

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Jana Kubíčková

**Planární scintigrafie a SPECT/CT zobrazení v diagnostice
nádorových onemocnění skeletu**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: MUDr. Miroslava Budíková, Ph.D.

Olomouc 2016

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

Olomouc, 30. dubna 2016

podpis

Děkuji vedoucí své bakalářské práce, MUDr. Miroslavě Budíkové, Ph.D., za cenné rady, připomínky a odbornou pomoc při zpracování této práce.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: SPECT/CT

Název práce: Planární a SPECT/CT zobrazení u nádorových onemocnění skeletu

Název práce v AJ: SPECT/CT Imaging in the diagnosis of bone cancer

Datum zadání: 2015-09-23

Datum odevzdání: 2016-05-13

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

Autor práce: Kubíčková Jana

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

Oponent práce: MUDr. Iva Metelková, Ph.D

Abstrakt v ČJ: Tématem této bakalářské práce je využití planární scintigrafie a hybridního systému SPECT/CT v detekci nádorových onemocnění skeletu. Zaměřuje se především na využití SPECT/CT v diagnostice primárních kostních nádorů. Zaobírá se rovněž principy a konstrukcí jednofotonové emisní tomografie. Tato práce zahrnuje využití SPECT společně s výhodami počítačového tomografického zobrazování. V jednotlivých kapitolách je popsán hybridní systém SPECT/CT a zpracování obrazů. Dále se zabývá jednotlivými kostními tumory a jejich vyšetřením, indikacemi a kontraindikacemi scintigrafie skeletu, její interpretací a aktuální použití SPECT/CT při maligním či benigním kostním onemocnění. Práce čerpá z odborné literatury a studií publikovaných v odborných periodikách a také využívá internetových zdrojů.

Abstrakt v AJ: The theme of this work is the use of planar scintigraphy and hybrid SPECT / CT system in the detection of neoplastic bone diseases. It focuses primarily on the use of SPECT / CT in the diagnosis of primary bone tumors. It deals also with the principles and construction of single-photon emission computed tomography. This work involves the use of

SPECT along with the benefits computed tomography imaging. In individual chapters is described a hybrid SPECT / CT system and image processing. It also deals with various bone tumors and their examination, indications and contraindications for bone scintigraphy, the interpretation and actual use of SPECT / CT in malignant or benign bone disease. The thesis use information from specialized literature and studies published in professional journals and also utilizes Internet resources.

Klíčová slova v ČJ: Jednofotonová emisní tomografie (SPECT) AND výpočetní tomografie, hybridní přístroj SPECT/CT, nádorové onemocnění skeletu, detekce nádorů skeletu pomocí SPECT/CT, scintigrafie skeletu, radionuklidové vyšetření onemocnění skeletu, nádory kostí

Klíčová slova v AJ: Single-photon emission computed tomography (SPECT) AND computed tomography (CT), hybrid SPECT/CT system, tumour bone diseases, detection of bone tumors with SPECT/CT, bone scintigraphy, radionuclid examination of bone diseases, bone tumours

Rozsah: 35 stran/11 příloh

OBSAH

Úvod	7
1 Struktura kostního systému	9
2 Planární scintigrafie.....	10
2.1 Scintilační kamera (gamakamera)	10
2.2 Princip scintilačního detektoru	11
2.3 Typy kolimátorů	11
3 Jednofotonová emisní tomografie	13
4 Hybridní systém SPECT/CT	14
4.1 Zpracování obrazů u SPECT/CT	14
4.1.1 Emisní tomografie	14
5 Scintigrafie skeletu	18
5.1 Radiofarmaka používaná při scintigrafii skeletu	18
5.2 Provedení vyšetření.....	19
5.3 Indikace a kontraindikace scintigrafie skeletu	20
5.4 Interpretace scintigrafie skeletu	20
5.5 Zdroje chyb při scintigrafii skeletu	21
6 Nádorové postižení skeletu a úloha nukleární medicíny v jeho diagnostice.....	22
6.1 Primární kostní nádory.....	22
6.1.1 Benigní kostní nádory.....	22
6.1.2 Maligní kostní nádory.....	25
6.2 Sekundární kostní nádory – kostní metastázy.....	28
7 Význam scintigrafie skeletu u nádorových onemocnění.....	30
Závěr.....	31
Literatura	32
Seznam zkratk.....	34
Seznam příloh	35
Přílohy	36

Úvod

Obor nukleární medicíny vkročil do nové éry multimodálního zobrazování. Multispirální jednofotonové emisní počítačovo-tomografické kamery jsou relativně novým přírůstkem v diagnostickém zobrazování v nukleární medicíně. Integrace SPECT a výpočetní tomografie (CT) poskytuje lepší anatomickou lokalizaci a umožňuje charakterizovat různé abnormality, které nalezneme na planárním nebo SPECT scintigramu, a to hlavně díky využití strukturálních informací z CT. Důkazy na podporu využití SPECT/CT se rapidně zvyšují v počtech, ale stále jsou relativně omezené.

K dnešnímu datu studie naznačily diagnostické zlepšení a specifitu v diagnostice kostních patologií. Díky kombinaci funkční informace a anatomické lokalizace, SPECT/CT má potenciál ovlivnit klinickou praxi využitím nových zobrazovacích postupů. Tato bakalářská práce prezentuje aktuální použití a potencionální indikace SPECT/CT zobrazování v posuzování benigních a maligních kostních onemocněních.

Scintigrafie skeletu zahrnuje široké spektrum patologií od benigních tumorů, traumat a infekcí až k maligním onemocněním skeletálního systému. I přes výhody v anatomickém zobrazování pomocí magnetické rezonance (MRI), multidetektorové počítačové tomografie (MDCT) a vysokého rozlišení ultrazvukových sond, scintigrafie skeletu i nadále hraje značnou roli v diagnostice kostních patologií. Scintigrafie skeletu je vysoce senzitivní, nicméně její specifita je relativně nízká. Dnešní scintilační kamery jsou schopny zobrazování s vysokým rozlišením v krátkých skenových intervalech a zobrazování pomocí jednofotonové emisní počítačové tomografie (SPECT) se stalo široce dostupné.

Obecně, SPECT zobrazování může zvýšit sensitivitu a zlepšit lokalizaci lézí, ale nedostatek anatomických informací na radionuklidovém zobrazování dělá diagnostiku náročnější. Naopak radionuklidové zobrazování může demonstrovat patologii (jako např. zlomeniny kostí nebo maligní léze) už předtím, než se abnormality projeví na anatomickém zobrazení. A proto během poslední dekády začala být využívána fúze SPECT/CT, která kombinuje jak funkční, tak anatomické zobrazování.

V posledních 20 letech byla provedena u obrazové fúze rozsáhlá práce. I když přesná obrazová fúze je relativně snadná s pevnými strukturami v mozku a končetinách, s břichem a hrudníkem je to těžší. Pacientovy pohyby, orgánové pohyby, a zvláště v kontextu s kostním zobrazováním, odlišností v zaoblení a tvaru vyšetřovacích stolů mohou vést k odlišným pozicím páteře a ostatních struktur. Fúze funkčních a anatomických zobrazení v pozitronové

emisní tomografii (PET/CT) prokazuje lepší diagnostiku v PET vyšetření, a proto multimodální zobrazení s PET/CT se rapidně stává podstatným nástrojem v onkologii. Rovněž systém SPECT/CT slibuje do budoucna zlepšení specifity jak planárního zobrazení, tak SPECTu samostatně.

Tato nová éra multimediálního zobrazování s hybridními technologiemi rozšiřuje rámec využití nukleární medicíny jako oboru.

Integrované SPECT/CT systémy byly poprvé propagovány Langem a Hasegawem, kteří spojili hardwarové součásti dovnitř integrovaného systému a vynalezli algoritmy pro SPECT korekční zeslabení pomocí CT obrazů. První komerční SPECT/CT – GE Hawkeye systém představený v r. 1999 kombinoval dvoudetektorovou gama kameru variabilního úhlu s nízkodávkovou rentgenkou postavenou na té samé gantry. Rentgenka pracuje na 140 kVp (počet kilovoltů v píku) s proudem na 2,5mA, takže dávka pacientovi je signifikantně nižší než od konvenčních CT skenerů. Od té doby se zvýšilo rapidně tempo ve vývoji techniky a různé SPECT/CT hybrid systémy jsou k dispozici s odlišnými CT součástkami. Ty mají škálu od jednovrstvých nízkodávkových CT systémů až k vícevrstevným systémům, které jsou schopny jak nízkodávkového CT zobrazování, tak plně diagnostického režimu.

Obecně data, která se obdrží při nízkodávkovém CT jsou hodnotné pro anatomickou lokalizaci a korekční zeslabení, přičemž více detailní morfologie může být obdržena s tzv. ‚standardní‘ dávkou, neboli plně diagnostickou. Tento termín (vyšší dávka nebo plně diagnostická) je preferován místo diagnostické dávky v klinickém kontextu, protože i nízkodávkové CT může poskytnout adekvátní diagnostické informace.

Multispirální SPECT/CT zobrazování otvírá novou oblast pro průzkum, zvláště v posuzování, zdali integrace funkčních a strukturálních dat jsou prospěšné, jestliže jde o péči pacienta, nákladové efektivnosti a množství vyšetřených pacientů za určitou dobu. Navíc to klade otázky na obhájení vyšetření u těch pacientů, kteří by měli mít SPECT/CT s přídatnou radiační zátěží a u kterých je CT protokol dostatečný pro konkrétní klinickou aplikaci.

Tato bakalářská práce sumarizuje aktuální a potenciaální klinické aplikace multispirálního SPECT/CT v posouzení benigních a maligních kostních onemocnění a bylo u ní využito sedm odborných článků.

1 Struktura kostního systému

Strukturu kostního systému z anatomického hlediska je možné charakterizovat ve čtyřech úrovních a to: v molekulární, buněčné, tkáňové a orgánové úrovni. (8)

Na molekulární úrovni se kostní tkáň skládá ze dvou třetin anorganické matrix, která je tvořena kationty (kalcium, magnezium, sodíkem a draslíkem) a anionty (fluorem, fosforem a chloridy), a ty vytvářejí krystaly hydroxyapatitu. Tyto krystaly mají tvar tyčinek a destiček velikosti asi 20-60 nm a jsou rozloženy podél kolagenních vláken skeletu. Poslední jednu třetinu kostní tkáně tvoří organická matrix, která obsahuje zejména kolagen a glykoproteiny. U zdravých mladších osob je v rovnováze katabolická a anabolická fáze remodelace kosti, což je její odbourávání a novotvorba. Kost je tedy metabolicky aktivním orgánem a procesy, které se v ní dějí jsou řízené jak hormonálně, tak dostupností vitamínů (parathormon, kalcitonin, vitamin D). (8)

Na buněčné úrovni se v kostní tkáni nacházejí osteoblasty, které vytvářejí organickou matrix, osteocyty a osteoklasty. Osteocyty produkují anorganickou matrix a osteoklasty jsou zodpovědné za resorpci kostní tkáně. Tkáňovou úroveň tvoří kompaktní a spongiózní kost. Spongiózní kost má až osmkrát aktivnější metabolismus než kost kompaktní, a obsahuje hematopoetické buňky a množství krevních elementů. A na poslední, anatomické úrovni se nachází orgánová, která představuje axiální skelet (lebku, páteř, žebra a sternum) a apendikulární skelet (kosti končetin, pánevní a ramenní pletenec včetně klíční kosti a lopatky). (8)

