

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD
Ústav radiologických metod

Petr Vybíral



Metody nukleární medicíny v onkologické diagnostice

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Metelková Iva, Ph.D.

Olomouc 2013

Anotace bakalářské práce**Název práce:**

Metody nukleární medicíny v onkologické diagnostice

Název práce v AJ:

Methods of nuclear medicine in the oncological diagnostics.

Datum zadání: 2012-01-03

Datum odevzdání: 2013-05-06

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta

zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Vybíral Petr

Vedoucí práce: MUDr. Iva Metelková, Ph.D.

Oponent práce: MUDr. Miroslava Budíková, Ph.D.

Abstrakt v ČJ:

Cílem této bakalářské práce je představit možnosti metod nukleární medicíny v oblasti onkologické diagnostiky. Metody, které jsou v této práci popisovány, mají své nezastupitelné místo v rutinních vyšetřovacích algoritmech, protože poskytují funkční informace o vyšetřovaných orgánech a tkáních. Tato bakalářská práce se zabývá popisem scintigrafických metod založených na vyšetřování pomocí ^{99m}Tc – MIBI v diagnostice mnohočetného myelomu a detekce adenomu příštítného tělíska, zabývá se scintigrafií skeletu, detekcí neuroendokrinních tumorů pomocí ^{111}In – pentetretotidu a I – MIBG a problematikou lokalizace sentinelové lymfatické uzliny.

Abstrakt v AJ:

The aim of this bachelor thesis is to present the possibilities of the methods of nuclear medicine in the oncological diagnostics. Methods which are described in this thesis have their irreplaceable place in the routine examination algorithms because they provide functional information about examined organs and tissues. This bachelor thesis deals with the description of scintigraphic methods established on investigations by using ^{99m}Tc – MIBI in diagnostics of the myeloma multiplex and detection of adenoma of the parathyroid glands. It also deals with bone scintigraphy, detection of

the neuroendocrine tumors by using ^{111}In – pentetretotid and I – MIBG and the issue of sentinel lymph nodes localization..

Klíčová slova v ČJ:

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI – mnohočetný myelom, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI – adenom příštítného tělíska, scintigrafie skeletu, ^{111}In – pentetretotid, I – MIBG, sentinelová lymfatická uzlina

Klíčová slova v AJ:

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI – myeloma multiplex, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI – adenoma of the parathyroid glands, bone scintigraphy, ^{111}In – pentetretotide, I – MIBG, sentinel lymph node

Rozsah: 34 s., 12 příl.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 6. května 2013

podpis

Děkuji MUDr. Ivě Metelkové, Ph.D., za odborné vedení bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Přehled dohledaných informací.....	8
2. 1. Scintigrafická vyšetření.....	8
2. 2. Scintigrafie ^{99m} Tc – MIBI.....	11
2. 2. 1. Scintigrafie ^{99m} Tc – MIBI při diagnostice mnohočetného myelomu.....	11
2. 2. 2. Scintigrafie ^{99m} Tc – MIBI při diagnostice adenomu příštítných tělísek.....	13
2. 3. Scintigrafie skeletu	16
2. 4. Scintigrafie v diagnostice neuroendokrinních tumorů.....	18
2. 4. 1. Scintigrafie ¹¹¹ In – pentetotidem.....	19
2. 4. 2. Scintigrafie pomocí ¹²³ I – MIBG.....	21
2. 5. Scintigrafická detekce sentinelové uzliny.....	24
3. Závěr.....	27
4. Seznam bibliografických odkazů.....	30
5. Seznam zkratk.....	34

1. Úvod

Onkologická diagnostika obecně i v nukleární medicíně je velmi důležitá, protože nádorová onemocnění jsou celosvětovým problémem. V České republice onemocní zhoubným nádorem během svého života třetina obyvatel a více jak pětina na onkologické onemocnění zemře. Úspěšnost léčby u dospělých pacientů se pohybuje v rozmezí 50–60 %, u dětských pacientů je úspěšnost vyšší - asi 70%. Optimální léčebný postup je však možno zvolit jen po stanovení správné diagnózy a rozsahu onemocnění a v tom mají metody nukleární medicíny nezastupitelnou úlohu.

Metody nukleární medicíny zaznamenaly v posledních desetiletích rychlý vývoj. Faktorů, který pokrok ovlivnily, bylo hned několik. Nové digitální scintilační kamery s lepší prostorovou rozlišovací schopností, které umožňují celotělové snímání, dále snímání v režimu SPECT, což je tomografické zobrazení. V neposlední řadě je to zavedení PET kamer do klinické praxe a vývoj hybridních přístrojů. Hybridní přístroje kombinují nukleárně medicínskou modalitu s jinou modalitou, nejčastěji CT, která vyobrazuje anatomickou strukturu. Pokrok nastal i na poli radiofarmak. Moderní radiofarmaka jsou vysoce specifická, v nádorové tkáni se koncentrují více než v okolní tkáni. V onkologické diagnostice už také nejde jen o pouhou detekci nádoru, ale o zjištění jeho charakteristiky. Cílem radiologických zobrazovacích metod je zjištění morfologické informace o nádoru, zobrazovací metody nukleární medicíny zjišťují informace funkční. Dohromady tyto metody dávají ucelenější informace o onemocnění.

Cílem této práce je souhrn poznatků týkajících se vyšetřovacích metod v onkologické diagnostice a to z pohledu indikací, z pohledu typu radiofarmaka a jeho akumulace, z pohledu provedení vlastního vyšetření a dále senzitivity a specificity - srovnání s ostatními metodami.

Dílní cíle této bakalářské práce jsou tyto:

Cíl 1: význam metod nukleární medicíny.

Cíl 2: nejčastěji užívané metody v nukleární onkologii, jejich význam, indikace.

Cíl 3: postavení nukleární medicíny v rámci zobrazovacích metod.

V následujících oddílech této práce budou rozebrány jednotlivé vyšetřovací metody nukleární medicíny zabývající se onkologickou diagnostikou.

Pro stanovení základních výzkumných problémů a cílů práce byla využita následující vstupní literatura:

MYSLIVEČEK, Miroslav et al. Nukleární medicína v diagnostice nádorů a zánětů. 1. vydání. LF UP Olomouc. 2002. 69 s. ISBN 80-244-0509-1

HYNKOVÁ, Ludmila at al. Radiační onkologie – učební texty. 1. vydání. Masarykův onkologický ústav, Brno. 2009. 242 s. ISBN 978-80-86793-13-9

Přehled informací a poznatků o metodách nukleární medicíny v onkologické diagnostice byl vypracován na základě rešerše odborných článků. Při jejich vyhledávání byly využity databáze MEDLINE, PubMed, EBSCOhost, ProQuest a Web of Science. Kromě databází byly při vyhledávání také použity i internetové vyhledávače a to zejména Google Scholar. Odborné články byly vybírány jen v období od roku 1998 do současnosti.

2. Přehled dohledaných informací

2. 1. Scintigrafická vyšetření

Scintigrafická vyšetření patří mezi zobrazovací diagnostické metody, které jsou charakteristické zobrazením funkce nebo metabolického stavu vyšetřovaného orgánu anebo systému [Lang, 1998, s. 6]. Scintigrafie je tedy funkční vyšetření, tzn. že míra akumulace radiofarmaka ve vyšetřované tkáni je závislá na intenzitě funkčních a metabolických dějích. Scintigraficky je proto možné vyšetřit hypoxii, zánět, perfuzi, koncentraci receptorů, přestavbu kosti, aj.. Díky scintigrafickému zobrazení mohou být případné poruchy funkce nejen lokalizovány, ale také se mohou často i kvantifikovat. Funkční poruchy často předcházejí poruchy strukturální, a proto jsou patologické děje metodami nukleární medicíny zpravidla odhaleny dříve než jinými zobrazovacími postupy. Metodami nukleární medicíny lze vyšetřit pouze živou tkáň [Kupka et al.,

2007, s. 14]. Pro scintigrafická vyšetření se používá scintilační kamera. Pomocí scintilační kamery je možné zobrazovat rozložení radiofarmaka ve vyšetřovaném orgánu [Mysliveček, 2000, s. 39].

Rozdělení metod nukleární medicíny

V nukleární medicíně se rozlišují vyšetření podle toho, zda se data snímají v jednom nebo více časových intervalech, na statická a dynamická a nebo podle toho zda se snímá jedna projekce nebo obraz řezu, který je rekonstruovaný z mnoha projekcí, na planární a tomografická.

Při statické scintigrafii se pořizuje jeden snímek, na kterém se zobrazí rozložení akumulace radiofarmaka ve vyšetřované oblasti. Snímání se provádí určitou dobu od aplikace, aby se radiofarmakum ve vyšetřované tkáni dostatečně nahromadilo. Místa, ve kterých se nahromadilo méně impulzů mohou být vyhodnoceny jako místa s poruchou funkce a naopak místa s vyšším počtem impulzů mohou být hyperfunkční. Taková interpretace však není pravidlem. Vše záleží na druhu podaného radiofarmaka. Radiofarmakum se může vychytávat jen v patologickém ložisku (např. pozitivní scintigrafie nádoru) [Kupka et al., 2007, s. 45]. Statickým záznamem se může hodnotit jen v čase neměnná orgánová distribuce radiofarmaka. Délka záznamu musí být volena tak, aby se dosáhlo dobré informační hustoty obrazu. Velikost snímaného objektu není limitovaná velikostí detektoru. Lze zvolit tzv. celotělový záznam. Pacient uložený na vyšetřovacím stole je snímán v přední a zadní projekci. Rychlost posunu vyšetřovacího stolu je zvolena tak, aby byla zachována dostatečná informační hustota obrazu. Jelikož jsou statické scintigramy pořizovány jen u vyšetření, kde je časově neměnná distribuce radiofarmaka, může být prodloužen akviziční čas. U statické scintigrafie proto mohou být použity kolimátory s vysokým rozlišením (HR kolimátory) [Lang, 1998, s. 26].

Dynamická scintigrafie je charakteristická tím, že je zachycena kinetika radiofarmaka ve vyšetřované oblasti nebo orgánu. [Mysliveček, 2000, s. 42]. U tohoto typu záznamu je nasnímana serie obrázků, neboli framů. Délka jednoho framu a celkový počet framů je dán dobou trvání vyšetřovaného děje, který může trvat několik minut až desítky minut [Kupka et al., 2007, s. 45]. Akvizice se spouští ve stejný okamžik jako je aplikováno radiofarmakum. Způsob hodnocení se volí podle druhu vyšetření. Může být vizuální, empirický nebo kvantitativní. Kvantitativní hodnocení znamená, že jsou

vytvořeny křivky (časové histogramy), které popisují kinetiku radiofarmaka v oblasti zájmu [Mysliveček, 2000, s. 42].

Při planárním snímání je zachycen trojrozměrný objekt do dvojrozměrného obrazu. Toto vede ke skutečnosti, že je obraz zatížen zkreslením, snížením kontrastu, sumací a superpozicí, což je překrývání zobrazovaných struktur. Proto byly vyvinuty scintilační kamery, které jsou schopny tomografického snímání. Tomografie zobrazuje řez trojrozměrného objektu v určené vrstvě a umožňuje hodnotit zobrazované struktury s vysokým kontrastem bez sumace a superpozice. Tomografie užívaná v nukleární medicíně se nazývá emisní. Zdroj záření se nachází uvnitř organismu a záření je z něho emitováno. Oproti tomu tomografie užívaná v radiologii, např. na CT, je tomografie transmisní, protože záření vycházející z rentgenky zobrazovaným objektem prochází [Kupka et al., 2007, s. 49].

V nukleární medicíně se uplatňují dva typy tomografie: jednofotonová emisní tomografie a pozitronová emisní tomografie.

Pro jednofotonovou emisní tomografii (SPECT, single photon emission tomography) se používají stejné zářiče gama jako u klasické planární scintigrafie (^{99m}Tc , ^{111}In , ^{123}I aj.). Scintilační kamery, které jsou používány k tomografickému snímání, jsou principiálně stejné jako kamery používané pro planární snímání. Jejich konstrukce však musí umožňovat rotaci detektorů kolem vyšetřovaného objektu. Dráha, kterou opíší detektory kolem pacienta bývá kruhová nebo eliptická. Moderní přístroje umožňují použít funkci body contouring. Tato funkce automaticky zajišťuje vzdálenost detektoru od těla pacienta v optimální bezpečné míře [Lang, 1998, s. 27]. Detektory se otáčejí kolem pacienta plynule nebo po určitých úhlech (step and shoot). Jednotlivé projekce jsou ukládány do počítače a jsou rekonstruovány v trojrozměrný obraz, ze kterého se získávají jednotlivé tomografické vrstvy. Rekonstrukční metody využívané v současné době při scintigrafických vyšetřeních jsou filtrovaná zpětná projekce a iterativní rekonstrukce [Mysliveček, 2000, s. 44-46]. Jednotlivé řezy jsou tvořeny v transversální, koronární a sagitální rovině. Elementární jednotkou obrazu při tomografickém snímání je voxel, analog pixelu užívaného u planárního zobrazení [Lang, 1998, s. 27]. Scintilační kamera se skládá z mnoha komponentů. Nejdůležitější z nich jsou detektor osazený scintilačním krystalem NaI(Tl) o velikosti 40 - 60 x 30 - 40 cm a tloušťce 9,5 cm (u scintilačních kamer se 3 detektory je tloušťka krystalu jen 6,5 cm), kolimátor, výkonný počítač sloužící ke sběru a zpracování naměřených dat.

