

Univerzita Pardubice

Fakulta zdravotnických studií

Úloha radiologického asistenta při scintigrafii skeletu

Šárka Potočková

Bakalářská práce

2013

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Šárka Potočková**
Osobní číslo: **Z10274**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **Úloha radiologického asistenta při scintigrafii skeletu**
Zadávající katedra: **Katedra informatiky, managementu a radiologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Sběr informací a studium literatury.
2. Stanovení cílů a metod práce.
3. Konzultace s vedoucím práce.
4. Vypracování teoretické části.
5. Vypracování praktické části.
6. Závěrečná diskuze, zhodnocení výsledků práce.

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 35 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

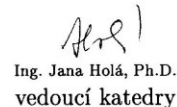
1. ČIHÁK, Radomír. Anatomie 1. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2001, 497 s. ISBN 80-716-9970-5.
2. MERKUNOVÁ, Alena, Miroslav OREL a Martin ŠÁMAL. Anatomie a fyziologie člověka - Pro humanitní obory. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 302 s. ISBN 978-802-4715-216.
3. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, 185 s. ISBN 978-809-0358-492.
4. DIENSTBIER, Zdeněk a Jindřich BROUSIL. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988, 217 s.
5. VYSKOČIL, Václav. Osteoporóza a ostatní nejčastější metabolická onemocnění skeletu. 1. vyd. Praha: Galén, 2009, 507 s. ISBN 978-807-2626-373.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Kulíř
Fakulta zdravotnických studií

Datum zadání bakalářské práce: 1. října 2012
Termín odevzdání bakalářské práce: 9. května 2013


prof. MUDr. Arnošt Pellant, DrSc.
děkan

L.S.


Ing. Jana Holá, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. března 2013

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 1. 5. 2013

Šárka Potočková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat Ing. Jiřímu Kulířovi za vedení mé bakalářské práce, vstřícný přístup a trpělivost. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům z oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové za jejich vstřícné jednání a pomoc při sbírání informací k praktické části mé bakalářské práce.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá úlohou radiologického asistenta při scintigrafii skeletu. Popisuje jedno ze základních vyšetření prováděných na odděleních nukleární medicíny.

Práce je rozdělena na dvě části. Teoretická část obsahuje obecné informace o nukleární medicíně, radiační ochraně, přístrojích používaných v nukleární medicíně, radiologickém asistentovi, patologii. V praktické části je popsán průběh vyšetření na oddělení, kde jsem absolvovala praxi.

KLÍČOVÁ SLOVA

scintigrafie, skelet, radiologický asistent, ionizující záření, scintilační kamera

TITLE

Role of radiology assistant in bone scintigraphy

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with the role of radiology assistant during the skeletal scintigraphy. It describes one of the basic examinations performed at the departments of nuclear medicine.

The thesis is divided into two parts. General information about nuclear medicine, protection against radiation, devices used in nuclear medicine, radiology assistant and pathology can be found in the theoretical part. The practical part describes the process of examination at the department where I completed my internship.

KEYWORDS

scintigraphy, skeleton, radiology assistatn, ionizing radiation, scintillation camera

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	CÍL	12
3	TEORETICKÁ ČÁST	13
3.1	Nukleární medicína	13
3.1.1	Základní fyzikální pojmy	13
3.1.2	Biologické účinky ionizujícího záření	16
3.1.3	Radiační ochrana	20
3.1.4	Přístroje používané v nukleární medicíně	25
3.2	Radiologický asistent	34
3.3	Anatomie kostry	34
3.4	Scintigrafie skeletu	40
3.4.1	Princip metody	40
3.4.2	Radiofarmakum	41
3.4.3	Indikace	42
3.4.4	Kontraindikace	42
3.5	Patologie	43
3.5.1	Nádorová postižení skeletu	43
3.5.2	Nenádorová postižení skeletu	46
4	PRAKTICKÁ ČÁST	58
4.1	Příprava pacienta	58
4.2	Vlastní vyšetření	58
4.3	Zdroje chyb při vyšetření	64
4.4	Výsledky vyšetření	65
5	DISKUZE	68