2 Planární scintigrafie

Planární scintigrafie je základním druhem scintigrafického zobrazení. Je to obraz projekce distribuce radiofarmaka v záření gama do dvojrozměrné zobrazované roviny. Záření vznikající z radionuklidu obsaženého v podané látce je elektromagnetické vlnění o vysoké energii, nazývané záření gama, proto se tato metoda také někdy nazývá jako gamagrafie. Toto záření je zachycováno scintilační kamerou, odtud pochází název scintigrafie. (8, 11)

Pro zaznamenání scintigrafického obrazu se používá planární scintigrafie nebo tomografický záznam (SPECT a PET). (8, 12)

Planární scintigrafie se zaznamenává jak ve statickém, tak v dynamickém režimu. Výsledkem statické scintigrafie je jeden nebo celá série scintigramů v různých projekcích, přičemž se klade důraz na kvalitu jednotlivých obrazů. Při statické scintigrafii lze provádět tzv. celotělovou scintigrafii, při které se pacient posouvá kontinuálním nebo krokovým způsobem mezi detektory scintilační kamery. Těmto detektorům se také říká gamakamery – jedná se o systém složitějších zobrazovacích zařízení. Současně jsou obrazy ukládány do počítače, který nakonec vytvoří obraz přední a zadní projekce celého pacienta. (8, 11)

Dynamická scintigrafie je sériový záznam scintigramů, které na sebe plynule časově navazují. Projekce se během vyšetření nemění. Výsledkem takovéto série je nejčastěji informace o vychytávání a vylučování radiofarmaka v různých orgánech. (8, 15)

Hlavními výhodami SPECT oproti planární scintigrafii je možnost kvantifikace množství radiofarmaka ve tkáni a vyšší kontrast snímků, u kterých je překonána projekční superpozice. (8, 10)

Planární zobrazování je založené na detekci záření a jeho převedení do dvojrozměrných obrazů. (8,10)

2.1 Scintilační kamera (gamakamera)

Gamakamera se používá při scintigrafickém vyšetření. Její detektor se skládá z kolimátoru, scintilačního krystalu, světlovodiče, fotonásobiče a olověného stínění. Princip scintilačního detektoru jsme si už zmínili v předchozí kapitole. Nejčastější rozměr krystalu je 40-45 cm a počet fotonásobičů kolem 60-65. Pomocí kolimátoru určíme místo v těle pacienta, odkud byly fotony vyzářeny. K vytvoření scintigramu se používají pouze ty scintilace, které odpovídají energii záření sledovaného radionuklidu. (6, 7, 8, 15)

Parametry scintilační kamery ovlivňující obraz jsou homogenita zorného pole, prostorová rozlišovací schopnost a citlivost. (6, 7, 8)

Kolimátor slouží jako filtr k vymezení fotonového paprsku v žádaném směru. Kolimátory jsou zhotoveny z olova a rozlišují se podle energie záření gama aplikovaného při vyšetření, podle citlivosti a rozlišovací schopnosti, a podle počtu a konfigurace otvorů. (6, 7, 8, 10, 12)

Gamakamery se také s úspěchem používají i pro detekci rychlých dynamických dějů radiofarmak, bolusových technik nebo celotělových scintigramů.

2.2 Princip scintilačního detektoru

Detektor se skládá ze tří částí, a to scintilačního krystalu, fotonásobiče a elektronického zařízení, do kterého patří počítač. (7, 8, 10)

Scintilační detektory se vyznačují vysokou citlivostí na záření gama a rentgenové záření. Jako detekční látka ve scintilačních krystalech se nejčastěji používá jodid sodný aktivovaný thaliem NaI (Tl). Interakce fotonového záření probíhá na základě fotoefektu nebo Comptonova jevu, při kterých se uvolňují elektrony, které způsobují excitaci atomů detekční látky, což způsobuje záblesky (scintilace) viditelného světla. Záření gama se velmi intenzivně absorbuje v NaI krystalu díky jódu, který má vysokou hustotu a protonové číslo. (příloha č. 1)

Fotonásobič je připojen světlovodivě na krystal a zajišťuje detekci světla vzniklého ze scintilačního krystalu a poté ho převádí na elektrické impulzy, které po zesílení putují dále do amplitudového analyzátoru, kde se vyhodnocují. V nukleární medicíně se dává přednost těm impulzům, jejichž výška spadá do zvoleného „okna“ analyzátoru mezi horní a dolní diskriminační hladinou. (7, 8, 10, 12)

Scintilačním detekčním zařízením spojeným s analyzátozem se měří scintilační spektrum zářiče. (7, 8, 10)

Pozadí scintilačních detektorů (impulzy z kosmického záření a z přírodní radioaktivity materiálů) se snižuje umístěním detektoru do olověného stínícího krytu. (6, 7, 8, 10)

2.3 Typy kolimátorů

Mnohootvorový kolimátor s paralelními otvory probíhajícími kolmo k povrchu scintilačního krystalu, který propouští pouze fotony letící ve směru kolmém k detektoru má obraz se stejnou velikostí jako ve skutečnosti. (8, 10)

Kolimátor typu pinhole s trychtýřovitým tvarem má jeden otvor o průměru 3-5mm a poskytuje zvětšený a obrácený obraz. Umožňuje velmi dobrou rozlišovací schopnost, je však málo citlivý a zkresluje obraz při zobrazování tlustých objektů. (8, 10)

Kolimátor typu fan beam je fokusován v transverzálním směru a je paralelní v axiálním směru. Má až o polovinu vyšší citlivost než kolimátor s paralelními otvory. Jeho použití je u tomografického zobrazování mozku. (8, 10)

Další rozdělení kolimátorů je podle energie detekovaného záření: se zářiči nízkých energií do 160 keV, středních do 300 keV a vysokých nad 300 keV. Olověné přepážky kolimátoru musí být tím tlustší čím je energie záření vyšší, avšak při použití tlustějších sept se zhoršuje rozlišení obrazu i citlivost kolimátoru (příloha č. 2). (7, 8, 10)

3 Jednofotonová emisní tomografie

U jednofotonové emisní tomografie (dále jen SPECT) se registruje záření gama emitované radioaktivní látkou, která se po aplikaci nachází v těle pacienta. Základem hybridního přístroje SPECT/CT je detektor (v současnosti se prosadily dvě detekční hlavy) konstrukčně stejný jako u kamery pro planární scintigrafii. Scintilační detektory jsou základem převážné většiny detekčních zařízení používaných v nukleární medicíně při vyšetření jak in vivo, tak in vitro. (8, 10)

Při vyšetření se detektory nejčastěji otáčejí kolem pacienta krokově – po malých úhlech, nebo plynule (méně používaný způsob). Na záznamu pak najdeme 120 projekcí na 360° rotaci - každý detektor zaznamená 60 projekcí po 3°. U jednodetektorové kamery samozřejmě vyšetření trvá déle. (7, 8, 10)

Záznamy z kamery se ukládají do počítače. Z těchto projekcí se poté v počítači zrekonstruuje trojrozměrný obraz, který ukáže distribuci radioaktivní látky ve vyšetřované oblasti. Z něho můžeme získat obraz tomografické vrstvy tkáně. V případě spojení s CT přístrojem se pořizuje záznam jak funkčního tak i anatomického zobrazení jedním systémem. Některé CT přístroje jsou spojeny rentgenkou pevně s gantry SPECT kamery, které však jsou provozovány pouze v tzv. nízkodávkovém režimu (low- dose) kvůli omezení rychlosti rotace. High- dose režim poskytuje přesnější anatomické informace, avšak je spojen s vyšší radiační zátěží pacienta. (7, 8, 10)

4 Hybridní systém SPECT/CT

Tento systém umožňuje pořídít jak záznam funkčního, tak i anatomického zobrazení jedním přístrojem v těsném sledu za sebou. Přístroje CT, nově zabudované do gamakamer, jsou různé konstrukce. Některé mají rentgenku pevně připojenou s gantry SPECT kamery, což má za následek omezení rychlosti rotace a proto jsou provozovány pouze v nízkodávkovém režimu (low-dose). Jiné přístroje s rychlou rotací rentgenky umožňují jak low-dose, tak hlavně high-dose režim, který se používá jako plně diagnostický režim s vysokým rozlišením. (4, 10)

SPECT/CT tedy využívá tradičních postupů zobrazení nukleární medicíny ve spojení s morfologickým zobrazením výpočetní tomografií. Slouží jako významný doplněk celotělového planárního vyšetření nejčastěji při scintigrafii skeletu. (4, 11)

SPECT jako samostatné vyšetření se provádí jak u perfuzní scintigrafie myokardu, tak u perfuzní scintigrafie mozku. (4, 12)

4.1 Zpracování obrazů u SPECT/CT

4.1.1 Emisní tomografie

Tomografie je zobrazením řezu z třírozměrného objektu ve zvolené rovině. Jejím cílem je zobrazit rovinný výřez, ve kterém lze hodnotit prostorové vztahy zobrazených struktur s vysokým kontrastem a bez projekčního zkreslení (příloha č. 3). Důležitá je i kvantifikace zobrazených parametrů - ve scintigrafii množství radiofarmaka v cílové tkáni. Tomografické zobrazení se v nukleární medicíně označuje jako emisní tomografie: na rozdíl od rentgenové CT (transmisní) je záření emitováno ze zdroje uvnitř organismu. (8, 10)

V emisní tomografii rozdělujeme dvě metody – jednofotonovou emisní výpočetní tomografii, SPECT (single photon emission computed tomography) a pozitronovou emisní tomografii (positron emission tomography), PET. Obě metody se liší používanými radionuklidy, přístrojovým vybavením, klinickými aplikacemi i zpracováním výsledků. Zatímco PET je samostatnou vyšetřovací metodou, která nemá svůj „netomografický“ protějšek, SPECT je tomografickou variantou běžné planární scintigrafie. (8, 10)

Přístroje pro emisní tomografii v klinické praxi u SPECT jsou nejčastěji rotační scintilační kamery s jednou nebo více detekčními hlavami, které se během vyšetření otáčejí kolem dlouhé osy pacientova těla a postupně zaznamenávají projekce vyšetřované oblasti z různých úhlů pohledu. (8, 10)

Principy tomografického zobrazení

Tomografické postupy se rozdělují na metody klasické a výpočetní. Rozdíl spočívá v obsahu výsledných snímků. Klasická tomografie poskytuje snímky, na kterých jsou ostře zobrazené struktury vybrané tomografické vrstvy a neostře struktury okolních vrstev. Výpočetní tomografie naproti tomu poskytuje ostré snímky struktury vybrané vrstvy a žádné jiné. V současné praxi se nejčastěji používají metody výpočetní tomografie. (8, 10, 15)

Výpočetní tomografie je principiálně založena na rekonstrukci obrazu tomografické vrstvy z projekcí. Zobrazuje vrstvy kolmé na pacientovu dlouhou osu těla, proto se označuje také jako transverzální nebo transaxiální (toto označení dnes postupně ztrácí svůj význam).