Kolimátor je zařízení, které je vyrobeno z materiálu s vysokou pohltivostí záření gama. Je utvořen systémem tenkých otvorů, kterými prochází jen fotony záření gama letících rovnoběžně s osami těchto otvorů. Ostatní záření je pohlceno [Němeček, 2006, s. 4].

Pozitronová emisní tomografie (PET) je založena na úplně odlišném způsobu detekce záření než SPECT. Radiofarmaka užívaná pro PET, uvolňují při rozpadu pozitrony. Pozitron je schopen ve tkáni urazit jen krátkou vzdálenost (1 – 3 mm) a interaguje s elektronem. Tento proces se nazývá anihilace, při které pozitron a elektron zanikne a přemění se na dva fotony záření gama o energii 511 keV. Tyto anihilační fotony se z místa vzniku šíří v opačném směru po přímce [Němeček, 2006, s. 5]. Přístroje pro PET jsou osazeny velkým množstvím LSO detektorů, které jsou uspořádány do prstenců. Přístroj je vybaven koincidenčním systémem, který zajišťuje spojení dvou protilehlých detektorů. Fotony, které vylétnou z místa anihilace a jsou zaznamenány ve stejný okamžik v protilehlých detektorech jsou počítačem přijmuty a jsou z nich pomocí rekonstrukcí vytvářeny obrazy akumulace radiofarmaka ve vyšetřovaném objektu. U PET kamer se nepoužívají žádné kolimátory, proto je u PET vyšší detekční účinnost než u SPECT, kde se v kolimátorech absorbuje většina záření. [Lang, 1998, s. 27].

Jelikož metody nukleární medicíny (SPECT i PET) nemají dobré prostorové rozlišení, přistupuje se v poslední době v některých indikacích k hybridnímu zobrazování (SPECT/CT, PET/CT). Hybridní zobrazení s sebou přináší skloubení výhod obou vyšetřovacích modalit. Metody nukleární medicíny mají velkou výhodu ve zobrazení funkce tkáně a radiologické metody zase výhodu v kvalitním zobrazení anatomických struktur. Postprocessingem se vytváří fúze obrazů [Ferda et al., 2010, s. 18 - 20].

2. 2. Scintigrafie ^{99m}Tc - MIBI

2. 2. 1. Scintigrafie ^{99m}Tc – MIBI při diagnostice mnohočetného myelomu

Jedná se o jedno z nejčastějších maligních onemocnění krvinek. Je podmíněné akumulací neoplastického monoklonálního plazmocelulárního klonu v kostní dřeni. U mnohočetného myelomu (MM) nejde jen o maligní postižení

krvetvorby, ale také současně o postižení skeletu. Rozvíjí se zde myelomová kostní nemoc [Ščudla, 2011, s. 131].

^{99m}Tc – MIBI (metoxyizobutylyzonitril) je lipofilní kationt, využívá se mimo jiné pro nesespecifickou onkologickou diagnostiku. Jedná se o radiofarmakum, které se vychytává na základě zvýšené mitochondriální aktivity. U MM se ve větší míře akumuluje v mitochondriích viabilních plazmatických buněk infiltrujících kostní dřeň a měkké tkáně. [Myslivoček, 2006, s. 48].

Popis metody

Vyšetření se provádí na dvoudetektorové scintilační kameře, která je vybavena nízkooenergetickými paralelními kolimátory s vysokým rozlišením. Pacientovi je intravenózně naaplikováno 800 MBq ^{99m}Tc – MIBI a po 10 minutách se spouští akvizice. Pacient je na vyšetřovacím stole vleže na zádech. Vlastní vyšetření se skládá ze dvou částí - z celotělové scintigrafie a vícenásobného SPECT. U celotělové scintigrafie je nastavena rychlost posunu 12 cm/min s podmínkou, že bude scintigram tvořen více než 1,5 milionem impulzů. Je použita matice 256 x 1024 [Myslivoček, 2005, s. 46]. SPECT je nastaven v režimu step and shoot s využitím body contouring, počet projekcí je 128 (64x2). Čas na jednu pozici detektoru je nastaven na 15 sekund [Myslivoček et al., 2005, s. 47].

Scintigramy lze klasifikovat dle typu akumulace radiofarmaka následovně:

- scintigram typu N (normální) – jedná se o fyziologickou akumulaci radiofarmaka ve slinných žlázách, štítné žláze, myokardu, játrech, gastrointestinálním traktu a močovém měchýři, v kostní dřeni a měkkých tkáních akumulace radiofarmaka úplně chybí
- scintigram typu D (difúzní), kde je popisována patologická akumulace radiofarmaka difúzního typu v kostní dřeni sternu, žebrech, páteři, kostí pánve a event. v dlouhých kostech
- scintigram typu F (fokální), kde jsou popisována fokální ložiska akumulace v kostní dřeni nebo extramedulárně.
- scintigramu typu D + F, který je kombinací obou předchozích typů.

Scintigrafické vyšetření pomocí ^{99m}Tc – MIBI je zobrazovací metoda, která je relativně jednoduchá, vysoce senzitivní a všeobecně dostupná. Používá se k hodnocení biologické aktivity MM v časných fázích onemocnění, při hodnocení léčebné odezvy a také k predikci výsledků terapie [Ščudla, 2011, s. 134]. Dle Myslivečka je toto vyšetření vynikající k diferencii remise a relapsu onemocnění. Lze ho také využít k optimalizaci místa pro punkční biopsie. [Mysliveček, 2006, s. 49].

Radiační zátěž pacienta

Orgán, ve kterém je nejvyšší absorbovaná dávka je žlučník. Z níže uvedené tabulky lze vypočítat efektivní a absorbovanou dávku podle aplikované aktivity radiofarmaka.

Scintigrafie tumoru ^{99m}Tc -MIBI		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,039 žlučník	0,009
Děti 5 let	0,1 žlučník	0,028

Tabulka 1: koeficienty k výpočtu absorbované a efektivní dávky při scintigrafii ^{99m}Tc – MIBI při diagnostice mnohočetného myelomu (Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-28)

2. 2. 2. Scintigrafie ^{99m}Tc – MIBI při diagnostice adenomu příštítných tělísek

Adenom příštítných tělísek patří do skupiny onemocnění klasifikované jako primární hyperparatyreóza. Do této skupiny patří ještě mimo adenom (80%) také hyperplazie a karcinom příštítného tělíska. Hyperparatyreóza je onemocnění, při kterém je zvýšená sekrece parathormonu (PTH) [Kolombo, 2004, s. 270]. Při zjištění diagnózy hyperparatyreózy je indikovaná exstirpace zmnožené parathyreoidální tkáně. Důležitým předpokladem ke správnému chirurgickému výkonu je znalost umístění adenomu nebo hyperplastického ložiska. Adenom příštítného tělíska může být lokalizována v typické lokalizaci, tj. za horním nebo dolním pólem levého či pravého laloku štítné žlázy, přibližně v 7% bývá případů uložen ektopicky, nejčastěji v mediastinu. Hyperparatyreóza bývá také vyšetřována sonograficky, ale u ektopicky uložené parathyreoidální tkáně má scintigrafie nezastupitelnou úlohu. Scintigrafie

může být provedena dvěma způsoby, a to subtrakční scintigrafií příštítných tělísek a dvoufázovou scintigrafií příštítných tělísek. [Koranda, 2002, s. 18]

Příprava pacienta

Před vyšetřením je vhodné pacientovi vysadit léky, které ovlivňují vychytávání radiofarmaka ve vyšetřovaném orgánu. Čtyři týdny před scintigrafií je třeba vysadit medikaci L-tyroxinem, nebo 10 dní před vyšetřením medikaci triodthyroninem. Dále je pacientovi odebrána anamnéza, která je zaměřená na předcházející vyšetření, u nichž by mohl být podán neaktivní jod. Ten blokuje vychytávání technecistanu a radionuklidu jodu ve štítné žláze. Mohou to být např. jodové dezinfekční prostředky, rtg kontrastní látky, aj. [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-12].

Popis metod

K vyšetření příštítných tělísek se používá dvoudetektorová scintilační SPECT kamera, která je vybavena LEHR kolimátory s paralelními otvory. Je výhodou k vyšetření použít scintilační kameru vybavenou CT přístrojem. Hybridní přístroje umožňují fúzi SPECT a CT obrazů, a tím zvyšují výtěžnost vyšetření, protože dovolují posouzení velikosti příštítného tělíska a také jeho vztah k okolním anatomickým strukturám. [Kupka et al., 2007, s. 146]. Pacient je uložen na vyšetřovacím stole na zádech, v případě klaustrofobie jsou snímky pořizovány v prone pozici, tzn. že vyšetřovaný leží na břiše. Kontraindikace vyšetření nemá, jen relativní, a to jsou gravidita a laktace. U gravidních žen je vyšetření provedeno jen z vitální indikace při snížené aplikované aktivitě radiofarmaka. Laktaci je třeba přerušit po dobu 48 hodin od aplikace radiofarmaka.

Subtrakční scintigrafie příštítných tělísek

Principem subtrakční scintigrafie je počítačové odečtení obrazu po podání ^{99m}Tc – technecistanu (TCO_4^-) a obrazu po padání ^{99m}Tc – MIBI. ^{99m}Tc – technecistan se po i.v. aplikaci kumuluje ve štítné žláze, ^{99m}Tc – MIBI se kumuluje jak ve štítné žláze, tak v příštítných těliscích. Mohou být použity i jiné alternativy radiofarmak.

Místo ^{99m}Tc – technecianu může být použit ^{123}I a místo ^{99m}Tc – MIBI zase ^{201}Tl . [Kupka et al., 2007, s. 146; Koranda, 2002, s.18].

Vlastní vyšetření je zahájeno aplikací TCO_4^- o aktivitě 100 MBq, po které následuje po 15 – 20 minutách statická scintigrafie štítné žlázy. Pacient je uložen tak, aby horní okraj scintigramu zavzal bazi lební a spodní okraj sahal pod bránici. Doba snímání je 10 minut. Bezprostředně před spuštěním akvizice TCO_4^- je pacientovi podán vodný roztok 400mg chloristanu draselného p.o., aby byla další akumulace ve štítné žláze zablokována. Po ukončení snímání štítné žlázy je za 10 minut naaplikováno ^{99m}Tc – MIBI o aktivitě 700 MBq a po dalších 10 minutách je spuštěna statická scintigrafie s dobou trvání 10 minut. Po celou dobu snímání statických scintigramů i v intervalu mezi nimi leží pacient bez pohnutí na vyšetřovacím stole. Po doběhnutí statické scintigrafie se ihned spouští SPECT nebo SPECT/CT ve stejném rozsahu. Za 2 hodiny p.i. se nahrává pozdní ^{99m}Tc – MIBI statická scintigrafie s dobou trvání 10 minut.

Akviziční parametry u všech statických snímků, tj. TCO_4^- , MIBI časné a MIBI pozdní, jsou stejné. Doba snímání je 10 minut, zoom je navolen na hodnotu 1,7 a matice je 256 x 256. Při SPECT se snímá 128 (64 x 2) projekcí, přičemž je čas na jednu projekci nastaven na 15 sekund v režimu step and shoot při použití systému body contouring. Zoom je nastaven na hodnotu 1,23.

Při použití scintilační kamery s možností hybridního snímání SPECT/CT je možné po indikaci lékaře doplnit lokalizační CT, které je postprocessingově sfúzováno se SPECT [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-12].

Dvoufázová scintigrafie příštítných tělísek

Principem metody je to, že ^{99m}Tc – MIBI je rychleji vyplavováno z tyreoidální tkáně než ze tkáně paratyroidální. Radiofarmakum je tedy rychle naakumulováno jak ve štítné žláze, tak v příštítných těliscích, ale ze štítné žlázy je rychle vyplaveno a zůstává je v tkáni příštítných tělísek. Statické scintigramy se nahrávají v 10 minutě p.i., tzv. tyreoidální fáze, a ve 120 – 180 minutě p.i., tzv. paratyroidální fáze. Akviziční parametry jsou stejné jako u subtrakční scintigrafie. Při pozitivním nálezu perzistuje na pozdním scintigramu ložisko akumulující ^{99m}Tc – MIBI, což svědčí pro přítomnost zmnožené parathyroidální tkáně. Touto metodou je vhodné vyšetřovat příštítná tělíska o velikosti 200 – 300 mg.

Při diagnostice příštítných tělísek je vhodné použít kombinaci scintigrafických metod a ultrasonografie. Komplikovanější je interpretace nálezu u některých uzlových strum, kde je dobré doplnit v dostatečném časovém odstupu scintigrafií štítné žlázy. Oproti CT je scintigrafie zatížena menší radiační zátěží pacienta. Nevýhodou scintigrafie je však obtížné určení velikosti tělíska. Tato nevýhoda je odstraněna použitím SPECT/CT kamery. [Kupka et al., 2007, s. 146]

Radiační zátěž pacienta

Orgán, ve kterém je nejvyšší absorbovaná dávka je horní část tlustého střeva pro TCO_4^- a žlučník při použití $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI. Z níže uvedené tabulky lze vypočítat efektivní a absorbovanou dávku podle aplikované aktivity radiofarmaka.