6	ZÁVĚR	70
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	71
8	PŘÍLOHY	73

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 Přehled stochastických a nestochastických účinků.....	18
Obrázek 2 Křivka průběhu deterministických a stochastických účinků	19
Obrázek 3 Přepočtová tabulka podle hmotnosti.....	24
Obrázek 4 Přehled kolimátorů.....	27
Obrázek 5 Schéma scintilační kamery	28
Obrázek 6 Snímání pomocí SPECT techniky	29
Obrázek 7 Porovnání dvou metod	30
Obrázek 8 Hybridní SPECT/CT gamakamera	31
Obrázek 9 Princip PET.....	33
Obrázek 10 Pozitronová emisní tomografie.....	33
Obrázek 11 Kostra lidského těla.....	39
Obrázek 12 Průběh snímání scintilační kamerou	40
Obrázek 13 Schéma molybden-techneciového generátoru	42
Obrázek 14 Enchondrom v pravém velkém trochanteru.....	43
Obrázek 15 Ewingův sarkom	44
Obrázek 16 Kostní metastázy u karcinomu prostaty.....	45
Obrázek 17 Chronická osteomyelitida mandibuly u 81letého muže.....	46
Obrázek 18 Zlomeniny žeber.	47
Obrázek 19 Aseptická nekróza.....	48
Obrázek 20 Perthesova choroba vlevo u 10letého chlapce	49
Obrázek 21 Ukázka SPECTu kyčlí	49
Obrázek 22 Revmatoidní artritida u 82leté ženy.....	50
Obrázek 23 Oboustranná gonarthróza u 63leté ženy.....	51
Obrázek 24 Bechtěrevova choroba u 23letého muže	52

Obrázek 25 Uvolňování levé endoprotézy kolenního kloubu (žena 65 let)	53
Obrázek 26 Kompresivní zlomenina při osteoporóze (těla obratlů Th 8, Th 9).....	54
Obrázek 27 Oboustranné zlomeniny žeber u osteomalácie.....	55
Obrázek 28 Pagetova choroba u 61letého muže (monoostická forma).....	56
Obrázek 29 Fibrózní dysplazie u 16letého chlapce	57
Obrázek 30 Digestoř.....	59
Obrázek 31 Pomůcky k aplikaci radiofarmaka	60
Obrázek 32 Snímání gamakamerou.....	61
Obrázek 33 Aplikace radiofarmaka u dynamické scintigrafie	62
Obrázek 34 Vyšetření pomocí pin hole kolimátoru u m. Perthes.....	63
Obrázek 35 Kontaminace ponožky močí	64
Obrázek 36 Normální nález.....	65
Obrázek 37 Superscan	66
Tabulka 1 Radiační limity	21
Tabulka 2 Kategorizace pracovišť.....	22
Tabulka 3 Radiační zátěž.....	67

1 ÚVOD

K vypracování své bakalářské práce jsem si vybrala téma Úloha radiologického asistenta při scintigrafii skeletu. Toto vyšetření patří mezi nejběžněji prováděné na odděleních nukleární medicíny. Díky němu můžeme neinvazivní metodou diagnostikovat onemocnění skeletu. Jeho důležitost spočívá především v časném nalezení možných změn kostního metabolismu, které nelze zjistit pomocí jiných vyšetřovacích metod.

Toto vyšetření se nejčastěji provádí při hledání kostní metastáz. Onemocnění, jež metastazují do kostí, jsou především karcinomy prostaty, prsu, plic aj. Pacienti, kteří prodělali některé z těchto a jiných onemocnění, jsou takto preventivně sledováni (primární staging) v určitých intervalech.

Scintigrafie skeletu neslouží pouze k této diagnóze. Dále se zde mohou sledovat např. metabolická onemocnění skeletu, různé nekrózy, kostní nádory, onemocnění kloubů aj.