Po rekonstrukci obrazů sousedních vrstev uspořádáme data ve třech rozměrech tak, abychom získali prostorový obraz struktury zobrazovaného objektu. V praxi se také používá i třírozměrné snímání a rekonstrukce prostorových obrazů. Výsledná třírozměrná data zobrazujeme ve formě řezů, které mohou být vedeny libovolným směrem nebo jako průmět objektu. Třírozměrné zobrazení nám umožňuje kvantitativní hodnocení prostorových vztahů. (8, 10)

Tomografické vyšetření probíhá ve dvou fázích: nejprve se provede záznam projekcí a potom rekonstrukce obrazu. Tomografické obrazy jsou vytvářeny ze souboru projekcí vyšetřovaného objektu, které získáváme pod různými úhly. Řádek snímku se označuje jako projekce vrstvy v určitém směru. Směry projekcí se označují úhly. Během snímání se zaznamená řada projekcí lišící se úhlem pohledu na zobrazovanou vrstvu. Postupuje se v krocích buď po jednotlivých stupních kolem dokola, přes 180° nebo celých 360° . Jednotlivé projekce každé vrstvy, neboli řádky, se ukládají do počítače jako řádky pomocného obrazu, který se nazývá sinogram, který představuje kompletní sadu projekcí pro rekonstrukci jedné vrstvy. (8, 10)

Rekonstrukce obrazu z projekcí se provádí ze dvou základních postupů: filtrované zpětné projekce a iterativní algebraické rekonstrukční techniky. (8,10)

Filtrovaná zpětná projekce

Pracuje na tom, že se jednotlivé projekce (řádky sinogramu) promítají zpět do prázdného obrazu v počítači pod stejnými zaznamenanými úhly, ale v opačném směru. V místě vrstvy, kde leží zdroj záření, tak postupně vznikne velký součet čísel, které se v obrazovém prvku řádku přičítají ke všem obrazovým prvkům obrazu vrstvy podél stejné přímky, a místo vyznačí. Tento snímek má však vady – jeho struktury jsou neostře a málo kontrastní. K největšímu zkreslení dochází v těsné blízkosti zobrazovaného zdroje příčinou

superpozicí paprsků, tzv. hvězdicovému efektu. K potlačení těchto vad se používá filtrace projekcí. Řádky sinogramu se zpracují filtrem, který výrazně potlačí četnost impulzů v plochých místech bez hran a naopak zdůrazní hrany přičtením negativní hodnoty k obrazovým prvkům na vnější straně průmětu hrany objektu. Po potlačení kontrastu artefaktu je výsledný obraz v porovnání s obrazem vytvořeným bez použití filtru kontrastnější a ostřejší. (8, 10)

Výhodou filtrované zpětné projekce je rychlost výpočtu a jednoduchost. Nevýhodou jsou zbytkové artefakty způsobené neostrotí a šumem a zesílení šumu ve výsledném obraze vrstvy. Obraz pořízený scintilační kamerou můžeme ještě opravit např. výběrem vhodného energetického okna, korekcí na vzdálenost zdroje od detektoru. Zatímco v běžné planární scintigrafii tyto vady nevadí, při tomografické zobrazení mohou vést k závažným artefaktům a chybám, jelikož při rekonstrukci obrazu z mnoha projekcí se důsledky vad v jednotlivých projekcích postupně hromadí. Protože zavedení korekcí zobrazovacích vad do filtrované zpětné projekce není možné, vyvíjejí se alternativní rekonstrukční metody označované jako iterativní algebraické rekonstrukční techniky. (8, 10)

Iterativní algebraické rekonstrukční techniky

Iterativní algebraické techniky fungují tak, že postupně odhadují obraz vrstvy s možností korekce zobrazovacích vad. Prvním takovým odhadem je např. homogenní snímek, v jehož obrazových prvcích je všude stejné číslo. V dalším kroku se sestrojí projekce tohoto obrazu pod stejnými úhly, pod kterými byly získány skutečné projekce. Poté se projekce obrazu porovnají se skutečnými projekcemi a zjištěné rozdíly se zpětně promítnou do obrazu vrstvy. Projekce zpřesněného obrazu se opět porovnají se skutečnými projekcemi, provede se další oprava, a takhle se postupuje tak dlouho, dokud se projekce obrazu liší od skutečných projekcí. (8, 10, 12)

Výhodou těchto rekonstrukcí je možnost využití apriorní informace a především zavedení korekcí zobrazovacích vad. Nevýhodou je jejich velká výpočetní náročnost a některé obtížně řešitelné teoretické problémy. (6, 8, 10)

Korekce chyb v zobrazování u SPECT/CT

Hlavními zdroji chyb při hodnocení snímků SPECT je zeslabení záření, která je způsobená absorpcí fotoefektem a Comptonovým rozptylem. Fotony, jejichž energie byla částečně pohlcena uvnitř těla při Comptonově rozptylu, se náhodně dostávají do směru, který jim umožňuje projít kolimátory a reagovat s detektorem. Vzniklý impulz je tedy nesprávně

lokalizován do místa rozptylu a nikoli do zdroje záření. Rozptýlené záření snižuje kontrast obrazu, zvyšuje pozadí snímku a dochází ke zkreslení intenzity zdroje. Četnost částic, které dopadají na detektor, je proto nižší, než četnost částic, které jsou vyzářeny ze zdroje směrem k detektoru. Pokud tedy scintigrafické obrazy nejsou korigovány na zeslabení a rozptyl záření, neodpovídají skutečné distribuci radiofarmaka ve tkáni. (6, 8, 10)

Zeslabení lze naopak přesně měřit u rentgenové CT. Intenzitu rentgenového záření můžeme popsat vztahem mezi intenzitou vyzářenou rentgenkou a intenzitou změřenou detektorem po průchodu paprsku zobrazovaným objektem-zeslabovacím prostředím s průměrným zeslabovacím koeficientem μ a tloušťkou x . Jas na snímku CT je úměrný jediné veličině, kterou je zeslabovací koeficient pro rentgenové záření. (8, 10, 11, 12)

Na rozdíl od CT nás u SPECT zajímá neznámá hodnota aktivity zdroje záření čili množství radiofarmaka v těle. Jedinou hodnotou, kterou měříme je četnost impulzů zaznamenaná detektorem. (8, 10, 11, 12)

Pro korekci obrazů SPECT na zeslabení záření byla navržena metoda, která předpokládá homogenní zeslabení v celém rozsahu zobrazovaného objektu a pro rekonstrukci používají geometrické průměry protilehlých projekcí nebo různým způsobem definované kontury těla (např. SPECT hlavy). Další, avšak složitější metoda využívá transmisního měření, které je analogií CT. Místo rentgenky se však používá slabší zdroj záření ve formě radionuklidu. Kamera zaznamenává emisní a transmisní impulzy současně dvěma detektory nebo střídavě jedním detektorem. Z tohoto měření se sestrojí mapa zeslabovacích koeficientů, která připomíná snímek CT. Nověji se místo externího zdroje používá přímo CT zabudované v hybridních přístrojích, které pracuje se sníženou intenzitou rtg záření. (8, 10, 11, 12)

Při korekci na rozptyl záření se využívá faktu, že rozptýlené fotony mají nižší energii. Proto tyto fotony nejsou propuštěny amplitudovým analyzátozem kamery, protože jejich energie nedosahuje dolního prahu energetického okna, ve kterém se provádí záznam. (8, 10, 11)

5 Scintigrafie skeletu

Scintigrafie skeletu je dnes nejčastější scintigrafické vyšetření z onkologické indikace. Zobrazuje rozložení kostní přestavby celého skeletu a tím umožňuje detekci časného stádia onemocnění. Je to vyšetření s vysokou citlivostí, ale nespecifické v rozlišování abnormálních stavů na kosti. Vychytávání osteotropního radiofarmaka totiž závisí jak na regionálním průtoku krve ale hlavně na osteoblastické aktivitě kosti. Každý stav vedoucí ke změně těchto faktorů proto může být příčinou abnormálního nálezu na kostním scintigramu, proto je tedy nutné každý nález interpretovat v klinickém kontextu. Scintigrafie je obecně citlivější při záchytu onemocnění než kostní rtg sken. (8,9)

U scintigrafie skeletu použijeme nejprve planární vyšetření jako základ, teprve poté provedeme rozšíření vyšetření o SPECT/CT, jakožto nedílnou součást komplexu vyšetření, které potřebujeme k určení co nejpřesnější diagnózy. (4, 8, 9)

SPECT vyšetření u scintigrafie skeletu slouží k zobrazení lokalizace a intenzity kostní přestavby. Část CT doplňujeme k prokázání morfologických změn (osteoplastická, osteolytická ložiska). (8,9)

Scintigrafie skeletu je nejčastěji využívaná metoda nukleární medicíny, pomocí níž je možné zobrazit jakoukoli patologii v kostní tkáni již na funkčně metabolické úrovni. Scintigrafie kostí pomocí osteotropních radiofarmak se provádí už asi čtyřicet let. I když ve srovnání s obdobím zavedení této metody máme dnes v diagnostice kostních změn k dispozici daleko dokonalejší radiologickou zobrazovací techniku (CT a MR vyšetření), v indikovaných případech zůstává scintigrafie skeletu tou nejlepší volbou, díky její dostupnosti a citlivosti. Odhaluje změny na úrovni, jak kostní fyziologie, tak patofyziologie mnohem dříve než rentgenologické přístroje a v důsledku relativně nízké radiační zátěže nemá v zásadě kontraindikace a může se dle potřeby opakovat. (8,9)

5.1 Radiofarmaka používaná při scintigrafii skeletu

V současné době jsou nejpoužívanějšími osteotropní radiofarmaka na bázi fosfátových komplexů značených ^{99m}Tc charakteristické organickými řetězci P-C-P. Výhodou difosfonátů je, že jsou odolnější na působení fosfatáz, chemisorpcí se totiž váží na povrch hydroxyapatitových krystalů. Intenzita akumulace radiofarmaka v kostní tkáni závisí na prokrvení a osteoplastické aktivitě kosti. Scintigrafie skeletu je tedy vyšetřením, které slouží převážně k zobrazení intenzity kostní přestavby. (8,9,10)

Další způsob informování o kostní přestavbě poskytuje pozitronový zářič ^{18}F u PET vyšetření. Výhodou je zřetelně lepší rozlišení avšak za významně vyšší cenu. (8,9,10)

5.2 Provedení vyšetření

Pacient nemusí být nalačno, nutný ale je dostatečný pitný režim (hlavně před a v průběhu vyšetření), tím se snižuje radiční zátěž močového měchýře. V anamnéze pátráme po úrazech, zlomeninách, operacích, radioterapii a užívání steroidů nebo osteotropních léků. Před vyšetřením by se měl pacient dokonale vymočit a odložit si všechny kovové předměty. (8, 9, 10)

Intravenózně se poté pacientovi podá 500-800 MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -difosfonátů. U onkologicky nemocných se provádí celotělové vyšetření v přední a zadní projekci za 2-4 hodiny po aplikaci radiofarmaka. Volba délky intervalu od aplikace radiofarmaka a hlavním vyšetřením závisí na věku, hmotnosti a přítomných renálních nebo kardiálních morbidit. Osoby starší než 50 let a zejména obézní je vhodné vyšetřovat až za 3-5 hodin po aplikaci. Malé děti naopak už po 1,5-2 hodinách. Pro planární snímání se používá obvykle nízkoenergetický kolimátor s vysokým rozlišením. (8, 9, 10)

Jednofotonová emisní počítačová tomografie (SPECT) je doplněna v případě potřeby o vybranou zájmovou oblast – touto oblastí bývají zejména obtížněji hodnotitelné partie jako jsou lebka a pánev i páteř, kde pomáhá v etiologické diferenciální diagnostice ložisek zvýšené osteoblastické aktivity – umožňuje lepší lokalizaci případných abnormalit i vyšší prostorový kontrast. Další způsob zlepšení diagnostiky je použití kombinace SPECT/CT. Umožňuje odlišit maligní a benigní změny, a tak zvýšit specifitu scintigrafie skeletu díky porovnání funkčních a anatomických obrazů. (8, 9, 10)

Informaci nejen o rozložení kostní přestavby, ale i posouzení prokrvení v postižené oblasti poskytuje třífázové vyšetření. Jak už značí název, toto vyšetření se rozděluje do tří fází - první fáze, tzv. perfuzní sleduje první průtoky radiofarmaka podezřelou oblastí pomocí dynamické scintigrafie. Ihned po této fázi se zaznamená statický scintigram, který zobrazí časné rozložení radiofarmaka v krvi a částečně v měkkých tkáních - fáze krevního poolu (krevně tkáňová fáze). Za 3 až 4 hodiny od aplikace radiofarmaka nastává pozdní fáze skenu, která zobrazuje metabolismus kosti a vykonává se hlavně u ortopedických pacientů s tzv. „diabetickou nohou“. (8,9, 10)