Scintigrafie štítné žlázy $^{99\text{m}}\text{TcO}_4$		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,057 horní část tlustého střeva	0,013
Děti 5 let	0,14 horní část tlustého střeva	0,042

Tabulka 2: koeficienty k výpočtu absorbované a efektivní dávky při scintigrafii příštítných tělísek s využitím TCO_4^- (Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-12)

Scintigrafie příštítných tělísek $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,039 žlučník	0,009
Děti 5 let	0,1 žlučník	0,028

Tabulka 3: koeficienty k výpočtu absorbované a efektivní dávky při scintigrafii příštítných tělísek s využitím $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI (Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-12)

2. 3. Scintigrafie skeletu

Kostní scintigrafie pomocí $^{99\text{m}}\text{Tc}$ značených difosfonátů je metoda, která je využívána velmi často. K jejím indikacím patří akutní spondylodiscitidy, uvolňování

endoprotéz, bolesti v bederní a křížové krajině, aseptické nekrózy typu M. Perthes, metabolická onemocnění skeletu jako je Pagetova choroba, poranění kostí (např. stresová fraktura), apod. [Vížd'a j, Křížová H., Urbanová E.: Atlas kostní scintigrafie, 2006, s. 7-10].

V nukleární onkologii je scintigrafie skeletu indikována pro lokalizaci primárních maligních nádorů, dále benigních nádorů a u nádorů extrasketálních, které vytváří vzdálené kostní metastázy [Křížová, 2003, s.100]. Tumory, které do skeletu nejčastěji metastazují jsou karcinom prsu, karcinom prostaty a bronchogenní karcinom. Mezi další tumory, které mohou do skeletu metastazovat jsou především adenokarcinom ledviny, karcinom močového měchýře, karcinom štítné žlázy a maligní melanom. Při prokázání metastatického postižení kostí je vždy horší prognóza. Průměrná doba přežití u pacientů s metastázami se liší. U bronchogenního karcinomu je to 6 – 8 měsíců, u karcinomu prsu je to 50 – 55 měsíců a u karcinomu prostaty je to až 4 roky [Klener, 2004, s. 29].

V diagnostice kostních metastáz je toto vyšetření považováno za zlatý standard. Výhodami této metody jsou hlavně neinvazivnost, možnost celotělového snímání, dále pak dobrá dostupnost, vysoká senzitivita vyšetření a nízká radiační zátěž. Naopak nevýhodou je nižší specifita, kterou lze zvýšit doplněním vyšetření v režimu SPECT, popřípadě SPECT/CT [Bělohlávek, 2012, s. 206-207]. Dalšími užitečnými doplňujícími informacemi může být normální nebo zvýšená hladina karcinom markerů, informace o předchozím úrazu nebo o operaci skeletu.

Popis metody

Pacientovi je intravenózně naaplikováno radifarmakum (^{99m}Tc – difosfonát) o aktivitě 750 MBq. Radiofarmakum se aplikuje 2 – 5 hodin před vyšetřením. Pacient je poučen o dostatečné hydrataci v období mezi aplikací a vyšetřením, aby se nevychytané radiofarmakum vyloučilo močí z těla a snížila se tak radiační zátěž uropoetického traktu, obzvláště pak močového měchýře. Optimální množství tekutiny je asi 0,5 l. Těsně před vyšetřením je pacient vyzván, aby se vymočil. Plný močový měchýř sťažuje interpretaci scintigramu v oblasti pánve.

Vyšetření se provádí na dvoudetektorové scintilační kameře, která je vybavena paralelními kolimátory s vysokým rozlišením. Akvizice se skládá ze dvou částí a to z celotělového planárního zobrazení v přední a zadní projekci a SPECT – většinou několikanásobného. SPECT je indikován v lokalizacích, které jsou díky superpozici hůře interpretovatelné. Díky tomografickým řezům, které jsou výsledkem SPECT vyšetření, je dosaženo zobrazení patologie ve všech prostorových rovinách bez superpozice. Moderní hybridní gamakamery jsou vybaveny integrovaným CT přístrojem. SPECT/CT je používáno pro korekci na zeslabení a pro přesnou anatomickou a morfologickou charakterizaci léze. Díky SPECT/CT se většinou jednoznačně vyjasní etiologie léze a také se výrazně zlepši specifická vyšetření [Strobel, 2009, s. 1294].

Radiační zátěž pacienta

U scintigrafie skeletu je nejvyšší absorbovaná dávka na povrchu kosti. Z níže uvedené tabulky lze vypočítat efektivní a absorbovanou dávku podle aplikované aktivity radiofarmaka.

Scintigrafie skeletu ^{99m} Tc-fosfonáty a fosfáty		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,063 povrchy kostí	0,0057
Děti 5 let	0,22 povrchy kostí	0,014

Tabulka 4: koeficienty k výpočtu absorbované a efektivní dávky při scintigrafii skeletu (Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-10)

2. 4. Scintigrafie v diagnostice neuroendokrinních tumorů

Neuroendokrinní tumory (NET) jsou malignity, které vycházejí z tzv. neuroendokrinního systému. Jedná se o nádorové onemocnění vyskytující se poměrně zřídka. Diagnostika a léčba je u těchto tumorů v mnohém jiná než u klasického onkologického onemocnění. Je třeba na ně pohlížet z hlediska onkologie, endokrinologie, gastroenterologie, ale i dalších oborů medicíny [Zamrazil, 2007, s. 514]. Diagnostika neuroendokrinních nádorů bývá často složitá jak pro klinika, tak pro patologa, a proto bývá správná diagnóza stanovena někdy až po několika měsících

[Sedlačková, 2011, s. 350]. Nádory jsou často malé a pomalu rostoucí, což může také diagnostiku ztěžovat.

2. 4. 1. Scintigrafie ¹¹¹In – pentetreotidem

Scintigrafie somatostatinových receptorů je metoda, která se velkou měrou podílí na stagingu NET a výběru léčebné taktiky. Ke scintigrafii se používá analog somatostatinu - octreotid, který je naznačen ¹¹¹indiem (poločas rozpadu je 2,83 dne). Obchodní název je OctreoScan. Tento preparát slouží ke zobrazení primárních nádorů, které mají na svém povrchu zvýšený výskyt somatostatinových receptorů, kromě toho slouží i k detekci jejich metastáz. Jedná se především o tumory gastro-entero-pankreatické, karcinoidy a paragangliomy.

Z hlediska pacienta se vyšetření používá ke sledování vývoje a ke zhodnocení léčebného efektu [Louthan, s. 6-7]. Slouží k posouzení rozsahu onemocnění na jeho počátku, k detekci event. metastáz např. po operaci primárního nádoru nebo k potvrzení remise onemocnění.

Kromě tumorů se radiofarmakum vycytává i v autoimunních a granulomatózních zánětech (sarkoidóza, TBC, M.Crohn, ulcerózní kolitis).

Příprava pacienta

Před vyšetřením je pacient premedikován laxativy, případně je mu na oddělení podán nálev. Toto přispívá k lepší přehlednosti abdominální oblasti a snížení radiační zátěže tlustého střeva. Stolica, která by obsahovala radiofarmakum by mohla vést ke špatné interpretaci nálezu a falešně pozitivnímu výsledku. Před aplikací radioaktivního preparátu je vhodné zvýšit příjem tekutin a poučit pacienta o dostatečné hydrataci, která by měla pokračovat ještě 2 – 3 dny po aplikaci. Aby nedocházelo k falešně negativním výsledkům, doporučuje se přechodně přerušit léčbu analogem somatostatinu, který blokuje somatostatinové receptory.

Popis metody

Pacientovi se aplikuje ^{111}In – pentetretid o aktivitě 175 MBq. Po 4 – 5 hodinách se provádí první akvizice, a to v režimu celotělového planárního snímání v přední a zadní projekci. Další celotělové snímky se provádí za 24 a 48 hodin po injekci. Celotělové scintigramy se provádějí při posunu stolu maximálně 4 cm/min. Nutností je také doplnění vyšetření SPECT, které je zaměřené na oblast zájmu. SPECT se standardně provádí za 24 hodin po aplikaci, ale v případě nejasného nálezu také za 48 hodin. Počet projekcí u jednoduchého SPECTu je 128 (64x2) , kdy jedna projekce trvá 40 sekund. Při použití dvoj-SPECTu je pořízeno 64 projekcí (32x2) , ale čas na jednu je jen 35 sekund. U obou variant se používá obrazová matice 128 x 128. V případě nejednoznačného nálezu může lékař indikovat doplnění lokalizačního CT. Fúze SPECT a CT vede ke správnému posouzení, resp. lokalizaci event. patologického ložiska. Další možností došetření nejasností v nálezu je doplnění cílených statických scintigramů v časech 48, 72, popřípadě i 96 hodin od aplikace radiofarmaka. Tyto snímky mají akviziční čas 10 – 15 minut v matici 256 x 256. Akvizice se provádí na dvoudetektorové scintilační kameře, která je vybavena paralelními kolimátory pro střední energie. Výhodou je, když je přístroj vybaven CT [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-29].

Kontraindikacemi vyšetření jsou gravidita a laktace. U těhotných žen je možné vyšetření provést z vitální indikace při maximálně snížené aplikované aktivitě. Relativní kontraindikací je renální insuficience. Jelikož je ^{111}In – pentetretid nefrotropní radiofarmakum, tak hrozí riziko zvýšení absorbované dávky.

Senzitivita vyšetření u neuroendokrinních tumorů jako celku je 80%. Specificita vyšetření u hormonálně aktivních tumorů GIT, které vycházejí z neuroendokrinního systému je 80 % [Louthan, s. 9]

Radiační zátěž pacienta

Orgán, ve kterém je nejvyšší absorbovaná dávka je slezina. Z níže uvedené tabulky lze vypočítat efektivní a absorbovanou dávku podle aplikované aktivity radiofarmaka.

Scintigrafie ¹¹¹ In-pentetreotid		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,57 slezina	0,054
Děti 5 let	1,8 slezina	0,16

Tabulka 5: koeficienty k výpočtu absorbované a efektivní dávky při scintigrafii ¹¹¹In – pentetreotidem (Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-29)

2. 4. 2. Scintigrafie pomocí ¹²³I - MIBG

MIBG (metajodbenzylguanidin) je analogem noradrenalinu, akumuluje se v dření nadledvin a ve tkáních patologicky postižených, které z nich vycházejí. Jsou to neuroendokrinní tumory jako je feochromocytom a neuroblastom [Verner, 2004, s. 158]. V onkologické diagnostice se MIBG scintigrafie indikuje hlavně při podezření na feochromocytom, paragangliom, neuroblastom, medulární karcinom štítné žlázy, karcinoid, event. hyperplazii dřeně nadledvin atd. [Louthan, s. 11].

K naznačení MIBG se používají izotopy jodu ¹²³I nebo ¹³¹I. Využití ¹²³I pro diagnostiku je lepší z důvodu výhodnějších fyzikálních parametrů (poločas rozpadu je 13 hodin, záření gama o energii 159 keV). ¹³¹I se využívá spíše pro terapeutické účely vzhledem k dlouhému poločasu rozpadu, který je 8,04 dní. ¹³¹I emituje dva druhy záření - gama o energii 364 keV (lze jej využít ke scintigrafickému zobrazení) a beta o energii 0,61 MeV (proto se používá k terapii) . Dolet beta částic je průměrně 0,8 mm. Vyšetření pomocí ¹²³I- MIBG je indikováno k detekci tumoru, ke stagingu onemocnění, ke zhodnocení vývoje onemocnění během terapie a po terapii a také před nasazením radionuklidové terapie. MIBG je používanou metodou i v neonkologické diagnostice. Jde o nemoci s poruchou sympatické inervace (např. ischemická versus neischemická kardiomyopatie) nebo nemoci neurodegenerativního typu (např. Parkinsonova choroba nebo multisystémové atrofie) [Táborská, 2011, s. 333].

Příprava pacienta

Před vyšetřením je pacient seznámen s vysazením léků, které interferují s vychytáváním MIBG. Jsou to tricyklická antidepresiva, sympatomimetika (skupina

léků k dekonesci nosní sliznice), některá antihypertenziva (blokátory kalciového kanálu – např. verapamil, diltiazem) a kardiovaskulární léky, antipsychotika a opioidy. Dále je nutná blokáce štítné žlázy pomocí chloristanu draselného nebo 1 % Lugolova roztoku a to jeden den před aplikací MIBG. Po aplikaci ^{123}I -MIBG se blokáce štítné žlázy provádí ještě 2 dny, při použití ^{131}I -MIBG se štítná žláza blokuje ještě 5 dnů. Tyto přípravky se užívají 3x denně.

Pacient je informován o nutnosti dostatečné hydratace. Zvýšený přísun tekutin přispívá ke snížení radiační zátěže, protože močovým ústrojím je vyloučeno během 24 hodin 55% z aplikované aktivity a 90 % během 96 hodin. 1 - 5 % z aplikované aktivity je vyloučeno zažívacím traktem.

Popis metody

Podle užitého radiofarmaka se volí množství aplikované aktivity. U ^{131}I -MIBG je to aktivita v rozmezí 40 až 80 MBq, při použití ^{123}I -MIBG se volí aktivita v rozmezí 200 až 300 MBq. Radiofarmakum se aplikuje intravenózně.

Scintigrafie s použitým preparátem ^{131}I -MIBG se provádí za 24 a 48 hodin po injekci, mohou se event. doplnit scintigramy i za 72 hodin po aplikaci nebo i později.