Do teoretické části jsem zahrnula radiační ochranu, která je velice důležitá nejen pro pracovníky, ale i pro samotné pacienty a okolní obyvatele. Dále je v práci rozebrána problematika spojená s působením ionizujícího záření na živou tkáň. Také je zde zařazena anatomie skeletu. Mezi další důležité věci patří přístroje, na nichž je vyšetření provedeno.

Praktická část obsahuje nejdůležitější bod práce, kde je popsána činnost radiologického asistenta v průběhu celého vyšetření.

2 CÍL

Cílem mé bakalářské práce je zhodnotit činnost radiologického asistenta při scintigrafie skeletu. Pospat jeho práci v průběhu vyšetření. Porovnat místní radiologické standardy z oddělení, kde jsem absolvovala praxi s národními radiologickými standardy.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Nukleární medicína

„Nukleární medicína je obor zabývající se diagnostikou a léčbou pomocí otevřených radioaktivních zářičů aplikovaných do vnitřního prostředí organismu.“ (5 s. 13)

Je to relativně mladý obor. V roce 1913 György Hevesy objevil tzv. stopovací princip, což znamená, že stabilní izotopy reagují stejně jako radioaktivní, které můžeme díky jejich záření snímat detektory. Do medicíny se tato metoda dostala kolem 30. a 40. let 20. století.

Nejprve se začal využívat jód k vyšetření štítné žlázy. V případě kostní scintigrafie se jako první radiofarmakum při studiu používalo ^{45}Ca a ^{32}P , které patří mezi beta zářiče. Byly ovšem obtížně detekované. Počátkem 60. let se klinicky začalo využívat ^{85}Sr -chlorid a později $^{87\text{m}}\text{Sr}$ -chlorid a ^{18}F -fluorid. Tato farmaka však nebyla vhodná díky vysoké energii záření a dalším vlastnostem. Po roce 1971 Subramanian a McAfee uvedli nové radiofarmaka, které také sloužily k zobrazení kostního metabolismu. Jednalo se o fosfátové komplexy značené $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (metastabilní technecium). Nejprve se využíval $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pyrofosfát a poté se až začaly používat nynější osteotropní radiofarmaka. Vyšetření v nukleární medicíně se může provádět buď **in vivo**, kdy radiofarmakum aplikujeme přímo do pacienta nebo **in vitro**, při této metodě se odebere vzorek krve pacienta.

3.1.1 Základní fyzikální pojmy

Radioaktivita je samovolná přeměna nestabilního mateřského jádra na stabilní dceřiné jádro za vzniku ionizujícího záření. Každý radionuklid se přeměňuje určitým typem radioaktivní přeměny.

- **přeměna α** - samovolná přeměna heliových jader ($^4\text{He}_2$). V tomto procesu dojde k odštěpení dvou protonů a dvou neutronů. Takto vzniklý nuklid se v periodické tabulce posune o dvě místa vlevo. Tok alfa částic se označuje záření α . Jsou to těžké pomalu se pohybující jádra. Z tohoto důvodu se jedná o nejméně pronikavé záření (ve tkáni několik μm , ve vzduchu je dolet asi 2-7 cm), které lze odstínit listem papíru.
- **přeměna β^-** - při této přeměně dochází k emisi záporně nabitých elektronů. Dochází k tomu u jader s přebytkem neutronů. Neutron se dělí na proton a elektron, který je

vyzářen z jádra společně s antineutrinem. Dceřiný prvek má o jedno větší protonové číslo. Ve tkáních toto záření dosahuje několik mm a ve vzduchu m. Také je vhodné pro terapii.