5.3 Indikace a kontraindikace scintigrafie skeletu

Hlavními indikacemi u scintigrafie skeletu jsou nádorová (jak primární, tak sekundární metastatické postižení) i nenádorová onemocnění skeletu (osteomyelitida a artritida, fraktury a ostatní potraumatické změny, avaskulární nekróza, zobrazování ortopedických protéz, metabolická onemocnění, průkaz Pagetovi nemoci) a diferenciální diagnostika etiologie kostních lézí nebo poznání příčiny bolestivosti kostí. (8, 9)

Scintigrafie skeletu nemá v podstatě žádné kontraindikace a může se dle potřeby opakovat díky relativně nízké radiační zátěži. Avšak kvůli existenci určité radiační zátěže se doporučení tohoto vyšetření vždy nejprve zváží, tak jako u každého jiného vyšetření. Relativní kontraindikací jsou gravidita a laktace. V graviditě lze vyšetření provést z vitální indikace. Při laktaci je vhodné přerušit dobu kojení dítěte na 12 hod. (8,9)

5.4 Interpretace scintigrafie skeletu

Při správné interpretaci scintigrafie skeletu bereme v potaz individuální odlišnosti pacientů, pod kterými patří jak fyziologická distribuce osteotropního radiofarmaka ve skeletu podle věku vyšetřované osoby, tak podle typu jednotlivých kostí a fyziologického zatěžování, případně návyků. (8,9)

U starších dětí je zvýšená aktivita zejména v růstových zónách a u starších osob akumulace radiofarmaka v kostech končetin s věkem klesá. (8,9)

Aktivita při rozložení radiofarmaka ve skeletu je obecně výraznější v oblasti páteře a všech kloubů díky intraosseální vaskularizaci a stupně osteogeneze. (8,9)

Patologický proces ve skeletu se nejčastěji projevuje zvýšenou akumulací radiofarmaka díky zvýšení novotvorby či přestavby kostní tkáně. Na scintigramu lze vidět tzv. „horká ložiska“, což jsou ložiska zvýšeného hromadění radiofarmaka. Naopak méně často lze vidět „studená ložiska“, což lze vidět jako výpad aktivity na scintigramu skeletu. Příčinou takového ložiska může být hypovaskularizace, tedy zábrana v proudění radiofarmaka do oblasti zájmu nebo rozsáhlý osteolytický proces v kosti. (8,9, 10)

Kostní metastázy se zobrazují jako mnohočetná ložiska zvýšené kostní přestavby. Masivní postižení skeletu se může projevit difúzně zvýšeným hromaděním radiofarmaka v celém axiálním skeletu bez zobrazení ledvin a aktivity močového měchýře, jako tzv. „superscan“. (8)

Metoda třífázové scintigrafie skeletu zvyšuje specifitu scintigrafie skeletu. Zvýšené regionální prokrvení v prvních dvou fázích odráží aktivitu patologického procesu, buď zánětlivou, nebo nádorovou. Nejvíce se využívá při průkazu osteomyelitidy, artritidy

a zánětlivých postižení měkkých tkání. Třetí (kostní) fáze přispívá k poznání příčiny patologické hyperémie, kdy např. při osteomyelitidě přetrvává vysoká aktivita. Negativní nález v třetí fázi znamená, že jde jen o celulitidu měkkých tkání. (8,9)

Třífázová scintigrafie má však význam i v diagnostice nádorů, a to jak primárních kostních, tak i metastatických procesů. V diagnostice primárního kostního nádoru je hlavně důležité posoudit agresivitu nádoru na základě stupně arteriálního prokrvení. Metoda je účinná také při posouzení účinku léčby. U metastatického procesu má význam vyšetřovat prokrvení zejména při převaze lytických složek v metastázách nebo při málo průkazné standardní kostní scintigrafii. Nejvíce prokrvené kostní metastázy bývají u karcinomu ledviny a karcinomu štítné žlázy. Při postižení skeletu myelomem nacházíme překrvení v počátečních stádiích, které může být příznakem aktivity onemocnění. (8,9, 10)

5.5 Zdroje chyb při scintigrafii skeletu

Nesprávné interpretace při scintigrafii skeletu mohou být vyvolané nejčastěji jak díky paravenózním infiltrátům, tzv. artefaktům při i.v. aplikaci, tak díky kontaminaci kůže nebo oděvu radioaktivní močí, ale i neklidu vyšetřované osoby v průběhu snímání. Dále to mohou být artefakty výpadku záření při jeho absorpci v různých předmětech (např. kovová endoprotéza, kardiostimulátor, prsní protézy, fixátory, mince, apod.) nebo zvýšená aktivita v měkkých tkáních, což mohou zapříčinit kalcifikace nebo osifikace ve svalech nebo nádorech, hyperkalcémie, nekrotická ložiska, apod.). Dále můžeme pozorovat aktivitu vylučované moče v dutém systému ledvin a při větším měchýřovém reziduu, který může způsobit překrytí lézí v pánevních kostech. Technická nedokonalost snímání záření gama se taky počítá jako zdroj chybné interpretace, a to může vzniknout buď kvůli vysoké aktivitě pozadí, kdy se začne snímat kostní fáze brzy po aplikaci radiofarmaka anebo kvůli příliš velké vzdálenosti mezi detektorem kamery a povrchem těla, čímž se zhoršuje rozlišovací schopnost, a proto jsou kontury kostí neostré. (8, 9, 10)

6 Nádorové postižení skeletu a úloha nukleární medicíny v jeho diagnostice

6.1 Primární kostní nádory

6.1.1 Benigní kostní nádory

Benigní kostní nádory většinou neodhalíme jednoznačně na rentgenologickém obrazu, proto často bývají náhodným nálezem mimo hlavní účel vyšetření nebo se zobrazí v rámci diferenciální diagnostiky. Intenzita prokrvení u takovýchto nádorů nebývá vysoká i stupeň osteogeneze bývá v normě nebo na její hranici. Do této skupiny patří např. chondromy, fibrózní dysplazie, cysty, hemangiomy, osteoidní osteomy, atd. Pozitivitu v prvních fázích u trojfázové scintigrafie skeletu má osteoidní osteom, jehož nidus bývá dobře prokrvený. U nemocných odeslaných k detekci kostních metastáz je třeba odlišit benigní léze, které jsou nejčastěji degenerativní nebo potraumatické etiologie. (8, 10)

Chondrom

Chondrom je benigní nádor tvořen hyalinní chrupavkou. Obecně v něm převládá na buňky chudá, bezcévná chrupavčitá matrix. Intramedulárně uložený nádor, tzv. enchondrom, se nachází nejčastěji v malých tubulárních kostech rukou a nohou (příloha 4) a taky někdy proximálně v kosti pažní. Tyto léze, které rostou expanzivně pomalu se projevují bolestivostí a někdy zlomeninou. Další typ chondromu, který roste na povrchu kosti, aniž by zasahoval do dřevové dutiny se nazývá periostální chondrom. Vývojové onemocnění skeletu, které je převážně u dětí a vyznačuje se mnohočetnými enchodromy se nazývá enchondromatóza nebo jako Ollierova nemoc (příloha 5). Klinické problémy způsobené enchondromatózou zahrnují kostní deformity, nesoulad v délce končetin a potenciální risk maligní změny na chondrosarkom. Stav, ve kterém se pojí mnohočetné enchodromy s měkkou tkání hemangiomů se nazývá Maffucciho syndrom. Není známa přesná příčina těchto nemocí. Ollierova choroba je vzácné onemocnění, které se vyskytuje přibližně u 1 dítěte ze 100 000 (Jüppner, 2006). (1, 3, 8, 10, 13)

Diagnóza je založena na klinickém a obvyklém radiologickém zhodnocení. Rentgeny obvykle ukazují mnohočetné, radiolucenční, homogenní léze oválného nebo podlouhlého tvaru a dobře definované lehce ztluštělé okraje kostí. Léze obvykle časem kalcifikují. Diagnostické metody jako scintigrafie skeletu, ultrazvuk, MRI neslouží přímo jako průkaz diagnózy, ale používají se pro evaluaci a pozorování lézí, které se stanou symptomatické (bolest, zvětšení velikosti). (1, 3, 8, 13, 14)

Osteom

Osteom je také benigní nádor, jehož nádorový původ však není jednoznačně uznáván. Většinou se ale považuje za benigní mezenchymální nádor patřící k primárním kostním nádorům, které jsou relativně vzácné – postihují mladé jedince obvykle do 20 let. Je to pomalu rostoucí výrůstek, zduření nebo kostní ostrůvek, typicky v kostech obličeje (splanchnocrania nebo v paranasálních dutinách) nebo kalvy – většina takových nádorů ale nejsou pravými nádory, ale různými reakčními a posttraumatickými procesy. Obvykle roste asymptoticky až na případy, kdy zablokuje vedlejší nosní dutiny nebo dává vznik patologickým zlomeninám (jako komplikace nebo první projev nádoru) Mnohočetné osteomy spolu s výskytem střevní polypózy a fibromy měkkých tkání značí pro Gardnerův syndrom.(1, 3, 8)

Osteom je tvořen zralou vrstevnatou kostí. Rozlišujeme mezi kompaktním osteomem, který vytváří široké trámce s úzkými dřevnými prostory, a spongiózním osteomem, který má tenké trámečky připomínající spongiózu. Osteoblastické lemy vždy chybějí.(1,3,8)

Osteoidní osteom

Osteoidní osteom je malý benigní, ale bolestivý nádor o velikosti kolem 1 cm. Vytváří tzv. nidus, což je okrouhlé nitrodřevové nebo intrakortikální ložisko obklopené lemem reaktivní sklerotické kosti. Nejčastěji tímto nádorem bývá postižena tibia nebo femur. Tento nádor také patří do skupiny nádorů vyskytujících se v mladém věku (do 20 let). (8, 16)

Nidus je uložen typicky v tvrdé bělavé sklerotické kosti. Jeho barva je červená nebo červenohnědá a má křupavou konzistenci. Je tvořen buněčnou cévnatou fibrózní tkání. V ní jsou nepravidelně uloženy mineralizované trámečky osteoidu nebo pletivové kosti opatřené osteoblastickými lemy. Přimíšeny mohou být obrovské mnohojaderné osteoklastoidní buňky. Periferie nidu přechází náhle do okolní nenádorové reaktivní lamelární kosti (příloha 6).(1,8)

Na RTG snímku je charakteristický vzhled sklerotizovaného ložiska kosti s kulovitým projasněním.(1)

Osteoidní osteom tvoří asi 10% podíl ze všech benigních kostních tumorů.(3)

Hemangiom

Hemangiom nitrokostní je buď benigní nádor nebo vývojová odchylka cévně endoteliálního původu. Nejčastěji se vyskytují v páteřních obratlech (příloha 7) a v kalvě. Klinicky bývají němé, vzácně se projeví patologickou zlomeninou. Nádorová tkáň je makroskopicky měkká a tmavě červená. Histologicky se prostory mezi kostními trámečkami vyplňují cévními průsvity vyplněné erytrocyty. Široké cévní průsvity vystlány plochými

endoteliálními buňkami a odděleny úzkými vazivovými septy se nachází v kavernózním hemangiomu. Ve smíšeném kapilárním a kavernózním hemangiomu nalezneme příměs buněčných uzlů s cévními průsvity malého kalibru. Cévní zásobením těchto lézí zajišťují malé větve interkostálních a lumbálních artérií odstupujících proximálně od radikulární artérie. Funkčně jsou obratlové hemangiomy arteriovenózním zkratem. Dle histogenetické klasifikace WHO (World Health Organization) jsou hemangiomy řazeny mezi vaskulární nádory benigní povahy. Vzácně se vyskytují i níže maligní formy jako hemangioendoteliom, nebo vysoce maligní formy jako hemangiosarkom. (5, 8)