^{123}I -MIBG scintigrafie se provádí za 4 hodiny (to však zřídka), vždy za 24 a 48 hodin po injekci. Pacient je uložen na vyšetřovacím stole na zádech. Planární scintigrafie se provádí v celotělovém režimu v přední a zadní projekci. Záznam se pořizuje při kontinuálním pohybu stolu rychlostí 4 až 5 cm/min nebo v režimu step and shoot (několik překrývajících se jednotlivých statických scintigramů). Tyto jsou následně počítačově složeny v jeden celotělový scintigram. Doba trvání jednotlivého scintigramu je stanovena nastřídáním 250 000 impulzů anebo nastavením akvizičního času na 10 až 15 minut. Matice celotělového scintigramu je 256 x 1024. Celotělové planární snímání je doplněno o SPECT na oblast zájmu. Podle nálezu na planárních snímcích se volí varianta jednoduchého SPECT nebo dvoj-SPECT, resp. SPECT/CT. Jednoduchý SPECT se nahrává v obrazové matici 128 x 128 pixelů, počet projekcí je 128 (2x64) a čas na projekci je 40 sekund. Varianta dvoj-SPECT je nahrávána ve stejné matici, počet projekcí je 64 (2x32) a čas na jednu projekci je 35 sekund. Podle indikace lékaře se doplňuje lokalizační CT, které se zfúzuje se SPECT řezy, popřípadě

se mohou doplnit bočné projekce [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-27].

Fyziologický nálezn

MIBG je fyziologicky vychytávan ve slinných a slzných žlazách, v myokardu, v játrech a ve slezině. Akumulace radiofarmaka je lehce zvýšená ve štítné žláze. Aktivita patrná v ledvinách a močovém měchýři je způsobena renální exkrecí radiofarmaka. Difuzní akumulace radiofarmaka může být vidět v plicích a ve střevě [Táborská, 2011, s. 333].

Radiační zátěž pacienta

Orgán, ve kterém je nejvyšší absorbovaná dávka jsou játra. Z níže uvedených tabulek lze vypočítat efektivní a absorbovanou dávku podle aplikované radiofarmaka a jeho aktivity.

Scintigrafie ¹²³ I-MIBG		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,067 játra	0,013
Děti 5 let	0,18 játra	0,037

Tabulka 6: koeficienty k výpočtu absorbované a efektivní dávky při scintigrafii ¹²³I - MIBG (Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-27)

Scintigrafie ¹³¹ I-MIBG		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,83 játra	0,14
Děti 5 let	2,4 játra	0,4

Tabulka 7: koeficienty k výpočtu absorbované a efektivní dávky při scintigrafii ¹³¹I - MIBG (Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-27)

2. 5. Scintigrafická detekce sentinelové uzliny

Sentinelová, neboli strážná uzlina je první svodná lymfatická uzlina, která přímo drénuje místo primárního nádoru. Lymfa však může být odváděna do více sentinelových lymfatických uzlin z jednoho nádoru [Beneš, 2003, s. 163]. Rutinně se detekce sentinelové uzliny provádí u karcinomu prsu a maligního melanomu, které jsou určeny k chirurgickému řešení. V posledních několika letech se objevují studie s využitím detekce sentinelové uzliny i v jiných lokalitách, jako např. u karcinomu plic a karcinomů GIT [Neoral, 2009, s. 36]. Histologické vyšetření sentinelových uzlin má zásadní vliv na stav zbylých lymfatických uzlin v daném regionu [Chovanec, 2008, s. 86]. Pokud není při histologickém vyšetření potvrzeno metastatické postižení sentinelové lymfatické uzliny, je více než jisté, že by nebyla detekována metastáza ani v další uzlině vyššího řádu. Díky tomu lze zvolit méně radikální chirurgický postup, tzn. že pacientky nemusí podstupovat radikální disekci celého lymfatického řetězce. [Mysliveček, 2002, s. 44]. Kompletní odběr svodných lymfatických uzlin je indikován v případech, kdy jsou uzliny postižené metastázami, nebo když nebyly sentinelové uzliny detekovány [Červinka, 2006, s. 259]. Po radikálních operacích jsou pacienti vystaveni vyšší morbiditě, zejména lymfedému v dané oblasti. [Mysliveček, 2002, s. 44].

Popis metody

Před tímto vyšetřením není nutná žádná příprava. Kontraindikováni jsou pacienti, kteří absolvovali operační výkon anebo ozařování v oblasti svodných lymfatických povodí. V těchto případech by bylo vyšetření z důvodu těžké alterace lymfatického řečiště neproveditelné. Další kontraindikace vyšetření jsou jen relativní - gravidita a laktace. Gravidní ženy jsou vyšetřeny jen z vitální indikace při použití minimalizované aplikované aktivity radiofarmaka [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-15].

Scintigrafické vyšetření se provádí na dvoudetektorové kameře, která je vybavena nízkenergetickými kolimátory s vysokým rozlišením (LEHR). Scintigrafii je možné provést i na jednodetektorové kameře, dvoudetektorová má však výhodu v možnosti snímání dvou projekcí (např. přední a zadní nebo pravé a levé) současně. LEHR

kolimátory se používají pro svou schopnost rozlišit těsně vedle sebe ležící SLU [Koranda, habilit, s. 32].

Radiofarmakum používané k zobrazení lymfatického systému je ^{99m}Tc -značený nanokoloidní preparát, který má velikost částic o průměru řádově desítek až stovek nm a je registrované pro lymfoscintigrafii [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-15]. Při použití preparátu s částicemi o velikosti mezi 20 až 100 nm je odtok radiofarmaka z místa aplikace velice rychlý a vydatný. Lymfatické cesty jsou lépe zobrazeny a v lymfatických uzlinách se akumuluje větší množství radiofarmaka. Naopak při použití preparátu s většími částicemi (200 až 300nm) je intenzita odtoku radiofarmaka nižší, zároveň se ale snižuje četnost zobrazení lymfatických uzlin vyššího řádu [Beneš, 2003, s. 163]. Aplikovaná aktivita se volí podle toho, jestli je zvolen jednodenní nebo dvoudenní protokol [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-15].

Jednodenní protokol se využívá hlavně u detekce sentinelové uzliny u maligního melanomu. Standardně je pacientovi naaplikováno 50 MBq ^{99m}Tc -nanokoloidu v objemu asi 0,5 ml 4 – 6 intradermálními vpichy peritumorózně. [Beneš, 2003, s. 163]. Objem aplikovaného radiofarmaka by se měl pohybovat okolo 0,5 ml, každá jednotlivá aplikace by tedy měla být okolo 0,1 ml. Vzdálenost míst aplikace od melanomu nebo jizvy po diagnostické excizi névu by měla být mezi 0,1 až 1 cm. K aplikaci se používá jehla o průměru 25 nebo 27 G, tzv. „tuberkulinka“. [Koranda, habilit, s. 32]. Vyšetřovaný je uložen na vyšetřovací stůl na záda. Pokud by však nebylo místo aplikace v této poloze dostupné, je možné úvodní fázi vyšetření provést na břiše. Další fáze vyšetření se provádí už standardně vleže na zádech. Při diagnostice sentinelové uzliny maligního melanomu je akvizice zahájena dynamickou studií s délkou 5 minut, která se předčasně ukončuje při zobrazení sentinelových uzlin. Dynamická studie se nahrává v matici 128 x 128 pixelů. Celkový počet scintigramů pořízených při dynamické studii je 15 s délkou trvání 20 sekund.

Po dokončení dynamické fáze vyšetření následuje multistatická studie. Statické scintigramy se pořizují v časech 10, 20, 30 a 60 minut p.i. v přední a bočné projekci. Délka záznamu je závislá na intenzitě zobrazení SLU a pohybuje se v rozmezí mezi 50 až 150 sekundami. Pacient je, stejně jako u dynamické studie, uložen na vyšetřovacím stole na zádech. Použitá matice je 256 x 256. Pokud jsou SLU detekovány ve dvou různých lokalitách, které nejsou možné zobrazit na jeden scintigram, je možné využít

tzv. celotělové scintigrafie. Celotělovou scintigrafií se rozumí pořízení několika překrývajících se jednotlivých scintigramů, které by měly být zaznamenávány po dobu 50 až 180 sekund.

V případě, že jsou SLU velmi chabě patrné, pokračuje vyšetření ještě pozdními scintigramy s časovým odstupem 1,5 až 2,5 hodiny p.i.. Na pozdních scintigramech se dobře diferencují uzliny in tranzit.

Po dokončení scintigramů v 60. minutě, pokud jsou však uzliny dostatečně zobrazeny, jsou na pacientovu pokožku zaznamenány průměty dohledaných uzlin ve dvou projekcích na sebe kolmých – tedy v přední a bočné projekci.

Na posledních scintigramech jsou v každé snímané projekci zaznamenány také kontury těla pacienta pomocí bodového zdroje ^{57}Co .

Dvoudenní protokol se využívá hlavně v diagnostice SLU u pacientek s karcinomem prsu. Přístrojové vybavení a použité radiofarmakum je stejné jako u jednodenního protokolu. Jen aplikovaná aktivita je vyšší, 300 až 350 MBq [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-15]. Aplikace se provádí peritumorózně několika vpichy, v případě chabé nebo chybějící akumulace radiofarmaka v SLU je možné doaplikovat 50 MBq subdermálně nebo retroareolárně. Lehkou masáží místa aplikace je možné lymfatickou drenáž podpořit. Ke snímání je pacientka uložena na vyšetřovací stůl na břicho, ramena a břicho jsou podloženy tak, aby prsy volně visely do vytvořené mezery. Díky tomu nedochází k sumaci akumulace radiofarmaka v místě aplikace a v SLU [Koranda, 2007, s. 446]. Dále je výše popsána poloha na břicho výhodná pro lepší zobrazení SLU ve vnitřním mammárním řečišti. [Strasenská, 2012, s. 17] Scintigramy jsou v pronální pozici nahrávány do zobrazení SLU. Poté je možné pacientku uložit do polohy na zádech.

U detekce SLU u karcinomu prsu se pořizují pouze statické scintigramy. Statické scintigramy se nahrávají v 5, 15, 30, 45 a 60 minutě p.i. v přední, příslušné přední šikmé a bočné projekci v matici 256 x 256. Délka záznamu scintigramu je nastavena na 100 sekund. V případě chabé akumulace radiofarmaka v SLU je možné čas nahrávání prodloužit až na 150 sekund. I dvoudenní protokol může být doplněn pozdními scintigramy, které jsou nahrávány v odtupu 1,5 až 2,5 hodiny p.i. [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-15]. V závěrečné fázi vyšetření jsou na pokožku pacienta zakresleny průměty SLU v přední a bočné

projekci. V přední poloze jsou SLU označovány na pokožku s odpaženou horní končetinou, což je poloha umožňující přístup do axilly. Zakreslování uzlin by se mělo provádět ve stejné poloze jako bude pacientka při operaci [Strasenská, 2012, s. 18].

Po provedení vyšetření SLU, která má za úkol zjistit polohu a počet spádových lymfatických uzlin následuje operační výkon, jehož součástí je radionavigovaná biopsie sentinelových uzlin, popř. radionavigovaná exstirpace sentinelových uzlin. Peroperační lokalizace SLU se provádí pomocí speciální přenosné aparatury – gamasondy. Přístroj se skládá z vyhodnocovací aparatury, bočně stíněného detektoru a elektrického kabelu, který obě části spojuje. Detektor je opatřen kolimátorem, který zajišťuje detekování záření gama, je z určitého směru a pod určitým úhlem [Koranda, habilit, s. 13].

Radiační zátěž pacienta

Hodnotu efektivní dávky na orgán, ve kterém je nejvyšší absorbovaná dávka, nelze stanovit stejně jako u ostatních metod pouhým vynásobením hodnot v tabulce a aplikované aktivity. Místo aplikace závisí na lokalizaci vyšetřovaného ložiska. Většina radiofarmaka zůstává deponovaná v místě aplikace. Při vyšetření SLU v oblasti prsu je efektivní dávka přibližně 1mSv (0,021 mSv/MBq) při aplikované aktivitě 50 MBq [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-15].

3. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo shrnutí dosud publikovaných poznatků, týkajících se vyšetřovacích metod rutinně používaných na poli nukleární medicíny v oblasti onkologické diagnostiky. Výše zmiňované metody byly popsány z hlediska indikací, přípravy pacienta a provedení vlastního vyšetření. Nedílnou součástí sdělení jsou i kapitoly o radiační zátěži pacienta. Indikace vyšetření jsou v každé kapitole u jednotlivých metod podrobně popsány. Obecně lze říct, že nukleárně medicínské metody přispívají k primární detekci nádoru, ke zjištění metastatického postižení (např. scintigrafie skeletu), u určitých vyšetření lze primární postižení a eventuální metastatický rozsev posoudit současně. Důležité je také sledování pacientů

s nádorovým onemocněním během terapie a po ní (např. scintigrafie ^{99m}Tc – MIBI v diagnostice mnohotného myelomu) [Ščudla, 2011, s. 134]. Některé metody umožňují ověřit akumulaci radiofarmaka před podání terapeutického radiofarmaka. Příkladem může být scintigrafie pomocí ^{123}I -MIBG před podáním terapeutické aplikace ^{131}I -MIBG [Táborská, 2011, s. 333].

