

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Nikola Loučanská

Využití metod nukleární medicíny při vyšetření skeletu

Bakalářská práce

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

Olomouc 2022

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

Olomouc 30. dubna 2022

.....

Podpis

Mé velké poděkování patří MUDr. Ivě Metelkové, Ph.D., za její ochotu, odborné vedení práce, věnovaný čas a vstřícnost. Dále za podněty, připomínky, trpělivost a cenné rady při psaní mé práce. Nesmím také zapomenout poděkovat za poskytnutí obrázků k mé práci. V neposlední řadě mé velké poděkování patří mým blízkým za podporu a trpělivost.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Využití metod nukleární medicíny při vyšetření skeletu

Název práce: Využití metod nukleární medicíny při vyšetření skeletu

Název práce v AJ: Application of nuclear medicine methods in skeletal examination

Datum zadání: 2021-11-30

Datum odevzdání: 2022-04-30

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Loučanská Nikola

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

Oponent práce: MUDr. Jana Páterová

Abstrakt v ČJ: Tato bakalářská práce je založena na dosud publikovaných poznatcích o využití metod nukleární medicíny při vyšetření skeletu. Zabývá se přístroji, které se používají v nukleární medicíně pro vyšetření, dále nejčastějšími diagnózami, které se týkají pohybového aparátu a jsou na nukleární medicíně vyšetřovány. Pojednává také o používaných radiofarmacích, které jsou aplikovány pro toto vyšetření.

Abstrakt v AJ: This bachelor thesis is based on currently published knowledge about the application of nuclear medicine methods in the skeletal examination. It deals with machines that are used for medical examination in nuclear medicine, then with the most common diagnosis which deals with the musculoskeletal system and is taught in nuclear medicine. It also deals with used radiofarmakum, which is applied for this examination.

Klíčová slova v ČJ: skelet, scintigrafie, nádor, radiofarmakum

Klíčová slova v AJ: skeleton, scintigraphy, tumor, radiofarmakum

Rozsah: 47 stran / 8 příloh

Obsah

Úvod	6
1 Anatomie stavby kosti	9
2 Přístroje	12
2.1 Scintigrafie a scintilační kamera	12
2.1.1 Záznam obrazu	14
2.1.2 Provedení vyšetření	14
2.2 Průběh vyšetření třífázové scintigrafie	15
2.2.1 Třífázová scintigrafie skeletu (TPBS)	15
2.2.2 Příprava pacienta	16
2.2.3 Indikace a kontraindikace vyšetření	16
2.3 Scintilační kamera SPECT	17
2.4 Hybridní systém SPECT/CT	17
2.5 PET	18
2.6 Hybridní systém PET/CT	19
3 Radiofarmaka	20
3.1 Aplikace a příprava radiofarmak	22
3.2 Radiační zátěž a radiační ochrana	23
4 Diagnózy	25
4.1 Osteomyelitida	25
4.2 Patologická zlomenina	26
4.3 Osteoartróza (OA)	27
4.4 Totální endoprotéza (TEP)	27
4.5 Pagetova choroba	28
4.6 Kostní metastázy	28
4.6.1 Osteosarkom	29
4.6.2 Ewingův sarkom	29
4.7 Mnohočetný myelom (MM)	30
Závěr	33
Referenční seznam zdrojů	35
Seznam zkratk	38
Seznam příloh	39

Úvod

Mezi nejčastější vyšetření na nukleární medicíně patří scintigrafie skeletu, provádějí je téměř všechna pracoviště na světě. Při tomto radioizotopovém vyšetření pátráme po patologii ve skeletu. Scintigrafie skeletu je funkční zobrazovací technika, jež poskytuje informace pro stanovení přesné diagnózy. Patří mezi neinvazivní metody, které slouží pro diagnostiku nenádorových a posttraumatických změn nebo případné zobrazení zánětlivých ložisek. Poskytuje také informace o prognóze nádorových onemocnění a diagnostice zabývající se nenádorových onemocnění jako je například osteomyelitida, zánět v oblasti ortopedických protéz a metabolické onemocnění Pagetovy choroby (Kupka 2015, s. 116).

Během vyšetření je potřeba, aby pacient vydržel nehybně ležet několik desítek minut. Proto je potřeba před vyšetřením zajistit co nejvíce pohodlnou polohu pomocí fixačních nebo podložních pomůcek.

Scintigrafie skeletu je nenáročné vyšetření s nízkou radiační zátěží pacienta, vysokou senzitivitou, ale nízkou specificitou. Přínosem vyšetření je průkaz přesné lokalizace patologických změn díky zvýšené metabolické aktivitě. Tyto změny by měly být odhaleny dříve, než dojde k funkčním nebo anatomickým změnám (Kupka 2015, s.116). Obecnou výhodou nukleární medicíny je možnost pořízení libovolných počtů projekcí bez zvýšení radiační zátěže pacienta. Proto se využívá celotělové snímání nebo odložené snímky z důvodů pohybových artefaktů (Kubinyi 2018, s. 203).

Detekce distribuce radiofarmaka je zajišťována pomocí scintilační kamery SPECT a je možné využití planární (2D), statické, dynamické a celotělové snímání. Dále tomografické zobrazení scintilační hybridní kamerou SPECT/CT s možností fúze SPECT zobrazení a výpočetní tomografie. Je možná také kombinace dynamického a statického snímání - třífázová scintigrafie.

Osteotropní radiofarmakum pro vyšetření scintigrafie skeletu se aplikuje intravenózně. Radiofarmakum je založeno na bázi fosfátových komplexů značených ^{99m}Tc . Po aplikaci radiofarmaka a následným snímáním je potřeba dodržet časový rozestup tři až pět hodin, aby došlo k šíření radiofarmaka po celém těle a vyšetření bylo přínosné. Během této doby se radiofarmakum vychytává v kostech a mizí

z tkáňového prostoru. Snímání probíhá buď celotělové nebo je zaměřena pouze na vybranou oblast zájmu (Kupka 2015, s.117).

Bakalářská práce se bude zabývat následujícími otázkami:

- Které přístroje se v současnosti používají pro vyšetření skeletu?
- Jaká se v současnosti používají radiofarmaka?
- Jaké jsou indikace a diagnózy pro vyšetření?

Cílem práce je sumarizovat dohledané publikované aktuální poznatky o využití metod nukleární medicíny při vyšetření skeletu. Dílčími cíli jsou:

1. Předložení dohledaných publikovaných aktuálních poznatků o přístrojích používaných pro vyšetření skeletu.
2. Předložení dohledaných publikovaných aktuálních poznatků o používaných radiofarmacích pro vyšetření skeletu.
3. Předložení dohledaných publikovaných aktuálních poznatků o indikacích a diagnózách pro vyšetření.

K sepsání této bakalářské práce byla použita tato vstupní literatura:

1) ČIHÁK, Radomír, 2011. *Anatomie 1*. 2011. Praha 7: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-3817-8.

2) KORANDA, Pavel, 2017. *Nukleární medicína*. 2017. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4031-6.

3) KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK, 2012. *Radiofarmaka*. 2012. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta. ISBN 978-80-7464-183-1.

4) KUPKA, Karel a Jozef KUBINYI, 2015. *Nukleární medicína*. 2015. Praha: P3K. ISBN 978-80-87343-54-8.

Popis rešeršní činnosti

Pro vypracování této bakalářské práce byly použity odborné články vyhledávané pomocí klíčových slov. Ta byla zadávána v českém i anglickém jazyce. Mezi použité databáze patří Google scholar a PubMed. Vyhledávání v digitální formě bylo v rozmezí let 2013-2021 v českém a anglickém jazyce. Pro sepsání této přehledové práce bylo použito celkem 23 zdrojů, z toho jeden zdroj na internetu. Bibliografické vyhledávání bylo v knihovně Lékařské fakulty a Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci.

1 Anatomie stavby kosti

Kost (latinsky os) patří mezi tvrdou pojivovou tkáň, která je specializovaná pro funkci ochrannou a podpůrnou. Kost je složena z buněk a mezibuněčné hmoty. Buňky, z nichž kost vzniká, se nazývají osteoblasty, které se dále přeměňují v osteocyty. Tvar osteocytů je podlouhlý, vřetenovitý, oploštělý a má jemné výběžky, které odstupují kolmo. Mezibuněčná hmota je složena ze dvou částí, ústrojné a neústrojné neboli minerální. Ta zajišťuje pevnost a tvrdost při pružnosti. Ústrojnou složku nazýváme ossein a je tvořena svazky kolagenních vláken, které vytvářejí základní hmotu. Během života dochází ke změně poměru mezi ústrojnou a neústrojnou složkou. Postupně dojde k převaze neústrojných solí. Z tohoto důvodu jsou kosti v mládí pružnější než ve stáří, kdy jsou kosti křehké.

Podle typu kostní tkáně můžeme rozlišit kost vláknitou, která má nepravidelné uspořádání a kost lamelární. Lamelární složka je uspořádaná ve vrstvičky, tedy lamely. Jejich uspořádání se nazývá Haversův systém, při kterém je až dvacet lamel upořádáno kolem Haversova kanálku. Vláknitou kost najdeme u dospělého člověka pouze ve vnitřním uchu, lebečních švech a místech kde se upínají vazy a šlachy, protože se jinak vyskytuje v období vývoje jedince. Zbytek kostního uspořádání je lamelární (Čihák 2011, s. 20-23).

Kosterní soustava je vytvořena soustavou kostí. Kost je pevná tvrdá, do určité míry pružná a má bíložlutou barvu. Kostní tkáň má dvě formy, a to kostní tkáň hutnou a trámčitou. Hutnou kostní tkáň najdeme na povrchu kosti a trámčitou složku uvnitř kosti. Podle tvaru kosti rozeznáváme základní typy-dlouhé, krátké a ploché. Mezi další rozdělení typů kosti patří kosti nepravidelné a zvláštním typem jsou kosti pneumatisované, což jsou kosti vyplněné vzduchem.

Kostní dřeň se nachází uvnitř dutin kosti a vyplňuje dřeňovou dutinu v dlouhých kostech. Ta se nachází mezi trámečky v trámčité kostní tkáni. Kostní dřeň je červená, žlutá a šedá. Červená kostní dřeň je složena z prostorové sítě retikulárního vaziva, v jehož dírách jsou kmenové buňky pro tvorbu červených krvinek, i částečně bílých a krevních destiček. Červená barva kostní dřeně je charakteristická, protože je propletena krevními vlásečnicemi. Žlutá kostní dřeň vzniká z červené kostní dřeně. Během růstu dochází k úbytku krvevotvorby a v retikulárním vazivu dochází k prostupu tukových buněk. Tím se červená dřeň změní ve žlutou. Dutiny dlouhých

kostí jsou před narozením vyplněné červenou kostní dřeví. Ve věku dvacet let je kostní dřeví změněna ve žlutou. Šedá kostní dřeví vzniká ze žluté kostní dřeví při úbytku tuku, a proto je charakteristická pro starší věk.