Obratlové hemangiomy jsou asymptomatické a bývají tak náhodným objevem při zobrazovacím vyšetření páteře. Přesto se ale malá část hemangiomů může projevovat axiální bolestí a neurologickým deficitem. Obratlové hemangiomy mohou stlačovat nervovou tkáň a způsobit neurologický deficit několika způsoby, zejména soustředěným zúžením páteřního kanálu, kostním úlomkem při zlomenině obratle, zvětšením celého obřadového těla s balónovitým vyklenutím zadní stěny do páteřního kanálu, expanzí měkké části tumoru směrem do kanálu, a spontánním nebo traumatickým krvácením nádoru do epidurálního prostoru. (1, 5, 8)

Na rentgenovém snímku se většinou obratlový hemangiom projeví pouze snížením výšky obratle při současném kolapsu obratle. Naopak CT a MRI ho znázorní velmi přesvědčivě. Počítačová tomografie přesně odhalí lokalizaci a stupeň kostní destrukce způsobené hemangiomem. Magnetická rezonance zobrazí tuto patologii zvýšením intenzity signálu v T1 a T2-váženém obraze v důsledku obsahu tukové tkáně v tomto nádoru. Málo agresivní, tukové formy obratlového hemangiomu reprezentuje zvláště vysoká intenzita signálu na MRI a malé sycení kontrastní látkou při CT vyšetření. Naopak nižší intenzita signálu na MRI a zvýšené sycení tumoru kontrastem na CT vyšetření představuje agresivnější a aktivnější vaskulární formu obratlového hemangiomu. Detekce fotonické ložiska tvořeného vertebrálním hemangiomem můžeme zobrazit pomocí scintigrafie kostní dřeně s ^{99m}Tc -nanokolloidem. Avšak fotonické ložiska tvořená benigními hemangiomy v tělech obratlových těl mohou být na celotělové scintigrafii kostní dřeně s ^{99m}Tc -nanokolloidem považována za metastázy a mohou představovat obtíže v diferenciální diagnostice fotonických lézí.(5,8)

Možností, jak léčit symptomatické obratlové hemangiomy, je chirurgická resekce a páteřní stabilizace, zadní dekomprese míchy, transarteriální embolizace, intralezionální injekce alkoholu, radioterapie (RT), vertebroplastika (VP) a balónová kyfoplastika (BK). Každá z těchto procedur má své výhody a nevýhody. Cílem léčby symptomatických

obratlových hemangiomů je tedy dekomprese nervové tkáně, stabilizace páteře a prevence spontánního nebo traumatického epidurálního krvácení.(5,8)

Výskyt obratlového hemangiomu je v rozmezí asi 2-12%. Tvoří 10% benigních nádorů páteře s lehkou predominancí ženského pohlaví. Nalézají se především u pacientů ve vyšším věku, u dětí jsou vzácné. Postihuje kteroukoli část páteře, nejčastěji však hrudní a pak bederní. Vícečetný výskyt je popisován přibližně v 30%. (3, 5)

6.1.2 Maligní kostní nádory

V diagnostice primárních kostních nádorů došlo k renesanci scintigrafie skeletu, protože při scintigrafickém vyšetření je možné posoudit i prokrvení kostního procesu v angiografické fázi třífázové scintigrafie, a právě monitorování prokrvení v průběhu léčby je dosti spolehlivým markerem léčebné efektivity. Scintigrafie odhalí skryté metastázy v unilaterální končetině, tzv. „skip“ metastázy. Celotělovou scintigrafií je také možné odhalit vícečetnost nebo metastázování primárního kostního nádoru. Scintigraficky monitorujeme také stavy po léčbě (po chemoterapii a po operaci). Při monitorování léčby primárních kostních nádorů je možno využít i jiných radiofarmak, pomocí nichž posuzujeme viabilitu nádoru, reziduum, případně recidivu nádorového procesu. (2, 8, 13, 14)

Osteogenní sarkom (osteosarkom)

Je to vůbec nejčastěji se vyskytujícím primárním nádorem, vyskytuje se více u mužů do 20 let. Většinou je lokalizován v dlouhých kostech, zvláště v oblasti kolenního kloubu u jedinců ve druhé dekádě života (příloha 8). Představuje asi 35% primárních kostních nádorů. Celkově je incidence osteosarkomu 2-3 osoby z 1 milionu za rok. Je to obecně vysoce maligní mezenchymální nádor, jehož buňky produkují kostní matrix. Projevuje se zduřením, bolestí a u pokročilejších stavů patologickou zlomeninou. Metastazuje zejména do plic a skeletu. Nejčastějším typem osteosarkomu je *konvenční osteosarkom*, který označuje primárně nitrokostně vzniklý osteosarkom. (2, 8, 13, 14)

Teleangiektatický osteosarkom je varianta osteosarkomu s cystoidními prostorami vyplněnými sraženou krví, kdy jednotlivé prostory jsou od sebe odděleny septy nádorové tkáně, v níž nacházíme pleomorfní maligní osteoblasty s vysokou mitotickou aktivitou a příměs obrovských mnohjaderných osteoklastoidních buněk. (2, 8, 13, 14)

Základní zobrazovací metodou je rentgenový snímek. Nejlepší zobrazení však poskytuje MRI, která ukáže jak postižení kosti, tak měkkých tkání, patologické změny v kostní dřeni a cévní a nervové struktury. V rámci stagingu je vhodnou metodou CT plic a scintigrafie skeletu. Prediktivní význam můžou mít výsledky FDG-PET vyšetření. (1, 13, 14)

Na terénu chorobně změněné kosti např. Pagetovou chorobou, benigním nádorem, infarktem nebo po ozařování vyrůstá často maligní nádor, který se označuje jako sekundární osteosarkom. Makroskopicky prostoupená kost konvenčním osteosarkomem má setřenou stavbu, je variabilně osifikovaná, je šedobělavé barvy s červenými okrsky osteolýzy. Místy může převládat vzhled chrupavky nebo vaziva. Přes periost se šíří do přilehlých měkkých tkání, a pokud dochází k reaktivnímu novotvoření kosti v místě nadzdvíženého periostu, hovoří se o Codmanově trojúhelníku (příloha 9). (1,2,13,14)

Histologicky jsou nádorové buňky výrazně pleomorfní a obsahují velká hyperchromní jádra s četnými atypickými mitózami. V osteoblastickém osteosarkomu nacházíme převážně tvorbu mineralizovaného nebo nemineralizovaného osteoidu. Chrupavčitá matrix se nalézá ve větším množství v chondroblastickém osteosarkomu. Fibroblastický osteosarkom charakterizuje atypická fibroprodukce se skrovným ložiskovým osteomem. (1,2,13)

Ewingův sarkom

Ewingův sarkom (příloha 10) je maligní nádor vycházející z kostní dřene, nejčastěji se manifestuje u chlapců mezi 5. a 15. rokem věku, stejně jako u osteosarkomu v dlouhých kostech. Je to nediferencovaný nádor z malých kulatých buněk. Ewingův sarkom patří mezi sarkomy Ewingovy skupiny, do níž patří taky primitivní neuroektodermální nádor (PNET), který ale na rozdíl od Ewingova vykazuje neuroektodermální diferenciaci. (2, 13, 14)

Nádorová tkáň je měkká, křehká, nekrotická a může být prokrvácená. Histologicky uniformní malé kulaté buňky bývají nahlučené do hnízd a uzlů. Jádra jsou oválná, s nenápadnými jádérky, cytoplazma je chudá a špatně zřetelná – v případě většího množství glykogenu v buňce bývá cytoplazma světlá. Nádory, které mají větší buňky se zřetelnými jádérky se označují jako atypický Ewingův sarkom. (2, 13, 14)

Do klinického obrazu patří bolest, otok i patologická zlomenina. Často tento nádor imituje akutní osteomyelitidu – leukocytózou, zvýšenou sedimentací, subfebrilní, bolestivostí včetně pozitivitu scintigrafie. Na rentgenovém snímku můžeme pozorovat osteolytické změny s permeativní destrukcí kosti a reakcí periostu. (1, 2, 13, 14)

Zvýšená akumulace radiofarmaka při scintigrafii skeletu v místě léze je projevem periostální kostní novotvorby. Toto vyšetření pomůže při odhalení polytopnosti nádoru, případně jeho kostních metastáz. Prognostický význam má také třífázová scintigrafie, která posuzuje prokrvení okolních měkkých tkání. (1, 2, 13, 14)

Incidence Ewingova sarkomu se odhaduje přibližně na 0,6/1000 000 obyvatel ročně. Toto onemocnění představuje asi 10-15% všech maligních kostních nádorů. (3)

Základním zobrazovacím vyšetřením je prostý snímek postižené oblasti tumorem. RTG snímek může odhalit patologickou zlomeninu. Rentgenový obraz vždy doplňuje CT nebo MR vyšetření. Scintigrafii skeletu využíváme při detekci metastatického postižení, společně s CT plic, do kterých časně metastazuje a vyšetření kostní dřene včetně trepanobiopsie. (1, 2)

Mnohočetný myelom (Plazmocelulární myelom)

Vzniká z plazmatických buněk kostní dřene – je buď unilokulární (proliferace nádorových plazmocytů omezena na jedno ložisko v jedné lokalitě) nebo multilokulární. Pokud je tedy ložisek více, nazýváme jej mnohočetný myelom (Kahlerova nemoc). Je to vysoce maligní nádor vyskytující se zejména u mužů středního a vyššího věku. Nádorové plazmocyty se hromadí ve dřeni a vytváří mnohočetná ložiska v různých lokalizacích, kde destruuje kost a může způsobovat patologické fraktury. V krvi nemocných vyzkoušíme zvýšenou hladinu monoklonálních imunoglobulinů IgG, IgA a lehkých řetězců. Makroskopický nálezn u biopsie nebo kyretáže bývá šedorůžová a červená nádorová tkáň, měkké konzistence. Histologicky má myelom hustě nahloučené nádorové buňky s minimálním množstvím vmezeřených kapilár a stromatu. Nádorové plazmocyty mají polygonální nebo oválný tvar a excentricky uložené jádro. (1, 2, 13)

Komplikace mnohočetného myelomu mohou být, jak bylo již dříve zmíněno, patologické fraktury, rozvinutí AL amyloidózy, poruchy rytmu myokardu až srdečního selhání, malabsorpce v tlustém střevu, renální selhání ledvin, poruchy jater, cév a lymfatických uzlin. (1, 2, 13)

Toto onemocnění tedy postihuje častěji muže než ženy, a to v poměru 1,5:1. Incidence stoupá od 50. roku života, věkový medián je 70 let (Češka, 2015). V dětství se téměř nevyskytuje, u mladých velmi vzácně. (1, 2, 3, 14)

Klinický obraz pacienta je tvořen souborem příznaků, a to: hyperkalcémií, která souvisí s odbouráváním kostní hmoty, selhání ledvin v důsledku tubulopatie, anémie a postižení kostí. RTG obraz odhalí patologická ložiska, kdy je často postižena lebka a páteř. Dle potřeby se provádí CT, MRI, PET. Jedna z hlavních vyšetřovacích metod je stanovení paraproteinu v krvi pomocí elektroforézy plazmatických bílkovin, nejcitlivější však zůstává metoda stanovení volných řetězců (FLC). Dále lze použít vyšetření kostní dřene a další laboratorní vyšetření.(1)