Další možností využití metod nukleární medicíny v onkologické diagnostice je užití scintigrafie pro určení místa k biopsii. Příkladem může být scintigrafie sentinelové lymfatické uzliny, po které následuje operační odstranění SLU. [Myslivoček, 2002, s. 8]

Důležitým aspektem k dobře provedenému výkonu je znalost přípravy pacienta před vyšetřením. Tím může být vysazení léků určitou dobu před vyšetřením nebo další kroky, které je třeba provést před výkonem a které jsou klíčové pro správný výsledek vyšetření. Z toho důvodu je příprava uvedena u každé vyšetřovací metody, u které je nezbytná. I anamnestická data mohou ovlivnit, respektive nepříznivě ovlivnit výsledek vyšetření. Například u scintigrafie příštítných tělísek nesmí být pacientovi podán neaktivní jód 3 měsíce před vyšetřením, což by ovlivnilo vychytávání radiofarmaka ve štítné žláze [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-12]. Důležitou informací pro pacienta prakticky po všech vyšetřeních je zdůraznění dostatečné hydratace před a po podání radioaktivního preparátu, který je většinou vylučován z organismu uropoetickým systémem. Zvýšený přísun tekutin způsobuje rychlejší vyplavení přebytečného radiofarmaka a snižuje tím radiační zátěž na ledviny a močový měchýř. Zejména to platí u scintigrafie skeletu [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-10] a I-MIBG [Táborská, 2011, s. 333]. U všech vyšetřovacích metod jsou uvedeny tabulky hodnot, ze kterých se vypočítávají hodnoty absorbované dávky v nejvíce exponovaném orgánu a efektivní dávky. Jedinou metodou, u které to takto nelze určit je vyšetření SLU. Radiofarmakum je aplikováno peritumorózně, tzn. že místo aplikace není vždy stejné [Radiologický standard FN Olomouc PP-Sm-L023-V141-15].

Dalším cílem bylo podrobně popsat vlastní provedení výkonu a akviziční parametry. Pacientovi je v rámci vyšetření aplikováno radiofarmakum (zdroj ionizujícího záření), proto se kladou vysoké nároky na bezchybné provedení výkonu. Není zde možné opakování vyšetření v ten samý den, ale až po vyplavení radiofarmaka z organismu, navíc by opakované vyšetření bylo spojeno s nadbytečnou radiační

zátěží.. Na většině pracovišť nukleární medicíny jsou proto vypracované standardní operační postupy, jejichž dodržení zaručí správné provedení výkonu.

4. Seznam bibliografických odkazů

BENEŠ Petr et al., Vyšetření sentinelové uzliny u maligního melanomu, Interní medicína pro praxi, 2003, roč. 5, č. 4, s. 163, ISSN: 1212-7299, dostupné z <http://www.solen.cz>

BĚLOHLÁVEK Otakar, Karolín Ladislav, Zobrazení karcinomu prostaty metodami nukleární medicíny, Česká urologie, 2012, roč. 16, č. 4, s.206 – 207, ISSN: 1211-8729

ČERVINKA Vladimír et al., Sentinelová uzlina v praxi, 2006, Onkológia (Bratislava), roč. 1, č. 4, s. 259, dostupné z <http://www.solen.eu>

FERDA Jiří a kolektiv, Diagnostické zobrazení mikrosvěta a makrosvěta nádorů, 2010, Česká radiologie, roč. 64, č.1, s. 18 – 20, ISSN: 1210-7883

HYNKOVÁ, Ludmila at al. Radiační onkologie – učební texty. 1. vydání, Masarykův onkologický ústav, Brno, 2009, 242 s., ISBN 978-80-86793-13-9

CHOVANEC Josef , Dostálová Zuzana, Navrátilová Jana, Karcinom prsu – aktuální problém, Interní medicína pro praxi, 2008, roč. 10, č. 2, s. 86, ISSN: 1212-7299, dostupné z <http://www.internimedicina.cz>

KLENER P., Kostní metastázy, patogeneze, diagnostika a léčba, Klinická onkologie, 2004, roč. 17, č. 1, s. 29, ISSN: 0862-495X

KORANDA Pavel, Lymfoscintigrafie a radionavigovaná biopsie sentinelových lymfatických uzlin, habilitační práce z oboru radiologie, 2010, dostupný na www.upol.cz

KŘÍŽOVÁ Hana, Vlček P., Radionuklidová diagnostika a terapie tumorů dětského věku, Klinická onkologie, 2003, roč. 16, suppl. 2003, s. 100, ISSN: 0862-495X

- KUPKA K., Kubinyi J., Šámal M. a kol., Nukleární medicína, 1. vydání, Nakladatelství P3K, Příbram, 2007, 185 s., ISBN 978-80-903584-9-2
- LANG Otto, Nukleární medicína – základní znalosti, 1. vydání, Karlova univerzita, Praha, 1998, 28 s., ISBN 80-7184-721-6
- LOUTHAN Oldřich, Diagnostika neuroendokrinních nádorů – lokalizační technika
Dostupné z: neuroendokrinni-nadory.cz/downloads/diagnostika-nen-techniky.pdf
- MYSLIVEČEK, Miroslav et al. Nukleární medicína v diagnostice nádorů a zánětů. 1. vydání, LF UP Olomouc, 2002, 69 s., ISBN 80-244-0509-1
- MYSLIVEČEK Miroslav, Nekula J., Bačovský J., Zobrazovací metody v diagnostice a sledování mnohočetného myelomu, Vnitřní lékařství, 2006, roč. 52, č. 2, s. 48 – 49, ISSN: 0043-773X
- MYSLIVEČEK Miroslav et al., Prediktivní cena ^{99m}Tc – MIBI scintigrafie u nemocných s mnohočetným myelomem a potenciální úloha metody při jejich sledování po terapii, Klinická onkologie, 2005, roč. 18, č. 2, s. 46-47, ISSN: 0862-495X
- MYSLIVEČEK Miroslav et al., Scintigrafie pomocí ^{99m}Tc – MIBI v diagnostice mnohočetného myelomu: senzitivní ukazatel biologické aktivity choroby, Klinická onkologie, 2004, roč. 17, č. 1, s. 15, ISSN: 0862-495X
- NEORAL Čestmír, Lymfadenektomie a detekce sentinelové uzliny u karcinomu žaludku, 2009, roč. 3, č. 1, s. 36, ISSN: 1802-4475, dostupné z <http://www.onkologiecs.cz>
- NĚMEČEK Petr, Filtrace šumu ve scintigrafických snímcích metodou založenou na Correspondence Analysis, Praha 2006, 47 s., Diplomová práce, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, dostupné na <ftp://cmp.felk.cvut.cz/pub/cmp/users/sara/masters/nemecek-master2006.pdf>

Radiologické standardy pro výkony prováděné na dvouhlavé scintilační kameře GE Infinia Hawkeye 4, standardní operační postupy FNOL, příloha č. 10 PP-Sm-L023-V141-10, 1. vydání, 2010, Olomouc

Radiologické standardy pro výkony prováděné na dvouhlavé scintilační kameře GE Infinia Hawkeye 4, standardní operační postupy FNOL, příloha č. 15 PP-Sm-L023-V141-15, 1. vydání, 2010, Olomouc

Radiologické standardy pro výkony prováděné na dvouhlavé scintilační kameře GE Infinia Hawkeye 4, standardní operační postupy FNOL, příloha č. 27 PP-Sm-L023-V141-27, 1. vydání, 2010, Olomouc

Radiologické standardy pro výkony prováděné na dvouhlavé scintilační kameře GE Infinia Hawkeye 4, standardní operační postupy FNOL, příloha č. 29 PP-Sm-L029-V141-29, 1. vydání, 2010, Olomouc

SEDLÁČKOVÁ Eva, Neuroendokrinní nádory, Onkologie, 2011, roč. 5, č. 6, s. 350, ISSN: 1802-4475, dostupné z <http://www.onkologiecs.cz>

STRASENSKÁ Pavla, Scintigrafická detekce a radionavigovaná biopsie sentinelových uzlin, Olomouc, 2012, 34 s., Bakalářská práce, Universita Palackého v Olomouci, Fakulta zdravotnických věd, Ústav zobrazovacích metod, dostupné na www.upol.cz

STROBEL K., Nuklearmedizinische Diagnostik von Knochenmetastasen, Praxis, 2009, roč. , č. , s. 1294

ŠČUDLA Vlastimil, Heřman Miroslav, Mysliveček Miroslav, Současné možnosti diagnostiky myelomové kostní nemoci, Onkologie, 2011, roč. 5, č. 3, s. 131 - 134, ISSN: 1802-4475, dostupné z <http://www.onkologiecs.cz>

TÁBORSKÁ Kateřina, Funkční zobrazení a léčba neuroendokrinních tumorů pomocí metajodbenzylguanidinu, *Onkologie*, 2011, roč. 5, č. 6, s. 333, ISSN: 1802-4475, dostupné z <http://www.onkologiecs.cz>

VERNER Pavel, Moderní radiologické zobrazovací metody, *Urologie pro praxi*, 2004, roč. 5, č. 4, s. 158, ISSN: 1213-1768, dostupné z <http://www.solen.cz/pdfsuro20040403.pdf>

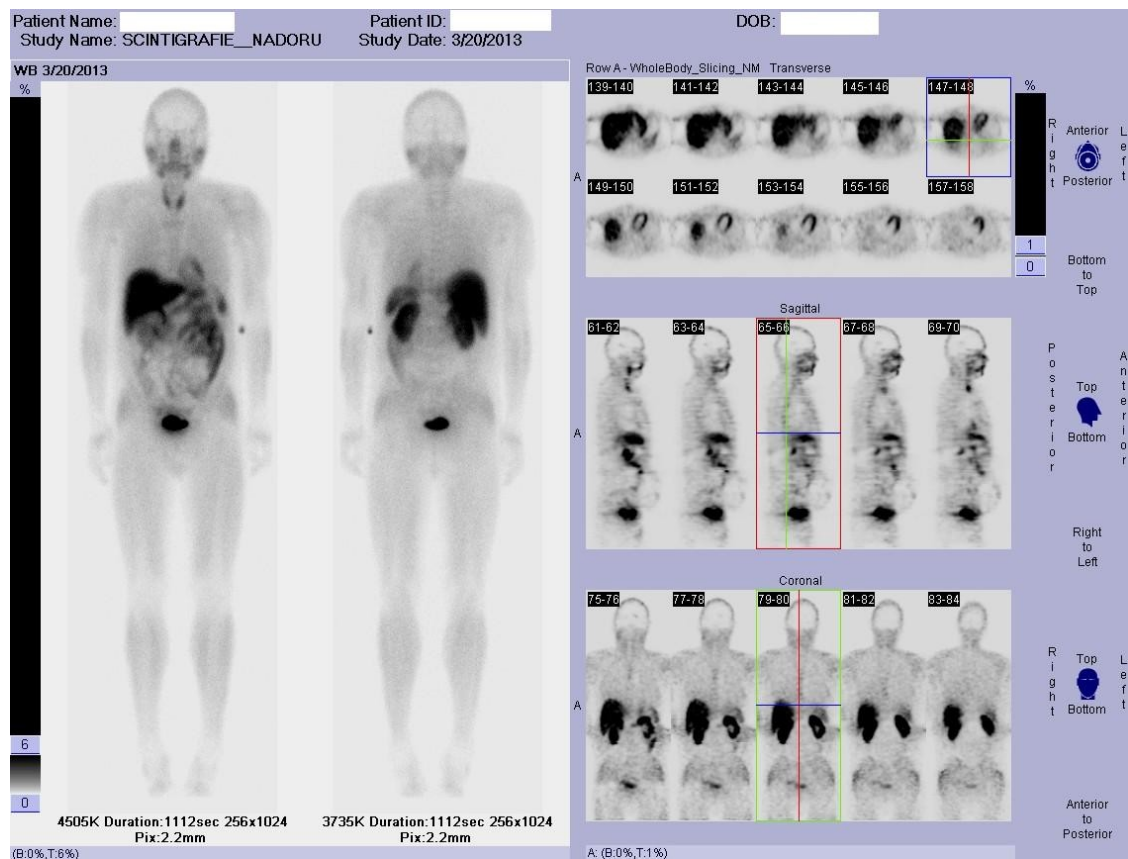
VIŽŽDA Jaroslav, Křížová Hana, Urbanová Elen, *Atlas kostní scintigrafie*. 1. vydání, Praha, 2006, 71 s., IBSN 80-239-6676-6, s. 7 – 10

ZAMRAZIL Václav, Neuroendokrinní tumory, *Interní medicína pro praxi*, 2007, roč. 9, č. 11, s. 514, ISSN: 1212-7299, dostupné z <http://www.internimedicina.cz>

