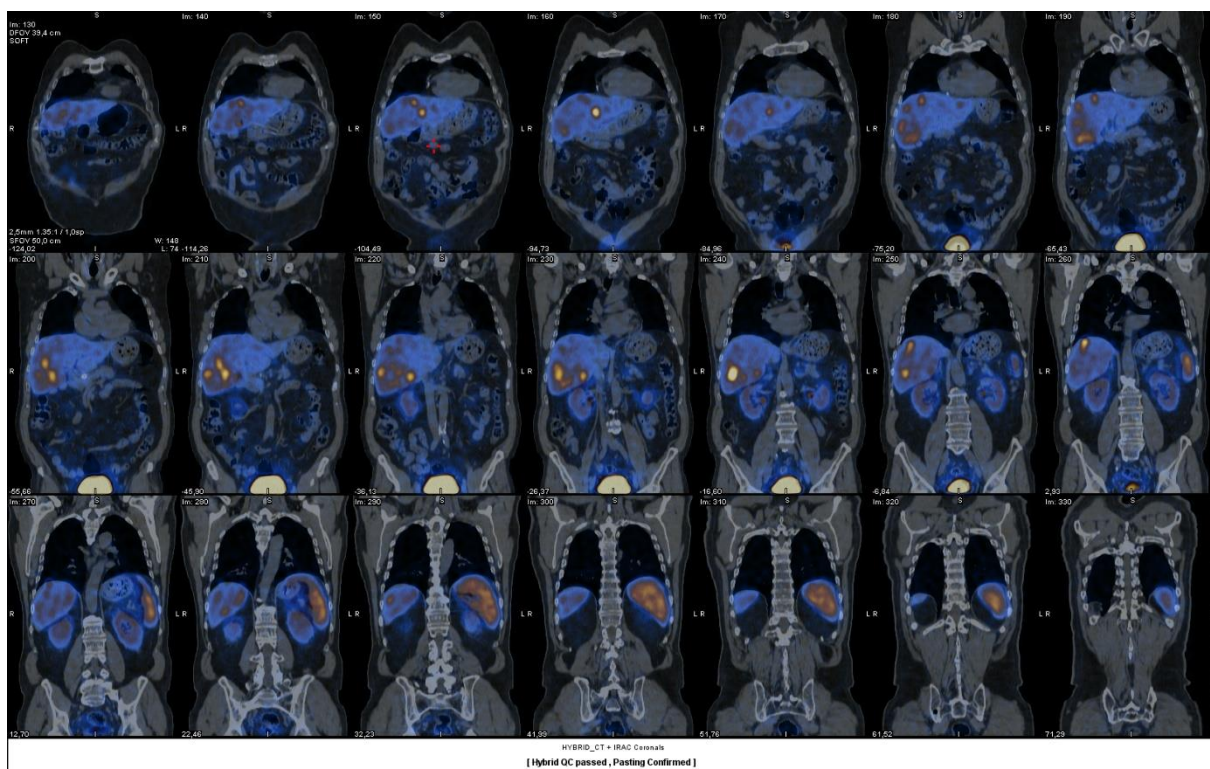
Příloha 5



Obrázek 5: SPECT/CT pomocí radiofarmaka ^{123}I – MIBG

Zdroj: archiv FNOL

Příloha 6



Obrázek 6: SPECT/CT neuroendokrinních tumorů pomocí ^{99m}Tc – tektrotyd

Zdroj: archiv FNOL