Okostici neboli periost najdeme na povrchu kosti mimo místa, kde jsou svaly ke kosti připevněny šlachy a kloubní konce kryté kloubním pouzdem. Okostice je pevný, tuhý vazivový obal a nerovnoměrnou vrstvou kryje kost. Okostice je pevně přilnutá na epifýzách dlouhých kostí a kostech lebky. U ostatních kostí okostice pevně lež na koncích, protože se na okrajích nachází kolagenní vlákna vazů a šlach, které pronikají do kosti. Okostice je důležitá z biologického i mechanického hlediska. Kost, která nemá okostici, tak postrádá část cévního zásobení kosti. Složení okostice je ze dvou vrstev. Zevní vrstva neboli fibrózní se skládá z vaziva, které je hustší a vlákna snopců jsou uložena podélně. Druhá vrstva je hlubší, má vazivových buněk mnoho a vlákna jsou uspořádána nepravidelně. Ta obsahuje také osteoblasty, ale pouze v období růstového vývoje a při poškození kosti v době regenerace (Čihák 2011, s. 75).

Kostní spojení rozlišujeme na pevné a pohyblivé. Pevné spojení zajišťuje pojivová tkáň v souvislé vrstvě a má formu vaziva, chrupavky a kosti. Naopak pohyblivé spojení kosti je zajišťováno pomocí kloubů. Znamená to, že se dvě nebo více kostí dotýkají. Na jedné z kostí jsou styčné plochy, které na jedné straně vytvářejí kloubní jamku a straně druhé kloubní hlavici. Pro útlum nárazu je kost na obou koncích pokryta hyalinní chrupavkou ve vrstvě 1-6 mm. Z ochranného hlediska je kloub uzavřen v kloubním pouzdře. Je uchycen po obvodu kosti, které tvoří kloub. V kloubním pouzdře se nachází kloubní maz, jenž je vytvořen z vnitřní synoviální vrstvy. Zevní vrstva pouzdra je fibrózní. Pro zajištění klouzavého pohybu styčných ploch slouží kloubní maz, ten vyživuje chrupavku. Kloubní dutina je charakterizovaná jako prostor štěrbinovitého charakteru nacházející se mezi pouzdem a kloubními plochami. Typy kloubů dělíme podle rozsahu pohybu na nepohyblivé, lehce pohyblivé a pohyblivé volně. Mezi další možnost dělení je počet kostí nacházejících se v kloubu. Klouby jednoduché obsahují pouze kosti dvě a ve složených kloubech se nachází kosti více nebo jsou zde i přídatná tělíska jako meniskus a diskus. Meniskus rozdělí kloub pouze částečně, jelikož neobsahuje tkáň a je zde tedy prázdný prostor. Oproti tomu diskus rozdělí kloub na horní a dolní část.

Typy kloubů podle tvarů: kloub kulový, plochý, válcový, kladkový, sedlový, elipsovité a tuhé (Naňka 2015, s. 33).

2 Přístroje

2.1 Scintigrafie a scintilační kamera

Historie

Scintilační kamera neboli také gamakamera patří mezi nejdokonalejší způsoby pro zobrazení distribuce radiofarmak v těle. Vynálezce Hal Oscar Anger zkonstruoval první scintilační kameru v roce 1958. Tato kamera obsahovala jednodotvorový kolimátor a scintilace v tenkém krystalu dopadaly na fotografickou desku. Následně přidal pro zlepšení sedm fotonásobičů, jejichž úkolem bylo snímat záblesky v krystalu a ty převést na elektrické impulsy. V roce 1964 firma Nuclear Chicago začala vyrábět scintilační kamery, které měly fotonásobičů devatenáct. Následovala je firma Picker, Philips nebo také japonská Toshiba. Nejmodernější kamery obsahují až sto fotonásobičů.

Princip

Princip gamakamery spočívá v zaznamenávání fotonů gama záření, jež jsou emitovány z těla pacienta. Detekované fotony a jejich záblesky jsou převáděny ve scintilátoru na viditelné světlo a pomocí fotokatody na elektrické impulsy. Tyto impulsy vytváří na displeji scintigrafický obraz distribuce radiofarmaka. Součástí hlavy gamakamery je scintilační krystal, který obsahuje ve svém světlotěsném obalu fotonásobiče a veškerou elektroniku. Toto pouzdro zajišťuje radiační stínění proti ionizujícím záření. Kolimátory jsou výměnné a připevněné šrouby ke krystalu a musí na něj těsně doléhat. Detektory jsou umístěny ve stojanu-gantry a pomocí elektromotorů dojde k pohybu detektoru jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru. Dvouhlavé kamery, které už jsou modernější, mají detektory dva a umožňují rotaci kolem pacienta. Tento způsob využívá například SPECT kamera. Pod detektory je umístěno pohyblivé lehátko, na kterém leží pacient. Pohyb lehátka zajišťují elektromotory, aby mohlo dojít k posunu během vyšetření a je tím tak snímá rozsáhlejší oblast zájmu. Toto se využívá například při režimu whole body, kdy snímáme celé tělo a lehátko projíždí mezi detektory (Ullmann 2019).

Scintigrafie je metoda, při které získáváme obraz distribuce radiofarmaka. Pro tento záznam scintigrafického obrazu se zvolí planární nebo tomografický režim SPECT nebo PET. Planární scintigrafie je dvourozměrné zobrazení snímku trojrozměrného objektu. V planárním režimu můžeme zaznamenávat statickou nebo dynamickou scintigrafii.

- **Statická scintigrafie** poskytuje výsledný scintigram nebo sérii scintigramů, které poskytují informaci o funkci orgánu nebo perfúze. Vyšetření se provádí v různých projekcích. Příkladem je statická scintigrafie ledvin (Kupka 2015, s. 29).

Mezi nejčastější projekce statické scintigrafie patří:

AP (anterior-posterior) – předozadní

PA (posterior-anterior) – zadopřední

SIN (sinister) – levá bočná

DX (dextrum) – pravá bočná

LAO (left anterior oblique) – levá přední šikmá

LPO (left posterior oblique) – levá zadní šikmá

RAO (right anterior oblique) – pravá přední šikmá

RPO (right posterior oblique) – pravá zadní šikmá

Tyto nejčastější projekce se přizpůsobují typu vyšetření a zdravotnímu stavu pacienta (Ullmann, 2019).

- **Dynamická scintigrafie** nám slouží k zachycení distribuce radiofarmaka v těle pacienta v určitém čase. Výsledkem je série po sobě jdoucích scintigrafických snímků, které na sebe navazují v čase. Dynamická křivka nám stanoví kvantitativní parametry funkce vyšetřovaného orgánu. Projekce při dynamické scintigrafii se při vyšetření nemění. Při dynamické scintigrafii hodnotíme funkci vyšetřovaného orgánu.

- **Celotělová scintigrafie** se provádí, když je vyšetřovaná oblast delší než velikost detektoru. Patří mezi statickou scintigrafii, při které je pacient posouván mezi detektory scintilační kamery. Posunutí pacienta je prováděno buď kontinuálním nebo krokovým způsobem, při kterém je vyšetřovaná oblast rozdělena na úseky. Obraz je ukládán průběžně do paměti počítače. Ten následně provede rekonstrukci obrazu v přední a zadní projekci (Koranda 2017, s. 34).

2.1.1 Záznam obrazu

Radiodiagnostika a nukleární medicína používá různé způsoby detekce a použití ionizujícího záření. Zobrazovací metody v radiodiagnostice využívají záření gama vznikající v rentgence a jeho energetické spektrum je spojitě. Má schopnost pronikat hmotou nebo vyšetřovaným tělem pacienta, kde se částečně také absorbuje. Záření dopadá na detektor nebo v předchozí době na filmový materiál, kde je zachyceno a tím vznikne dvourozměrný obraz třírozměrného objektu, jenž má rozdílnou denzitu (Vomáčka 2015, s. 13).

V nukleární medicíně se využívá radionuklidových zdrojů ve formě otevřených zářičů. Gama záření má čárové energetické spektrum. Metoda in vivo používá jako zdroj záření radiofarmakum. To je charakterizováno jako léčivý přípravek obsahující biologicky aktivní látky. Vlastnosti aplikovaného radiofarmaka odpovídají vyšetřovanému orgánu a tím dojde k zobrazení metabolismu. Což vypovídá o jeho funkci nebo případné patologii.

Pro lepší orientaci v těle pacienta došlo ke spojení vyšetřovacích metod nukleární medicíny a zobrazovacích metod a tím vzniku hybridních přístrojů. Zobrazovací metody poskytují CT a MR vyšetření, které nukleární medicína používá ve spojení například se scintilační kamerou SPECT nebo PET. Ve výsledku jsou anatomické informace spojené s funkčními a tím je možnost odhalit patologické změny (Koranda 2017, s. 30).

2.1.2 Provedení vyšetření

Při celotělovém zobrazení je pacient vyšetřován v poloze vleže na zádech. Snímání probíhá v zadní a přední projekci při kontinuálním pohybu kamery a tím je záznam průběžný. Dále může být snímání složeno z několika překrývajících se jednotlivých scintigramů, které jsou následně počítačovou rekonstrukcí složeny do výsledného jednoho obrazu. Celotělový sken obsahuje minimálně 1,5 milionu impulzů v každé projekci a je nahráván do matice 256 x 1024 x 16.

Třífázová scintigrafie se provádí vleže, snímání je v přední a zadní projekci. Perfúzní fáze se zahajuje po aplikaci radiofarmaka za 2-3 minuty, je zaměřena na vyšetřovanou oblast a probíhá jako dynamická akvizice. Tkáňová fáze probíhá jako statický scintigram v období třetí až páté minuty po aplikaci radiofarmaka.

V pozdní fázi se provádí statický snímek zaměřen na vyšetřovanou oblast nebo se provádí celotělový scintigram.

Statické obrazy se provádějí v projekcích- přední a zadní. Jako doplňující je projekce bočná a šikmá. Projekce jsou zaměřeny na cílenou informaci vyšetřované oblasti (Džupa 2018, s. 77).

2.2 Průběh vyšetření třífázové scintigrafie

Vyšetření se skládá z perfúzní fáze, tedy průtoku radiofarmaka a dvou zpožděných fází. Perfúzní fáze trvá šedesát vteřin a probíhá jako dynamická akvizice. Během vyšetření sledujeme tok radiofarmaka v podezřelé oblasti.

V tkáňové- druhé fázi-fáze krevního poolu se statické obrazy nahrávají po dobu 5ti minut. Vyšetření může být cílené nebo zaměřené na vyšetřovanou oblast. Výsledkem tohoto scintigramu je rovnoměrné rozptýlení radiofarmaka v krvi a tkáni.

Pozdní fáze se nahrává po 2-4 hodinách od aplikace radiofarmaka. Proto pacient odchází z vyšetřovny a čeká na poslední část vyšetření. V této pozdní fázi je vyšetřováno rozložení radiofarmaka v celotělovém režimu.

Radiofarmaka používané pro třífázovou scintigrafii jsou difosfonáty značené ^{99m}Tc . Například methylen difosfonát, dikarboxypropan difosfonát. Aplikovaná dávka u dospělého člověka (kolem 75 kg) je 700 MBq. (Džupa 2018, s.76).

2.2.1 Třífázová scintigrafie skeletu (TPBS)

Třífázová scintigrafie kosti je považována za lepší vyšetření než zobrazení pomocí CT nebo MR. Tyto dvě zobrazovací metody mohou odhalit morfologické změny. U scintigrafie můžeme zobrazit planárně nebo počítačovou tomografii pomocí SPECT. Ve srovnání SPECT má lepší rozlišení než planární zobrazení. TPBS se používá například u komplexního regionálního syndromu, což je onemocnění, které se projevuje kontinuální bolestí. V místě kostního nádoru nebo jiné patologie dochází k zobrazení mnohočetných ložisek se zvýšenou akumulací radiofarmaka.