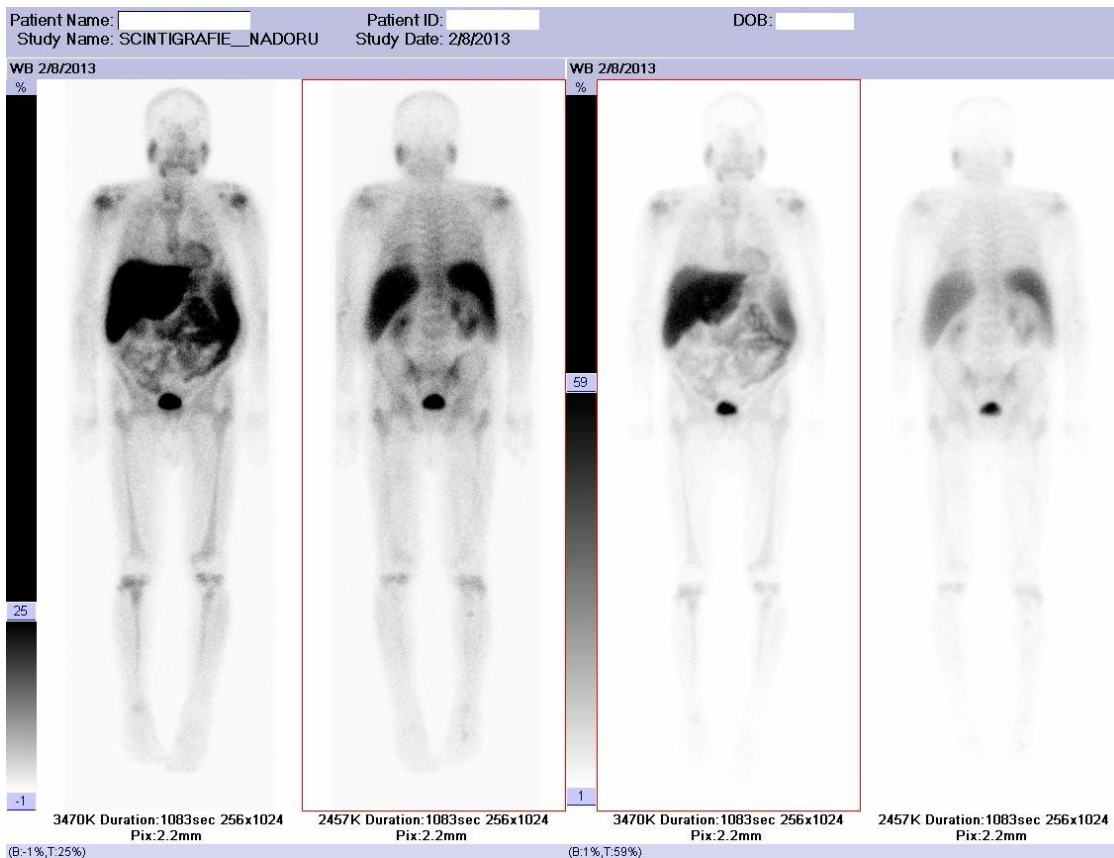
5. Seznam zkratek

Zkratka	Význam
^{57}Co	izotop kobalt
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	izotop technecium
^{111}In	izotop indium
^{123}I , ^{131}I	izotop jodu
^{201}Tl	izotop thallia
Aj.	a jiné
CT	počítačová tomografie
G	gauge (jednotka šířky jehly)
HR	high resolution (vysoké rozlišení)
keV	kiloelektronvolt
LEHR	nízkoenergetické kolimátory s vysokým rozlišením
MBq	megabecquerel (jednotka aktivity radioaktivní látky)
mg	miligram
mGy	miligray (jednotka absorbované dávky)
MM	mnohočetný myelom
mSv	milisivert
NaI(Tl)	thalliem aktivovaný jodid sodný
NET	neuroendokrinní tumor
PET	pozitronová emisní tomografie
p.i.	po injekci
PTH	parathormon
SPECT	jednofotonová emisní tomografie
SLU	sentinelové lymfatická uzlina
Tzn.	to znamená
Tzv.	takzvaný

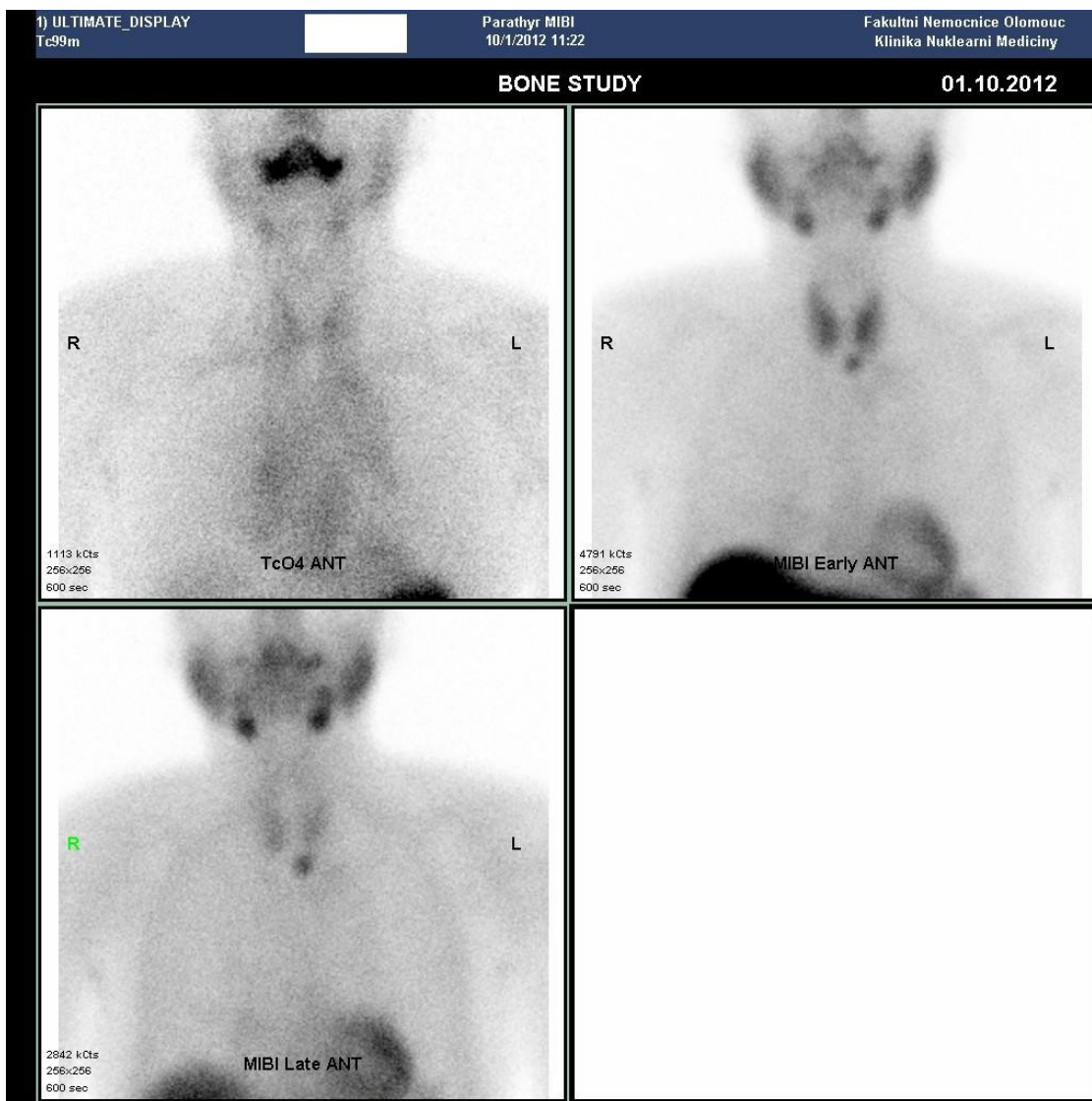
Přílohy



Obr.1: ^{99m}Tc – MIBI: celotělový scintigram a SPECT – diagnostika mnohočetného myelomu - normální nález (fyziologická akumulace radiofarmaka ve slinných žlázách, v nose, v dutině ústní, štítné žláze, myokardu, játrech, žlučových cestách, slezině, střevu, ledvinách a močovém měchýři). Zdroj : *Archiv KNM FN Olomouc*



Obr. 2: ^{99m}Tc – MIBI: celotělový scintigram a SPECT – diadnostika mnohočetného myelomu – patologický nález, difúzně zvýšená akumulace radiofarmaka v zobrazené kostní dřeni (páteř, žebra, sternum, klíčky, proximální partie humerů, femory) - nález svědčí pro aktivní nádorovou tkáň, resp. pro aktivní myelom. Zdroj : *Archiv KNM FN Olomouc*



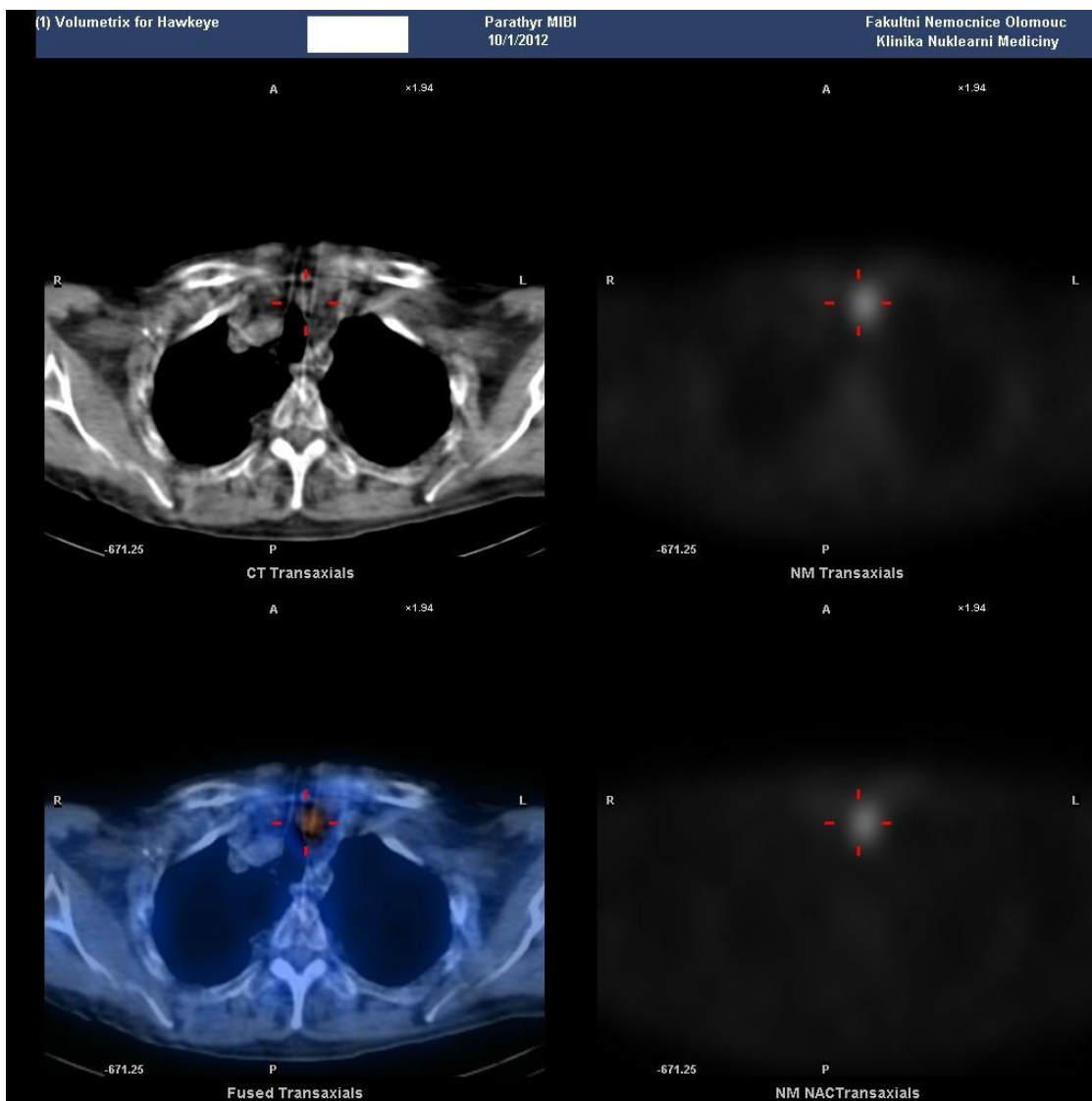
Obr. 3: Scintigrafické vyšetření příštítných tělísek - planární scintigramy.

Ložisková hyperakumulace ^{99m}Tc -MIBI kaudálně od dolního pólu levého laloku štítné žlázy - nález svědčí pro ektopicky lokalizovaný adenom parathyreoidey. *Zdroj : Archiv KNM FN Olomouc*



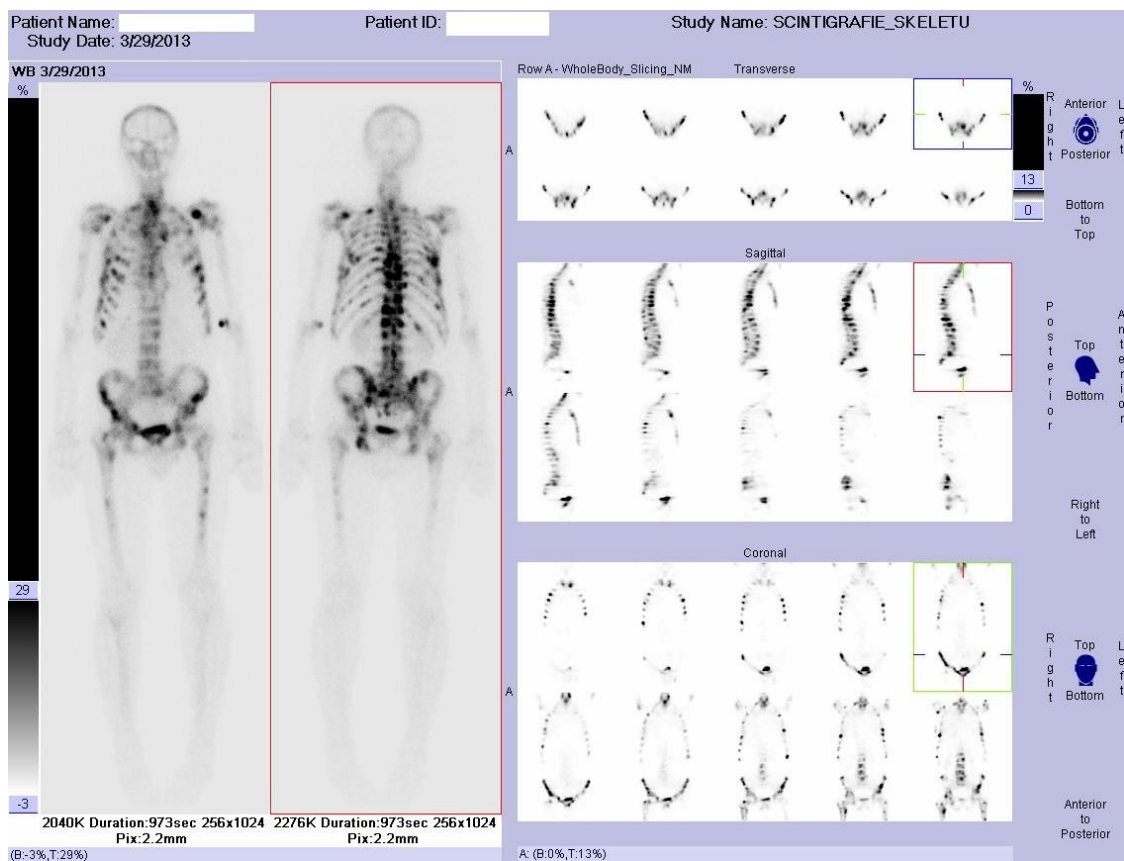
Obr 4: : Scintigrafické vyšetření příštítných tělísek – SPECT/CT.

