

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD
Ústav radiologických metod

Lenka Pospíšilíková

**Scintigrafie skeletu v diagnostice nádorových a nenádorových
onemocnění skeletu**

Bakalářská práce

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

Olomouc 2022

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

Olomouc 11. 4. 2022

Podpis

Chtěla bych poděkovat vedoucí své bakalářské práce MUDr. Ivě Metelkové, Ph.D., za odborné vedení práce, cenné rady a milý přístup.

Anotace

Typ závěrečné práce:	Bakalářská práce
Téma práce:	Scintigrafie skeletu v diagnostice nádorových a nenádorových onemocnění skeletu
Název práce:	Scintigrafie skeletu v diagnostice nádorových a nenádorových onemocnění skeletu
Název práce v AJ:	Skeletal scintigraphy in diagnosis of cancer and non-cancer skeletal diseases
Datum zadání:	2021-11-3
Datum odevzdání:	2022-4-11
Vysoká škola, fakulta, ústav:	Univerzita Palackého v Olomouci Fakulta zdravotnických věd Ústav radiologických metod
Autor práce:	Pospíšilíková Lenka
Vedoucí práce:	MUDr. Iva Metelková, Ph.D.
Oponent práce:	MUDr. Jana Páterová

Abstrakt v ČJ: Cílem přehledové bakalářské práce bylo sumarizovat dohledané poznatky o radionuklidovém vyšetření skeletu v nukleární medicíně. Nejprve je představen obor nukleární medicína a stručně popsáno složení kostní tkáně. Následně je práce strukturalizována do tří částí. První část je věnována radiofarmakům, konkrétně ^{99m}Tc -difosfonátům ke konvenční kostní scintigrafii a ^{18}F -NaF k PET zobrazení. Obsahem druhé části bakalářské práce je přehled možných indikací ke kostní scintigrafii. Poslední část se zabývá samotným vyšetřením, nejprve přípravou pacienta, poté akvizicí obrazů a následně interpretací získaných snímků. Dohledané informace zmíněné v bakalářské práci mohou být nápomocné radiologickým asistentům pracujícím na nukleární medicíně při vykonávání jejich profese, také mohou posloužit jako studijní materiál pro studenty oboru Radiologická asistence. Prezentované poznatky byly dohledány z článků v elektronických vědeckých databázích a odborné literatuře.

Abstrakt v AJ: The objective of this thesis was to summarize the current searchable resources about radionuclide examination of the skeleton in nuclear medicine. First, the discipline nuclear medicine is introduced and the composition of bone tissue is briefly described. Then the work is structured into three parts. The first part is devoted to radiopharmaceuticals, specifically ^{99m}Tc -diphosphonates for conventional bone scintigraphy and ^{18}F -NaF for PET imaging. The content of the second part of the bachelor thesis is an overview of possible indications for bone scintigraphy. The last part deals with the examination itself, first the preparation of the patient, then the acquisition of images and then the interpretation of the acquired images. The retrieved information mentioned in the bachelor thesis can be helpful to radiologic technologists working in nuclear medicine in the performance of their profession and can also serve as a study material for students of Radiologic technology. The presented information was obtained from articles in electronic scientific databases and professional literature.

Klíčová slova v ČJ: nukleární medicína, radiofarmakum, scintigrafie skeletu, třífázová scintigrafie, SPECT/CT, PET/CT, nádorová onemocnění skeletu, nenádorová onemocnění skeletu

Klíčová slova v AJ: nuclear medicine, radiopharmaceutical, bone scintigraphy, three-phase scintigraphy, SPECT/CT, PET/CT, cancer skeletal diseases, non-cancer skeletal diseases

Rozsah: 48 stran/8 příloh

Obsah

Úvod	8
1 Popis rešeršní činnosti	10
2 Nukleární medicína.....	11
3 Kostní tkáň.....	13
4 Radiofarmaka.....	14
4.1. Radiofarmaka využívaná při konvenční scintigrafii skeletu	15
4.2. Radiofarmaka využívaná při PET/CT vyšetření.....	16
5 Indikace	18
5.1. Onkologie	18
5.2. Revmatologie.....	20
5.3. Ortopedie a traumatologie	21
5.4. Metabolické onemocnění kostí	22
5.5. Pediatrie	23
6 Provedení	25
6.1. Příprava pacienta	25
6.2. Vlastní vyšetření	26
6.3. Interpretace snímků	29
6.4. Srovnání konvenční kostní scintigrafie a PET/CT	30
Závěr	32
Referenční seznam.....	34
Seznam zkratk.....	38
Seznam tabulek.....	39
Seznam příloh	40
Přílohy	41

Úvod

Scintigrafie skeletu je zcela rutinní a běžně dostupná metoda v celé České republice. Představuje přibližně třetinu všech vyšetření v nukleární medicíně (Hoffmannová, 2016, s. 3). Patologický proces v kostní tkáni lze zobrazit na základě změn kostního metabolismu a je tak možné odhalit patofyziologické změny na kostní tkáni dříve než pomocí rentgenových vyšetření (Kupka, 2015, s. 65). Kostní scintigrafie disponuje vysokou senzitivitou, ale poněkud nižší specificitou. Akumulace osteotropního radiofarmaka je ovlivněna regionálním krevním průtokem a osteoblastickou aktivitou kosti (Koranda, 2017, s. 131). Scintigrafie se řadí k neinvazivním metodám, bez rizika vzniku alergické reakce a za relativní kontraindikaci lze považovat pouze těhotenství. Radiační zátěž pro pacienta je přibližně stejná nebo i nižší než u běžných radiodiagnostických metod (Hoffmannová, 2016, s. 3).

Vyšetření představuje důležitou roli v diagnostice nádorových i nenádorových onemocnění skeletu. Ke stěžejním indikacím lze řadit detekci kostních metastáz, k jejichž vzniku a rozsevu dochází především u karcinomu prsu, prostaty a plic. Mezi nenádorová onemocnění diagnostikována kostní scintigrafií patří převážně osteomyelitidy a artritidy, fraktury a posttraumatické změny skeletu, osteonekrózy, metabolické onemocnění a zobrazení ortopedických protéz kyčelních a kolenních kloubů, k odlišení aseptického uvolnění od infekce (Koranda, 2017, s. 133).

K detekci distribuce radiofarmaka ^{99m}Tc značeného difosfonáty, jsou využívány planární scintilační kamery, které slouží k získání celotělového obrazu. Následně lze dle nálezu doplnit další cílené projekce a tomografické zobrazení SPECT, které je možné provádět v kombinaci s výpočetní tomografií pomocí hybridního SPECT/CT systému. Výsledkem je poté fúze obrazů z dvou modalit a zobrazení i anatomických struktur. V diagnostice osteomyelitid, osteonekróz a fraktur má své místo dynamické zobrazení skeletu pomocí třífázové scintigrafie vybrané oblasti (Hoffmannová, 2016, s. 3).

Především v onkologii jsou hojně využívány hybridní PET/CT systémy s aplikací pozitrony emitujícího radiofarmaka ^{18}F -NaF, které je vycytáváno v kostech a slouží především k detekci sekundárních kostních nádorů. Vyšetření dosahuje vyšší citlivosti a lepšího rozlišení než běžná scintigrafie, ovšem za cenu vyšší radiační zátěže pacienta a vyšších nákladů na přístroj a radiofarmaka. Limitující je také nižší dostupnost hybridních systému v nemocnicích (Bastawrous et al, 2014, s. 1296).

Pro zpracování bakalářské práce byly položeny tyto otázky:

1. Jaká radiofarmaka jsou nejčastěji používána k vyšetření skeletu v nukleární medicíně?
2. Jaké jsou nejčastější indikace k vyšetření skeletu v nukleární medicíně?
3. Jakými způsoby může být vyšetření skeletu v nukleární medicíně prováděno?

Na základě otázek byly vytyčeny tyto cíle:

1. Sumarizovat dohledané poznatky o radiofarmakách používaných k zobrazení skeletu.
2. Sumarizovat dohledané poznatky o nejčastějších indikacích k vyšetření skeletu v nukleární medicíně.
3. Sumarizovat dohledané poznatky o jednotlivých vyšetřeních skeletu v nukleární medicíně a popsat jejich průběhu.

Pro lepší pochopení a orientaci v problematice byla prostudována následující vstupní

literatura:

1. KORANDA, Pavel, 2014. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4031-6.
2. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, 2015. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K. ISBN 978-80-87343-54-8.
3. MÍKOVÁ, Vlasta, ed., c2008. *Nukleární medicína: průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína*. 2008. Praha: Galén. Care. ISBN 978-80-7262-533-8.
4. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK, 2012. *Radiofarmaka*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta. ISBN 978-80-7464-183-1.

1 Popis rešeršní činnosti

Při zpracování této přehledové bakalářské práce byl využit standardní postup rešeršní činnosti pomocí klíčových slov. Pro rešerši byla zvolena tato klíčová slova v českém a anglickém jazyce: nukleární medicína, radiofarmakum, scintigrafie skeletu, třífázová scintigrafie, SPECT/CT, PET/CT, nádorová onemocnění skeletu, nenádorová onemocnění skeletu.

Pro vyhledávání informací byly využity následující dostupné databáze: Google scholar, PubMed, Medvik, MEDLINE Complete.

Vyhledávací kritérium bylo stanoveno na rozmezí let 2011-2022 a limitováno na český a anglický jazyk. Celkem bylo použito 35 zdrojů, z toho 31 elektronických odborných článků a publikací, 2 internetové zdroje a 2 bibliografické zdroje, které byly dohledány v knihovně Lékařské fakulty a Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci.

2 Nukleární medicína

Nukleární medicína je lékařský obor, který se zabývá diagnostikou a léčbou onemocnění s využitím otevřených radioaktivních zářičů a radiofarmak. Ty jsou speciálně upraveny a určeny pro medicínské použití (Hoffmannová, 2016, s. 3). Jsou rozeznávány dva základní způsoby vyšetření, a to metody *in vitro* a *in vivo*. Radioimunoanalytické metody *in vitro* slouží ke stanovení koncentrace látek v tělních tekutinách, především ve vzorku krevní plazmy. Při této analýze nedochází k žádnému styku pacienta s radioaktivní látkou. Naopak v případě *in vivo* vyšetření jsou již radiofarmaka aplikována do těla pacienta (Koranda, 2017, s. 7). Následně je sledována distribuce těchto látek v lidském organismu pomocí scintilačních kamer (gama kamer). Velkou výhodou je neinvazivnost těchto metod a minimální riziko alergické reakce. Vyšetření může být relativně kontraindikováno pouze u gravidních žen. Radiační zátěž závisí na typu vyšetření, druhu aplikovaného radiofarmaka a také hmotnosti pacienta. Všeobecně lze říct, že zátěž je srovnatelná, často i nižší, než u standardních radiodiagnostických zobrazovacích metod. Vyšetření v nukleární medicíně mají funkční charakter, získaný obraz je tedy závislý na funkci daného orgánu. Principem je detekce rozložení funkčně aktivní tkáně, vyhledávání tkání a orgánů s patologickou metabolickou aktivitou nebo s narušenou perfuzí. Strukturální změny se v organismu objeví vždy až po změnách funkčních, proto jsou metody nukleární medicíny velmi senzitivní, ovšem i poněkud málo specifické (Hoffmannová, 2016, s. 3).

Zobrazovací diagnostika v nukleární medicíně dominuje nad radionuklidovou terapií otevřenými zářiči. Dle využití scintilačních detektorů se tyto metody označují jako scintigrafie a lze je rozdělit na scintigrafické zobrazovací metody planární a metody tomografické (Kupka, 2015, s. 14).

Planární zobrazení se řadí k nejběžnějším a nejjednodušším postupům nukleární medicíny. Dochází k vytvoření dvourozměrného obrazu distribuce radiofarmaka v těle pacienta s využitím gama kamer. Planární skenování může být jak statické, kdy snímky jsou obdobou běžné fotografie, tak dynamické. Při použití dynamické studie jsou získávány jednotlivé snímky distribuce radiofarmaka v těle krátce po sobě, v určitém časovém intervalu a následně zobrazeny jako videozáznam (Fahey et al., 2016, s. 8). Především k zobrazení celého skeletu je využívána celotělová scintigrafie, kdy je s pacientem plynule zasouváno pod scintilační kameru a v průběhu dochází k akvizici dat. Výhodné je využití dvoudetektorové kamery pro současné získávání přední i zadní projekce (Kupka, 2015, s. 30).

Podstatou tomografických metod je trojrozměrné zobrazení distribuce radiofarmaka v těle, a to buď s využitím SPECT nebo PET systému. SPECT neboli jednofotonová emisní výpočetní tomografie zhotovuje s pomocí gama kamer snímky z mnoha úhlů kolem pacienta. Následně jsou získané obrazy rekonstruovány do trojrozměrného zobrazení. Zařízení SPECT se již běžně skládá ze dvou detektorů umístěných proti sobě, které obíhají kolem pacienta. Podstatou pozitronové emisní tomografie (PET) je také tvorba trojrozměrných obrazů, funguje ovšem na jiném principu. Pro zhotovení obrazu nejsou využívány radiofarmaka emitující gama záření, jako je tomu u SPECT zobrazení, nýbrž je pacientovi aplikováno radiofarmakum emitující pozitrony. V organismu dojde ke srážce, anihilaci pozitronu s elektronem, za vzniku dvou vysokoenergetických anihilačních fotonů, které odlétají v opačném směru a jsou následně snímány PET skenerem, což je prstenec detektorů obklopujících pacienta a převedeny na obraz. Kvalita obrazu je lepší v porovnání se SPECT snímky.