K výhodám scintigrafie patří nízká radiační zátěž a vysoká senzitivita, která slouží pro odhalení a potvrzení kostních metastáz. Mezi nevýhody patří nízká specifita. Scintigrafie zachycuje přesné umístění patologické léze dříve, než by byly

viditelné na rtg vyšetření. To platí například pro metastázy a osteomyelitidu (Kupka 2015, s. 72).

Scintigrafie skeletu patří mezi funkční zobrazovací metody pro odhalení lokálních změn metabolismu kostí, které jsou charakteristické pro léze kostí. Osteotropní radiofarmakum na bázi fosfátových komplexů značených ^{99m}Tc se aplikuje intravenózně a dojde k celotělovému šíření. Pro vytvoření kvalitního scintigramu je potřeba dodržet časový rozestup mezi aplikací a vyšetřením 3-5 hodin (Kupka 2015, s. 66).

Radiační zátěž u scintigrafie skeletu je při použití ^{99m}Tc -značeného difosfonátu na povrchu kosti $0,06 \text{ mGy.MBq}^{-1}$ a efektivní dávka je $0,006 \text{ mSv.MBq}^{-1}$ (Kubinyi 2018, s. 223).

2.2.2 Příprava pacienta

Před vyšetřením na nukleární medicíně je potřeba kontrola údajů na žádance, poučení pacienta a také vyplnění informovaného souhlasu. Tyto úkony provádí radiologický asistent, dále je povinen pacienta informovat o průběhu vyšetření, omezeních, které s vyšetřením souvisí a v případě potřeby zodpovídá dotazy pacienta, které nejsou zcela zřejmé. Také je nezbytné získat informace o aktuálních obtížích a dalších onemocněních, které souvisí s pohybovým aparátem nebo také dřívější úrazy či operace.

Pro vyšetření scintigrafie skeletu není potřeba žádná speciální příprava. Vyšetřovaný pacient nemusí být na lačno, ale musí být dostatečně hydratovaný. Dále pacient může užívat léky beze změny a není třeba upravit jejich dávkování. Hydratace je důležitá kvůli snížení radiační zátěže na močový měchýř. Je potřeba vypít 0,5 litrů tekutin. Ovšem těsně před začátkem vyšetření je potřeba, aby se pacient vymočil. Vyšetření trvá necelou hodinu a je nutné, aby vydržel v klidu bez hnutí. U inkontinentních pacientů vyměníme plenu a oblečení rovněž nesmí být od moči. Mohlo by dojít k zobrazení artefaktů. Pacient před vyšetřením musí odložit kovové předměty, aby nedošlo k zobrazení artefaktů na snímcích (Koranda 2017, s. 131).

2.2.3 Indikace a kontraindikace vyšetření

Scintigrafie skeletu se indikuje pro detekci lokalizace a rozsahu metastatických nádorových a nenádorových onemocnění skeletu. Kostní metastázy nejčastěji

metastazují z karcinomu prsu, plic a prostaty. K nenádorovým onemocněním patří osteomyelitida, fraktura, přítomnost ortopedických protéz a Pagetova choroba. Další indikací je diferenciací kostních lézí, bolestivost kostí, dále posouzení onkologické léčby nebo vznik zánětlivého procesu.

Personál kliniky nukleární medicíny je odpovědný za zjištění případných kontraindikací. Žádné absolutní kontraindikace nejsou. Mezi relativní kontraindikace patří gravidita a laktace. Vyšetření se během gravidity provádí pouze z vitální indikace a aplikovaná dávka se minimalizuje. Při laktaci je doporučeno na 12 hodin přerušit kojení dítěte. Dále je důležité dodržovat obecné zásady radiační ochrany (Kupka 2015, s. 68).

2.3 Scintilační kamera SPECT

Z anglického slova jednofotonová emisní tomografie. Pojem emisní znamená, že dochází k registraci gama záření, které je emitované radioaktivní látkou v těle pacienta. Přístroj SPECT je složen z detektoru, většinou jsou dva a otáčejí se kolem pacienta plynulým nebo krokovým způsobem. Při krokovém způsobu je snímán malý úhel. Z každé kamery je uloženo do počítače výsledných 60 projekcí na 180° rotace a následně zpracováno do trojrozměrného obrazu distribuce radiofarmaka. Trojrozměrný obraz informuje o lokalizaci léze nebo zobrazení ložiska, které má vyšší kontrast než okolní tkáň. Vyšší kontrast odhaluje léze, které by na planárním snímku byly špatně detekovatelné (Koranda 2017, s. 29).

Pojem jednofotonová označuje, že dochází k využití radionuklidů, který emituje jeden foton. Výhodou SPECT je, že dokáže snímat tomografické, statické, dynamické a celotělové akvizice. Výpočetní rekonstrukce signálu SPECT je určena velikostí aktivity radiofarmaka. Informace ze SPECT vyšetření vypovídá o funkci orgánu (Kupka 2015, s.32). Scintilační kamera SPECT používá radiofarmaka značených radionuklidů emitující jednotlivé fotony. Příkladem radionuklidů je ^{99m}Tc , ^{113}In a ^{123}I (Kubinyi 2018, s. 209).

2.4 Hybridní systém SPECT/CT

Jednofotonová emisní počítačová tomografie nebo také tomografická scintigrafie může být spojena s CT pro přesnější anatomickou lokalizaci lézi a lepší orientování v případě chirurgické biopsie. Velký význam použití má například při diagnostice

u pacientu s rakovinou. V posledních letech rozvoje technologie došlo k možnosti fúze obrazu a rozvoji modernějších přístrojů SPECT/CT. SPECT se využívá pro funkční zobrazení. První SPECT/CT přístroj byl vyroben v roce 1999 a byl vyvinut společností General Electric. Hasegawa spolu s kolegy navrhovali systém, který by byl společný pro CT a SPECT. Tím vznikl hybridní systém SPECT/CT (Seidl 2012, s. 271).

Pomocí SPECT dochází k rekonstrukci skenovaného objemu do voxelů a připraví tím data k fúzi s CT. CT zpřesňuje anatomickou lokalizaci metabolicky aktivních lézí. SPECT/CT je velmi přesné v zobrazení páteře, pánve a lebky, protože nedochází k respiračním pohybům. CT umožňuje svým měkkotkáňovým filtrem zobrazit lýzu kosti při metastatickém postižení skeletu. Osteoplastický typ metastáz se zobrazuje jako sklerotická ložiska. SPECT/CT detekuje při degenerativních a reparačních změnách páteře ložiska se zvýšeným metabolismem (Zadrazil 2010, s. 80).

2.5 PET

Zkratka PET označuje pozitronovou emisní tomografii a patří mezi dynamicky se rozvíjející zobrazovací modalitu. Pojem emisní znamená, že dochází k registraci gama záření radioaktivní látkou, která se nachází v těle pacienta. Pozitronová emisní tomografie je založena na detekci anihilačních fotonů, které mají energii 511 keV. Při anihilaci dochází ke střetu pozitronu s elektronem a vznikají dva fotony, které odletí každý opačným směrem s energií 511 keV. PET přístroj je složen z desítek tisíc drobných detektorů, které jsou uspořádány do prstence, které se neotáčejí. Fotony dopadnou na detektor a detekují se impulzy v místě dopadu, což odpovídá spojnici dvou bodů. Toto je důležitá informace o směru a poloze, kam fotony dopadly. Proto se nepoužívají kolimátory, které by propustily pouze fotony v žádaném směru (Koranda 2017, s. 30-31). Oproti klasické scintilační kameře má PET vyšší citlivost a lepší rozlišení, čímž umožňuje sledovat radiofarmaka, která by scintilační kamera nezobrazila. Prostorové rozlišení PET závisí na dosahu pozitronu radionuklidů ve tkáni (Kubinyi 2018, s. 212).

Při PET vyšetření se sleduje proces metabolismu glukózy a aminokyselin a perfúze tkání. Jedná se o dynamickou tomografii, která snímá průběh akumulace radiofarmaka v těle. Vypovídá to o funkci vyšetřovaného orgánu. PET se také převážně využívá v onkologii za použití radiofarmaka ^{18}F -FDG. Nevýhodou PET

vyšetření v onkologii je nízká specifita. Toto radiofarmakum se akumuluje v místě nádorů a případných metastázách. Může se také vychytat v místě zánětů a je nutné dobré rozlišení. K akumulaci také dochází ve tkáních a orgánech než jen v nádorových strukturách. Výstupem vyšetření jsou tomografické obrazy v různých fázích vyšetření. Pokud snímáme více fází, zvyšuje se šum a kvalita se zhoršuje, ale také dochází k zachycení více dynamických změn (Kupka 2015, s. 33-34).

2.6 Hybridní systém PET/CT

PET/CT využívá pozitronové zářiče, což jsou radionuklidy, které emitují kladně nabitě pozitrony. Detektory mají speciální scintilátory obsahující vyšší hustotu a vyšší atomové číslo. Počítač zpracovává snímky a vytváří tak 3D rekonstrukci obrazu. V kombinaci s CT vyšetřením zjistíme anatomickou informaci a je možná fúze obrazu. V důsledku toho dochází k vyšší radiační zátěži, ta se skládá z rentgenového a nukleárně medicínského vyšetření. Při PET/CT vyšetření je pacientovi aplikované radiofarmakum ^{18}F -FDG, což je radioaktivní izotop fluoru vyrobený v cyklotronu. V místě, kde je větší spotřeba glukózy, dochází k její větší akumulaci. Ložiska postižená zánětem a nádorem vychytávají glukózu a radioaktivní látku více. Jsou tedy na snímku barevně odlišena od normální tkáně. Před samotným PET/CT vyšetřením je nezbytná speciální příprava. Je nutné dodržet pitný režim, být lačný a vyloučit fyzickou aktivitu kvůli falešnému vychytávání glukózy ve svalech. Radiofarmakum se aplikuje intravenózně a vyšetření trvá asi 20-25 min. Indikací bývá podezření na nádor a zánětlivé procesy (Seidl 2012, s. 267).

3 Radiofarmaka

Definice

Radiofarmakum je léčivý přípravek používaný v nukleární medicíně pro diagnostiku nebo léčbu, který obsahuje jeden či více radionuklidů. Jsou biologicky aktivní a obsahují radioaktivní zářič. Před aplikací radiofarmaka je nutné zkontrolovat radionuklidovou a radiochemickou čistotu, dále aktivitu vyjádřenou v jednotkách Bq. Mezi další podmínky kontroly patří chemická čistota, sterilita a apyrogenita (Kupka 2015, s. 37). Mezi základní složky radiofarmaka patří léčivý přípravek farmakum, který má funkci nosiče, a radionuklid má složku účinnou a je zdrojem ionizujícího záření. Mezi nosiče řadíme anorganické a komplexní soli, buňky, organické látky a krevní elementy. Pro zobrazení skeletu jsou nosičem cheláty. U farmaka je nezbytné, aby mělo vztah k určitému orgánu nebo tkáni, kde se má vychytávat nebo vylučovat. Na farmakum je pak navázán vhodný radionuklid, který je uměle připravený (Kraft 2012, s. 8).