- **přeměna β^+** - dochází zde k emisi kladně nabitých pozitronů. Proton se mění na neutron za vzniku pozitronu, který je společně s neutrinem vyzářen z jádra. Dosah pozitronů ve tkáni je asi 3-4 mm. Vzniklý prvek má tedy protonové číslo o jedna menší.
- **elektronový záchyt** – projevuje se to u jader s nedostatkem neutronů. Dochází zde k zachycení elektronu z valenční vrstvy (většinou K nebo L slupka). V jádře se pak elektron spojí s protonem za vzniku neutronu. U vzniklého dceřiného prvku se protonové číslo zmenší o jedna. Prázdné místo po elektronu ve valenční vrstvě se obsadí elektronem z vyšší orbity. Při tomto procesu dochází ke vzniku rentgenového záření.
- **záření γ** – jedná se o nejpronikavější záření. Tvoří ho tok fotonů s malou vlnovou délkou, šíří se rychlostí světla. Ke vzniku záření gama dochází při přechodu jádra z excitovaného stavu do základního. Je doprovázeno emisí záření α a β . Emitované fotony gama záření dosahují přesně daných energií. Ve tkáni má dosah zhruba 10 cm a ve vzduchu několik m. Toto záření můžeme odstínit olovem.
- **Aktivita** – vyjadřuje počet přeměn radioaktivní látky za jednotku času. Jednotka je becquerel – Bq.
- **Poločas přeměny ($T_{1/2}$)** – nám určuje dobu, za kterou se nám přemění právě polovina radionuklidu.

Interakce ionizujícího záření s hmotou

Každé záření reaguje s hmotou jiným způsobem. Podle náboje částice rozdělujeme ionizující záření na dvě skupiny. **Přímo ionizující záření** je složeno z částic s elektrickým nábojem, díky kterým vzniká iont. Při interakci s hmotou dochází k její ionizaci. Jedná se o α a β záření. Druhým typem je **nepřímo ionizující záření**, které je sestaveno z částic bez náboje. Tyto částice dají svojí energii částicím s nábojem a ty potom sekundárně ionizují látku. Do této kategorie patří γ záření, X záření nebo neutronové.

Interakce záření β^- , při které dochází k průniku elektronů do hmoty a její následné excitaci nebo ionizaci. Díky tomu mění elektron svůj směr. Může zde dojít ke vzniku brzdného záření. *„Je to elektromagnetické záření a počet vzniklých fotonů je závislý na energii elektronů a protonovém čísle prostředí. Brzdné záření má spojité spektrum energií a uplatňuje se při vyšších energiích elektronů.“* (5 s. 21)

Interakce záření β^+ , při níž dochází k průniku pozitronů do látky. Ty se pohybují obdobně jako elektrony. Pozitron je antičástice elektronu. Když pozitron ztratí svojí energii a setká se s elektronem, dojde k jejich anihilaci. Po jejich styku se změní na dva fotony o energiích 511 keV a rozletí se do protilehlého směru pod úhlem 180° .

Interakce záření γ , při tomto působení dochází především k fotoefektu, Comptonovu rozptylu nebo tvorbě elektron-pozitronového páru. *„Uplatnění jednotlivých mechanismů je závislé na energii záření gama a na objemové hmotnosti prostředí. Obecně platí, že u nižších energií převažuje fotoefekt, při vyšších Comptonův rozptyl a pro energie větší než 1 MeV se začíná uplatňovat tvorba párů.“* (5 s. 21) U **fotoefektu** dojde k absorpci fotonu elektrickým obalem, kde foton předá svou energii elektronu z vnitřní vrstvy. A tím dochází k uvolnění elektronu. Na jeho místo se přesune elektron ze vzdálenější slupky a je vyzářeno charakteristické X záření. Další jev, který může probíhat je **Comptonův rozptyl**. V tomto případě foton může předat jen část nebo celou svou energii elektronu. Když odevzdá pouze část své energie, tak může dojít k dalšímu rozptylu anebo k fotoefektu. Toto probíhá do té doby, než foton ztratí svou energii a zmizí. Třetí možností interakce je **tvorba elektron-pozitronového páru**. Tady dochází k úplné absorpci fotonu v okolí jádra, který je nahrazen elektronem a pozitronem. Tyto částice postupně ztrácejí svojí energii. Může zde dojít k anihilaci.