Velmi přínosné jsou hybridní systémy SPECT/CT a PET/CT. Jedná se o kombinaci scintigrafických tomografických metod s běžnými radiodiagnostickými metodami. Lze tedy během jednoho vyšetření získat, jak funkční informace vyšetřované oblasti, tak i informace anatomické, a to díky využití výpočetní tomografie. Výsledkem je fúze obrazů dvou vyšetřovacích modalit. Již existuje hybridní systém PET/MR, který kombinuje pozitronovou emisní tomografii s magnetickou rezonancí, jejich dostupnost na pracovištích ovšem není běžná (Fahey et al., 2016, s. 9). V České republice jsou k dispozici pouze dva PET/MR přístroje, a to od roku 2015 ve Fakultní nemocnici Plzeň a o rok později, v roce 2016 bylo hybridní zařízení instalováno ve Fakultní nemocnici Brno (Česká radiologická společnost J. E. Purkyně, 2022).

3 Kostní tkáň

Kostní tkáň je mineralizovanou pojivovou tkání, složenou z kostních buněk a mezibuněčné kostní hmoty, která se nazývá matrix. Hlavními buněčnými složkami kosti jsou osteoblasty, osteocyty a osteoklasty (Singh et al, 2018, s. 222).

Mezibuněčná kostní hmota obsahuje organické a anorganické složky. Jednu třetinu utváří organická matrix, která sestává z 90 % z kolagenních proteinů a z 10 % obsahuje proteiny nekolagenní. Zbylé dvě třetiny jsou tvořeny anorganickou částí obsahující převážně anionty (fluor, fosfor, chloridy) a kationty (vápník, hořčík, sodík a draslík) (Kupka, 2015, s. 65). Tyto ionty utvářejí krystaly hydroxyapatitu. Kolagenní a nekolagenní matrixové proteiny tvoří síť pro ukládání hydroxyapatitu. Díky tomuto je kostní tkáň tuhá a odolná (Florencio-Silva et al, 2015, s. 1).

Osteoblasty syntetizují kostní matrix, jsou ní obklopeny a diferencují se na osteocyty. Osteocyty jsou uloženy v lakunách a představují 90–95 % kostních buněk. Osteoklasty jsou mnohjaderné buňky mající důležitou roli v remodelaci kosti. Jedná se o jediné buňky se schopností resorbovat již vytvořenou kost (Singh et al, 2018, s. 222). Kolem třicátého roku života nastává dokončení růstu a modelace skeletu, remodelace však pokračuje v průběhu celého života. Odbourávání a novotvorba kosti se u mladých zdravých jedinců nachází v rovnováze, díky kontinuální činnosti osteoklastů a osteoblastů. Remodelace kosti není ovlivněna jen věkem, ale také záleží na fyzickém zatěžování skeletu. K úbytku kostní hmoty dochází při dlouhé imobilizaci, naopak při sportovních aktivitách kost zbytní. Kost se řadí k orgánům metabolicky aktivním a na řízení metabolických procesů se podílí parathormon, kalcitonin a vitamín D (Kupka, 2015, s. 65).

4 Radiofarmaka

Radiofarmakem rozumíme látku obsahující léčivý přípravek a na něj navázaný radionuklid, který je zdrojem ionizujícího záření. V nukleární medicíně se využívají pro diagnostiku a léčbu různých nemocí. Za účelem diagnostického podání radiofarmaka je radionuklidem čistý gama zářič nebo pozitronový zářič. Emise alfa nebo beta mínus záření v tomto případě není žádoucí. Diagnostická radiofarmaka se pacientům podávají ve velmi nízkých koncentracích, nemají tedy žádné farmakologické účinky.

Většina izotopů určených pro lékařské využití se vyrábí v cyklotronu nebo radionuklidovém generátoru. Velkou výhodou generátorů je jejich menší velikost, dostupnost přímo na pracovišti, pohodlná přeprava a možnost zisku vysoce kvalitního dceřiného radionuklidu po celou dobu životnosti generátoru (Bhattacharyya, Dixit, 2011, s. 1).

Při manipulaci s radiofarmaky je velmi důležité dbát na radiační ochranu. Metody pro snížení a minimalizaci vystavení pracovníků záření zahrnují ochranu časem, vzdáleností a stíněním (Chen, 2014, s. 222). Radiologický asistent by měl zkracovat dobu, po kterou je v kontaktu s osobou, které již bylo radiofarmakum podáno. Taktéž by měl eliminovat kontakt s biologickým materiálem od pacienta, jako je například krev a moč, protože i ten může obsahovat malé množství radioaktivity po dobu několika hodin a dnů od aplikace (Fahey et al., 2016, s. 10). Účinným stíněním gama záření jsou prvky s vysokým atomovým číslem, jako je olovo a wolfram. Využití poznatků radiační ochrany v praxi znamená, vysvětlit pacientovi průběh vyšetření ještě před aplikací injekce s radiofarmakem. Tím snížíme čas strávený v blízkosti zdroje záření, kterým se po aplikaci stává pacient. K manipulaci s radioaktivními materiály je vhodné využívat kleště a na injekční stříkačku při přípravě a podání dávky nasadit kryt. Preparáty je důležité uchovávat v zakrytých olověných nádobách (Chen, 2014, s. 222).

Nezbytná je i radiační ochrana pacientů. Na ozáření obyvatelstva se postupy nukleární medicíny podílí přibližně 14 %. Tudiž je vhodné optimalizovat postupy tak, aby bylo dosaženo obrazu s co nejvyšší kvalitou, za co nejkratší čas, při nejnižší možné radiační zátěži pacienta (Fahey et al, 2016, s. 10). Pro redukci dávek záření byl zaveden princip „ALARA“ (As low as reasonably achievable), neboli využívat záření tak nízké, jak je rozumně možné dosáhnou (Bhattacharyya, Dixit, 2011, s. 3).

4.1. Radiofarmaka využívaná při konvenční scintigrafii skeletu

Stroncium ^{85}Sr bylo vůbec prvním radionuklidem použitým pro zobrazení skeletu v roce 1961. Při jeho vpravení do organismu docházelo v hydroxyapatitu kostní tkáně k nahrazení iontů kalcia právě za ionty stroncia. Použití tohoto radionuklidu v praxi způsobovalo velkou radiační zátěž pacienta, proto se vyšetření provádělo pouze u osob s již diagnostikovaným nádorovým onemocněním. V roce 1972 se pro kostní scintigrafii začaly využívat polyfosfáty. V praxi byl jako první použit difosfonát značený metastabilním techneciem $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Zadrazil, 2014, s. 31).

Současná radiofarmaka pro scintigrafii skeletu jsou již běžně značená radionuklidem- $^{99\text{m}}\text{techneciem}$. Jedná se o čistý gama zářič s fyzikálním poločasem přeměny 6,01 hodin (doba, za kterou se přemění přesně polovina jader ve vzorku) a energií 143 keV. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ je získáváno ve formě technecistanu sodného z radionuklidového generátoru $^{99\text{m}}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$ pomocí eluce (promývání) fyziologickým roztokem. Dceřiným radionuklidem je $^{99\text{m}}\text{Molybden}$ s fyzikálním poločasem přeměny 2,78 dne (Bhattacharyya, Dixit, 2011, s. 4).

V dnešní době jsou pro vyšetření skeletu v nukleární medicíně nejpoužívanější $^{99\text{m}}\text{Tc}$ značené difosfonáty, obvykle metylendifosfonáty ($^{99\text{m}}\text{Tc} - \text{MDP}$) nebo hydroxymethylendifosfonáty ($^{99\text{m}}\text{Tc} - \text{HDP}$).

Komerčně vyráběné difosfonáty jsou na pracoviště dodávány v podobě kitů, tedy v lahvičkách ve formě lyofilizovaného prášku. Kromě difosfonátů dále obsahují redukční cínaté činidlo a pomocné látky. V laboratoři dochází k jejich značení daným množstvím technecistanu sodného zředěného fyziologickým roztokem. Před vpravením vyšetřovanému by měla být zkontrolována aktivita značeného kitu přeměřením v kalibrované ionizační komoře.

Při kostní scintigrafii se aktivita radiofarmaka podaná pacientovi pohybuje v rozmezí mezi 500-800 MBq. V případě dostupnosti zařízení s vyšší citlivostí detektoru je možno podat aktivitu nižší. Naopak vyšší aktivitu lze podat osobám s výraznou obezitou. Vždy je ale nutné zohlednit a respektovat diagnostickou referenční úroveň (DRU), která říká, jaká by měla být úroveň aktivity pro skupinu pacientů standardní velikosti (Van den Wyngaert et al., 2016, s. 43).

Radiofarmakum je aplikováno pacientovi intravenózně, následně je v jeho těle navázáno na hydroxylovou skupinu hydroxyapatitu. Jeho cílovou strukturou se stávají nově vznikající osteony (základní stavební jednotka kostní tkáně) (Hoffmannová, 2016, s. 4). Jeho akumulace

závisí na místním krevním průtoku a osteoblastické aktivitě kosti. Při nitrožilním podání je za 4 hodiny navázáno na skelet 50-60 % podaného množství. Přibližně 34 % je vyloučeno močí a v oběhu zůstává 6 %. Eliminace gastrointestinálním traktem je nevýznamná. Za 1 hodinu po aplikaci je dosaženo maximální akumulace v kostní tkáni. ^{99m}Tc – HDP disponuje rychlejší farmakokinetikou než ^{99m}Tc – MDP, zbylé rozdíly mezi difosfonáty jsou již zanedbatelné (Van den Wyngaert et al., 2016, s. 43).

4.2. Radiofarmaka využívaná při PET/CT vyšetření

Fluorid sodný značený fluorem 18 (^{18}F -NaF) zaujímá místo dominantního radiofarmaka pro vyšetření skeletu pozitronovou emisní tomografií. V roce 1962 byl zaveden do klinické praxe a o deset let později, v roce 1972, schválen americkým Úřadem pro kontrolu léčiv a potravin (Li et al., 2012, s. 128).

Radionuklid ^{18}F představuje pozitronový zářič. V organismu dochází ke strážce emitovaného pozitronu s elektronem za vzniku dvou anihilačních fotonů s energií 511 keV. Takto vzniklé dva fotony od sebe odlétají pod úhlem 180° s fyzikálním poločasem přeměny 110 minut a jsou využity pro diagnostické zobrazení. Výroba ^{18}F -NaF probíhá v cyklotronu urychlováním částic na vysokou energii.

Mechanismus vychytávání ^{18}F -NaF v kosti je obdobný jako u ^{99m}Tc – MDP a ^{99m}Tc – HDP. Dochází zde k rychlé výměně iontů, kdy hydroxylové ionty na povrchu hydroxyapatitu jsou nahrazeny ionty ^{18}F , za vzniku fluorapatitu. Kinetika není ovlivněna vazbou na plazmatické proteiny, proto je možné zahájit PET/CT vyšetření méně než jednu hodinu po intravenózní aplikaci přípravku.

Běžná aktivita aplikovaná pacientovi intravenózně se pohybuje v rozmezí 185–370 MBq. Mechanismus vychytávání závisí na lokálním průtoku krve kostí a aktivitě kostních osteoblastů. Distribuce je poměrně homogenní s vyšší akumulací v axiálním skeletu. Za dvě hodiny po podání látky se z těla ledvinami eliminuje přibližně 20 % celkového množství radiofarmaka.

Primárně jsou tato radiofarmaka užívána u onkologicky nemocných pacientů k detekci kostních metastáz, stanovení jejich anatomické lokalizace a posouzení rozsahu onemocnění (Bastawrous et al., 2014, s. 1296).

K detekci primárních kostních nádorů pomocí PET/CT může posloužit také radiofarmakum ^{18}F -FDG (fluoro-deoxy-glukóza). Slouží zejména k diagnostice osteosarkomů

a Ewingova sarkomu (Costelloe et al., 2014, s. 1). Jedná se o analog glukózy, který vstupuje do buněk přes glukózové membránové transportní bílkoviny, které jsou nadměrně prezentovány v nádorových buňkách. Vychytávání je tedy obrazem nádorového metabolismu (Bastawrous et al., 2014, s. 1296). K akumulaci ^{18}F -FDG dochází i fyziologicky, a to převážně v mozku, srdečním svalu, poté v ledvinách a močovém systému, kterým je radiofarmakum vylučováno z organismu. Za předpokladu, že je pacient lačný, by po zátěži glukózou vychytávání v myokardu mělo být nízké. V závislosti na fyzické aktivitě lze pozorovat hromadění ^{18}F -FDG i ve svalech. Především u dětí a mladistvých dochází k fyziologické akumulaci také v thymu (Jamar et al., 2013, s. 652).

5 Indikace

Scintigrafie skeletu je indikována v případě potřeby zjištění všech metabolicky aktivních kostních lézí, a to bez ohledu na jejich etiologii (Hoffmannová, 2016, s. 4). Může se jednat o primární či sekundární nádorové postižení skeletu, dále také diagnostiku nenádorového postižení kostí. Scintigrafie má své uplatnění i při diferenciální diagnostice původu kostních lézí nebo zjištění příčiny bolestivosti kostí (Kupka, 2015, s. 68).

Neexistuje žádná absolutní kontraindikace scintigrafie skeletu. Relativní koncentrací může být těhotenství a kojení. V případě gravidity je nutné zvážit výhody vyšetření oproti možnému poškození plodu. Pokud to lze, je dobré vyšetření odložit na dobu po porodu a po ukončení laktace. Z důvodu opatrnosti se doporučuje alespoň 4 hodiny po aplikaci radiofarmaka nekojit. U těhotných žen je všeobecně více preferováno ultrasonografické zobrazení nebo magnetická rezonance (Van de Wyngaert et al., 2016, s. 1728).