Distribuce radiofarmaka závisí na chemickém složení a radionuklidu, který je na něj navázaný. Tato látka se šíří tělem v závislosti na farmakokinetice. Dojde k hromadění v určitých orgánech nebo tkáních jak fyziologicky, tak patologicky. Následně za určitý čas dojde k vyloučení radiofarmaka z metabolismu.

Při vyšetření kostí distribuce radiofarmaka závisí na průtoku krve a dále na osteoblastické aktivitě kosti, kterou lze vidět například u osteomyelitidy, zlomenin a metastázách v kostech. Radiofarmaka se absorbují do pyrofosfátu vápenatého v kosti. Místa, kde nedochází k vychytávání radiofarmaka, se nazývají studené léze. Ty lze pozorovat u špatného průtoku krve a agresivních procesů (Tichý, 2009).

Příprava radionuklidu

Radionuklidy používané pro nukleární medicínu jsou vyráběny uměle v jaderném reaktoru nebo cyklotronu. V jaderných reaktorech dochází k řetězové štěpné reakci a radionuklid je připraven ozářením stabilních jader neutronovým svazkem. Tato metoda se využívá při získávání radionuklidů ^{131}I , ^{125}I nebo ^{51}Cr .

Cyklotron patří mezi další způsob přípravy radionuklidů. Jedná se o přístroj, kde dochází k urychlení kladně nabitých částic- protonů, deuteronů a α částic v elektrickém poli. Během přípravy se změní protonové číslo jádra a vznikne jádro jiného prvku.

Třetí způsob výroby radionuklidů je výroba z generátorů. V tomto zařízení se mění mateřský radionuklid na dceřin. Mateřský radionuklid má delší fyzikální poločas přeměny a dceřin radionuklid má krátký poločasem přeměny a je vhodný pro užití na nukleární medicíně. Nejvyužívanějším generátorem je ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$, kde je umístěna kolonka ze skla obsahující oxid hlinitý s adsorbovaným mateřským radionuklidem ^{99}Mo . Při přeměně molybdenu vznikne technecistanový iont $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$, který se odloučí ze sloupce promytím (elucí) fyziologickým roztokem. Molybden má poločas přeměny 67 hodin a vzniklé technecium má poločas přeměny 6 hodin. Doba užití generátoru je týden a poté je potřeba jeho výměny (Koranda 2017, s. 17-18, Kubinyi 2018, s.29).

Léčba pomocí radiofarmak

Radiofarmaka se při léčbě aplikují do rakovinných buněk, jejichž cílem je lokální nebo systémová léčba. Tato metoda se nazývá in vivo. Zároveň je nutné myslet na co nejmenší radiační zátěž okolních buněk. Podávání radiofarmaka se provádí intravenózně nebo aplikaci pouze do určité lokalizace. Příkladem je léčba štítné žlázy podáním ^{131}I , ^{90}Y pro léčbu rakoviny jater a také ^{223}Ra pro léčbu kostních metastáz. Pro kontrolu, zda je léčba účinná, je třeba vyvinout odpovídající přístroje, které dokonale zobrazí distribuci a účinnost podaného radiofarmaka. Množství podávané látky se dělá pomocí výpočtu hmotnosti nebo je stanovena fixní dávka. Při podání dávky podle hmotnosti nemusí být dávka optimální a tím není dostatečně cytotoxická (St. James 2021).

Radiofarmakum používané pro vyšetření skeletu

V roce 1961 byl jako první radionuklid pro zobrazení skeletu použit ^{85}Sr . Nevýhodou byla vysoká radiační zátěž pacientů. Z tohoto důvodu byl radionuklid používán pouze u pacientů, kteří měli kostní metastázy prokázané. Stroncium se při tvorbě kosti do něj zabudovávalo a nahradilo složky kalcia. Další vývoj v nukleární medicíně byl v roce 1972 při použití polyfosfátu, mezi které patří difosfát značený metastabilním techneciem $^{99\text{m}}\text{Tc}$. O rok později došlo k použití difosfonátu jako léčba pro Pagetovu chorobu, kostní metastázy a mnohočetný myelom. Tyto nemoci se vyznačují zvýšenou osteoklastickou resorpcí kostí. V současné době se pro scintigrafii skeletu používá difosfonáty značené $^{99\text{m}}\text{Tc}$. V současnosti se používá $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP (medronát, methylen difosfonát) a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HDP (oxidronát,

hydroxymethylendifosfonát). Obvyklá aplikovaná dávka je 500-800 MBq u dospělých osob dle hmotnosti. U dětských pacientů se aplikovaná dávka řídí tabulkami. Výhodou těchto radiofarmak je nízká cena a skutečnost, že dochází k velkému vychytávání v nově vytvořené kosti, tedy minerální složce kosti. Konkrétně dojde k navázání na povrch hydroxyapatitových krystalů. Od aplikace radiofarmaka po zhruba 4 hodinách je ve skeletu vychytáno přibližně 50-60%, 10% zůstane v krevním oběhu a zbytek, tedy 30-40% je vyloučeno ledvinami (Zadrazil 2014, s.31).

Dalším z používaných radiofarmak pro vyšetření skeletu je ^{18}F -NaF (fluorid sodný). ^{18}F je pozitronový zářič s fyzikálním poločasem rozpadu 109 minut. Používá se pro detekci kostních metastáz a poskytuje informaci o přestavbě kostí. V patologických lézích dochází ke zvýšené akumulaci fluoridu z důvodu větší prokrvenosti. Bez předchozí přípravy se pacientovi aplikuje radiofarmakum o dávce 3,5 MBq/kg. Za 30-60 minut po aplikaci je provedeno vyšetření na PET/CT (Ferda 2011, s. 51-54). Indikace tohoto radiofarmaka je pro zobrazení onemocnění přestavbového a metabolického charakteru. Nejdůležitější indikací jsou obecně všechny diagnózy, kde kostní scintigrafie neposkytne dostatečnou informaci o rozsevu, šíření kostních metastáz nebo je nedostatečnou odpovědí na terapii zaměřenou na kostní metastázy (Ferda 2010).

3.1 Aplikace a příprava radiofarmak

Aplikaci radiofarmaka a kontrastních látek provádí podle zákona radiologický pracovník bez odborného dohledu. Toto definuje vyhláška č. 2/2016 Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků v platném znění, kterou se mění vyhláška č. 55/2011 Sb. Konkrétně § 163 odstavec b, 2.věta s názvem odborný radiologický asistent pro nukleární medicínu (vyhláška č. 55/2011 Sb.).

Farmaceutický laborant připravuje v laboratoři radiofarmaka pro vyšetření skeletu. Injekční stříkačka je opatřena štítkem se jménem, váhou pacienta a obsahuje požadovanou aktivitu, druh radiofarmaka a množství. Injekční stříkačka je z důvodu radiační ochrany zakryta olověným krytem (Zadrazil 2014, s. 31).

3.2 Radiační zátěž a radiační ochrana

Radiofarmaka jsou připravována na klinice nukleární medicíny, a proto je nezbytné při jejich přípravě dbát na radiační zátěž pracovníků. Pracují zde s ionizujícím zářením, které je při vysoké dávce nebezpečné. Pro dozimetrii se používají prstové termoluminiscenční dozimetry. Tyto prsteny mohou být nošeny ve dvou polohách na ruce. První poloha (A) je na konečku prstu a slouží pro měření osobního dávkového ekvivalentu na konečcích prstů v 1 cm^2 kůže. Poloha druhá (B) je na prsteníku ruky a měří osobní dávkový ekvivalent na ruce (viz příloha č.3) (Hušák, 2007).

Vyhláška č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje stanovuje maximální limity. Přesněji § 4, 1.část, odstavec c a d, stanovuje průměrnou ekvivalentní dávku za kalendářní rok na každý 1 cm^2 kůže 500 mSv. Pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí je dávka stanovena na 500 mSv za jeden kalendářní rok.

Radiační pracovník kategorie A by mohl obdržet ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv na oční čočku nebo vyšší než 3/10 pro kůži a končetiny. Efektivní dávka by mohla být vyšší než 6 mSv. Mezi pracovníky kategorie A je řazen například lékař, radiologický asistent a zdravotní sestra (Kubinyi 2018, s. 259).

Mezi základní principy radiační ochrany před zářením patří čas, vzdálenost a stínění. Je nutné dodržovat také vzdálenost, protože intenzita radioaktivního záření klesá přímo úměrně se čtvercem vzdálenosti. Dále také ochrana stíněním záření vhodným materiálem zabraňuje povrchové i vnitřní kontaminaci. V případě kontaminace je absorbovaná dávka výsledkem ozáření. V nukleární medicíně se rozdělují účinky ionizujícího záření na **deterministické** a **stochastické**. Deterministické účinky se projevují již v buňkách a ovlivňují také okolní tkáň. Tyto účinky se projevují až po překročení dávkového prahu, který je pro různé tkáně různý. V případě, že dojde k navýšování nadprahové dávky, dojde tím ke zvýšení závažnosti poškození. Účinek vzniká po ozáření během několika dnů až týdnů. Do deterministických účinků řadíme akutní nemoc z ozáření, lokální postižení, sterilitu a poruchy krevetvorby. Naopak pro stochastické účinky neexistuje práh pro překročení dávky a s rostoucí dávkou se zvyšuje pravděpodobnost vzniku změn. Nedochozí ovšem ke zhoršení závažnosti. V běžné životě tedy nelze rozlišit příčinu

vzniku nádoru u ozařovaných pacientů a u běžné populace. Radiační ochrana se snaží o vyloučení deterministických účinků a pro minimalizaci stochastických účinků zavedla do své praxe tři principy. Princip zdůvodnění, aby vyšetření bylo přínosné a převažovalo nad riziky, jež mohou nastat. Princip optimalizace vyžaduje, aby dávka ozáření byla tak nízká, jak jen lze dosáhnout při zachování kvality vyšetření. Poslední princip nepřekročení limitů stanovuje omezování ozařování osob, aby nedošlo k překročení limitů (Koranda 2017, s. 46).

4 Diagnózy

Prostředí kostí je vhodné místo pro tvorbu nádorů jak primárních, tak sekundárních. Kostní skeny se v nukleární medicíně používají spolu s jiným radiologickým vyšetřením k hodnocení zdraví kosterního ústrojí. Tyto skeny buď pokryjí celou kostru nebo pouze konkrétní místo (Smith, 2020).

4.1 Osteomyelitida

Osteomyelitida je definována jako zánětlivé onemocnění kosti postihující kostní dřeň nebo kortikální kost. Osteomyelitida může proniknout až do kloubu a způsobí tím zánět kloubů. Záněty postihující kost patří k závažným onemocněním s mnoha komplikacemi a mohou způsobit i úmrtí. Hematogenní výskyt onemocnění je u předčasně narozených novorozenců s nízkou porodní váhou, dále se vyskytuje při častém užívání antibiotik a očkování. U dospělých jedinců přispívá výskytem několika nemocí například diabetes mellitus, hepatitida B/C a HIV. Osteomyelitidu můžeme rozdělit na **akutní** a **chronickou**, akutní vzniká rychle a klinické příznaky jsou zřejmé během 14 dnů až 12 týdnů od začátku. Chronická osteomyelitida přechází z akutní formy a má delší průběh než šest měsíců. Další dělení je podle vzniku, a to na **hematogenní** a **exogenní**, vznikající po traumatech nebo zlomeninách kostí. Záněty jsou **specifické** a hnisavé **nespecifické** způsobené bakteriemi. Specifické záněty jsou vyvolány *Mycobacterium tuberculosis* nebo vzácně jiným patogenem. Vznik onemocnění způsobuje kolonizace patogenních organismů do metafýz dlouhých kostí, kde se nachází cévní zásobenění. Dojde ke snížení krevního průtoku a bakterie vytváří ohnisko, kde se množí.