Klinické varianty plazmocytomu se rozdělují na asymptomatický myelom a symptomatický myelom. Terapie u asymptomatického myelomu spočívá pouze ve sledování, na rozdíl od symptomatického, kdy u mladých jedinců se indikuje autologní transplantace

krvetočných buněk nebo u starších chemoterapie. U zvláště bolestivých kostních ložisek se používá radioterapie a paliativní léčba. (1, 2)

Scintigraficky můžeme prokázat studená ložiska v páteři, pánevních kostech, ale i v žebrech či v kalvě díky lytickým ložiskům s převahou osteoklastické aktivity v důsledku inhibice osteoplastické reakce. Často však nález může být normální. Je proto důležitá třífázová scintigrafie, kde bývá pozitivní zejména první angiografická fáze díky bohatému prokrvení lézí. (8, 9)

Chondrosarkom

Chondrosarkom je jeden z nejčastějších maligních nádorů kosti, jde o nádor dospělého věku. Nacházíme jej obvykle v metafýze v proximální části humeru (příloha 11), femuru, tibie i jinde. Vzniká primárně, nebo i malignizací enchondromu či exostózy (vrozené mnohočetné exostózy). (2, 8, 10)

Typickým pacientem je muž v rozmezí věku 40-70 let, který si stěžuje na bolesti v oblasti gluteální krajiny, oblasti kyčelního kloubu nebo na bolesti stejnostranného stehna/kolene. Na postiženou končetinu napadá, bolesti se postupně zhoršují a neustupují ani v klidu. (2, 3, 8, 10)

Na rentgenovém obraze vidíme nitrokostní osteolytické léze s ostrůvky kalcifikací. Histologicky se chondrosarkom projevuje lobulárně uspořádanými masami chrupavčité tkáně s buněčnými atypiami. (1, 2)

Na scintigramu skeletu vidíme variabilní nález ve třetí kostní fázi, kdy je většinou akumulace snižena a ložisko se zobrazuje jako studené. Jedinou možnou léčbou je odstranění nádoru chirurgicky radikální resekci postižené oblasti, eventuálně metastasektomie při solitárním postižení plic. (1)

6.2 Sekundární kostní nádory – kostní metastázy

Průkaz kostních metastáz je zřejmě nejdůležitější úlohou scintigrafie skeletu. Tato metoda umožňuje metastázy diagnostikovat mnohem dříve, než je možné jinými zobrazovacími postupy. Většina metastáz (až 98%) se zobrazuje jako horká ložiska, případně ložiska s osteoblastickým lemem nebo také jako fotopenická ložiska, která jsou vzácnější a projevují se jako studené léze bez okrajové přestavbové reakce). (8, 10, 17)

Metastatické postižení skeletu je velmi často se vyskytující postižení skeletu při pokročilých stádiích nádorového onemocnění. Klinicky se projevuje bolestí, otokem, rezistencí a vznikem patologické zlomeniny při minimálním násilí. Do skeletu nejčastěji

metastazuje karcinom mammy, prostaty, plic, ledvin, štítné žlázy, pankreatu, močového měchýře, žaludku a dělohy.(8, 10, 17)

Při metastatické postižení se jako první udělá u pacienta celotělový scintigram, který podává obraz o lokalizaci metastáz, na druhé straně informace o morfologických detailech ložiska se využívá cílené rtg vyšetření. Kostní metastázy jsou lokalizovány nejčastěji v axiálním skeletu, zejména v kostech bohatých na krvetvornou kostní dřev, a to v obratlech, zejména v obratlovém těle či pediklu, v dlouhých kostech, pánevní kosti, sterna, kalvě, mandibuly (méně často), pately a dlouhých kostech končetin distálně od loktů a kolen.(8, 10, 17)

Metastázy můžou být jak osteolytické a osteoplastické, tak smíšené. Osteolytické metastázy jsou minimálně mineralizovány a na rtg snímku se projeví jako neostře ohraničené defekty kostí. Nejčastěji se nacházejí u karcinomu štítné žlázy, nadledvinek, dělohy, někdy i zažívacího traktu. Osteoplastické metastázy jsou vysoce mineralizované, novotvořená kost je nehomogenní. Vyskytují se u karcinomu prostaty, karcinoidu, neuroblastomu a meduloblastomu. Nejčastěji nacházíme smíšené metastázy, které jsou u karcinomu mammy, plic, děložního čípku, ovaria a varlete.(8, 10, 17)

Specifikace nejistých lézí u onkologických pacientů se provádí na planární celotělové kostní scintigrafii s použitím SPECT/CT. V retrospektivní studii (Zadražil, 2013), ve které se analyzovali 471 celotělových kostních skenů u 450 pacientů s rakovinou prsou, plic a prostaty se SPECT/CT nebo CT využilo při 11,9% vyšetřeních z 12,4% pacientů. Opakovaná scintigrafie (319 pacientů po kostní scintigrafii a 36 pacientů po SPECT/CT) byla využívána jako referentní vyšetření. Výsledky porovnání s předchozími scintigrafiemi byly užitečné u pacientů s rakovinou prsu před indikovaným SPECT/CT. SPECT/CT dokázalo specifikovat nejasné léze v 90,9% případů. Senzitivita, specificita, pozitivní a negativní prediktivní hodnoty CT a SPECT/CT u detekce kostních metastáz byly 72,8 %, 96 %, 88,9 % a 88,9 %. Nebyly prokázány žádné signifikantní rozdíly mezi skupinou s jednou a bez jakýchkoliv podezřelých lézí v celotělovém skenu ve vývoji metastatického postižení ve dvou letech. Ze studie vyplývá, že SPECT/CT tedy příznivě ovlivňuje specificitu scintigrafie skeletu. Zdá se rozumné zvážit SPECT/CT v 10-20% všech případů po porovnání s předchozím kostním skenem.(8, 10, 17)

Odlišit metastázy od primárního kostního nádoru nám umožní nepřítomnost charakteristických znaků – periostální reakce, Codmanův trojúhelník a extraskeletární složka nádoru. Solitární metastázu léčíme chirurgicky, metastazektomií, mnohočetná ložiska zpravidla onkologicky. (8, 10, 17)

7 Význam scintigrafie skeletu u nádorových onemocnění

Při známém primárním nádoru scintigrafie skeletu může v rámci terciární prevence odhalit němé kostní metastázy u všech nádorů, které často metastazují do skeletu (karcinomy tlustého střeva, prostaty, prsu, plic, ledvin, štítné žlázy, močového měchýře, atd.). Ideální postup u těchto pacientů by bylo provedení scintigrafie skeletu už jako součást vstupního vyšetření na začátku onemocnění. (8, 9, 17)

Pomocí scintigrafie skeletu můžeme dále odhalit vícečetnosti kostních metastáz při jednom podezřelém ložisku, příčinu kostní bolesti jak při známém primárním nádoru, tak i v případě normální hladiny nádorových markerů (může totiž jít o infrakce nebo fraktury při osteoporóze či v důsledku úrazů). Můžeme rozpoznat zvyšující se hladinu nádorových markerů i u nemocných bez bolestí kostí. Při systémových nádorových onemocněních (maligní lymfomy, myelom), kde je nutné posoudit i prokrvení pro převahu osteoplastických pochodů. Dále scintigrafii skeletu používáme pro upřesnění místa biopsie, pokud je při nedostatku jiných informací nezbytná. (2, 8, 9, 17)

Scintigrafie skeletu u nádorových onemocnění je také důležitá při posouzení účinku systémové léčby, do které patří jak aktinoterapie, chemoterapie, tak hormonoterapie). Při správném hodnocení účinků léčby je nutné být seznámen s následujícími situacemi. První znak účinné léčby v počátečním období je snížení arteriálního prokrvení. Jako druhý znak je možné pozorovat zvýšení intenzity stávajících ložisek, případně manifestace dalších (zvýšená osteogeneze reparativní etiologie), tzv. „flare fenomén“ – je to efekt „vzplanutí“, který někdy přetrvává až půl roku po zahájení terapie a považuje se za projev stimulace osteoblastické odpovědi na léčbu a ne za důsledek progresu metastatického procesu. V tomhle období je nutno scintigrafický obraz interpretovat opatrně. Jako třetí znak je možné po dlouhodobé účinné léčbě pozorovat vzácně i snížení osteogeneze, snížení intenzity nebo dokonce vymizení původních ložisek patologicky zvýšené aktivity. (2, 8, 9, 17)

Závěr

Hybridní zobrazování je nejen fascinující a aktuální téma oboru nukleární medicíny, ale má také potenciál ovlivnit medicínskou praxi s novými postupy v zobrazování díky optimalizaci funkčních a anatomických informací. Většina studií podporují využití SPECT/CT, a to proto, že jako hybridní systém zlepšuje diagnostickou přesnost a tím zvyšuje důvěryhodnost v interpretaci kostních skenů. Nicméně, publikovaných zpráv, které se týkají aplikace SPECT/CT, je stále menší množství než v ostatních oborech. Tato skutečnost přivádí k myšlence na podpoření realizace důkladnějších studií pro potvrzení užitečnosti SPECT/CT v rutinní praxi a dostatečné efektivnosti nákladů.

SPECT/CT tedy využívá tradičních postupů zobrazení nukleární medicíny ve spojení s morfologickým zobrazením výpočetní tomografie. Využívá přednosti obou metod a současně eliminuje nevýhody. Spojení SPECT a CT zvyšuje diagnostickou hodnotu obou metod.

S ohledem na přečtené studie, věřím, že SPECT/CT bude nadále užitečným nástrojem u různých klinických problémů s určením diagnózy.

V jiných diagnostických otázkách, u kterých je MRI metodou volby, SPECT fúze s MRI může být značným přínosem. I když je vyžadováno rozsáhlejších studií, SPECT/CT v klinické aplikaci je koncepčně atraktivní vyšetření, protože se provádí v jednom sezení a nemusí se provádět dodatečné prohlídky a nadále pacienta zatěžovat radiací.

Scintigrafie skeletu se u primárních nádorů kostí používá jak k detekci vzdálených metastáz kostí, tak se také využívá pro monitoring pooperačního stavu a při diagnostikování případného relapsu nemoci. Tato metoda není vhodná pro zjišťování objemnosti nádorů, protože radiofarmakum se může akumulovat ve větším rozsahu než je velikost nádoru.

Cílem bakalářské práce bylo prezentovat dohledané publikované poznatky týkající se problematiky využití planární scintigrafie a SPECT/CT v diagnostice maligních a benigních kostních nádorů. Cíl pojednávající o sumarizaci nejnovějších poznatků v diagnostice nádorových onemocnění skeletu pomocí SPECT/CT zobrazování byl naplněn.