5.1. Onkologie

Primární kostní nádory

Výskyt primárních kostních nádorů je poměrně vzácný a jejich diagnostika bývá často obtížná. Klinický obraz se u jednotlivých typů tumorů liší. Časným symptomem, který doprovází téměř všechny nádory, je bolest. K zúžení diferenciální diagnózy je velmi nápomocné znát přesnou lokalizaci léze a věk pacienta. V dospělosti se nejčastěji vyskytuje chondrosarkom. U dětí zaujímají první místo v četnosti výskytu osteosarkom a Ewingův sarkom (Veselý, 2012, s. 195). V diagnostice kostních nádorů je v současné době, i přes výrazně vyšší cenové náklady, preferováno vyšetření PET/CT s využitím ^{18}F – fluorodeoxyglukózy (Koranda, 2017, s. 134).

Nádory nezahobné povahy často bývají pouze náhodným nálezem při scintigrafii skeletu, která je indikována u pacienta z jiného důvodu. Většinou se na snímku neprojeví vysokým stupněm osteogeneze a intenzita prokrvení bývá nižší. K nejčastějším benigním nádorům se řadí hemangiomy, osteochondomy, osteoidní osteomy, cysty a fibrózní dyzplazie. Osteoidní osteom je jediným, který vykazuje vysokou osteoblastickou aktivitu, je tedy ve všech fázích třífázové scintigrafie pozitivní (Kupka, 2015, s. 68).

K nejvíce vyskytujícím se maligním kostním nádorům, které lze diagnostikovat metodami nukleární medicíny, patří osteosarkom. Jedná se o kostní tumor s vůbec největší incidencí, a to převážně u dětí a mladistvých. Jeho nejběžnější lokalizací je metafýza dlouhých kostí, především v oblasti kolene. Ewingův sarkom vycházející z kostní dřeně, je další významnou indikací ke scintigrafickému vyšetření. Objevuje se především u dětí kolem patnáctého roku života. V 50 % jsou tumorem postiženy končetiny, sarkom je ale možné lokalizovat i na pánevních kostech, páteři a žebrech (Veselý, 2012, s. 197). Další zhoubný nádor představuje mnohočetný myelom vycházející z plazmatických buněk kostní dřeně. Při provedení scintigrafie se tento tumor jeví jako studené léze především v kalvě, páteři, pánevních kostech a žebrech (Kupka, 2015, s. 68).

Sekundární kostní nádory

Metastázování je proces, při kterém se primární ložisko tumoru šíří dál do organismu zejména prostřednictvím krevních a lymfatických cév. Metastázy jsou často primární příčinou úmrtí na rakovinu (Guan, 2015, s. 402). Kost představuje po plicích a játrech třetí nejčastější místo rozsevu metastáz.

Rozeznávají se tři typy metastáz, a to osteolytické, osteoblastické a metastázy smíšené. Pro osteoblastické metastázy je typická produkce nové kostní tkáně a hojný výskyt především u karcinomu prostaty, karcinoidu, neuroblastomu a meduloblastomu. Naopak pro karcinom štítné žlázy, ledvin nebo mnohočetný myelom je častý rozsev především osteolytických metastáz. Metastázy osteolytického typu způsobují zvýšenou kostní destrukci, která je zprostředkována osteoklasty. Výskyt osteoblastických i osteolytických metastáz současně se označuje jako metastázy smíšené, které jsou běžné především pro tumory prsu, plic, děložního čípku, ovarií a varlat (Macedo et al., 2017, s. 43).

U onkologických pacientů je výskyt kostních metastáz vcelku běžnou záležitostí, jsou nalezeny přibližně u 70 % případů a často vedou k zvýšené morbiditě. Projevovat se mohou asymptomaticky, ale také mohou působit různé komplikace, bolesti a snižovat kvalitu života jedince (Křístek, Pazourek, Řehák, 2019, s. 115). Kromě bolesti, která se vyskytuje především v noci a je obtížné ji lokalizovat, patří k dalším projevům symptomy související s kompresí míchy, jako jsou různé neurologické projevy, slabost, necitlivost, paralýza. Lze se setkat také s patologickými zlomeninami, hyperkalcémií, difuzní osteoporózou, nedostatkem krevních elementů nebo gastrointestinálními obtížemi (Macedo et al., 2017, s. 44).

Scintigrafie skeletu či SPECT je metodou první volby hlavně při podezření na mnohočetný rozsev metastáz. Dále lze použít hybridní přístroje, jako je PET/CT, kde dochází

ke kombinaci vysoce senzitivní metody PET s výborným prostorovým rozlišením CT přístroje (Křístek, Pazourek, Řehák, 2019, s. 115). Vystření skeletu lze indikovat v rámci vstupního stagingu, slouží ale i k dalšímu sledování pacientů v případě náhle se objevených bolestí pohybového aparátu nebo elevace hladiny tumorových markerů. Senzitivita této scintigrafie činí asi 95 % a předmětem detekce je zjištění reakce kosti na přítomnost metastáz. Nejlépe zobrazené jsou metastázy charakteru osteoblastického nebo smíšeného. Dále je scintigrafie skeletu přínosná při plánování paliativní terapie, jelikož intenzita akumulace metastáz předpovídá efekt léčby otevřenými zářiči. Využití scintigrafie k sledování efektu onkologické léčby není jednoznačné, neboť snížení a zvýšení (fenomén vzplanutí) metabolické aktivity v ložiscích vypovídá jen o reakci okolní kosti k metastáze (Hoffmannová, 2016, s. 5).

Metastázy do skeletu se nejčastěji nachází u pacientů s karcinomem prsu, prostaty, plic, popřípadě štítné žlázy a ledvin. Obvyklá místa postižení zahrnují páteř, kde může docházet ke zlomeninám obratlů, dále pánev, a to především v oblasti kyčlí. Poté je popisován výskyt metastáz na kosti stehenní, pažní, lebce a žebrech. V rámci chirurgické léčby dochází často k amputaci v oblasti zasaženého místa, své důležité zastoupení má také chemoterapie a radiační terapie. Nezbytná je i dlouhodobá dispenzarizace nemocného (Davila et al., 2015, s. 3).

5.2. Revmatologie

Největší význam v revmatologii má scintigrafie především při nejasných, subklinických, artropatiích. S její pomocí lze stanovit metabolickou aktivitu v kloubu, objasnit vyskytující se hyperémii a identifikovat rozložení a symetrii postižených kloubů (Hoffmannová, 2016, s. 8). Dále lze scintigrafii skeletu využít k zobrazení kloubních procesů, kterými jsou různé typy artritid. Může se jednat o artritidu zánětlivou, revmatoidní, paraneoplastickou nebo artritidu při dekompenzované osteoartróze. Kromě provedení třífázového snímání skeletu má velký význam i PET/CT vyšetření postižené oblasti. Tyto metody hrají důležitou roli při volbě vhodné terapie, zda vybrat léčbu konzervativní nebo je nutné chirurgické řešení (Koranda, 2017, s. 137).

Kostní scintigrafie může být také nápomocná při diagnostice spondylolýzy, neboli defektu obratlů, nejčastěji způsobeného poraněním bederní páteře. Zvýšená metabolická aktivita je dobře hodnotitelná po provedení SPECT. Další indikací ke skenování skeletu je hodnocení

zlomenin obratlového těla, v případě, kdy není fraktura jasně viditelná na rentgenu (Hsu et al., 2012, s. 155). Při podezření na spondylodiscitidu, neboli infekci obratlového těla či ploténky, má velký přínos třífázová scintigrafie. Klasickým projevem na kostním skenu je lokálně zvýšená perfuze v místě poškození páteře (Raghavan et al., 2018, s. 135).

K jedné z indikací scintigrafie skeletu v revmatologii se řadí diagnostika osteitidis deformans neboli morbus Paget. Jedná se o chronickou poruchu kostní remodelace nejasné etiologie, probíhající často asymptomaticky. Postižená kost, která při scintigrafii intenzivně akumuluje radiofarmakum, se patologicky zvětšuje a mechanicky oslabuje. Scintigrafické vyšetření však není vždy zcela specifické, zobrazenou lézi může být i metastáza v kosti nebo jiné metabolické kostní onemocnění. Běžně se provádí skenování skeletu i v rámci monitorování stavu nemoci a reakce na léčbu (Kumar et al., 2013 s. 122).

Sekundární reakce kostí na různá plicní onemocnění se označuje jako hypertrofická plicní osteoartropatie. Primárním onemocněním je nejčastěji bronchogenní karcinom plic, ale také se může jednat o tuberkulózu nebo emfyzém. Změny lze detekovat na celotělovém scintigramu, typicky se jeví jako zvýšené vychytávání podél povrchu periostu dlouhých kostí, především na dolních končetinách (Brenner et al., 2012, s. 17).

5.3. Ortopedie a traumatologie

Scintigrafie skeletu je velmi přínosná pro pacienty, u kterých existuje podezření na uvolnění totální endoprotézy kolenního nebo kyčelního kloubu. Z důvodu rozdílné léčby je stěžejní odlišit, zda se jedná o uvolnění aseptické, nebo uvolnění doprovázené infekcí (Love, Palestro, 2016, s. 641). Infekt v místě totální endoprotézy se zobrazí zvýšeným prokrvením a kostní přestavbou při provedení třífázového skenování kostí (Koranda, 2017, s. 138). Je nutné brát v potaz, že zvýšená aktivita na kostním skenu do jednoho roku od operace bývá zcela běžná, nad uvolněním endoprotézy a možnou infekcí lze uvažovat, pokud aktivita přetrvává déle než rok od zákroku (Brenner et al., 2012, s. 17). Svůj význam zaujímá také SPECT/CT vyšetření, díky kterému lze určit rozsah infekce, popřípadě zjistit jiné příčiny selhání TEP (Love, Palestro, 2016, s. 642). Dále je možné provést PET/CT vyšetření s aplikací ^{18}F – FDG, které má ovšem poněkud vyšší diagnostický přínos u septických protéz náhrady kyčelního kloubu než kloubu kolenního (Cyteval, Bourdon, 2012, s. 553).

Scintigrafie je hojně využívanou metodou i při hodnocení skrytých zlomenin a stanovení stáří dané fraktury. Typicky jsou prováděny třífázové celotělové snímky a následně doplněno

SPECT oblasti zájmu. Užitečné je vyšetření především v diagnostice zlomenin pánve, kosti křížové nebo kosti člunkové. Všeobecně je 95 % zlomenin možno detekovat do 72 hodin, u mladších osob i do 24 hodin. Zlomeniny se na kostním skenu jeví pozitivní přibližně jeden rok.

Také sportovní úrazy mohou být rozpoznány kostní scintigrafií. Mnoho úrazů tohoto typu souvisí se zánětem fascie, šlachy, úponu šlachy nebo periostu. K diagnostice je nutné znát přesné místo bolesti a mechanismus zranění. Nález je obvykle patrný již na planárních snímcích, zobrazuje se zvýšená absorpce v místech úponu šlachy nebo vazů. Z důvodu neobvyklé nebo abnormální zátěže mohou vznikat stresové zlomeniny, mikrofraktury nebo periostální traumata, které často rentgenové snímky neodhalí. Ideálně se provádí celotělová scintigrafie, kdy dle stupně poranění může docházet k mírnému vychytávání pouze na povrchu kosti, až po výrazné vychytávání přes celou šíři kosti (Brenner, 2012, s. 19).

Reflexní sympatická dystrofie a Sudeckova choroba jsou poruchy nejasného původu, při kterých pravděpodobně dochází v důsledku traumatu k narušené sympatické inervaci. Změny na rentgenu jsou detekovatelné až v pozdějším období (Koranda, 2017, s. 138). Provádí se proto třífázová scintigrafie skeletu, kdy na počátku onemocnění nacházíme nález pozitivní i v první a druhé fázi, po zklidnění stavu přetrvává pouze ve fázi třetí (Kupka, 2015, s. 70).

5.4. Metabolické onemocnění kostí

Pro metabolické kostní poruchy je charakteristický vysoký kostní obrat, který zapříčiňuje aktivaci osteoblastů v důsledku zvýšené hladiny parathormonu v organismu. Při aplikaci osteotropního radiofarmaka dochází k jeho nadměrnému vychytávání ve skeletu, zejména v kalvě, žebrech a kostech dolních končetin (Kupka, 2015, s. 72). Stupeň abnormalit na kostním skenu přímo odpovídá závažnosti a době trvání onemocnění.

Osteomalacie se projevuje demineralizací kostí v důsledku nedostatku vitamínu D. Při kostní scintigrafii lze pozorovat největší akumulaci v okolí kloubů a kostochondrálních spojení. Kromě kostních deformit dochází ke vzniku pseudofraktur, které jsou běžnými radiodiagnostickými metodami těžce rozpoznatelné. Své uplatnění nachází skenování kostí také při sledování odpovědi organismu na léčbu této metabolické poruchy (Tsubaki et al., 2016, s. 773). Mezi časté onemocnění kostí se řadí osteoporóza charakterizovaná úbytkem kostní hmoty. U této poruchy je scintigrafický obraz normální, radiofarmakum se ve zvýšené

akumulaci nachází pouze v případě výskytu hojících se patologických fraktur způsobených osteoporózou (Kupka, 2015, 72).

Kostní scintigrafie je výbornou metodou k časně detekci renální osteodystrofie, která vzniká na podkladně chronické renální dysfunkce. Zvýšenou absorpci je možné pozorovat v celém skeletu, ale zejména v kalvě, naopak zobrazení ledvin bývá často slabé. Podobný nálezn jako u renální dystrofie lze pozorovat také u primární hyperparathyreózy. Jedná se o poměrně běžnou poruchu, při které dochází k zvýšené sekreci parathormonu a následné hypofosfatémii a hyperkalcemii (Tsubaki et al., 2016, s. 773).