Mezi projevy onemocnění patří celkové příznaky, příkladem je febrilie, nechutenství, úbytek hmotnosti a noční pocení. Lokálními příznaky je bolest, zarudnutí, edém a absces. Diagnóza se stanovuje na základě laboratorních, zobrazovacích a mikrobiologických vyšetření. K zobrazovacím metodám patří rtg snímek, CT, MR a scintigrafické vyšetření značených leukocytů ^{111}In Oxin a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ HMPAO. Léčba osteomyelitidy spočívá v chirurgickém zákroku a podávání antibiotik (Dungl 2014, s.166).

4.2 Patologická zlomenina

Patologická zlomenina vzniká bez jakéhokoliv násilí nebo pádu. Způsobí ji například obyčejné otočení na lůžku. Její příčina spočívá v oslabení kosti způsobené osteoporózou, metastázami osteolytického a osteoplastického charakteru. Rizikovým faktorem pro vznik zlomeniny je přítomnost osteolytického ložiska velkého rozměru v nosných kostech. Tím dochází ke snížení mechanické pevnosti a dojde ke vzniku mikrofraktur a zhoršuje se bolest. Čím více se nádor rozpíná, tím je bolest větší a dochází k otoku kolem ložiska. Při větší zátěži se obtíže zhoršují a kost je mechanicky slabší. Narušená pevnost kosti dráždí receptory trabekulární a kortikální vrstvy. Při patologické zlomenině dochází k vyplavování nádorových buněk do krevního oběhu. Tím může dojít k primárním i sekundárním nádorům. Metastázy karcinomu prsu, myelomu a cervix uteri představují nejnížší riziko vzniku fraktury. Naopak metastázy karcinomu plic mají nejvyšší riziko vzniku patologické zlomeniny. S přibývajícím věkem a stupněm osteoporózy také stoupá riziko zlomeniny. Místo patologické zlomeniny je velmi bolestivé a při dislokaci konců kosti může dojít až ke krvácení. Příznaky zlomeniny je bolest, hematom, otok, deformace, patologický pohyb a porucha funkce končetiny.

Ke stanovení diagnózy slouží rtg snímek, na němž lze pozorovat porušení spojitosti kosti. Pokud není jasný nález na snímku, je to indikací pro CT nebo MR vyšetření. Pro zjištění případných nádorových ložisek se indikuje celotělové scintigrafické vyšetření za použití ^{99m}Tc -HDP.

Při vzniku patologické zlomeniny je nutná její fixace stejně jako při klasické zlomenině pomocí obvazu nebo dlahou. Protože se jedná o jedno z nejzávažnějších problémů v ortopedii, je potřeba konzultace a oprava operační fixací. Léčba osteolytického ložiska spočívá v ozáření kurativní dávkou kolem 40 Gy. Při této dávce je možné dosáhnout snížení počtu nádorových buněk a osteolytické aktivity. S ozářením se začíná nejdříve dva týdny po operaci, kdy je operační rána zahojená. V případě, že rána nezasahuje do ozařování, tak se může ozařovat hned po operaci (Adam 2005, s. 114).

4.3 Osteoartróza (OA)

Jedná se o nezánnětlivé degenerativní onemocnění kloubů při úbytku a opotřebení kloubní chrupavky. Onemocnění je dále charakterizované tvorbou osteofytů, změnami měkkých tkání v kloubním pouzdře, kloubních vazech a svalech. Osteoartróza je velmi časté onemocnění, vyskytují se častěji u žen s projevy na drobných kloubech ruky, páteři a kostech nesoucí váhu. Patologické změny se zjišťují pomocí zobrazovacích metod na rtg snímku, CT a MR vyšetření. Vznik onemocnění zřejmě souvisí s několika různými nemocemi a mohou mít odlišnou etiologii. Mezi rizikové faktory pro vznik OA patří věk, pohlaví, úraz, obezita a genetická predispozice. Zvětšený, bolestivý a ztuhlý nově vytvořený kloub se nachází v místech, kde je kost méně zatěžovaná. Kloubní výrůstky, osteofyty, částečně překrývají kloubní chrupavku. Ortopedická léčba spočívá v náhradě postiženého kloubu (Dungl 2014, s. 127).

Mezi další vyšetřovací metody patří třífázová scintigrafie. Touto metodou je možné odhalit patologii dříve než na rtg snímcích. U osteoartrózy je zvýšená aktivita ve třetí kostní fázi. Pokud je přítomen také zánět, je aktivita zvýšená i v prvních fázích (Kupka 2015, s. 71).

4.4 Totální endoprotéza (TEP)

U některých pacientů může dojít k uvolnění TEP kyčelního nebo kolenního kloubu. Je tedy potřeba odlišit infekci a aseptické uvolnění protézy. U infekčního uvolnění dochází k odstranění kovového materiálu ihned a jsou podávána antibiotika. Nový kloub je implantován až je infekce vyléčená. V případě, že se v místě TEP nenachází zánět, ale dojde k uvolnění, je implantát ihned nahrazen. Po operaci se provádí pravidelné rtg snímky a hodnotí se s předchozími, zda nedošlo k posunu protézy. Změny na rtg vyšetření jsou patrné až v pozdějších stádiích uvolnění, navíc nelze rozpoznat infekci a aseptické uvolnění (Koranda 2017, s. 138).

Pro průkaz infekce v okolí endoprotézy se provádí třífázová scintigrafie skeletu. Během ní je možné sledovat zvýšené prokrvení a kostní přestavbu ve všech třech fázích. Pokud je výsledek nejasný, provádí se scintigrafie značenými leukocyty pomocí hybridního systému SPECT/CT nebo PET/CT pomocí ¹⁸F-FDG. Během pooperačního období je v okolí endoprotézy zvýšená přítomnost difosfonátu běžný nález (Kupka 2015, s. 71).

4.5 Pagetova choroba

Pagetova nemoc neboli ostitis deformans je většinou náhodným nálezem na rtg snímku a má nejasnou etiologii (Kupka 2015, s. 71). Toto onemocnění je druhé nejčastější metabolické kostní onemocnění vyskytující se především ve věku nad 50 let. Výskyt je především v Anglii, Francii a Německu. Byla zkoumána virová infekce jako příčina choroby. Onemocnění probíhá bez jakýchkoliv příznaků, postihuje jednu nebo více kostí, ale nepostihuje několik lokalizací najednou. Na začátku onemocnění jsou aktivní osteoklasty a později se díky osteoblastické aktivitě vytváří nová kost. Mezi hlavní symptomy onemocnění patří bolest v zádech, protože páteř je nejčastější lokalizací Pagetovy choroby. Další lokalizace onemocnění je LS páteř, lebka, pánev, femur, tibie a klíční kost. Při postižení pánve nedochází k bolestem, dokud není zasáhnut kyčelní kloub. V případě lokalizace na lebce dojde ke zvětšení hlavy. Výskyt maligních ložisek je pouze u méně jak 2 % pacientů. Ke stanovení diagnózy slouží rtg snímek, na němž je patrná osteolýza kosti. Ke specializovanějšímu vyšetření se provádí scintigrafie ^{99m}Tc metylendifosfonátem. Léčba spočívá v odstranění bolesti pomocí analgetik a zabránění vzniku deformit (Dungl 2014, s. 323).

4.6 Kostní metastázy

Jedna z neaktivnějších tkání v těle je tkáň kostí, kde dochází k neustále přestavbě. Proto velmi rychle reaguje na patofyziologické změny vyvolané nádorem.

Mezi způsoby detekce kostních metastáz patří především zobrazovací metody. Jednou z metod je prostý RTG snímek, dále CT a MR vyšetření. Nukleární medicína využívá scintigrafii kostí nebo hybridní přístroje PET/CT a SPECT/CT.

Maligní karcinom prostaty, prsu a plic patří mezi významné pro detekci kostních metastáz k hodnocení nádorů. Aktivitu a metastatické postižení lze pozorovat pomocí zvýšené aktivity osteoblastů. Vznik osteoplastických, osteolytických nebo smíšených nádorů je způsobeno poruchou systému, který udržuje a kontroluje homeostázu kalcia a systém buněčných interakcí (Ferda 2011).

Kostní metastázy mají největší incidenci u pacientu s rakovinou prsu, plic, ledvin a prostaty. Mezi další příčiny nemaligního charakteru patří kostní cysta, osteomyelitida, osteoporóza a Pagetova choroba (Adam 2005, str.114).

4.6.1 Osteosarkom

Osteosarkom je nejčastějším kostním maligním nádorem, který se vyskytuje u dětí a mladších dospělých ve věku 10-25 let. Vzácně je diagnostikován u kojenců a osob starších 90 let. Sekundární osteosarkomy se vytvářejí u Pagetovy choroby, kostních infarktů a chronické osteomyelitidy. Prvními příznaky osteosarkomu je charakteristická noční bolest a v případě, že postihuje dolní končetiny je také přítomná porucha chůze. Bolesti se často mohou projevovat jako kloubní bolest, a proto bývá špatně léčena. Dalším příznakem je zduření měkkých tkání, které bývá bolestivé. Mezi další projevy patří patologická zlomenina, která většinou dovede pacienty k lékaři. Diagnostika osteosarkomu se provádí nejprve na rtg snímku, případně na CT vyšetření, dále celotělová scintigrafie skeletu, sonografie pro určení velikosti tumoru ve tkáních. Tato vyšetření se provádí pro potvrzení primárního nádoru a pro vyloučení sekundárních metastáz.

Osteosarkom je citlivý na chemoterapii a pro léčbu je zahájena předoperační chemoterapie, následuje chirurgická léčba a dále se pokračuje v chemoterapii. Tento postup se nazývá neoadjuvantní chemoterapie. Ozařování osteosarkomu přináší malý terapeutický přínos, protože je radiorezistentní. Z možného rozsevu nádorových buněk je chemoterapie důvodem k indikaci. Při opakovaném vzniku osteosarkomu se indikuje chemoterapie a resekce recidivujících metastáz. Po léčbě se pacient sleduje dva roky ve čtvrtročních intervalech a provádí se kontrolní rtg snímky plic pro případné metastázy a snímek končetin. Při nejasnostech se provádí CT vyšetření. Po pěti letech, kdy se onemocnění nevrátí, se pacient pokládá za vyléčeného. Při včasném zachytu onemocnění a správné léčbě přežívá zhruba polovina pacientu (Adam 2012 s. 230).