Literatura

1. ADAM, Zdeněk, Jiří VANÍČEK a Jiří VORLÍČEK. *Diagnostické a léčebné postupy u maligních chorob*. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2004, 684 s., [4] s. obr. příl. ISBN 80-247-0896-5.
2. ČEŠKA, Richard a Tomáš ŠTULC, et al. *Interna*. 2. vydání. 2015. 909 s. ISBN 978-80-7387-895-5.
3. DUŠEK Ladislav, MUŽÍK Jan, aj. Epidemiologie zhoubných nádorů v České republice [online]. Masarykova univerzita, [2005], [cit. 2016-2-15]. Dostupný z WWW: <http://www.svod.cz>. Verze 7.0 [2007], ISSN 1802 – 8861.
4. GNANASEGARAN G., BARWICK T., ADAMSON K. Multislice SPECT/CT in Benign and Malignant Bone Disease: When the Ordinary Turns Into the Extraordinary. In: ScienceDirect.com[online]. September 30, 2009 [cit. 2016-03-28]. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2009.07.005. Dostupný z WWW: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001299809000592>>
5. HRABÁLEK L. Komplexní léčba symptomatických obratlových hemangiomů [online]. *Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae czechosl.*, 2010, č. 77 p. 149 – 153 [cit. 2016-03-03]. ISSN 0001-5415.
6. KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 201 s.: il.; 29 cm. ISBN: 978-80-244-4031-6.
7. KOTALOVÁ, D., MOŠA, M., NOVÁKOVÁ, O., ŠÁMAL, M., VRÁNA, V. *Slovníček základních fyzikálních, technických, radiobiologických, radiohygienických, farmakologických, počítačových a statistických pojmů pro opakování ke zkoušce z nukleární medicíny* [online]. Verze 1.4 - 17.10.2005. [cit. 2016-01-23]. Dostupný z WWW: <<http://unm.lf1.cuni.cz/vyuka/slov10.pdf>>
8. KUPKA, Karel; KUBINYI, Jozef; ŠÁMAL, Martin. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007. 185 s. ISBN 9788090358492
9. MÍKOVÁ, Vlasta. *Nukleární medicína: průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: Galén, 2008. 118 s. ISBN 9788072625338

10. MYSLIVEČEK, Miroslav; HUŠÁK, Václav; KORANDA, Pavel. Nukleární medicína 1. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 1995. 123 s. ISBN 8024400812
11. POWSNER, Rachel A. – POWSNER Edward R. *Essential Nuclear Medicine Physics*. Massachusetts, USA: Blackwell Publishnig, Inc., 2006. ISBN-13: 978-1-4051-0484-5.
12. ROSINA, J. - KOLÁŘOVÁ, H. - STANEK, J. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1383-7.
13. SILVE C, JÜPPNER H. Ollier disease. In: *Orphanet Journal Of Rare Diseases*. BioMedCentral[online]. Sep 22, 2006 [cit. 2016-03-16]. DOI:10.1186/1750-1172-1-37. Dostupné z WWW: < <http://ojrd.biomedcentral.com/articles/10.1186/1750-1172-1-37>>
14. SKALA, Evžen. *Rakovina kostí a měkkých tkání*. Praha: Liga proti rakovině, [2000?]. ISBN: 80-239-3627-1; (OCoLC)85117099.
15. URBÁNEK, Jan a kol. Nukleární medicína. 4. vyd. Jilemnice: Gentiana, 2002. 154 s. ISBN 8086527050.
16. YOO Don, CONNOLLY Leonard P. Vertebral Osteoid Osteoma: Diagnosis and Intraoperative Assistance through Scintigraphy. In: J. Anthony Parker, MD, PhD. Harvard Medical School. *Joint Program in Nuclear Medicine* [online]. September 23, 2003 [cit. 2016-02-22]. Dostupné z www:< <http://www.med.harvard.edu/JPNM/CH/Sept2303/WriteUp.html>>
17. ZADRAŽIL, Ladislav a Petr LIBUS. Specifikace nejistých lézí na planární celotělové kostní scintigrafii s použitím SPECT/CT u onkologických pacientů. *Nukleární medicína*, Praha: Olympia, 2013, roč. 2, č. 2, s. 25 - 30. ISSN 1805-1146.

Seznam zkratk

SPECT/CT – hybridní přístroj, který spojuje jednofotonovou emisní výpočetní tomografii s CT technologií

SPECT – jednofotonová emisní výpočetní tomografie (Single-Photon emission computed tomography)

RTG - rentgenové vyšetření

PNET – primitivní neuroektodermální nádor PET – pozitronová emisní tomografie (positron emission tomography)

mSv, Sv - milisievert, sievert

MR - magnetická rezonance

MBq - megabecquerel (jednotka aktivity radioaktivní látky)

L páteř – bederní páteř

HDP – hydroxymethylendifosfonát

CT – výpočetní tomografie (computed tomography)

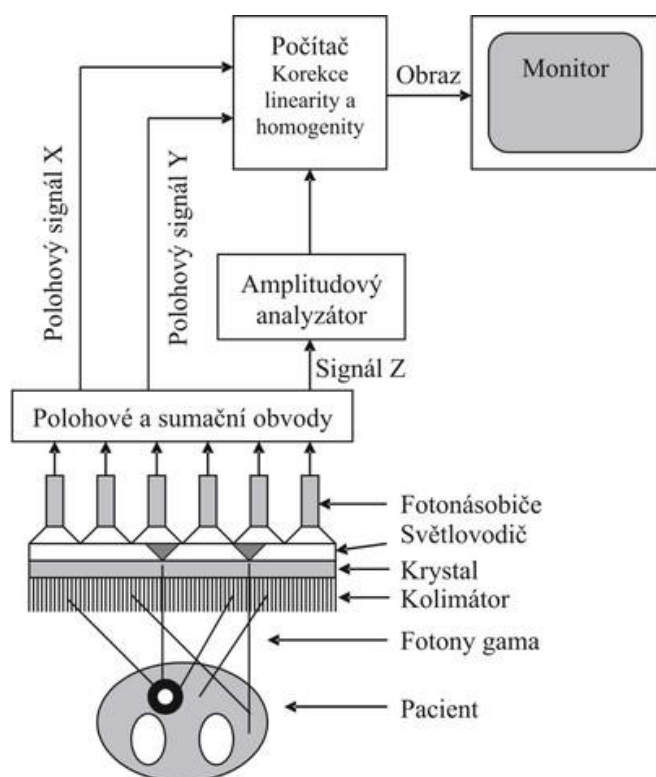
^{99m}Tc - izotop technecium

Seznam příloh

Příloha 1 - Schéma scintilačního detektoru.....	36
Příloha 2 - Typy kolimátorů.....	36
Příloha 3 - Akvizice a rekonstrukce SPECT.....	37
Příloha 4 - Enchondrom femuru MRI.....	37
Příloha 5 - Ollierova choroba - Mnohočetné enchondromy v proximálním humeru.....	38
Příloha 6 - Vertebrální osteoidní osteom na levé straně obratle	38
Příloha 7 - Hemangiom obratlového těla.....	39
Příloha 8 - RTG Osteosarkomu.....	40
Příloha 9 - Codmanův trojúhelník u osteosarkomu.....	40
Příloha 10 - Ewingův sarkom.....	41
Příloha 11 – Chondrosarkom levého ramene.....	41

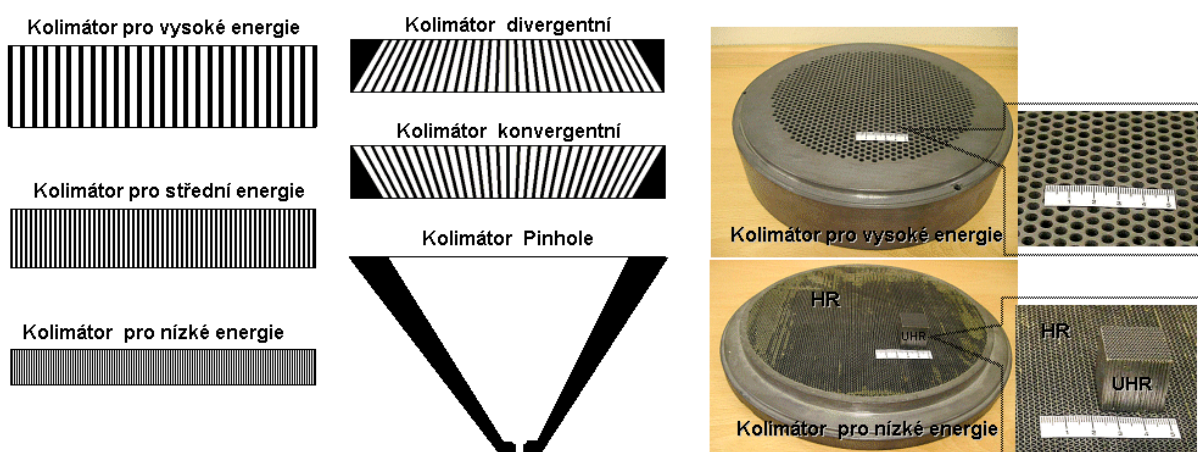
Přílohy

Příloha 11 - Schéma scintilačního detektoru



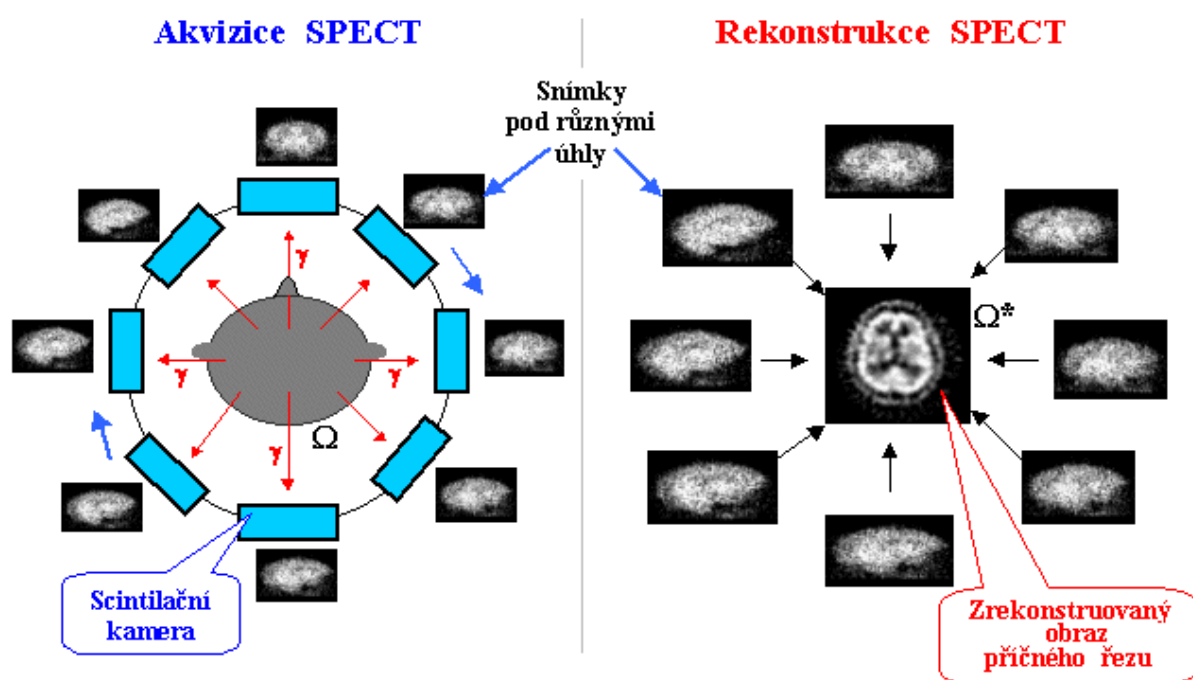
Zdroj:

Příloha 12 - Typy kolimátorů



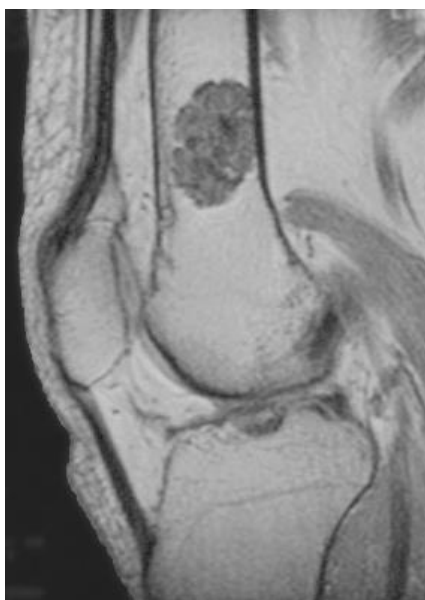
Zdroj: ULLMANN, Vojtěch, RNDr., Scintigrafie, *AstroNuklFyz.cz* [online],
dostupné z WWW: < <http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm> >