5.5. Pediatrie

Vyšetření kostí metodami nukleární medicíny se využívá nejen u dospělých osob, ale existuje také mnoho indikací ke scintigrafii skeletu u dětí. Množství radiofarmaka je nutné aplikovat individuálně, dle váhy, aby docházelo k co nejnižší možné radiační zátěži dítěte.

Standardní indikací k provedení kostního skenu u pediatrických pacientů je osteomyelitida, jelikož včasná detekce onemocnění pomocí běžného rentgenového vyšetření je nízká. Provádí se třífázová scintigrafie kostí, kdy ve všech třech fázích nastává zvýšená akumulace. Typickou lokalizací zánětu u dítěte jsou metafýzy dlouhých kostí (Drubach, 2017, s. 193). K nejčastějším příčinám dětské osteomyelitidy patří hematogenní šíření infekce do kosti z jiného ložiska v organismu (Brenner et al., 2012, s. 15). Odlišným nálezem se projevuje osteomyelitida u novorozenců, jelikož kost v důsledku ischemického poškození ztrácí svou viabilitu a na skenu je patrný defekt aktivity (Kupka, 2015, s. 69).

Avaskulární nekróza neboli osteonekróza se řadí k patologickým procesům vyskytujícím se převážně u dětí. Dochází k narušení vaskularity kostí s následnou smrtí kostních buněk. Zapříčiněná může být dlouhodobým užíváním kortikosteroidů nebo traumatem. SPECT disponuje vysokou citlivostí k rozpoznání tohoto postižení již v počáteční fázi onemocnění, které by bylo na běžném rentgenovém snímku viditelné až za 4-6 týdnů. Vůbec nečastějším typem avaskulární nekrózy v dětském věku je Legg-Calvé-Pethersova choroba, s typickou lokalizací v rostoucí hlavici femuru. Po vzniku ischemické nekrózy nastává v postiženém místě reparační proces. Senzitivita a specifická kostní scintigrafie dosahuje u této nemoci až 95 % a přínosná je tato metoda i při následném sledování revaskularizačního procesu (Roca et al., 2013, s. 396).

Skenování kostí hraje důležitou roli v hodnocení syndromu týraného dítěte, jelikož zlomeniny kostí jsou v případě zneužívání kojenců a batolat velmi časté, a to především fraktury žeber. V takových případech nedosahují běžné rentgenové snímky potřebné citlivosti, proto je dobré vyšetření doplnit o planární scintigrafii skeletu, popřípadě PET/CT, kde jsou viditelné i starší fraktury.

Příčinou asymetrie dolní čelisti v dětském věku je nejčastěji unilaterální idiopatická kondylární hyperplazie mandibuly. U dětí se typicky projevuje křivým růstem zubů, asymetrií obličeje a dysfunkcí temporomandibulárního kloubu. Scintigrafie skeletu plní důležitou roli především při plánování terapie této poruchy, kdy je stanoven relativní podíl aktivity vzhledem k protilehlému kondylu čelisti. V současné době je již hojně využívána i metoda SPECT, popřípadě SPECT/CT k hodnocení asymetrie mandibuly (Drubach, 2017, s. 196).

6 Provedení

6.1. Příprava pacienta

Pacient přichází na pracoviště nukleární medicíny k vyšetření vždy s platnou žádankou od indikujícího lékaře. Ta by měla zahrnovat konkrétní důvody vystření včetně současných symptomů nemocného a příslušnou anamnézu s přesnými informacemi o prodělaných operacích skeletu, traumatech, ale i zmínku o nedávném podstoupení radioterapie či chemoterapie. Vhodné je znát výsledky předešlých vyšetření, především laboratorních, radiologických a scintigrafických (Van den Wyngert et al., 2016, s. 1727).

Před scintigrafií skeletu se nevyžaduje žádná speciální příprava pacienta. Není potřebné, aby pacient lačnil, pouze je doporučena zvýšená hydratace především před vyšetřením a v jeho průběhu. Radiofarmakum, které je aplikováno, se zabudovává do kosti, přebytky jsou poté vyloučeny močí. Z tohoto důvodů je nezbytné, aby vyšetřovaný těsně před zahájením snímání dobře vyprázdnil svůj močový měchýř. Pacient je poučen o dodržování zvýšeného pitného režimu a častého močení i po vyšetření, kvůli ochraně močového měchýře, jakožto kritického orgánu. Bezprostředně před vyšetřením si odloží veškeré kovové předměty (šperky, mince, hodinky, opasek, klíče), jelikož by mohly být zdrojem artefaktů a zhoršovat tedy kvalitu získaných obrazů (Kupka, 2015, s. 66).

Poučení pacienta o průběhu vyšetření je nezbytnou součástí všech postupů na pracovišti nukleární medicíny, poté následuje vyplnění a podepsání informovaného souhlasu. Samotný informovaný souhlas pacienta (zákonného zástupce pacienta) se scintigrafií skeletu se na Klinice nukleární medicíny Fakultní nemocnice Olomouc sestává z několika částí. Úvodem jsou zjišťovány základní informace o vyšetřovaném, jeho celé jméno, rodné číslo, popřípadě datum narození, adresa trvalého bydliště a kód zdravotní pojišťovny. Pokud souhlas podepisuje zákonný zástupce, je nutné uvést i jeho celé jméno a rodné číslo.

Další část dokumentu je věnována základní charakteristice prováděného vyšetření. Zde je popsán účel a povaha výkonu, jeho předpokládaný prospěch. Také se uvádí možné alternativy, rizika a následky. Součástí jsou propouštěcí informace, kde je pacientovi doporučeno vyhnout se kontaktu s dětmi a těhotnými ženami několik hodin po aplikaci radiofarmaka. Jedná-li se o pacienta inkontinentního nebo zvracejícího, je vhodné potřísňový

materiál skladovat po dobu 48 hodin v uzavřeném igelitovém pytlí mimo obytné prostory a až poté tyto předměty vyprat nebo vyhodit.

Následující úsek pokračuje dotazníkem, ve kterém vyšetřovaný zakroužkuje ANO nebo NE na dané otázky. Pro ženy je zde dotaz, zda jsou těhotné či kojí. Dále jsou pro všechny pacienty kladeny otázky, zdali byli srozumitelně informováni o možných alternativách výkonu, o možném omezení nebo změně zdravotní způsobilosti po výkonu, o vhodném léčebném režimu a provedení kontrolních zdravotních výkonů a v poslední řadě, pacient potvrdí, že rozuměl všem sděleným informacím a měl možnost klást doplňující otázky. Následně pacient zakroužkováním odpovědi ANO prohlašuje, že s navrhovanou péčí a danými výkony souhlasí, při výskytu neočekávaných komplikací souhlasí se zákroky nutnými k záchraně života nebo zdraví, nezamlčel žádné informace o svém zdravotním stavu a pokud to bude nutné, dává souhlas k odběru biologického materiálu. Svůj souhlas vyjadřuje také s přítomností studentů a stážistů při výkonu a udává jim možnost nahlížet do jeho zdravotní dokumentace.

Takto vyplněný informovaný souhlas podepíše pacient nebo jeho zákonný zástupce, včetně přesného data a času podpisu. Dále se v této části uvádí jméno a podpis oprávněného zdravotnického pracovníka, který poskytl potřebné informace o průběhu vystření a lékaře, který podal informace o indikacích a možných kontraindikacích k výkonu, vždy s datem a hodinou podpisu. Jestliže se pacient není schopen na formulář podepsat, je nutné upřesnit důvody, proč to není možné a způsob, jakým projevil svou vůli. Opět s nutností uvést jméno, podpis, datum a čas zdravotnického pracovníka nebo svědka (Informovaný souhlas pacienta se scintigrafií skeletu FN Olomouc, 2022).

6.2. Vlastní vyšetření

Zahájení akvizice obrazu se provádí s určitým časovým odstupem po aplikaci radiofarmaka. Dospělým jedincům se intravenózně aplikuje 500-800 MBq ^{99m}Tc -difosfonátů, aktivitu podanou dětem je nutné stanovit dle příslušných tabulek (Koranda, 2017, s. 131). Délka intervalu od vpravení radiofarmaka po zahájení samotného nahrávání obrazu závisí na více faktorech, jako jsou věk, hmotnost a případné renální a kardiální onemocnění pacienta. Všeobecně u osob strašších a obéznějších je vhodné počkat 3 až 5 hodin, naopak děti je možné vyšetřovat již za 1,5 - 2 hodiny od aplikace. Dle indikací lze provést scintigrafii skeletu několika metodami (Kupka, 2015, s. 66).

Celotělová scintigrafie se řadí k nejpoužívanější technice, kdy pacient leží na zádech a získáváme planární snímky celého skeletu, jak v přední, tak i v zadní projekci. V případě potřeby jsou doplněny i projekce boční a šikmé. Metoda se užívá především k detekci primárních nebo metastatických kostních nádorů (Hsu et al., 2012, s. 152). K získání obrazů se standardně využívá dvoudetektorová gama kamera vybavená nízkoenergetickým kolimátorem s paralelními otvory a vysokým rozlišením. Jednotvorový, píne hole kolimátor s vysokým rozlišením lze použít především u kojenců a malých dětí (Van de Wyngaert et al., 2016, s. 1729).

Dle nálezu na planárním celotělovém scintigramu může lékař rozhodnout o nutnosti doplnění tomografického vyšetření SPECT, popřípadě i s provedením výpočetní tomografie (SPECT/CT). Dochází tak ke kombinaci vysoce senzitivní jednofotonové emisní výpočetní tomografie s CT, která má výborné prostorové rozlišení. Výsledkem je fúze obrazu těchto dvou modalit, ovšem nevýhodou hybridního vyšetření je vyšší radiační zátěž pacienta. K využití této technologie nejčastěji dochází při nálezu lézí v oblasti pánve a páteře nebo u onkologických pacientů k zjištění rozsevu metastáz (Wale et al., 2015, s. 165). Pacient je při vyšetření uložen na záda a s pomocí dvouhlavé gama kamery je získáno 60 snímků z každého detektoru, při jeho rotaci o 180° kolem pacienta, každý snímek s dobou trvání 10-30 sekund. Z celkového počtu 120 nahraných obrazů je následně rekonstruován 3D obraz, který je poté zobrazen taktéž v axiální, sagitální a koronární rovině (Van de Wyngaert et al., 2016, s. 1732).

Třífázová scintigrafie kostí kombinuje statické a dynamické skenování skeletu a je využívána k zjištění hyperémie u lokalizovaných lézí, především při podezření na osteomyelitidu, nekrózy a fraktury (Hoffmannová, 2016, s. 3). První fáze, při které je zjišťován regionální průtok krve do oblasti zájmu, se nazývá perfúzní neboli angiografická fáze a je zahájena ihned po intravenózní aplikaci radiofarmaka. Běžně jsou získávány 2–5 sekundové dynamické snímky po dobu 60 sekund. Následující fáze krevního poolu, která obsahuje statické scintigramy s časovým odstupem přibližně 5 minut od první fáze. Zaznamenává časné rozložení radiofarmaka, tedy jeho přestup do extracelulárního prostoru a kostí. Pozdní, třetí fáze vyšetření, se sestává z klasického statického skenu zájmové oblasti získaného za 2-5 hodin od aplikace (Shin, Kim, 2017, s. 169). U některých pacientů může být užitečné provedení i čtvrté fáze vyšetření za 24 hodin (Van de Wyngaert et al., 2016, s. 1725).

Hybridní přístroj PET/CT kombinuje pozitronovou emisní tomografii s výpočetní tomografií k zobrazení metabolicko-anatomického obrazu skeletu a dosahuje mnohem lepšího prostorového rozlišení než scintigrafie s použitím ^{99m}Tc-difosfonátů. Metoda je hojně využívána při podezření na metastatický kostní proces. Pacientovi je intravenózně pomoci

flexibilní kanyly aplikováno 3,5 MBq radiofarmaka $^{18}\text{F-NaF}$ na kilogram váhy bez nutnosti předešlé speciální přípravy. Vyšetřovaný je pouze požádán, aby odložil veškeré kovové předměty a těsně před začátkem snímání se vymočil, aby nebyly pánevní léze překryty intenzivním vychytáváním radiofarmaka v močovém měchýři. Akvizice dat v rozsahu celého těla se zpravidla zahajuje 30-60 minut po podání látky, pacient je položen na záda. Standardně je získán obraz v rozmezí od hlavy až po proximální třetinu bérců. Nahrávání dat probíhá v 7-9 pozicích, kdy každá pozice trvá přibližně 3 minuty, doba střádání dat se může lišit v závislosti na hmotnosti pacienta, množství injektované aktivity a druhu použité kamery (Ferdová et al., 2011, s. 54). Pokud je požadováno získání obrazu končetin, následuje pořízení dalších 5-7 pozic přibližně po 3 minutách v rozsahu od pánve až přes prsty na nohou (Bastawrous et al., 2014, s. 1303). Pro CT provedené bezprostředně před nebo po emisním zobrazení obvykle není potřebná žádná kontrastní látka, využívá se nízkodávkový protokol a získaná data jsou se submilimetrovým rozlišením interpretována v kostním okně.