4.6.2 Ewingův sarkom

Ewingův sarkom patří mezi vysoce maligní onemocnění. Mezi nejčastější primární lokalizace je kost, konkrétně kosti pánve a stehenní kost. Další lokalizaci jsou měkké tkáně, které postihují mladší generaci. Metastázy Ewingova sarkomu se šíří hematogenní cestou a nalezneme je ve skeletu, kostní dřeni a plicích (Kupka 2015, s. 120). Z histopatologického hlediska se nejpravděpodobněji jedná o neuroektodermální nádor, jehož etiologie je neznámá. Charakteristickým projevem onemocnění je bolest v místě nádoru. Dalšími projevy jsou patologická fraktura,

patologická rezistence a febrilie. Je třeba dbát na to, aby nedošlo k záměně s infekčním onemocněním, protože zde dochází k otokům, které vedou ke zvýšené teplotě v místě bolesti. Při bolesti zad dochází ke kompresi míchy a bolest končetin způsobuje prorůstání nádorů do nervové pleteně. Délka mezi symptomy a stanovení léčby bývá šest měsíců. Pro stanovení diagnózy se provádí rtg snímek, na němž se nádor vyskytuje v diafýzách kosti. K lepší prostorové orientaci a rozsahu nádorů se provádí MR vyšetření. Vzhledem k možnosti metastáz se dále vyšetřuje pomocí scintigrafie skeletu.

Léčba nádoru spočívá v neoadjuvantní chemoterapii. Pro začátek není lokální léčba moc účinná, protože v době stanovení diagnózy pacienti již mají metastázy mikroskopické velikosti. Po skončení chemoterapie dochází k cílené léčbě. Při radikální operaci se odebere postižená část kosti s přesahem 2 cm v kosti zdravé na každou stranu. Cílem operace je odstranění makroskopického ložiska a vzdálené metastázy se léčí radioterapií. Prognóza přežití je velmi vysoká a u dětí mladších 10 let je šance větší 90 % (Adam 2012, s. 365).

4.7 Mnohočetný myelom (MM)

Mnohočetný myelom patří mezi druhé nejčastější hematologické onemocnění. A jeho výskyt v posledních letech stoupá. Postihuje častěji starší populaci ve věku nad šedesát let. Pouze méně jak 2 % je mladší než čtyřicet let. Onemocnění je charakterizováno akumulací nádorových buněk v kostní dřeni. Většina nádorových buněk má zralé plazmocyty, které jsou charakterizované nízkou proliferační aktivitou. Etiologie onemocnění není známá. Předpokládaný vznik nemoci závisí na lymfocytech, které dozrávají do plazmatických nádorových buněk. Rozdíl mezi patologickými a fyziologickými plazmocyty spočívá v dlouhověkosti patologických plazmocytů. Mnohočetný myelom je charakterizován produkcí monoklonálního imunoglobulinu, infiltrací do kosti a kostním postižením. Molekuly monoklonálního imunoglobulinu IgG tvoří jednoduché řetězce. Dále myelomové nádorové buňky vytváří cytokiny, které ve výsledku působí na okolní tkáň a celý organismus. Příkladem je odbourávání kostí a aktivace faktoru osteoklastu.

Mezi první projevy onemocnění patří osteolýza, anémie, oslabená imunita a narušena fyziologická tvorba imunoglobulinu. Typické tři příznaky onemocnění jsou bolesti kosti, často lokalizované v oblasti páteře, únava a častá recidiva infekce.

Během stanovení diagnózy nejčastěji pacienti trpí zvýšenou koncentrací kreatininu a hyperkalcémií. U tohoto onemocnění si pacienti na začátku onemocnění stěžují na opakující a zhoršující se bolesti lokalizované v zádech nebo dlouhých kostech. Bolesti zad postihují téměř každého člověka. Jiné bolesti jsou způsobeny metastázemi do skeletu, a proto je nutné je odlišit od mnohočetného myelomu. Zhoršená bolest přetrvávající déle jak měsíc je indikací pro zobrazení a laboratorní vyšetření. Na rtg zobrazení je možné pozorovat kompresní zlomeniny žeber nezpůsobené úrazem. MM se také může šířit mimo kost a dojde tím k neurologickým poruchám končetin, dále postihuje kořeny probíhající páteřním kanálem a způsobí retenci moči nebo poruchu inervace svěračů. Diagnostika těchto poruch se provádí pomocí CT nebo MR vyšetření (Adam 2012, s. 321). Ve scintigrafické diagnostice má mnohočetný myelom zvláštní postavení. Nejvhodnější metoda je třífázová scintigrafie, kde bývá pozitivní nález v první angiografické fázi díky bohatě prokrveným lézím. Scintigrafií lze prokázat studená ložiska v kalvě, páteři, pánevních kostech či žebrech (Kupka 2015, s. 68).

Léčba u pacientů s mnohočetným myelomem spočívá v odstranění projevů a příznaku nemoci. Pacienti, jenž nevykazují žádné symptomy, se pouze sledují. K zahájení léčby dochází u pacientů, kterým onemocnění způsobuje komplikace. Léčba závisí na věku a celkovém stavu pacienta. Pro začátek se podává melphalan, vysoké dávky glukokortikoidů a necytostatické léky. U osob, které jsou mladší 65 let, je léčba doplněna o vysokodávkovou chemoterapii. Po ukončení léčby jsou pacienti sledováni a léčba je zahájena v případě zhoršení nemoci nebo jejím relapsu. U osob nad 65 let se volí vhodná léčba odpovídající biologickému stavu, protože je nutné, aby byl přínos větší než nežádoucí účinky. Je také nutné léčit bolest pomocí analgetik v kombinaci s léky opioidových receptorů. Dávku analgetik lze zvyšovat s rostoucí intenzitou bolesti. Součástí léčby MM je kurativní radioterapie a při dávce 30-40 Gy má šanci zničit nádorové buňky v místě ozáření. V tomto důsledku je zastavena osteolýza kosti. Radioterapii se léčí všechna velká ložiska nacházející se na místech, kde je vysoká nosnost skeletu. U pacientů, kde není možná tak vysoká dávka, je radioterapie pouze analgetická o celková dávce 10-15 Gy. Nádor se ovšem nezničí, pouze dojde ke zmírnění obtíží. Prognóza přežití se tedy při chemoterapii bez cytostatické léčby prodloužila na tři až čtyři roky z původních maximálních 11

měsíců chemoterapie. Vysokodávková chemoterapie prodloužila přežití o 1,5 roků (Adam 2012, s. 321).

Závěr

Hlavní cíl ve své bakalářské práci jsem si zvolila předložit dohledané aktuální poznatky o možnostech a využití nukleární medicíny při vyšetření skeletu. Konkrétně scintigrafie skeletu patří mezi nejčastější prováděné výkony na pracovištích nukleární medicíny. V této práci jsou sumarizovány poznatky o jednotlivých přístrojích a jejich technických parametrech, poskytuje přehled o vyšetřovaných diagnóz a radiofarmacích, která se používají. Pro lepší přehled jsem na začátek do své bakalářské práce zahrнула stručný popis anatomie kosti.

Na začátku jsem si vytyčila tři cíle a první cíl této práce bylo sumarizovat dohledané aktuální poznatky o přístrojích používaných na nukleární medicíně. Druhá kapitola se zmiňuje o technických parametrech a rozdílech mezi přístroji. Poskytuje také informace o průběhu vyšetření scintigrafie skeletu, jaká je její příprava a omezení, se kterými jsou spojeny. Pro toto vyšetření je nejčastěji zvolena metoda celotělové scintigrafie. Scintigrafie skeletu - od aplikace po konec skenování - trvá delší dobu. Je nutné dodržet čas mezi aplikací radiofarmaka a samotným scintigrafickým vyšetřením skeletu, aby došlo k adekvátnímu vychytání osteotropní látky v kostech. První cíl byl tedy splněn.

Za druhý cíl jsem si stanovila shrnout poznatky o používaných radiofarmacích, jejich aplikacích a radiační ochraně. Je potřeba dodržovat několik zásad, aby vyšetření proběhlo s co nejnižší radiační zátěží. Indikující lékař si zvolí radiofarmakum podle vyšetřované oblasti a podle toho, co chce právě zobrazit. Protože radiofarmaka zobrazující zánět jsou odlišná od těch, která zobrazují metastázy nebo přímo nádory. Pro zobrazení zánětu se používá ^{99m}Tc -HMPAO značené autologní leukocyty, ^{99}Tc značené protilátky proti granulocytům nebo ^{18}F FDG (na PET/CT) a pro scintigrafii skeletu difosfonáty značené ^{99m}Tc . Stanovený druhý cíl byl tedy také splněn.

Posledním, tedy třetím cílem, bylo z dostupných zdrojů dohledat poznatky o diagnózách, které jsou vyšetřovány na nukleární medicíně. Podle dohledaných informací se nejčastěji jedná o diagnózy nádorového onemocnění, respektive o detekci metastáz karcinomu prsu, prostaty a plic. Vyšetření se tedy provádí pro posouzení přítomnosti nádoru nebo jeho vyloučení. Sleduje se také vývoj onemocnění po onkologické léčbě, zda je úspěšná či nikoliv. Dále se vylučují

nebo potvrzují zánětlivá onemocnění nacházející se ve skeletu. Mezi další diagnózy, které patří k vyšetření na nukleární medicínu, řadíme například Pagetovu chorobu nebo patologickou zlomeninu. Poslední cíl bakalářské práce byl tedy také splněn.

Všechny tři stanovené cíle bakalářské práce byly splněny.

Tato bakalářská přehledová práce může sloužit jako ucelený přehled informací o využití nukleární medicíny při vyšetření skeletu. Může sloužit jako doplňkový studijní materiál pro studenty radiologického zaměření nebo jako rozšířený přehled státnicové otázky na tohle téma.

Referenční seznam zdrojů

ADAM, Zdeněk a Pavel ŠEVČÍK, 2005. *Kostní nádorová choroba*. 2005. Praha 7: Grada Publishing. ISBN 80-247-1357-8.

ADAM, Zdeněk, 2012. *Speciální onkologie: Příznaky, diagnostika a léčba maligních chorob*. 2012. Praha 5: Galén. ISBN 978-80-7262-918-3.

Česká radiologie: Výhody hybridního SPECT/CT zobrazení skeletu [online], 2010. 2010. 5 s. [cit. 2022-03-20]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1001_76_81.pdf

ČESKÁ REPUBLIKA, 2011. RADIOLOGICKÝ ASISTENT SE SPECIALIZOVANOU ZPŮSOBILOSTÍ: Odborný radiologický asistent pro nukleární medicínu. In: 55. 2011. Praha: Zákony pro lidi, ročník 2011, číslo 163. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-55#cast4>

ČESKÁ REPUBLIKA, 2016. Limity pro radiačního pracovníka. In: 422. Praha: Zákony pro lidi, ročník 2016, číslo 4. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>

ČIHÁK, Radomír, 2011. *Anatomie 1*. 2011. Praha 7: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-3817-8.

DUNGL, Pavel, 2014. *Ortopedie*. 2014. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4357-8.

DŽUPA, Valér a Jiří JENŠOVSKÝ, 2018. *Diagnostika a léčba osteoporózy a dalších onemocnění skeletu*. 2018. Univerzita Karlova, Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-3741-9.