Ložisková hyperakumulace ^{99m}Tc -MIBI kaudálně od dolního pólu levého laloku štítné žlázy - nález svědčí pro ektopicky lokalizovaný adenom parathyreoidey. *Zdroj: Archiv KNM FN Olomouc*



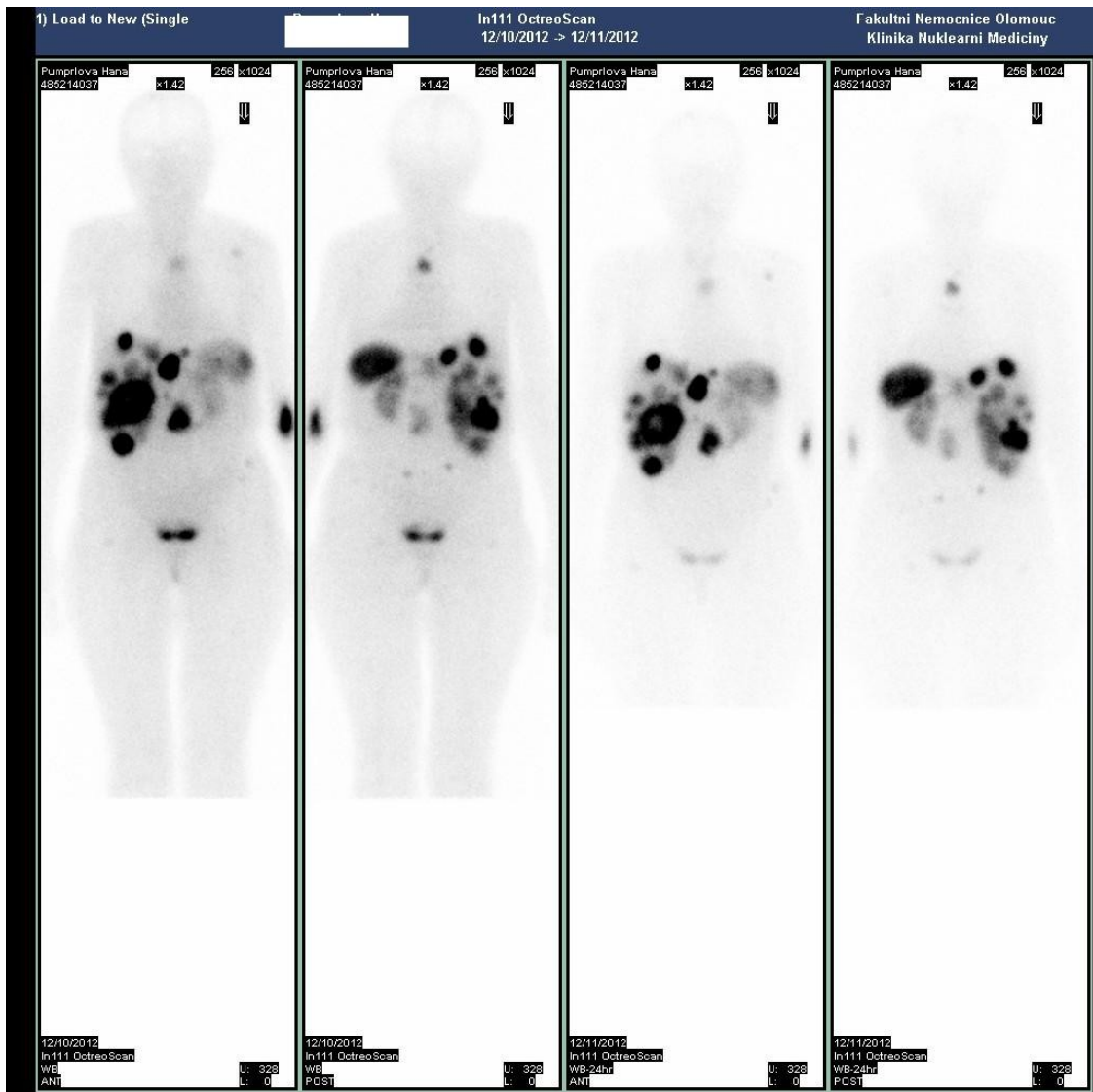
Obr. 5: Scintigrafické vyšetření příštítných tělísek – SPECT/CT.

Ložisková hyperakumulace ^{99m}Tc -MIBI kaudálně od dolního pólu levého laloku štítné žlázy - nález svědčí pro ektopicky lokalizovaný adenom parathyreoidey. *Zdroj : Archiv KNM FN Olomouc*



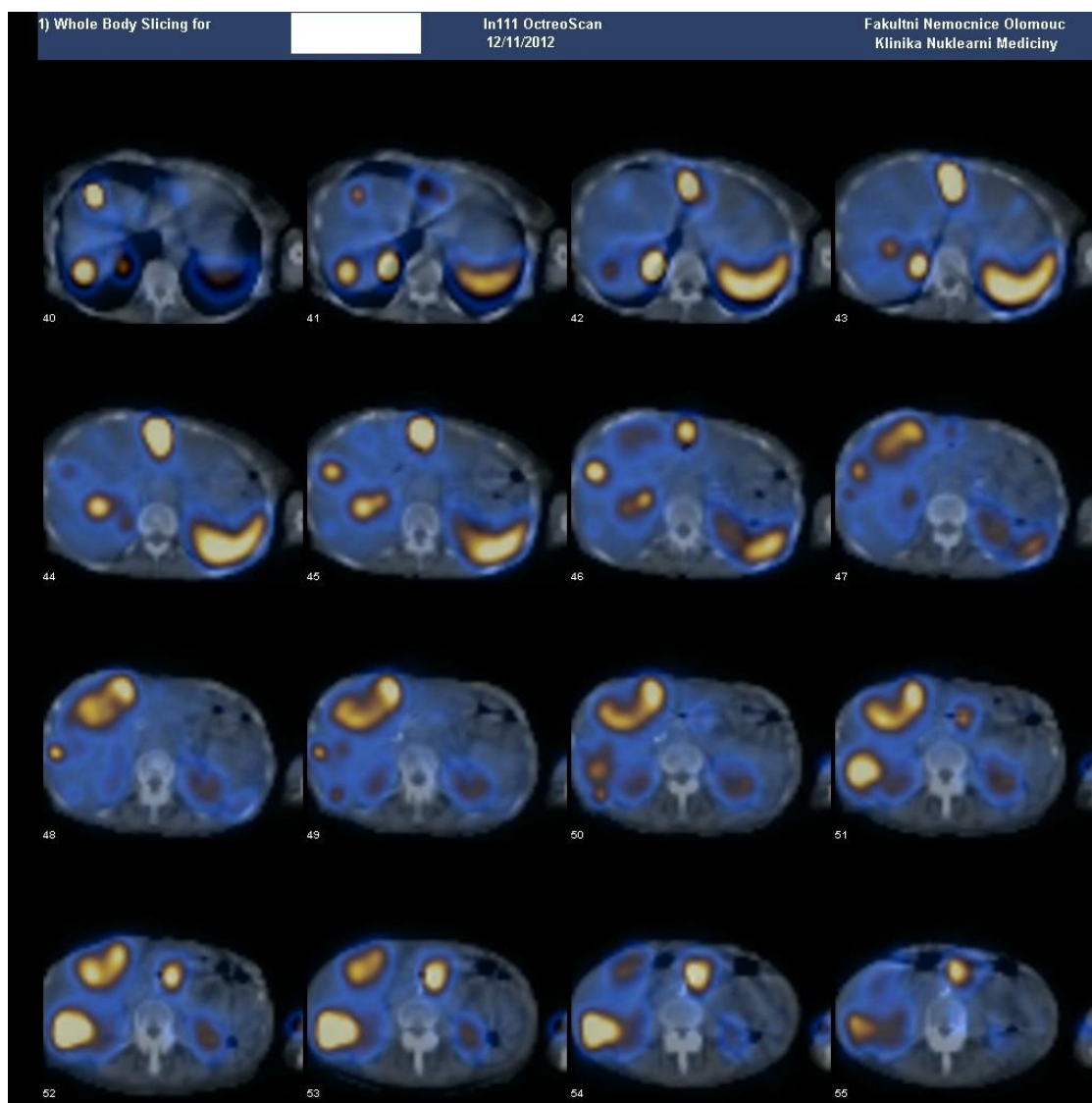
Obr. 6: Scintigrafie skeletu + SPECT.

Pacient s karcinomem prostaty .Mnohočetná ložiska zvýšené kostní přestavby v zobrazeném skeletu svědčí pro osteoplastické metastázy. Zdroj : Archiv KNM FN Olomouc



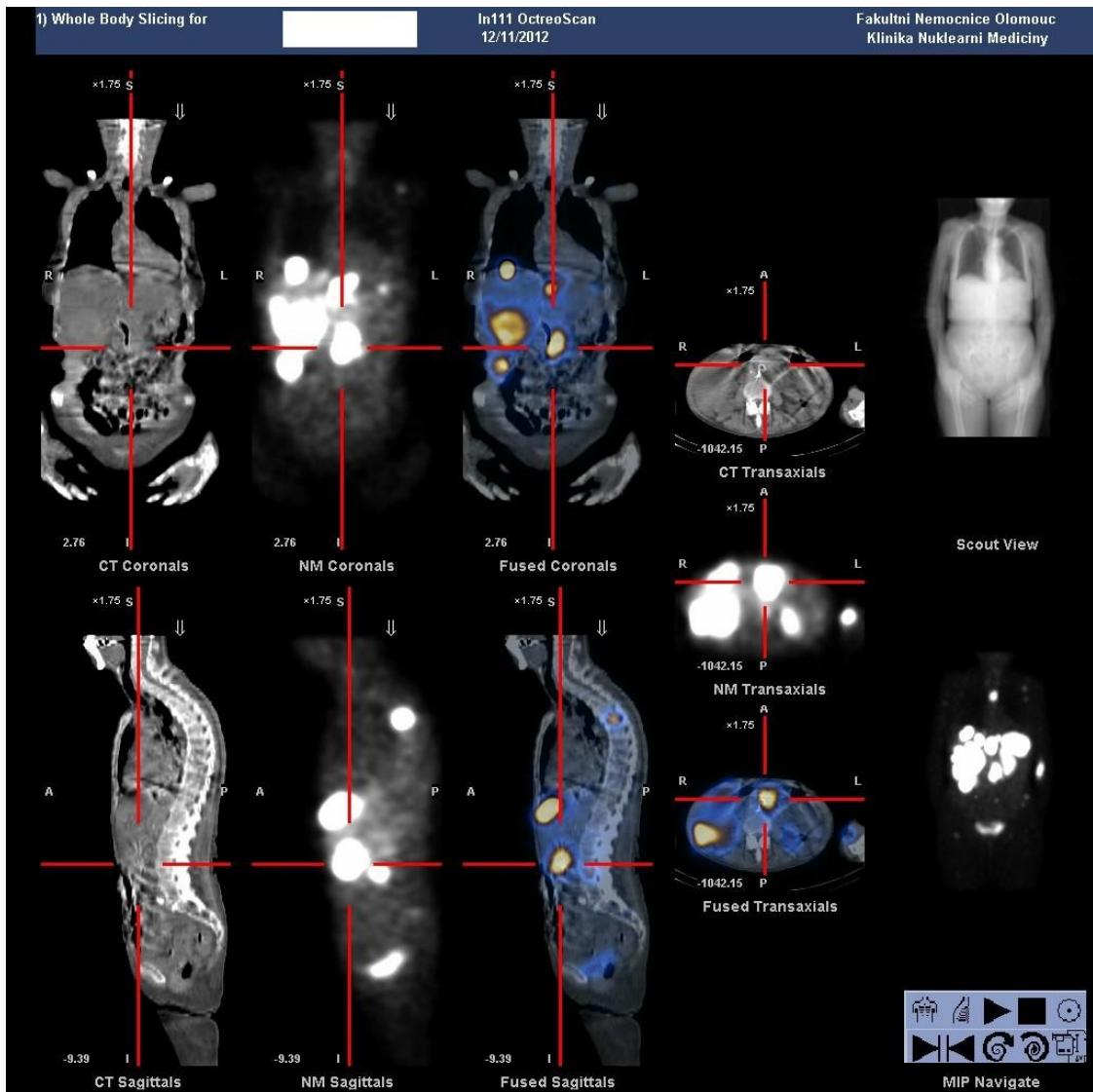
Obr. 7: ^{111}In – pentetretid - celotělový scintigram.