K diagnostice primárních kostních tumorů lze využít i radiofarmakum $^{18}\text{F-FDG}$, dochází poté k zobrazení metabolické aktivity vlastní nádorové tkáně (Ferdová et al., 2011, s. 54). Při použití tohoto radiofarmaka je již důležitá předešlá příprava pacienta, která zahrnuje lačnění alespoň 6 hodin před aplikací a následně zjištění hladiny glukózy v krvi, která by neměla přesáhnou 13 mmol/l, jelikož zvýšená glykemie snižuje vychytávání $^{18}\text{F-FDG}$ v nádorech. Doporučená je zvýšená hydratace. Minimálně 24 hodin před vyšetřením by pacient neměl vykonávat žádnou fyzickou aktivitu, aby docházelo k minimálnímu vychytávání radiofarmaka v kosterních svalech. Speciální pozornost vyžaduje příprava diabetika závislého na inzulinu. Jestliže si pacient s diabetem pravidelně aplikuje krátkodobě působící inzulin, učiní tak spolu se snídáním do 6 hodin ráno, následně je naplánován k vyšetření mezi 12 a 13 hodinou. Pokud dostává osoba před spaním dlouhodobě působící noční inzulin a celou noc lační, lze vyšetření provést hned ráno v 7 hodin (Surasi et al., 2014, s. 6). Po nitrožilní aplikaci 2,5 - 5 MBq $^{18}\text{F-FDG}$ na kilogram váhy se samotná akvizice dat zahajuje za 60 minut. V tomto intervalu by měl pacient vypít alespoň jeden litr vody a bezprostředně před zahájením vyprázdnit močový měchýř. Při získávání PET/CT obrazu s pomocí $^{18}\text{F-FDG}$ se běžně nejprve provádí CT vyšetření, pro které je nezbytné aplikovat intravenózně jodovou kontrastní látku dle váhy pacienta (Jamar et al., 2013, s. 650).

6.3. Interpretace snímků

Správná interpretace scintigrafie skeletu vyžaduje znalost normální distribuce osteotropního radiofarmaka a ta je závislá na věku vyšetřované osoby, typu jednotlivých kostí a fyziologickém zatěžování. K zcela homogenní distribuci nedochází ani při normálním nálezu na kostním scintigramu. Akumulace radiofarmaka ve skeletu je obrazem krevního průtoku v daném místě a stupně kostní remodelace. Běžně dochází u dospělých k zvýšenému hromadění radiofarmaka v osovém skeletu, lebce a kloubech, naopak intenzita dlouhých kostí je nižší. U dětí je viditelná zvýšená intenzita v růstových zónách, s přibývajícím věkem klesá akumulace radiofarmaka v kostech končetin. Jelikož vylučování radiofarmaka probíhá prostřednictvím vylučovacího systému, fyziologicky dochází i k zobrazení ledvin a močového měchýře (Kupka, 2015, s. 67).

Kostní abnormality jsou nejčastěji projevovány zvýšeným vychytáváním osteotropního radiofarmaka na základě masivní osteogeneze. Jeho hromadění může probíhat buď fokálně, kdy se zobrazená léze jeví jako takzvané horké ložisko nebo dochází k difuznímu vychytávání, kdy ložisko akumulace je rozptýlené a není ostře ohraničené. Léze je nutné posoudit a srovnat s kontralaterální kostí nebo měkkými tkáněmi a popsat jejich přesnou lokalizaci, velikost, tvar, intenzitu a počet (Van de Wyngaert et al., 2016, s. 1735). Všeobecně dochází k zvýšené akumulaci především u osteoblastický ložisek, jejich účinná detekce pomocí kostní scintigrafie je tedy vyšší. Naopak v případě osteolytického procesu nebo snížené vaskularizace se radiofarmakum ve skeletu akumuluje v menší míře a na kostním skenu jsou patrná studená ložiska, které mohou být obklopena lemem zvýšené aktivity. Typicky se vyskytují čistě osteolytické léze u mnohočetného myelomu (Ćwieka, Szpoińska, 2013, s. 52).

V důsledku metastatického postižení kostí nebo metabolické poruchy může docházet k difuzně zvýšenému vychytávání v celém skeletu ve srovnání s měkkými tkáněmi. Ledviny a močový systém jsou zobrazeny buď jen slabě anebo vůbec. Takový nález, kdy až 86% radiofarmaka je zadrženo ve skeletu, se nazývá superscan a jeho objevení může vést k falešně negativní interpretaci kostních lézí (Li et al., 2012, s. 134).

Dalším z možných nálezů na kostní scintigrafii, který ztěžuje interpretaci obrazu, je takzvaný fenomén vzplanutí (flare fenomen). Může se objevit v prvních třech až šesti měsících po zahájení léčby u onkologických pacientů podstupujících chemoterapii nebo hormonální léčbu. Typickým nálezem je obraz zvýšené akumulace radiofarmaka nejen v již

existujících lézích, ale i vznik dalších ložisek. Jedná se pouze o známky hojení (zvýšenou aktivitu osteoblastů) doprovázející úspěšnou léčbu nádoru. Po uplynutí šesti měsíců se provádí opakovaná scintigrafie a obvykle dochází u pacientů k významnému zlepšení kostního skenu (Zadrazil, 2014, s. 38).

Při intravenózní aplikaci osteotropního radiofarmaka může docházet i k jeho extraosseálnímu zachytu. Obraz zvýšené akumulace ve tkáních lze pozorovat i u zcela zdravého pacienta, může se ovšem nacházet i patologicky, a to především v některých nádorech mozku, subdurálním hematomu, mozkových krváceních, nádorech plic, prsu, jater, zánětlivých a nekrotických ložiscích a kalcifikacích (Kupka, 2015, s. 68).

6.4. Srovnání konvenční kostní scintigrafie a PET/CT

Radionuklid ^{99m}Tc technecium k přípravě radiofarmaka $^{99m}\text{Tc} - \text{MDP}$ (popřípadě $^{99m}\text{Tc} - \text{HDP}$) pro konvenční scintigrafii a SPECT je snadno získáván z radionuklidového generátoru přímo na pracovišti a ke zjištění jeho rozložení ve skeletu jsou využívány cenově dostupnější gama kamery. Pro přípravu $^{18}\text{F} - \text{NaF}$, který je využíván u PET systémů, se používá cyklotron a celkové náklady na výrobu radiofarmaka i PET detektory jsou mnohem vyšší (Bastawrous et al, 2014, s. 1298).

Mezi hlavní výhody PET vyšetření s použitím $^{18}\text{F} - \text{NaF}$ oproti konvenční scintigrafii pomocí $^{99m}\text{Tc} - \text{difosfonátů}$ patří výrazně lepší kvalita získaného obrazu, vyšší citlivost a kratší doba vyšetření. Vysoké kvality obrazu a citlivosti snímání pomocí PET systému je dosaženo díky koincidenční detekci emitovaných fotonů bez nutnosti použití kolimátoru. Zároveň disponuje PET kostní sken lepším prostorovým rozlišením a kontrastním poměrem mezi kostí a měkkými tkáněmi (Li et al., 2012, s. 129). K zviditelnění anatomických struktur při běžné planární scintigrafii je potřebné doplnit SPECT, popřípadě CT. Tím dojde ke zlepšení diagnostické přesnosti a anatomické lokalizaci léze. Ovšem ani s použitím SPECT/CT nedosahuje obraz tak vysoké diagnostické přesnosti, specifity a senzitivity jako při využití PET/CT skeneru. Prostorové rozlišení PET/CT je přibližně 4-5 milimetrů, ve srovnání s rozlišením přibližně 10 milimetrů při použití běžných gamakamer, tento rozdíl je velmi důležitý v detekci velmi malých lézí především páteře.

Provádět samotné PET vyšetření bez výpočetní tomografie není žádoucí, jelikož benigní kostní procesy mohou vykazovat stejný stupeň vychytávání jako maligní metastázy a existuje tedy vyšší pravděpodobnost falešně pozitivních výsledků. Při porovnání PET/CT a samotného

PET vystření zvyšuje hybridní systém specifitu získaného obrazu až o 25 %, kdy fúzní PET/CT dosahuje přesnosti 97 %.

Limitující nevýhodou PET/CT je kromě nižší dostupnosti v nemocnicích poměrně vyšší cena ve srovnání s běžným SPECT/CT. Vyšší náklady jsou kladeny jak na přípravky ^{18}F -NaF, tak i na samotné hybridní PET/CT systémy. Také z pohledu dozimetrie ionizujícího záření je PET/CT nejvíce zatěžující modalitou pro pacienta. Kromě vyšší radiační zátěže aplikací ^{18}F -NaF je nutné přihlédnout k dávce záření, obdržené CT skenerem při hybridním PET/CT vyšetření. Celková radiační zátěž při celotělovém vyšetření pacienta PET/CT skenerem s podáním ^{18}F -NaF činí přibližně 12,1 mSv. SPECT studie s použitím $^{99\text{m}}\text{Tc}$ je šetrnější metodou, s celkovou efektivní dávkou asi 7,4 mSv (Bastawrous et al, 2014, s. 1304).

Tabulka 1. Srovnání konvenční kostní scintigrafie a PET

	Kosterní PET	Konvenční kostní scintigrafie
Radiofarmaka	F-18 fluorid sodný	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ MDP
Fyzický poločas života	110 min	6 hodin
Emise	511 keV fotonů z pozitronové anihilace	140 keV fotonů
Prostorové rozlišení	3–6 mm	4–15 mm
Vazba na sérový protein	Minimální	30 % zpočátku, 70 % po 24 hodinách
Odbavení	Rychlý	Relativně pomalu
Celkový příjem kostí	~ 50 %	~ 30 %
Orgán přijímající nejvyšší radiaci	Měchýř	Povrch kosti
Čas do zobrazení po injekci	30–60 min	3–6 hod
Efektivní dávka záření (mSv/MBq)	0,024	0,0057

Zdroj: (Li et al., 2012, s. 130).

Závěr

Tématem přehledové bakalářské práce byla scintigrafie skeletu v diagnostice nádorových a nenádorových onemocnění skeletu. Scintigrafie skeletu se řadí mezi jedno z nejčastějších vyšetření v nukleární medicíně, především díky své vysoké senzitivitě, neinvazivnosti výkonu, dobré dostupnosti po celé České republice, relativně malé radiální zátěži pacienta a možnosti celotělového vyšetření. Tato práce sumarizuje aktuální dohledané informace o kostní scintigrafii a podává ucelený přehled nejčastěji využívaných radiofarmak pro vyšetření kostí, časté indikace ke kostnímu skenování a popis průběhu samotného vyšetření. Byly vytyčeny tři hlavní cíle práce.

Prvním stanoveným cílem bylo sumarizovat dohledané poznatky o radiofarmakách, které se běžně používají pro zobrazení skeletu. Od roku 1972 jsou pro konvenční scintigrafické zobrazení skeletu využívány radiofarmaka na bázi difosfonátů značených ^{99m}Tc , které jsou v těle vázány na hydroxylovou skupinu hydroxyapatitu. K PET/CT vyšetření je využíváno radiofarmakum $^{18}\text{F-NaF}$, jež umožňuje získat velmi kvalitní obraz a zahájit skenování už za 30 minut po intravenózní aplikaci, což je výhoda oproti scintigrafii s použitím ^{99m}Tc , kdy je nutné dodržet několikahodinový odstup mezi aplikací a samotným vyšetřením. K detekci primárních kostních nádorů, jako je osteosarkom a Ewingův sarkom, lze pomocí PET/CT systému využít radiofarmakum $^{18}\text{F-FDG}$, které se v organismu chová jako analog glukózy.

O indikacích ke scintigrafii skeletu pojednává následující část práce, která tak splňuje druhý cíl bakalářské práce. K nejčastějším indikacím se řadí nádorová postižení skeletu. Diagnostika benigních tumorů bývá na scintigramu většinou náhodným nálezem, ale především u dětí má scintigrafie své uplatnění v lokalizaci maligních lézí, hlavně osteosarkomu a Ewingova sarkomu. Jednoznačně nejčastější indikací je detekce časných kostních metastáz především z karcinomu prsu, prostaty a plic. Scintigrafie skeletu našla své uplatnění také v rozpoznání nenádorových onemocnění kostního systému, jako jsou osteomyelitidy a artritidy, stresové fraktury, osteonekrózy, metabolické onemocnění a zobrazení ortopedických protéz kyčelních a kolenních kloubů k zjištění komplikací po implantaci.

Třetím cílem bylo vyhledat jednotlivé metody vyšetření a popsat jejich průběh. Před každým výkonem v nukleární medicíně je nezbytné, aby byl pacient poučen a následně vyplnil a podepsal informovaný souhlas. Vyšetření se nejčastěji zahajuje celotělovou scintigrafií v přední a zadní projekci a následně lze dle potřeby zhotovit cílené planární

scintigramy. Pro upřesnění patologického nálezu se doplňuje tomografické zobrazení - v režimu SPECT - často i pomocí hybridního přístroje v kombinaci s výpočetní tomografií. Kombinaci statického a dynamického skenování splňuje třífázová scintigrafie využívaná především při podezření na osteomyelitidu, nekrózy a fraktury. Obrovským přínosem v nukleární medicíně jsou hybridní PET/CT systémy s vysokou senzitivitou a specificitou vyšetření a možností lokalizovat léze velké 4-5 milimetrů. Modalita je ovšem cenově mnohonásobně nákladnější, méně dostupná a představuje vyšší radiační zátěž pro pacienta.

V bakalářské práci byly splněny všechny tři stanovené cíle.

Dohledané poznatky zmíněné v přehledové bakalářské práci mohou posloužit jako zdroj informací pro již pracující radiologické asistenty na oddělení nukleární medicíny. Zároveň mohou být zmíněné informace nápomocny studentům bakalářského oboru Radiologická asistence a umožnit jim lépe pochopit problematiku scintigrafie skeletu.