FERDA, Jiří, 2010. Česká radiologie: 18F-FDG-PET/CT muskuloskeletálních nádorů. *Česká radiologie* [online]. Galén, 2010(1), 44-51 [cit. 2022-01-24]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1101_51_60.pdf

FERDA, Jiří, 2010. Zobrazení kostních metastáz pomocí 18-NaF/PET/CT. *Česká radiologie: Česká lékařská společnost J. E. Purkyně*. [online]. Praha: Galén [cit. 2021-11-10]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1101_51_60.pdf

- HUŠÁK, Václav a Jaroslav PTÁČEK, 2007. Radiační zátěž rukou pracovníků během přípravy a aplikace radiofarmak značených radionuklidem ¹⁸F. *Česká radiologie* [online]. 2007(6), 80-84 [cit. 2022-01-24]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: <http://www.cesradiol.cz/detail.php?stat=479>
- KORANDA, Pavel, 2017. *Nukleární medicína*. 2017. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4031-6.
- KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK, 2012. *Radiofarmaka*. 2012. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta. ISBN 978-80-7464-183-1.
- KRAMER, Marek a Jacek CAPALA. *The role of nuclear medicine in modern therapy of cancer*. 629–640. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s13277-012-0373-8>
- KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK, 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně: a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. 2018. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0168-9.
- KUPKA, Karel a Jozef KUBINYI, 2015. *Nukleární medicína*. 2015. Praha: P3K. ISBN 978-80-87343-54-8.
- NAŇKA, Ondřej a Miloslava ELIŠKOVÁ, 2015. *Přehled anatomie*. 2015. Praha 5: Galén. ISBN 978-80-7492-206-0.
- SEIDL, Zdeněk, 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. 2012. Praha 7: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4108-6.
- SMITH, Ryan, 2020. Nukleární medicína zobrazení kostí. *Radiologic technology*. 2020(91), 249-263. ISSN 0033-8397. Dostupné z: doi:<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32060081/>
- ST. JAMES, Sara a Bryan BEDNARZ, 2021. Současný stav radiofarmaceutické terapie. *Radiofarmaceutická terapie*. 109(4.), 891-901. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2020.08.035>
- TICHÝ, Lubomír, 2009. Vyšetřovací metoda PET/CT. *Medicína pro praxi*. 2009(6), 46-49. ISSN 1803-5310. Dostupné z: doi:<https://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2009/01/11.pdf>

ULLMANN, Vojtěch. AstroNuklFyzika [online]. Ostrava Poruba: Ostrava [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/>

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

Seznam zkratek

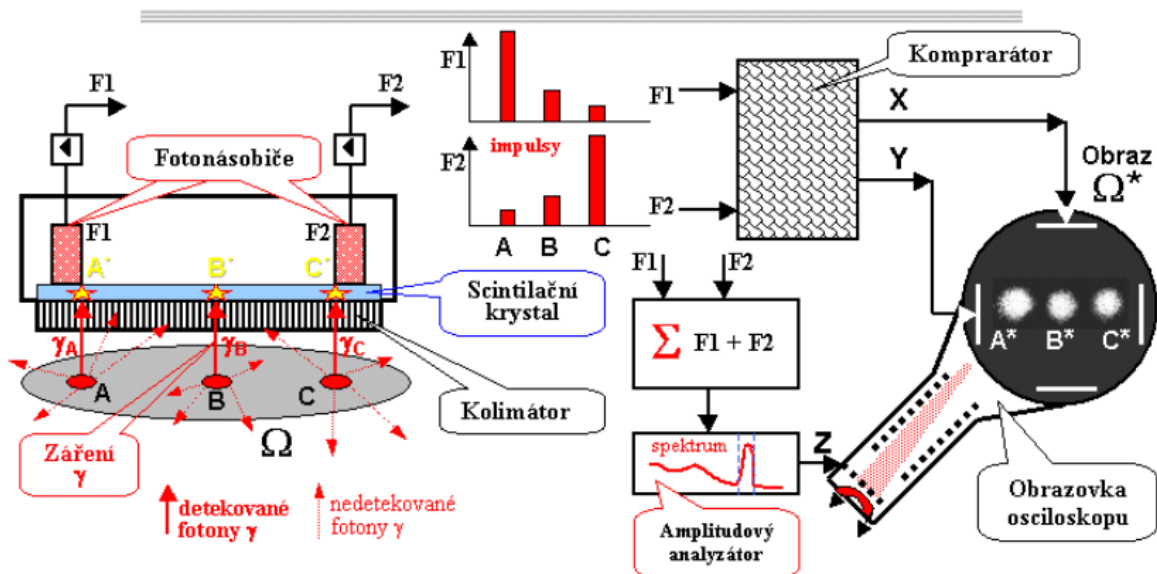
2D	Dvojdimenzionální
3D	Trojdimenzionální
CT	Výpočetní tomografie (Computed tomography)
HIV	Human Immunodeficiency Virus Virus lidské imunitní nedostatečnosti
MM	Mnohočetný myelom
MR	Magnetická rezonance
OA	Osteoartróza
PET	Pozitronová emisní tomografie (Positron emission tomography)
PET/CT	Pozitronová emisní tomografie/výpočetní tomografie
RTG	Rentgen
SPECT	Jednofotonová emisní tomografie (Single photon emission tomography)
SPECT/CT	Jednofotonová emisní tomografie/výpočetní tomografie (Single photon emission tomography/computed tomography)
TEP	Totální endoprotéza
TPBS	Třífázová kostní scintigrafie (Three phase bone scintigraphy)
WBC	Bílé krvinky (White blood cells)

Seznam příloh

Příloha 1 – Průbeh scintilačního vyšetření	40
Příloha 2 – Průbeh scintilačního vyšetření	40
Příloha 3 – Umístění dozimetru na ruku	41
Příloha 4 – Dvouhlavá scintilační kamera	41
Příloha 5 – Scintigrafie skeletu	42
Příloha 6- Scintigrafie skeletu- celotělový scintigram a SPECT páteře u pacientky s karcinomem prsu	43
Příloha 7- Celotělový scintigram u pacienta s karcinomem prostaty	44
Příloha 8- Třífázová scintigrafie skeletu u pacientky po reimplantaci TEP levého kolenního kloubu před 2 lety	45

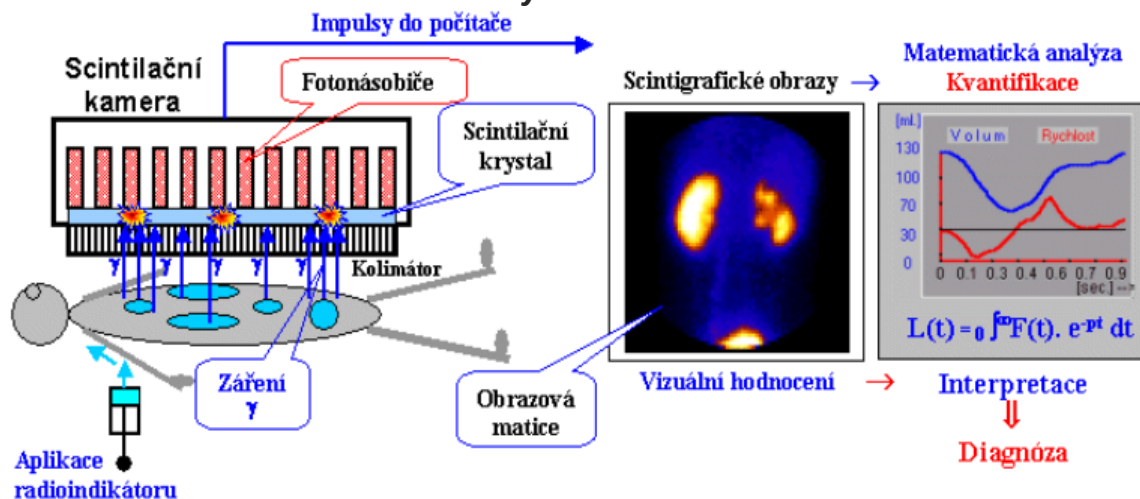
Příloha 1 – Průběh scintilačního vyšetření

SCINTILAČNÍ KAMERA



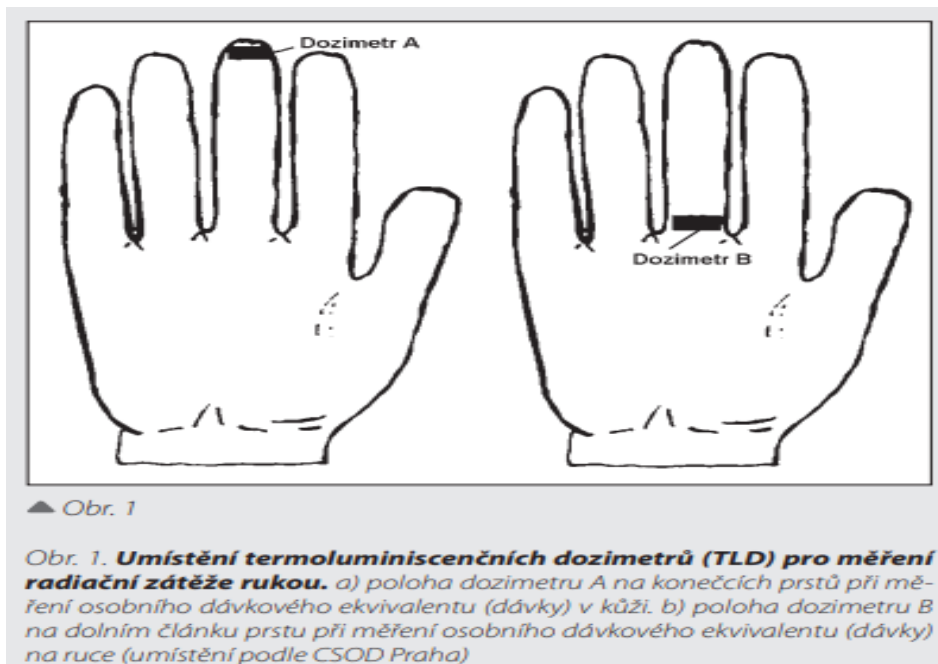
Zdroj: ULLMANN, Vojtěch. AstroNuklFyzika: Obr.4.2.1. Principiální schéma scintilační kamery (analogové). In: *AstroNuklFyzika* [online]. Ostrava-Poruba, 2019 [cit. 2021-11-10]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>

Příloha 2 – Průběh scintilačního vyšetření



Zdroj: ULLMANN, Vojtěch. AstroNuklFyzika: Obr.4.2.5. Schématické znázornění celého procesu scintigrafického vyšetření. In: *AstroNuklFyzika* [online]. Ostrava-Poruba, 2019 [cit. 2021-11-23]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>