NET hlavy pankreatu s mnohočetnými metastázami v játrech a ve skeletu (v obratlovém těle Th4 a L4, v levé lopatce, v obou lopkách k. kyčelních a v levém SI skloubení) – nález svědčí pro zvýšený výskyt somatostatinových receptorů na povrchu tumoru a metastáz. *Zdroj : Archiv KNM FN Olomouc*



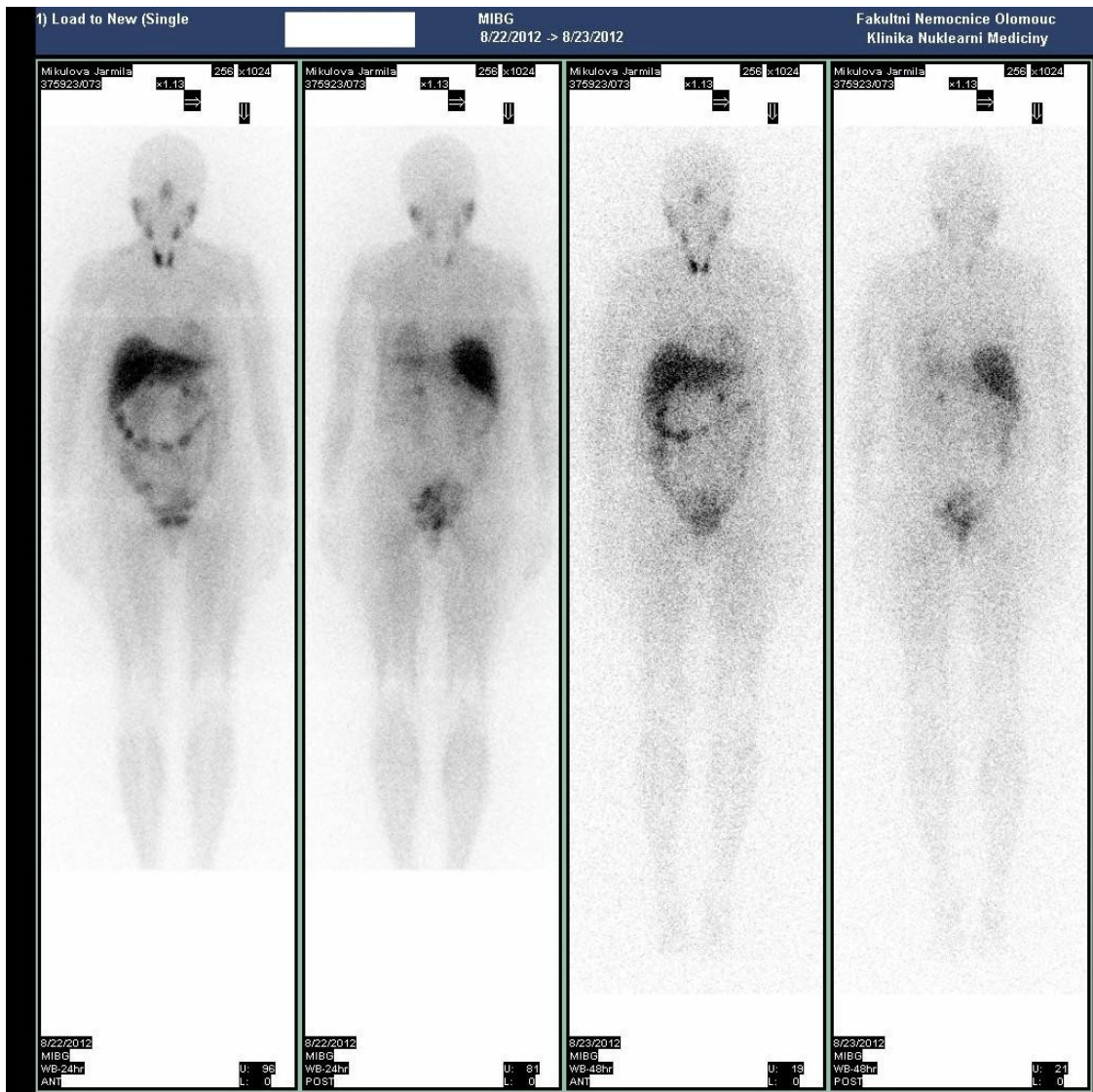
Obr. 8: ^{111}In – pentetretid – SPECT/CT.

NET hlavy pankreatu s mnohočetnými metastázami v játrech a ve skeletu (v obratlovém těle Th4 a L4, v levé lopatce, v obou lopkách k. kyčelních a v levém SI skloubení) – nález svědčí pro zvýšený výskyt somatostatinových receptorů na povrchu tumoru a metastáz. *Zdroj : Archiv KNM FN Olomouc*

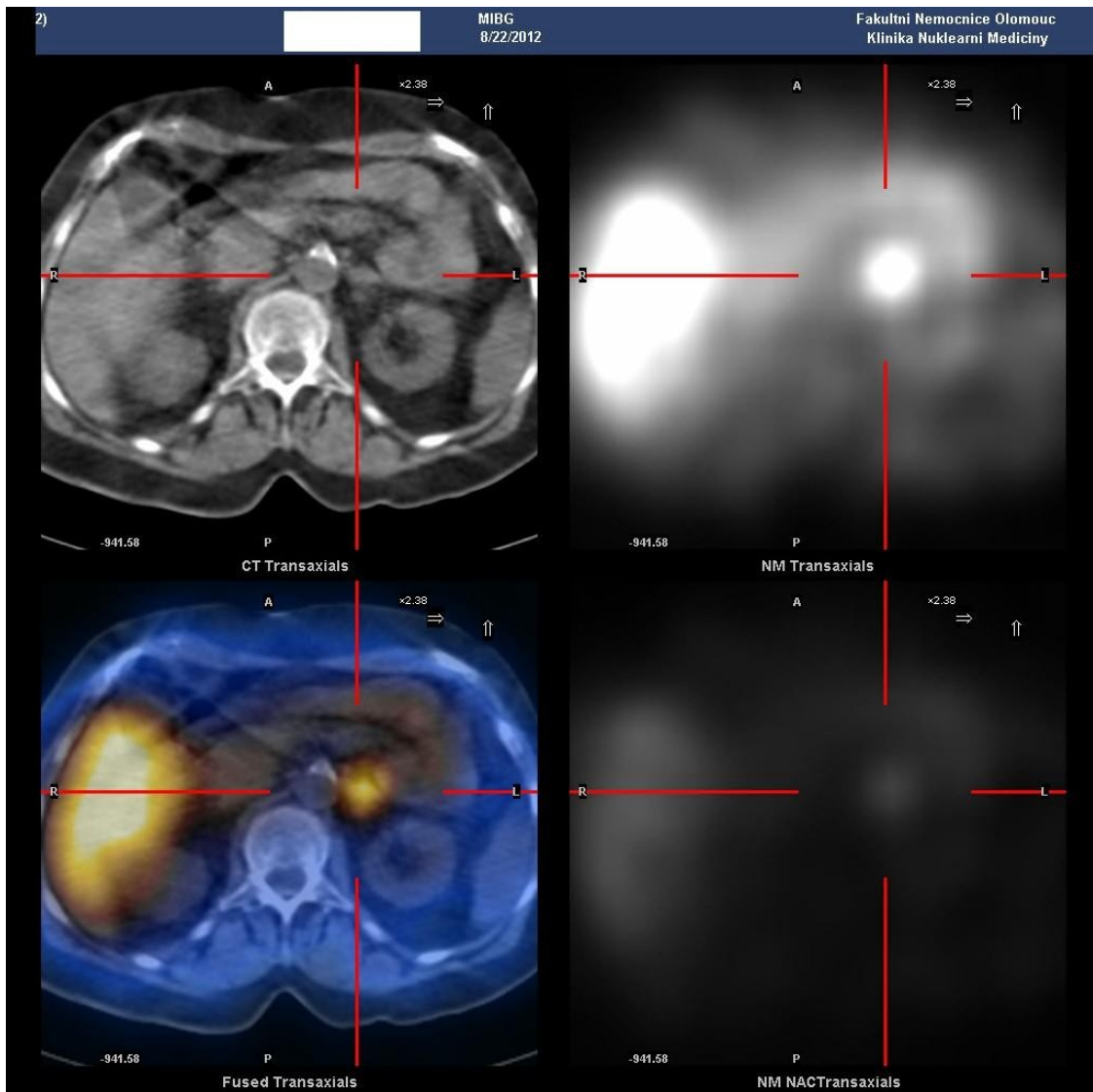


Obr. 9: : ^{111}In – pentetretid – SPECT/CT.

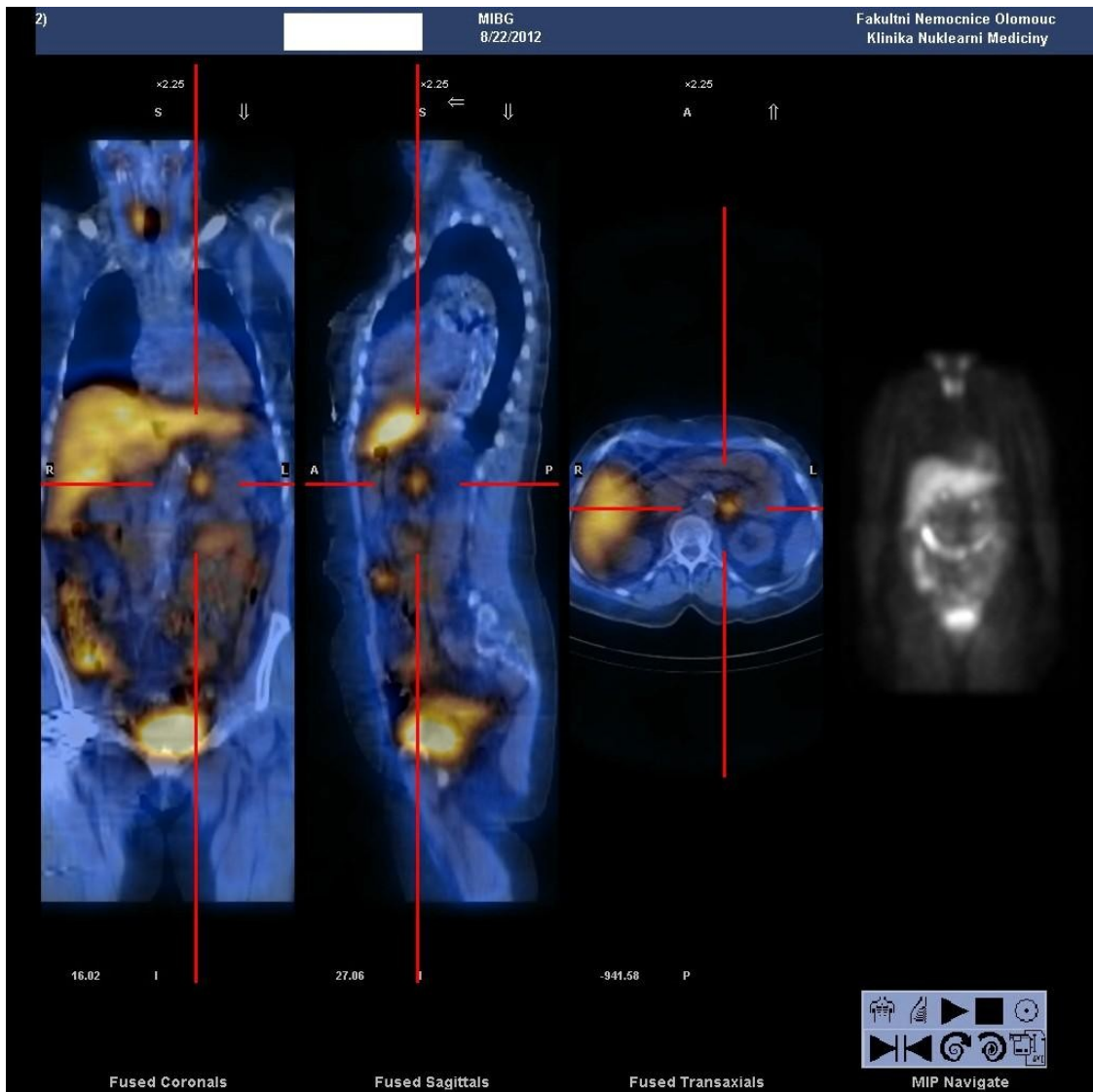
NET hlavy pankreatu s mnohočetnými metastázami v játrech a ve skeletu (v obratlovém těle Th4 a L4, v levé lopatce, v obou lopkách k. kyčelních a v levém SI skloubení) – nález svědčí pro zvýšený výskyt somatostatinových receptorů na povrchu tumoru a metastáz. *Zdroj : Archiv KNM FN Olomouc*



Obr. 10: ^{123}I -MIBG - Celotělový scintigram. Pacient s klinickým a laboratorním podezřením na feochromocytom. Zvýšená akumulace radiofarmaka ve zvětšené levé nadledvině svědčí pro feochromocytom v této lokalizaci. Zdroj : Archiv KNM FN Olomouc



Obr. 11: ^{123}I -MIBG – SPECT/CT. Pacient s klinickým a laboratorním podezřením na feochromocytom. Zvýšená akumulace radiofarmaka ve zvětšené levé nadledvině svědčí pro feochromocytom v této lokalizaci. Zdroj : Archiv KNM FN Olomouc



Obr. 12: ^{123}I -MIBG – SPECT/CT. Pacient s klinickým a laboratorním podezřením na feochromocytom. Zvýšená akumulace radiofarmaka ve zvětšené levé nadledvině svědčí pro feochromocytom v této lokalizaci. Zdroj : Archiv KNM FN Olomouc