Referenční seznam

1. BASTAWROUS, Sarah, Puneet BHARGAVA, Fatemeh BEHNIA, David S. W. DJANG a David R. HASELEY, 2014. Newer PET Application with an Old Tracer: Role of 18 F-NaF Skeletal PET/CT in Oncologic Practice. *RadioGraphics* [online]. **34**(5), 1295-1316 [cit. 2021-10-29]. ISSN 0271-5333. Dostupné z: doi:10.1148/rg.345130061
2. BHATTACHARYYA, Sibaprasad a Manish DIXIT, 2011. Metallic radionuclides in the development of diagnostic and therapeutic radiopharmaceuticals. *Dalton Transactions* [online]. **40**(23), 1-18 [cit. 2021-10-26]. ISSN 1477-9226. Dostupné z: doi:10.1039/c1dt10379b
3. BRENNER, Arnold I., June KOSHY, Jose MOREY, Cheryl LIN a Jason DIPOCE, 2012. The Bone Scan. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. **42**(1), 11-26 [cit. 2021-10-30]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2011.07.005
4. COSTELLOE, Colleen M., Hubert H. CHUANG a John E. MADEWELL, 2014. FDG PET/CT of Primary Bone Tumors. *American Journal of Roentgenology* [online]. **202**(6), W521-W531 [cit. 2021-10-30]. ISSN 0361-803X. Dostupné z: doi:10.2214/AJR.13.11833
5. ĆWIKŁA, Jarosław B., 2013. New imaging techniques in reumatology: MRI, scintigraphy and PET. *Polish Journal of Radiology* [online]. **78**(3), 48-56 [cit. 2022-01-05]. ISSN 0137-7183. Dostupné z: doi:10.12659/PJR.889138
6. CYTEVAL, Catherine a Aurélie BOURDON, 2012. Imaging orthopedic implant infections. *Diagnostic and Interventional Imaging* [online]. **93**(6), 547-557 [cit. 2021-12-15]. ISSN 22115684. Dostupné z: doi:10.1016/j.diii.2012.03.004
7. ČESKÁ RADIOLOGICKÁ SPOLEČNOST J. E. PURKYNĚ, 2022. Dostupné z: http://www.crs.cz/cs/certifikace-radiologickych-pracovist/mapa-pracovist.html?typ%5B%5D=0&kraj=0&filter_submit=Vyhledat
8. DAVILA, Diego, Alexander ANTONIOU a Muhammad A. CHAUDHRY, 2015. Evaluation of Osseous Metastasis in Bone Scintigraphy. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. **45**(1), 3-15 [cit. 2021-10-25]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2014.07.004

9. DRUBACH, Laura A., 2017. Nuclear Medicine Techniques in Pediatric Bone Imaging. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. **47**(3), 190-203 [cit. 2021-10-25]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2016.12.006
10. FAHEY, Frederic H., Alison GOODKIND, S. Ted TREVES a Frederick D. GRANT, 2016. Nuclear Medicine and Radiation Protection. *Journal of Radiology Nursing* [online]. **35**(1), 5-11 [cit. 2021-11-06]. ISSN 15460843. Dostupné z: doi:10.1016/j.jradnu.2015.12.005
11. FERDOVÁ, Eva, Jiří FERDA, Vít Martin MATĚJKA a Jindřich FÍNEK. Zobrazení kostních metastáz pomocí 18F-NaF-PET/CT. *Česká radiologie*. 2011, **65**(1), 51-60. ISSN 1210-7883. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1101_51_60.pdf
12. FLORENCIO-SILVA, Rinaldo, Gisela Rodrigues da Silva SASSO, Estela SASSO-CERRI, Manuel Jesus SIMÕES a Paulo Sérgio CERRI, 2015. Biology of Bone Tissue: Structure, Function, and Factors That Influence Bone Cells. *BioMed Research International* [online]. **2015**, 1 [cit. 2021-10-06]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi:10.1155/2015/421746
13. GUAN, Xiangming, 2015. Cancer metastases: challenges and opportunities. *Acta Pharmaceutica Sinica B* [online]. **5**(5), 402-418 [cit. 2021-12-05]. ISSN 22113835. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsb.2015.07.005
14. HOFFMANNOVÁ, Eva. Scintigrafie skeletu a její role mezi zobrazovacími metodami. *Osteologický bulletin*, 2016, roč. 21, č. 1, s. 3-9. ISSN: 1211-3778. Dostupné z: https://smos.cz/wp-content/uploads/2019/11/osteologicky_bulletin_2016_01.pdf
15. HSU, Wellington a Thomas M. HEARTY, 2012. Radionuclide Imaging in the Diagnosis and Management of Orthopaedic Disease. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* [online]. **20**(3), 151-159 [cit. 2021-10-26]. ISSN 1067-151X. Dostupné z: doi:10.5435/JAAOS-20-03-151
16. CHEN, Man Yu, 2014. Radiation Protection and Regulations for the Nuclear Medicine Physician. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. **44**(3), 215-228 [cit. 2021-11-06]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2014.03.005
17. INFORMOVANÝ SOUHLAS PACIENTA SE SCINTIGRAFIÍ SKELETU FNOL, 2022. Dostupné z: <https://www.fnol.cz/kliniky-ustavy-oddeleni/klinika-nuklearni-mediciny/informovane-souhlasy>

18. JAMAR, Francois, John BUSCOMBE, Arturo CHITI, et al., 2013. EANM/SNMMI Guideline for 18 F-FDG Use in Inflammation and Infection. *Journal of Nuclear Medicine* [online]. **54**(4), 647-658 [cit. 2022-01-02]. ISSN 0161-5505. Dostupné z: doi:10.2967/jnumed.112.112524
19. KORANDA, Pavel, 2017. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4031-6.
20. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-54-8.
21. KRÍSTEK, Jan, Lukáš PAZOUREK a Zdeněk ŘEHÁK, 2019. Bone metastases: diagnosis and monitoring on imaging methods, interventional radiology. *Onkologie* [online]. **13**(3), 115-122 [cit. 2021-12-03]. ISSN 18024475. Dostupné z: doi:10.36290/xon.2019.023
22. KUMAR, AVSAnil, AK DASH, PG KUMAR, MS PRAKASH, V TEWARI a H SAHNI, 2013. Paget's disease diagnosed on bone scintigraphy: Case report and literature review. *Indian Journal of Nuclear Medicine* [online]. **28**(2), 121-123 [cit. 2021-12-21]. ISSN 0972-3919. Dostupné z: doi:10.4103/0972-3919.118258
23. : LI, Yuxin, Christiaan SCHIEPERS, Ralph LAKE, Simin DADPARVAR a Gholam R. BERENJI, 2012. Clinical utility of 18F-fluoride PET/CT in benign and malignant bone diseases. *Bone* [online]. **50**(1), 128-139 [cit. 2021-11-14]. ISSN 87563282. Dostupné z: doi:10.1016/j.bone.2011.09.053
24. LOVE, C. a C.J. PALESTRO, 2016. Nuclear medicine imaging of bone infections. *Clinical Radiology* [online]. **71**(7), 632-646 [cit. 2021-12-15]. ISSN 00099260. Dostupné z: doi:10.1016/j.crad.2016.01.003
25. MACEDO, Filipa, Katia LADEIRA, Filipa PINHO, Nadine SARAIVA, Nuno BONITO, Luísa PINTO a Francisco GONÇALVES, 2017. Bone metastases: an overview. *Oncology Reviews* [online]. [cit. 2021-12-05]. ISSN 1970-5565. Dostupné z: doi:10.4081/oncol.2017.321
26. RAGHAVAN, Meera, Elena LAZZERI a Christopher J. PALESTRO, 2018. Imaging of Spondylodiscitis. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. **48**(2), 131-147 [cit. 2022-01-05]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2017.11.001
27. ROCA, Isabel, Ignasi BARBER, Cesar G. FONTECHA a Francisco SOLDADO, 2013. Evaluation of bone viability. *Pediatric Radiology* [online]. **43**(4), 393-405 [cit. 2021-10-25]. ISSN 0301-0449. Dostupné z: doi:10.1007/s00247-012-2610-0

28. SHIN, Seung Hyeon a Seong Jang KIM, 2017. Bone scintigraphy in patients with pain. *The Korean Journal of Pain* [online]. **30**(3), 165-175 [cit. 2022-01-02]. ISSN 2005-9159. Dostupné z: doi:10.3344/kjp.2017.30.3.165
29. SINGH, S., T.J.P. BRAY a M.A. HALL-CRAGGS, 2018. Quantifying bone structure, micro-architecture, and pathophysiology with MRI. *Clinical Radiology* [online]. **73**(3), 222 [cit. 2021-10-06]. ISSN 00099260. Dostupné z: doi:10.1016/j.crad.2017.12.010
30. SURASI, D. S., P. BHAMBHVANI, J. A. BALDWIN, S. E. ALMODOVAR a J. P. O'MALLEY, 2014. 18F-FDG PET and PET/CT Patient Preparation: A Review of the Literature. *Journal of Nuclear Medicine Technology* [online]. **42**(1), 5-13 [cit. 2021-10-30]. ISSN 0091-4916. Dostupné z: doi:10.2967/jnmt.113.132621
31. TSUBAKI, Fumihito, Seiji KURATA, Shuji NAGATA, Kiminori FUJIMOTO a Toshi ABE, 2016. Clinical spectrum and diagnostic pitfalls of multiple abnormal uptakes on bone scintigraphy. *Japanese Journal of Radiology* [online]. **34**(12), 771-778 [cit. 2021-10-03]. ISSN 1867-1071. Dostupné z: doi:10.1007/s11604-016-0585-8
32. VAN DEN WYNGAERT, T., K. STROBEL, W. U. KAMPEN, et al., 2016. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. **43**(9), 1723-1738 [cit. 2021-10-03]. ISSN 1619-7070. Dostupné z: doi:10.1007/s00259-016-3415-4
33. VESELÝ, K. Primární maligní kostní nádory z pohledu histopatologa. *Onkologie*, 2012, 6(4), 195-199. ISSN 1803-5345. Dostupné z: https://www.onkologiecs.cz/artkey/xon-201204-0004_P_rimarni_maligni_kostni_nadory_z_pohledu_histopatologa.php
34. WALE, Daniel J., Ka Kit WONG, Hatice SAVAS, Asha KANDATHIL, Morand PIERT a Richard K. J. BROWN, 2015. Extraosseous Findings on Bone Scintigraphy Using Fusion SPECT/CT and Correlative Imaging. *American Journal of Roentgenology* [online]. **205**(1), 160-172 [cit. 2022-01-02]. ISSN 0361-803X. Dostupné z: doi:10.2214/AJR.14.13914
35. ZADRAŽIL, Ladislav. Kostní scintigrafie a SPECT/CT v diagnostice kostních metastáz a avaskulární nekrózy hlavice stehenní kosti u dospělých [online]. Brno, 2014 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/dbjonj/>. Disertační práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Vlastimil Válek.

Seznam zkratek

ALARA	as low as reasonably achievable
CT	výpočetní tomografie (computed tomography)
FDG	fluorodeoxyglukóza
HDP	hydroxymetylendifosfonát
hod	hodina
i.v.	intravenózně (do žilního systému)
keV	kiloelektronvolt
MBq	megabecquerel
MDP	metylendifosfonát
min	minuta
mm	milimetr
mmol/l	milimol na litr
mSv	milisievert
PET	pozitronová emisní tomografie (positron emission thomography)
PET/CT	pozitronová emisní tomografie kombinována s výpočetní tomografií
PET/MR	pozitronová emisní tomografie kombinována s magnetickou rezonancí
SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie (single photon emission computed thomography)
SPECT/CT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie kombinována s výpočetní tomografií
s	strana
TEP	totální endoprotéza
¹⁸ F-NaF	fluorid sodný značený fluorem 18
3D	trojrozměrný
⁸⁵ Sr	⁸⁵ Stroncium
^{99m} Tc	^{99m} metastabilní technecium

Seznam tabulek

Tabulka 1. Srovnání konvenční kostní scintigrafie a PET	31
---	----

Seznam příloh

Příloha 1 - Informovaný souhlas pacienta se scintigrafií skeletu	41
Příloha 2 - Fyziologický nález na ^{18}F -NaF PET/CT u 2leté dívky s podezřením na zneužívání	43
Příloha 3 - Celotělová scintigrafie skeletu v přední a zadní projekci u 16letého chlapce, intenzivní vychytávání v pravém femuru svědčí pro osteosarkom	44
Příloha 4 - Třífázová scintigrafie skeletu u chlapce s osteomyelitidou, zvýšená aktivita pravého proximálního femuru ve všech třech fázích, perfuzní fáze (A), fáze krevního poolu (B), pozdní fáze (C)	45
Příloha 5 - Superscan při metastatickém postižení skeletu na podkladě karcinomu prostaty, celotělové planární snímky v přední a zadní projekci (A) a snímky cílených oblastí (B)	46
Příloha 6 – Septické uvolnění TEP levé kyčle, pozdní fáze třífázové scintigrafie v přední (A) a zadní (B) projekci	47
Příloha 7 – Artritida meziobratlového kloubu, planární snímek s fokálním vychytáváním v 5 bederním obratli (A), axiální SPECT snímek (B), fúze obrazů SPECT/CT (C)	47
Příloha 8 - Srovnání ^{18}F -NaF PET a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MDP kostní scintigrafie u pacienta s metastatickým karcinomem prostaty, PET detekuje více fokálních lézí	48

Přílohy

Příloha 1 - Informovaný souhlas pacienta se scintigrafií skeletu



FAKULTNÍ NEMOCNICE
OLOMOUC
I. P. Pavlova 185/ 6, 779 00 Olomouc
Tel. 588 441 111, E-mail: info@fnol.cz
IČ: 00098892

KLINIKA NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

Fm-L009-001-KNM-014

verze č. 5, str. 1/2

Informovaný souhlas pacienta (zákonného zástupce pacienta) se scintigrafií skeletu

Pacient – jméno a příjmení:	Rodné číslo (číslo pojištěnce):
Datum narození: (není-li rodné číslo)	Kód zdravotní pojišťovny:
Adresa trvalého pobytu pacienta: (případně jiná adresa)	
Jméno zákonného zástupce (opatrovníka):	Rodné číslo:

Název výkonu

Scintigrafie skeletu

Účel výkonu

Vyšetření poskytne informaci o rozložení kostní přestavby.