Příloha 3 – Umístění dozimetru na ruku



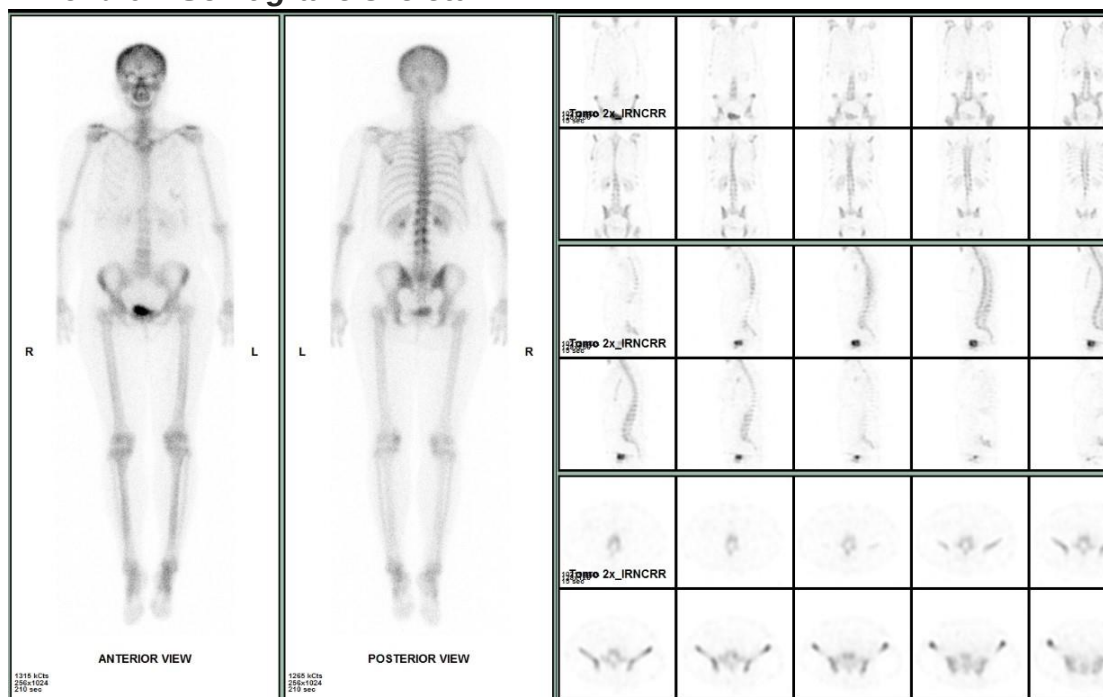
Zdroj: PROF. ING. HUŠÁK, Václav. Česká radiologie. In: Česká radiologie [online]. Olomouc, 2006 [cit. 2021-11-24]. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad0701_80.pdf

Příloha 4 – Dvouhlavá scintilační kamera



Zdroj: Dvouhlavá scintilační kamera [online]. In: [cit. 2021-12-03]. Dostupné z: https://theses.cz/id/a0nvhe/BP_FINAL.pdf

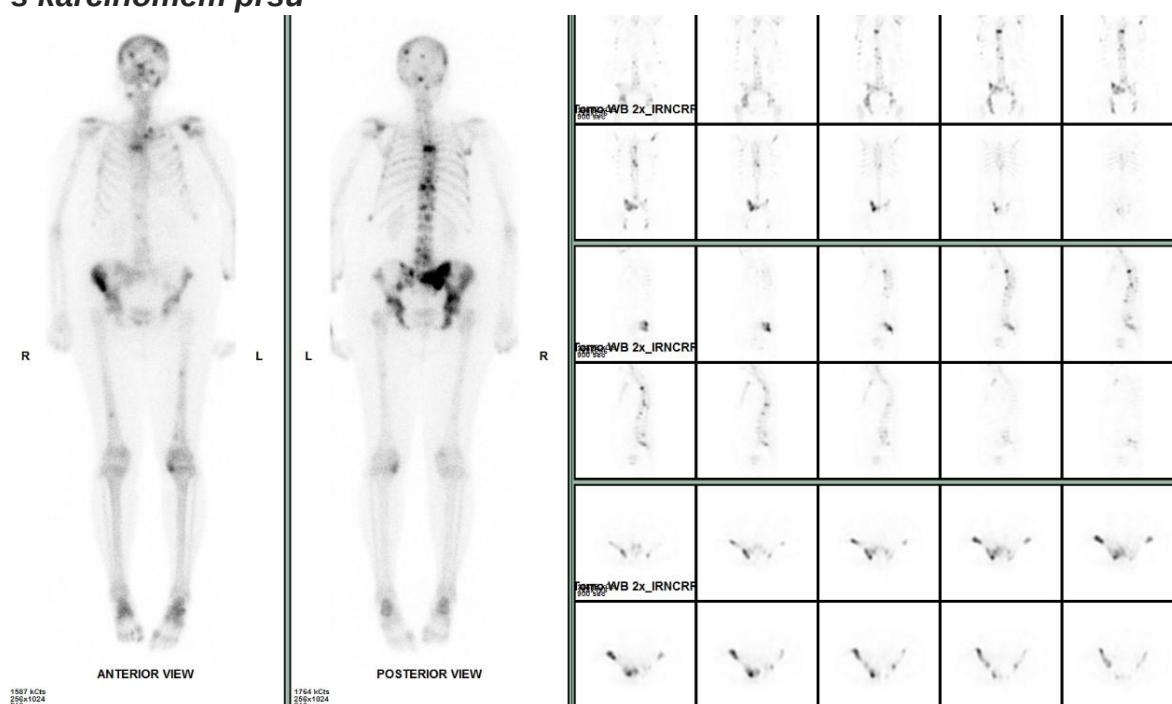
Příloha 5 – Scintigrafie skeletu



Zdroj: archiv KNM FN Olomouc

Celotělový scintigram a SPECT páteře v rovině koronální, sagitální a transverzální-normální rozložení radiofarmaka v těle

Příloha 6- Scintigrafie skeletu- celotělový scintigram a SPECT páteře u pacientky s karcinomem prsu



Zdroj: archiv KNM FN Olomouc

Na scintigramu jsou mnohočetná ložiska zvýšené kostní přestavby, resp. metastázy, v kalvě, ve všech etážích páteře, ve více lokalizacích v žebrech vlevo i vpravo, mnohočetně ve skeletu pánve.

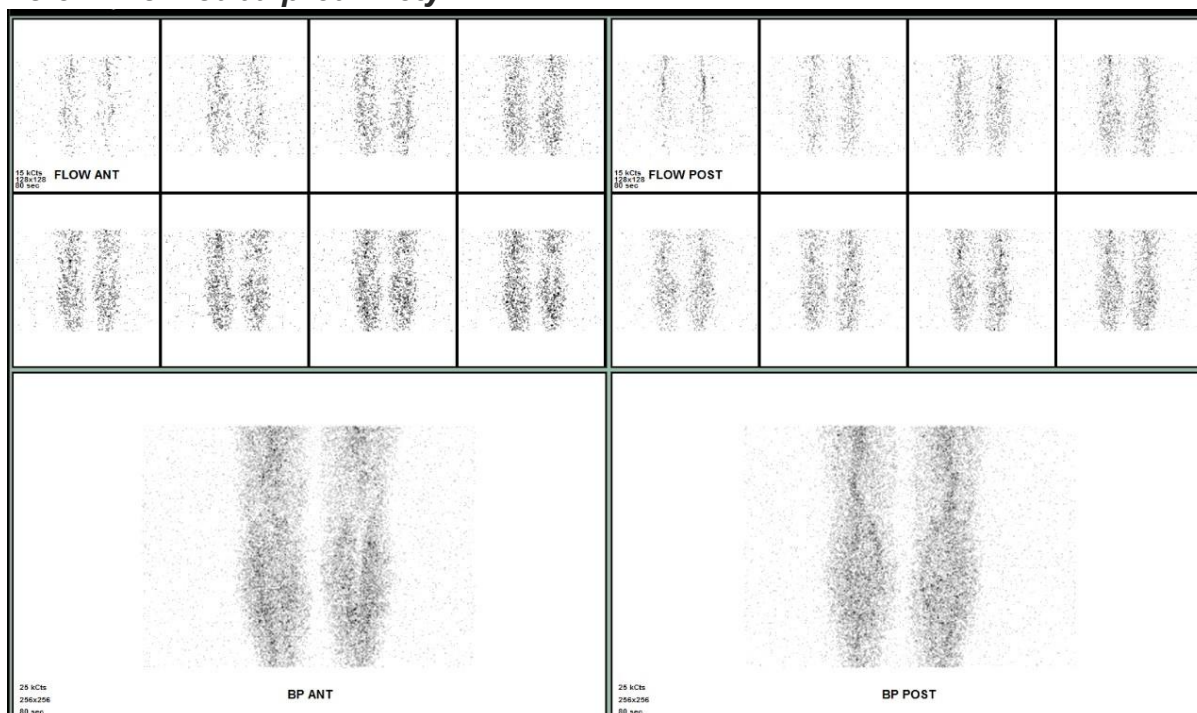
Příloha 7- Celotělový scintigram u pacienta s karcinomem prostaty



Zdroj: archiv KNM FN Olomouc

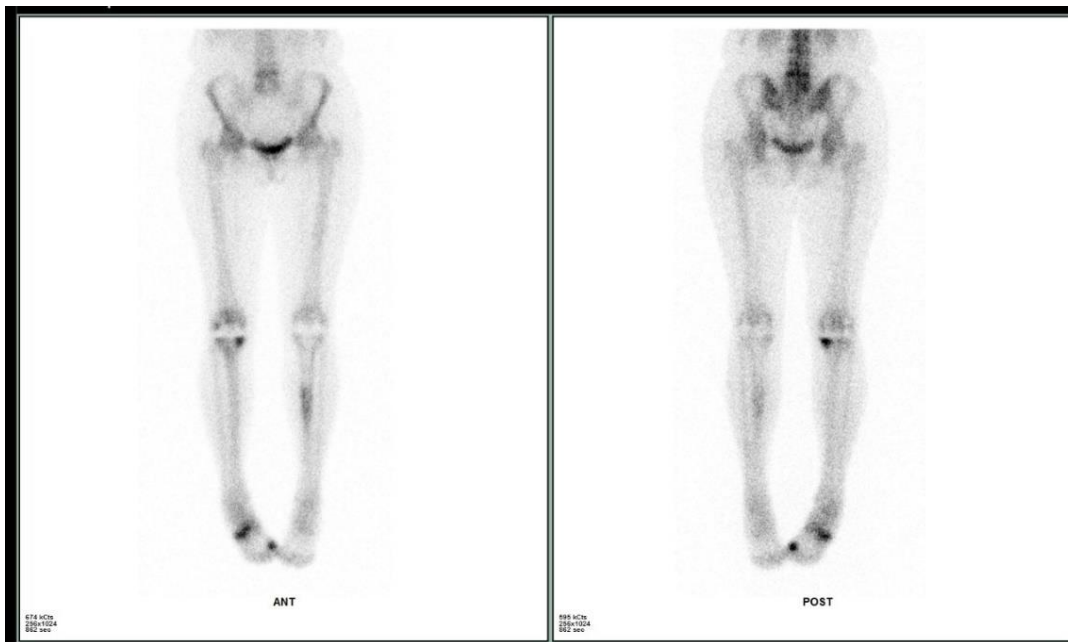
Na scintigramu jsou mnohočetná ložiska drobná ložiska, většinou splývající, takže místy je postižení ne drobnoložiskové, ale spíše difúzního typu- postižen je celý axiální skelet, lopatky a horní dvě třetiny humerů a femorů.

Příloha 8- Třífázová scintigrafie skeletu u pacientky po reimplantaci TEP levého kolenního kloubu před 2 lety



Zdroj: archiv KNM FN Olomouc

1.fáze vyšetření- perfúze- bez známek hyperémie v oblasti bérců



Zdroj: archiv KNM Olomouc

Celotělové vyšetření- na scintigramu je zvýšená kostní přestavba ve střední třetině levé tibie, dále je zvýšená kostní přestavba na pravé dolní končetině v oblasti nártu (nejspíše vlivem přetížení) a v místě bazálního skloubení palce (vlivem degenerativních nebo zánětlivých změn).