Příloha 13 - Akvizice a rekonstrukce SPECT



Zdroj: ULLMANN, Vojtěch, RNDr., Scintigrafie, *AstroNuklFyz.cz* [online], dostupné z WWW: < <http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm> >

Příloha 14 - Enchondrom femuru MRI



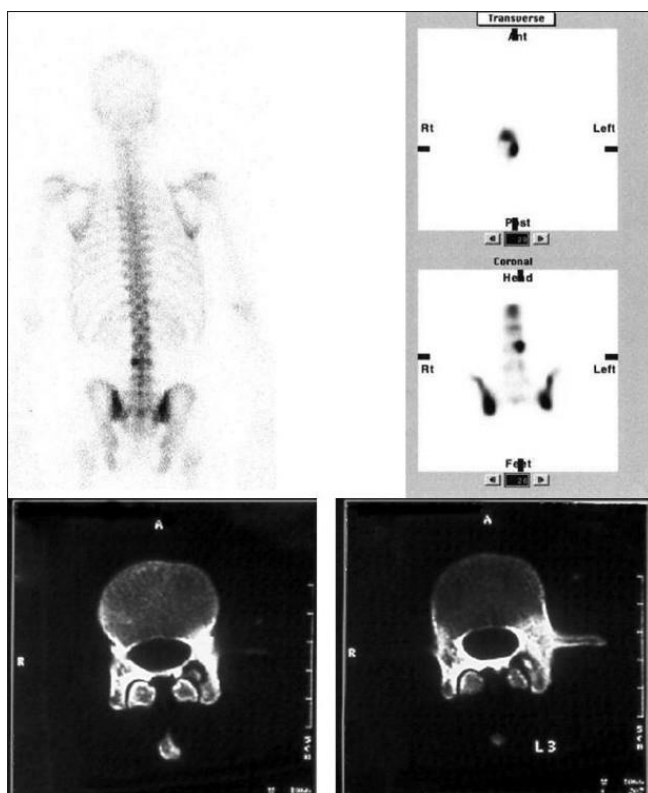
Zdroj: WANG XI., DE BEUCKELEER LH, DE SCHEPPER AM, VAN MARCK E (2001). "Low-grade chondrosarcoma vs enchondroma: challenges in diagnosis and management". *European radiology* 11 (6): 1054–1057. doi:10.1007/s003300000651

Příloha 15 - Ollierova choroba - Mnohočetné enchondromy v proximálním humeru



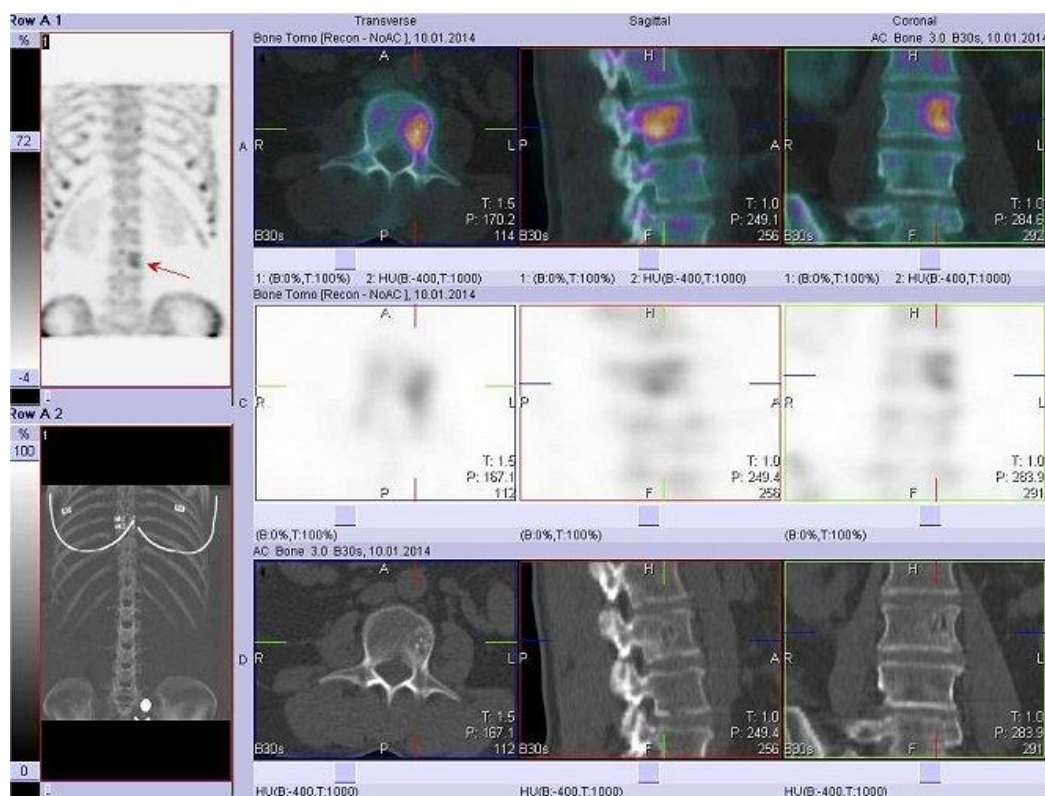
Zdroj: SILVE C, JUPNER H; (2006). "Ollier disease". Orphanet J Rare Dis 1: 37.
doi:10.1186/1750-1172-1-37

Příloha 16 - Vertebrální osteoidní osteom na levé straně obratle



Zdroj : SUDHAKAR P., SHARMA Ar., BHUSHAN SM., a spol., Efficacy of SPECT over planar bone scan in the diagnosis of solitary vertebral lesions in patients with low back pain. Indian Journal of Nuclear Medicine, 2010;25:44-8

Příloha 17 - Hemangiom obratlového těla



Zdroj: ŠIRŮČEK, Pavel MUDr., Ph.D., HAVEL, Martin MUDr., Skelet, Záněty, Infekce - kazuistika SKE-85 ze dne 5.12.2014 – Hemangiom obratlového těla, Klinika nukleární medicíny FN Ostrava, *KCsolid.cz* [online],

dostupné z WWW: <http://www.kcsolid.cz/zdravotnictvi/klinicka_kapitola/ske/ske-85/ske-85.htm>

Příloha 18 - RTG Osteosarkomu



Obr. 1. Rentgenový snímek pacienta s osteosarkomem proximálního humeru.

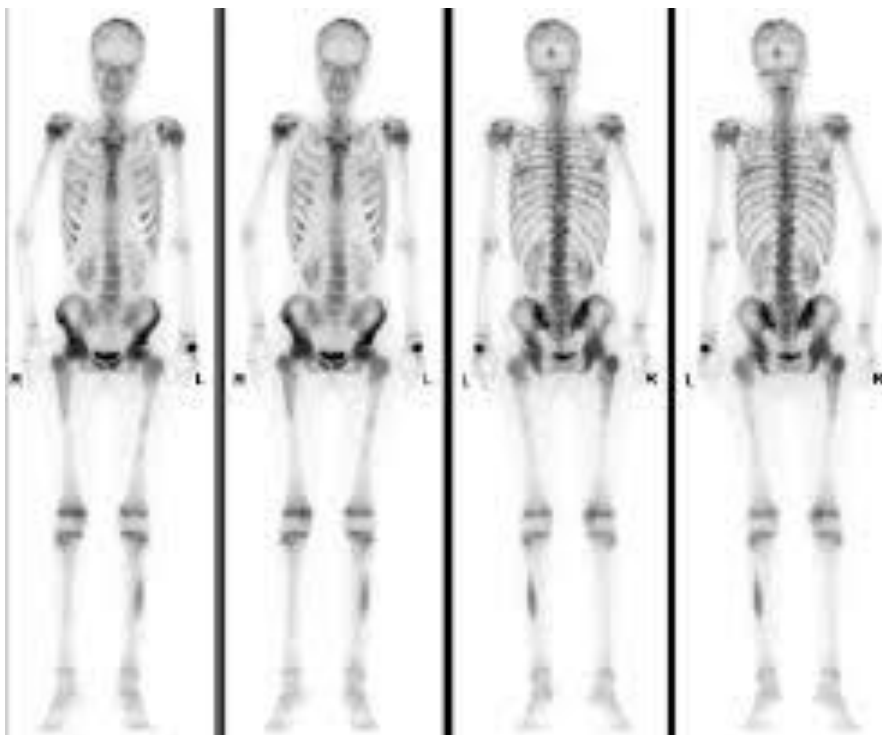
Zdroj: KRUSEOVÁ J., MOTTL H., Radikální operační výkon a intenzivní chemoterapie jsou podmínkou úspěšné léčby osteosarkomu, 6.5.2009, dostupné z WWW:< [http://eonkologie.cz/component content/article?id=35:2009-04kruseova](http://eonkologie.cz/component/content/article?id=35:2009-04kruseova)>

Příloha 19 - Codmanův trojúhelník u osteosarkomu



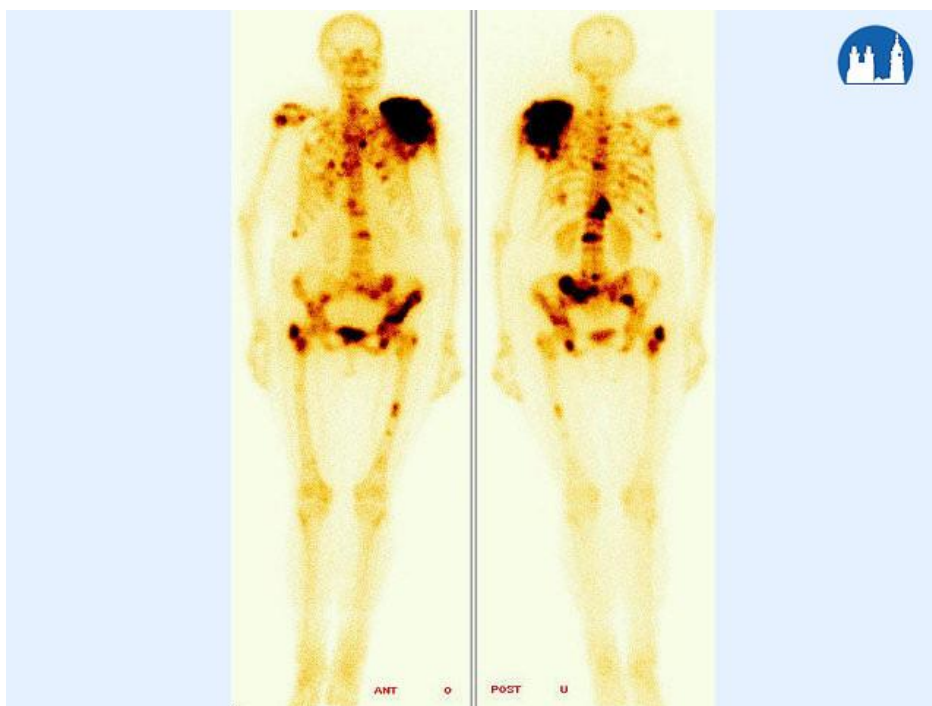
Zdroj: GALLO, Jiří, et al. Ortopedie pro studenty lékařských a zdravotnických fakult. 1. vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-244-2486-6.

Příloha 20 - Ewingův sarkom



Zdroj: Nuclear Medicine / Nukleární Medicína . 2013, Vol. 2 Issue 1, p31-35. 5p.,

Příloha 11 – Chondrosarkom levého ramene



Zdroj: Diagnostika (Vyšetřovací metody) - scintigrafie skeletu. Projekt - Multimediální trenážer plánování ošetrovatelské péče. VOŠ zdravotnická a SZŠ Hradec Králové. 2010-2012.