Povaha výkonu

Diagnostické vyšetření spojené s nitrožilní aplikací látky značené radioaktivním izotopem s krátkým poločasem přeměny. Při vlastním vyšetření scintilační kamerou musí pacient ležet v klidu bez pohybu hlavy a krku po dobu až 1 hodiny. Vyšetření bývá zahajováno v odstupu řádově několika hodin od podání radiofarmaka.

Předpokládaný prospěch výkonu

Určení lokalizace ložiska zvýšené kostní přestavby (záněty, degenerativní změny na skloubeních, zlomeniny, onkologická onemocnění), tato ložiska nemusí být zjištěna jinou metodou. Výsledek je významný pro stanovení diagnózy a případnou léčbu.

Alternativa výkonu

K posouzení rozložení kostní přestavby celotělovým způsobem není alternativní vyšetření.

Možná rizika zvoleného výkonu

Radiační zátěž spojená s tímto vyšetřením je obdobná jako u většiny radiodiagnostických postupů. Riziko alergické reakce je extrémně nízké.

Následky výkonu

Výkon není spojen s pravidelně se vyskytujícími nežádoucími následky.

Propouštěcí informace po podání radiofarmaka

Váš pobyt s rodinnými příslušníky není z důvodu radiační zátěže omezen (je vhodné oddálit - v řádu několika hodin - kontakt s dětmi a těhotnými ženami). V případě inkontinentních, zvracejících pacientů apod. je nutné potřísněné pleny nebo jiné materiály skladovat 48 hodin v igelitovém pytli mimo obytné prostory (např. ve sklepě, garáži) a poté lze materiál vyhodit nebo vyprat.

Souhlas:

Pozn.: Vaši odpověď zakroužkujte

Jste těhotná?	ANO	NE
Kojíte?	ANO	NE
Byl(a) jsem srozumitelně informován(a) o alternativách výkonu prováděných ve FN Olomouc, ze kterých mám možnost volit.	ANO	NE
Byl(a) jsem informován(a) o možném omezení v obvyklém způsobu života a v pracovní schopnosti po provedení příslušného zdravotního výkonu, v případě možné nebo očekávané změny zdravotního stavu též o změnách zdravotní způsobilosti.	ANO	NE
Byl(a) jsem informován(a) o léčebném režimu a preventivních opatřeních, která jsou vhodná, o provedení kontrolních zdravotních výkonů.	ANO	NE

Všem těmto vysvětlením a informacím, které mi byly zdravotnickým pracovníkem sděleny a vysvětleny, jsem porozuměl(a), měl(a) jsem možnost klást doplňující otázky, které mi byly zdravotnickým pracovníkem zodpovězeny.	ANO	NE
---	-----	----

Po výše uvedeném seznámení prohlašuji:		
- že souhlasím s navrhovanou péčí a s provedením výkonu a v případě výskytu neočekávaných komplikací, vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně života nebo zdraví, souhlasím s jejich provedením.	ANO	NE
- že jsem lékařům nezamlčel(a) <u>žádné</u> mně známé údaje o mém zdravotním stavu, jež by mohly nepříznivě ovlivnit moji léčbu či ohrozit mé okolí, zejména rozšířením přenosné choroby.	ANO	NE
- že v případě nutnosti dávám souhlas k odběru biologického materiálu (krev, moč...) na potřebná vyšetření k vyloučení zejména přenosné choroby.	ANO	NE
- že souhlasím s přítomností studentů a stážistů při poskytování zdravotních služeb.	ANO	NE
- že souhlasím s tím, aby studenti a stážisté nahlíželi do mé zdravotnické <u>dokumentace</u> a to pouze v nezbytném rozsahu a na základě pověření stanoveným zdravotnickým pracovníkem.	ANO	NE

Datum	Hodina	Podpis pacienta nebo zákonného zástupce (opatrovníka)

Jméno a příjmení oprávněného zdravotnického pracovníka, který podal informaci o přípravě a průběhu	Podpis oprávněného zdravotnického pracovníka, který podal informaci o přípravě a průběhu

Jméno a příjmení lékaře/ky, který(á) podal(a) pacientovi informaci o indikacích a kontraindikacích vyšetření	Podpis lékaře/ky, který(á) podal(a) pacientovi informaci o indikacích a kontraindikacích vyšetření	Datum	Hodina

Pokud se pacient nemůže podepsat, uveďte důvody, pro které se pacient nemohl <u>podepsat</u> :			
Jak pacient projevil svou vůli:			
Jméno a příjmení zdravotnického pracovníka/svědka	Podpis zdravotnického pracovníka/svědka	Datum	Hodina

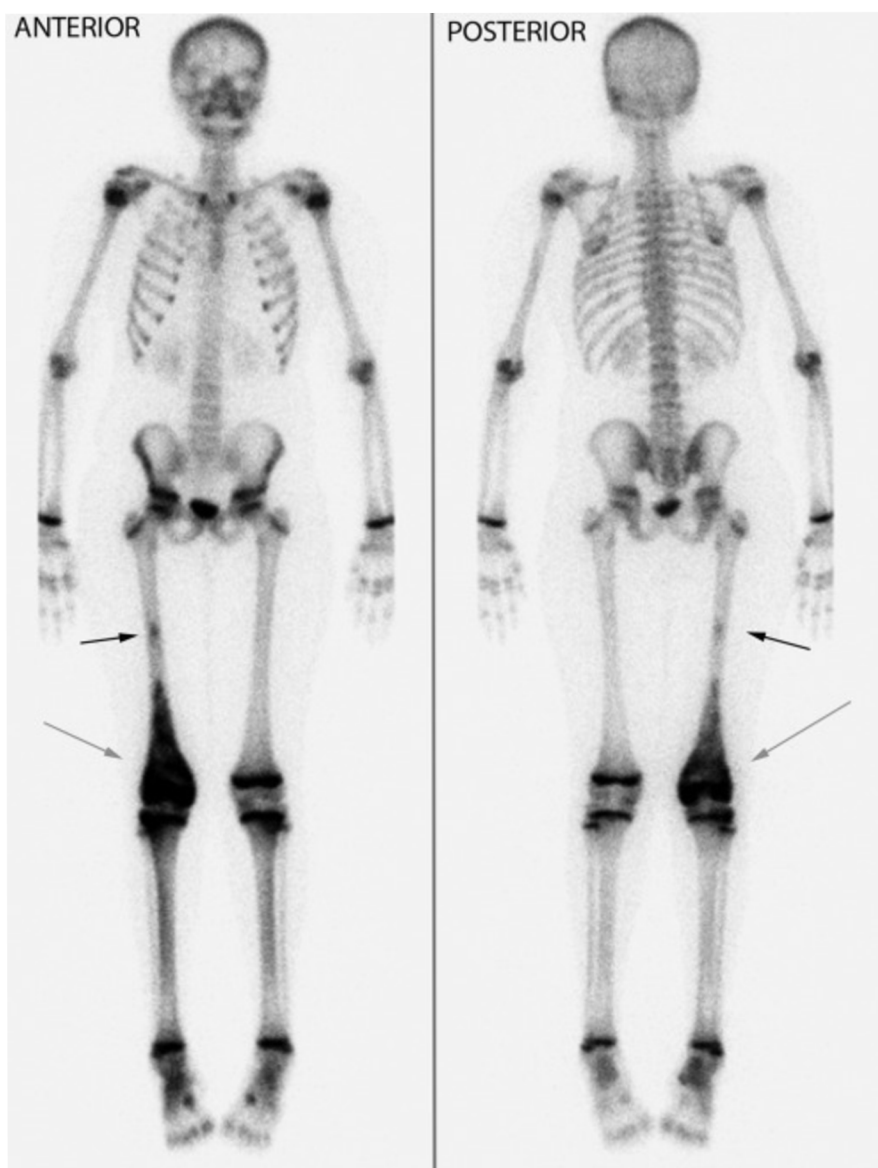
Zdroj: INFORMOVANÝ SOUHLAS PACIENTA SE SCINTIGRAFIÍ SKELETU FNOL, 2022. Dostupné z: <https://www.fnol.cz/kliniky-ustavy-oddeleni/klinika-nuklearni-mediciny/informovane-souhlasy>

Příloha 2 - Fyziologický nález na ^{18}F -NaF PET/CT u 2leté dívky s podezřením na zneužívání



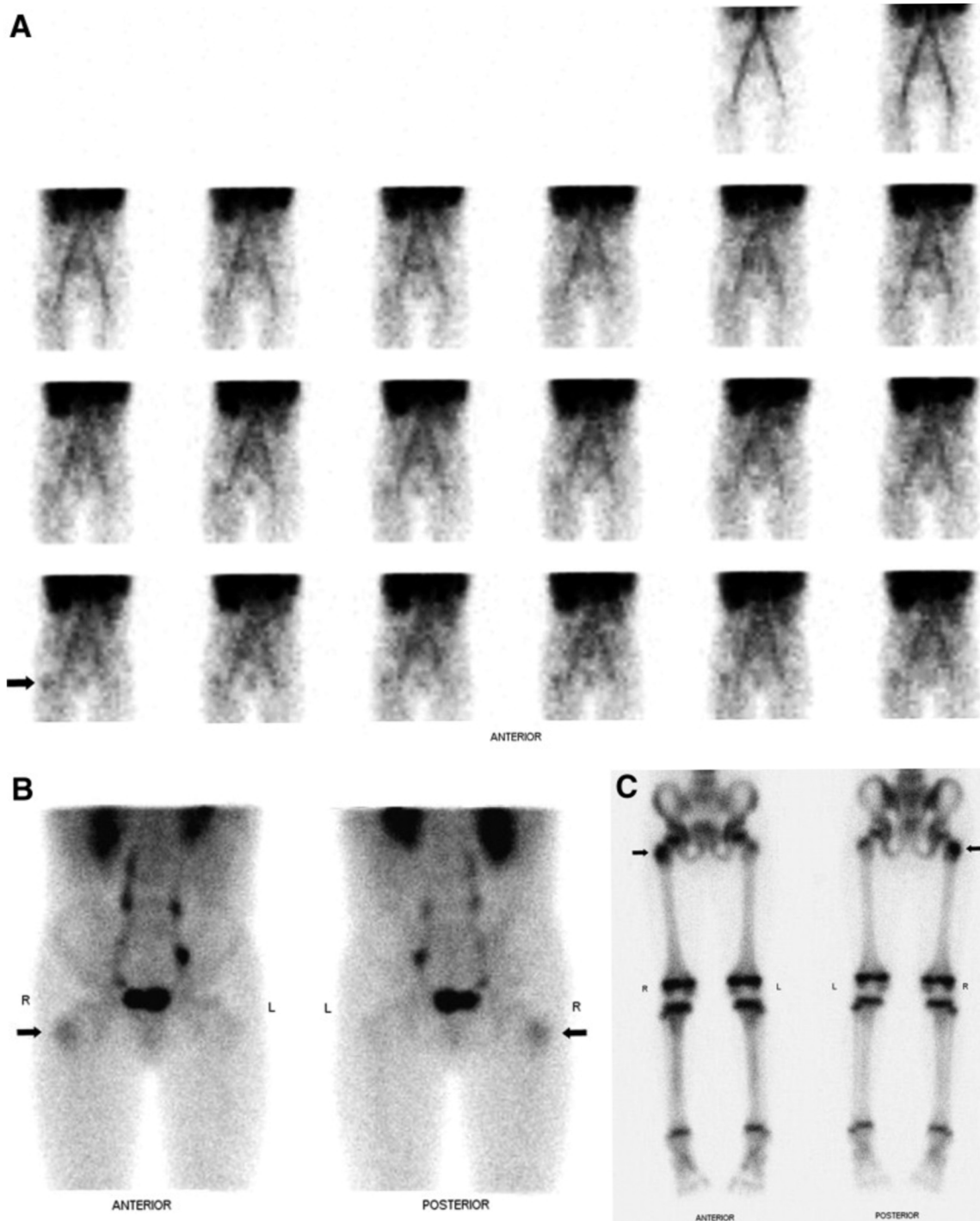
Zdroj: DRUBACH, Laura A., 2017. Nuclear Medicine Techniques in Pediatric Bone Imaging. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. 47(3), 190-203 [cit. 2021-10-25]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2016.12.006

Příloha 3 - Celotělová scintigrafie skeletu v přední a zadní projekci u 16letého chlapce, intenzivní vychytávání v pravém femuru svědčí pro osteosarkom



Zdroj: DRUBACH, Laura A., 2017. Nuclear Medicine Techniques in Pediatric Bone Imaging. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. 47(3), 190-203 [cit. 2021-10-25]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2016.12.006

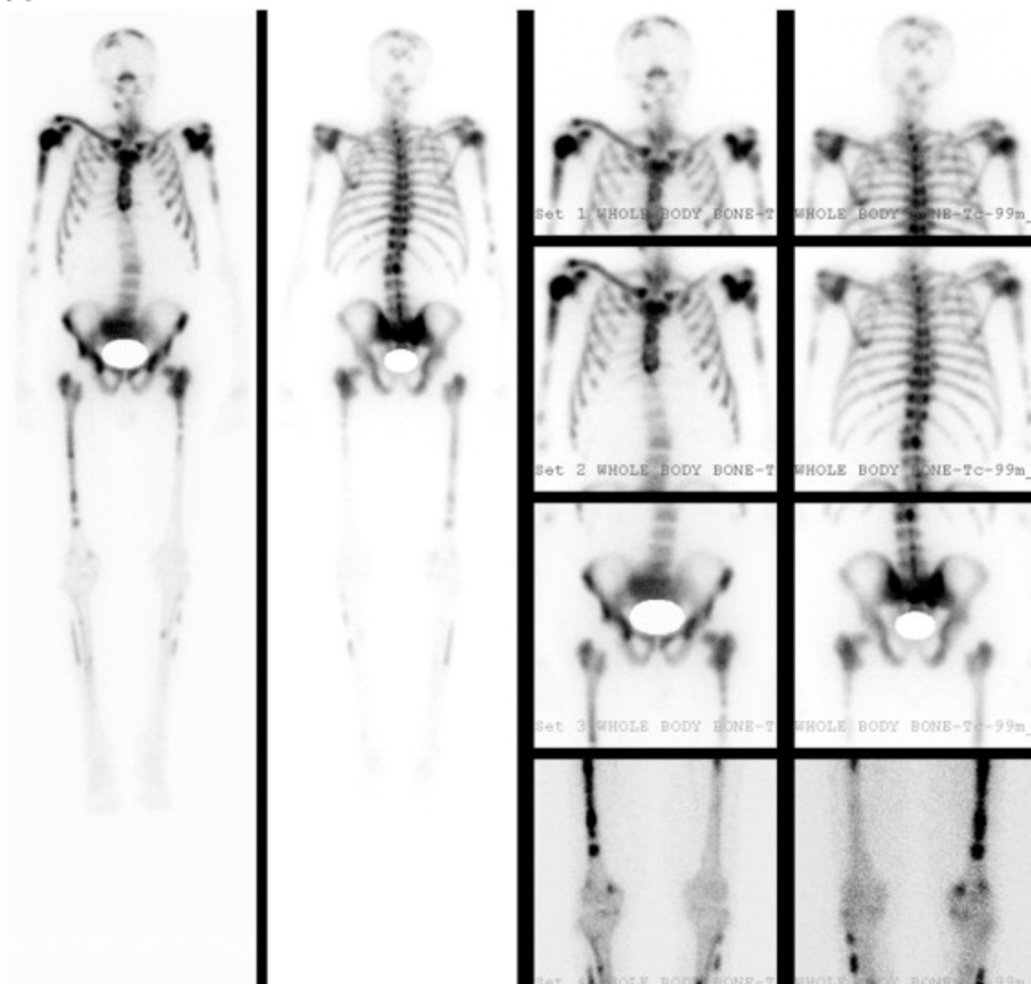
Příloha 4 - Třífázová scintigrafie skeletu u chlapce s osteomyelitidou, zvýšená aktivita pravého proximálního femuru ve všech třech fázích, perfuzní fáze (A), fáze krevního poolu (B), pozdní fáze (C)



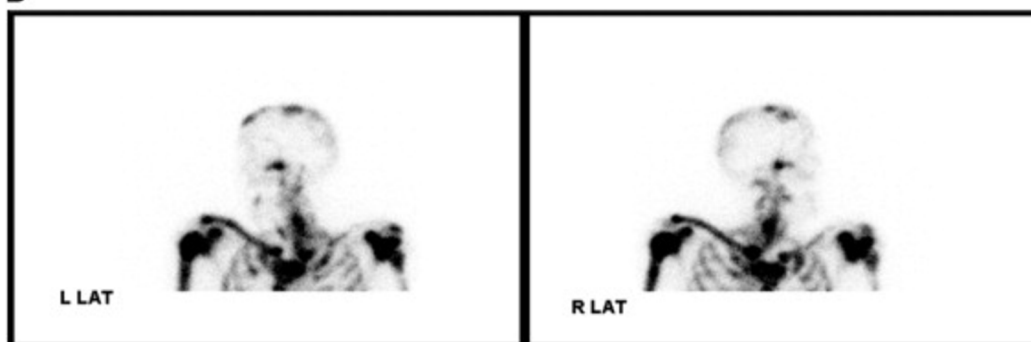
Zdroj: BRENNER, Arnold I., June KOSHY, Jose MOREY, Cheryl LIN a Jason DIPOCE, 2012. The Bone Scan. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. 42(1), 11-26 [cit. 2021-10-30]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2011.07.005

Příloha 5 - Superscan při metastatickém postižení skeletu na podkladě karcinomu prostaty, celotělové planární snímky v přední a zadní projekci (A) a snímky cílených oblastí (B)

A

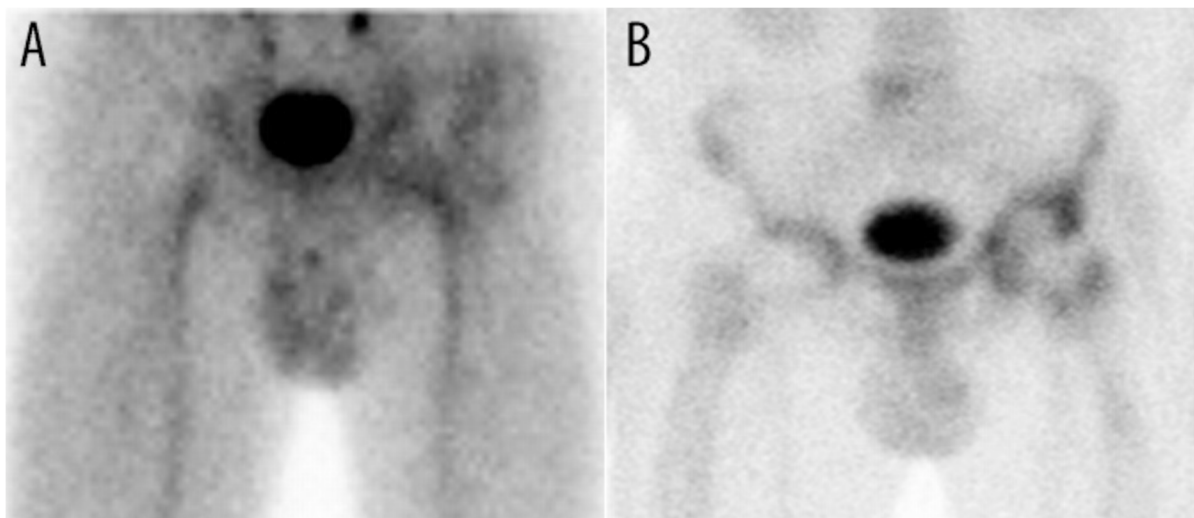


B



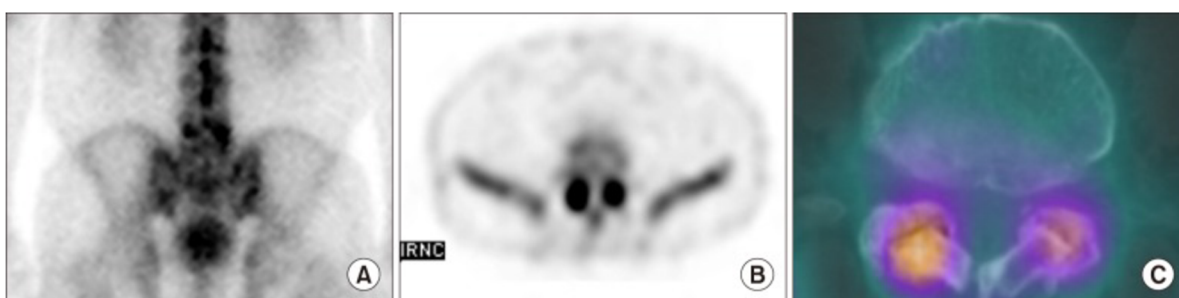
Zdroj: DAVILA, Diego, Alexander ANTONIOU a Muhammad A. CHAUDHRY, 2015. Evaluation of Osseous Metastasis in Bone Scintigraphy. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. 45(1), 3-15 [cit. 2021-10-25]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2014.07.004

Příloha 6 – Septické uvolnění TEP levé kyčle, pozdní fáze třífázové scintigrafie v přední (A) a zadní (B) projekci



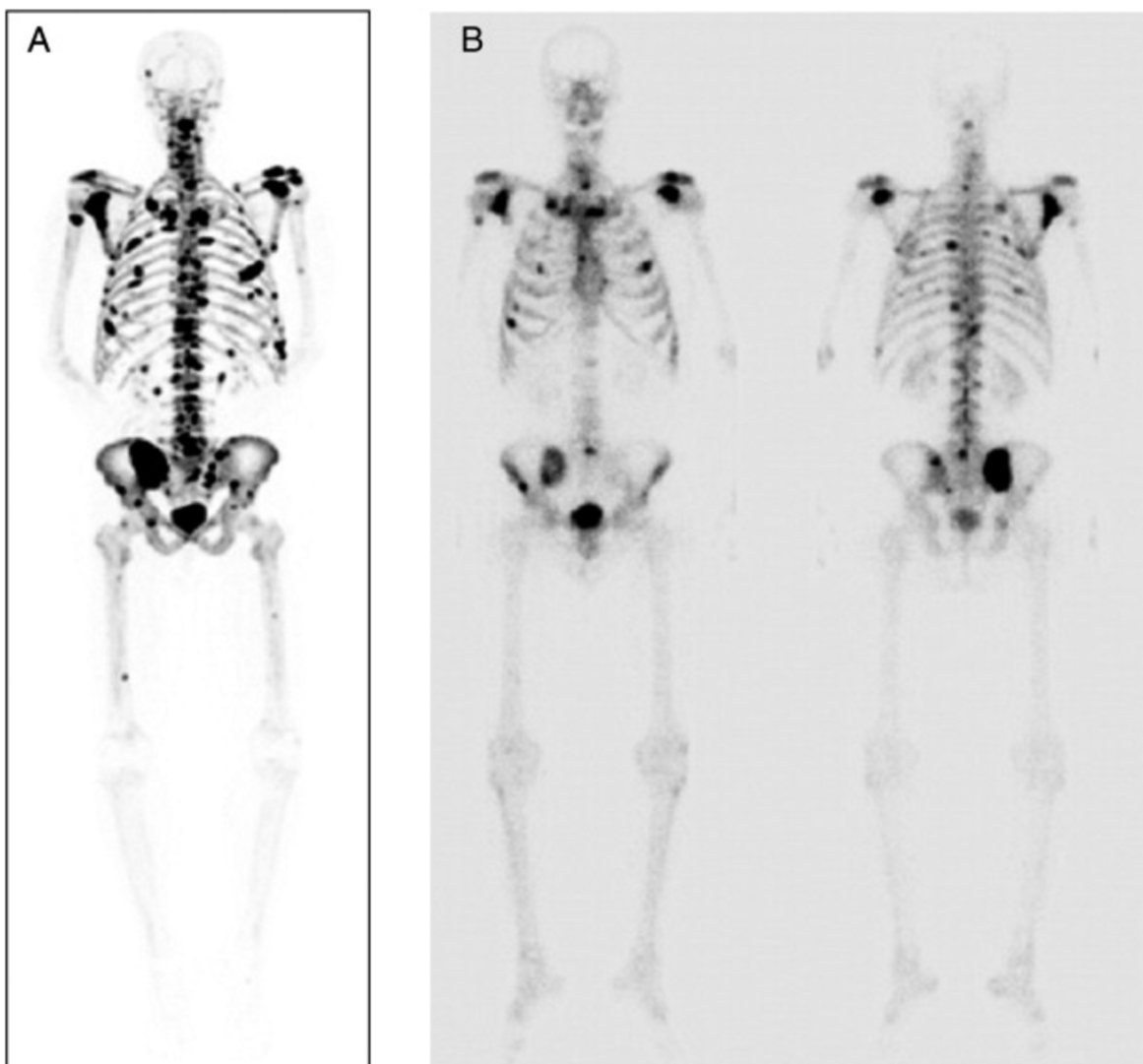
Zdroj: ĆWIKŁA, Jarosław B., 2013. New imaging techniques in reumatology: MRI, scintigraphy and PET. *Polish Journal of Radiology* [online]. **78**(3), 48-56 [cit. 2022-01-05]. ISSN 0137-7183. Dostupné z: doi:10.12659/PJR.889138

Příloha 7 – Artritída meziobratlového kloubu, planární snímek s fokálním vychytáváním v 5 bederním obratli (A), axiální SPECT snímek (B), fúze obrazů SPECT/CT (C)



Zdroj: SHIN, Seung Hyeon a Seong Jang KIM, 2017. Bone scintigraphy in patients with pain. *The Korean Journal of Pain* [online]. **30**(3), 165-175 [cit. 2022-01-02]. ISSN 2005-9159. Dostupné z: doi:10.3344/kjp.2017.30.3.165

Příloha 8 - Srovnání ^{18}F -NaF PET a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MDP kostní scintigrafie u pacienta s metastatickým karcinomem prostaty, PET detekuje více fokálních lézí



Zdroj: LI, Yuxin, Christiaan SCHIEPERS, Ralph LAKE, Simin DADPARVAR a Gholam R. BERENJI, 2012. Clinical utility of ^{18}F -fluoride PET/CT in benign and malignant bone diseases. *Bone* [online]. 50(1), 128-139 [cit. 2021-11-14]. ISSN 87563282. Dostupné z: doi:10.1016/j.bone.2011.09.053