3.1.2 Biologické účinky ionizujícího záření

Procházející gama fotony můžou s tkání reagovat fotoefektem nebo Comptonovým rozptylem. Je také možné, že s tkání reagovat vůbec nebudou, protože zde neproběhne absorpce fotonů.

Při zachycení záření v těle dochází k excitaci nebo ionizaci makromolekul. Může k tomu dojít přímo v buňce DNA (kyselina deoxyribonukleová). Tato fáze se označuje jako **fyzikální**. Další stadiem je **fáze chemická**. Při níž může docházet k radiolýze vody a tak ke vzniku radikálů $H\cdot$ a $OH\cdot$. Ty pak mohou reagovat s DNA a poškodit ji. Třetí je **biologická fáze**, která může trvat měsíce až roky. Tady vznikají změny na buňce (morfologické a funkční).

Na dvoušroubovici kyseliny deoxyribonukleové mohou vznikat zlomy jednoho vlákna nebo obou vláken. Dvojitě trhliny nastávají při nárazu velkých částic ionizujícího záření. Většinou se jedná o částice s vysokým lineárním přenosem energie (LET – linear energy transfer). LET je energie nabitě částice, která projde látkou a předá elektronům svou energii za jednotku dráhy, kterou částice urazí. Do této skupiny patří alfa záření a neutronové. Ke zlomům jednoho vlákna dochází při průletu částic s nízkým LET (gama záření, rentgenové záření, elektrony). V případě dvojitých zlomů většinou nadchází buněčná smrt. Díky enzymatickým procesům je možné, že se buňka zreparuje nebo zmutuje. Toto nastává spíše u méně poškozených buněk (zlom jednoho vlákna).

Při působení ionizujícího záření na organismus určujeme tzv. **absorbovanou dávku**, která se značí písmenem D a její jednotka je Gy ($J \cdot kg^{-1}$). Je to vlastně energie ionizujícího záření přijatá tkání na jednotku hmotnosti ozářené tkáně.

Každá buňka je jinak vnímavá (radiosenzitivní) k ionizujícímu záření. Nejvíce radiosenzitivní jsou především málo diferencované nebo nediferencované buňky, které se rychle dělí (např. kmenové buňky krvetvorby, spermatogonie). Naopak radiorezistentní jsou nervové buňky, svaly, kosti.

Na základě těchto věcí způsobí ionizující záření v organismu deterministické nebo stochastické účinky.

Deterministické účinky – jsou prahové. Vznikají při určité dávce záření, kterou absorbuje organismus. Dávkový práh je pro každou tkáň jiný. Po překročení určité meze vznikají nemoci z ozáření. Čím dříve po ozáření přijdou příznaky, tím jsou intenzivnější a prognóza horší. Nejprve nastupuje **fáze prodromální**, jenž se vyznačuje bolestmi hlavy, nauzeou, zvracením, průjmy, horečka, aj. Probíhá zde symptomatologická léčba. Další fází je **období latence**, které je u každé formy odlišné a také záleží na množství absorbované dávky. Čím byla větší, tím je i kratší období latentního stádia. Poslední **manifestní etapa** je už úplný rozvoj onemocnění. Při celotělovém ozáření vznikají 3 typy akutních nemocí z ozáření.

- **dřeňová forma** – prahová dávka pro vyvolání této formy je 3 až 4 Gy. Lehké formy můžeme pozorovat i u dávky 1 Gy. Dochází zde k útlumu krvetvorby. Prodromální příznaky jsou zde nauzea, zvracení, průjem dehydratace. Po latentní fázi může docházet ke krvácení do sliznic. Při nižší dávkách dojde po 6 až 8 týdnech ke zlepšení stavu pacienta.
- **gastrointestinální forma** – vzniká při dávce 6 až 10 Gy. Jedná se o velmi vážné až smrtelné onemocnění. Je zde přítomna i dřeňová forma, pakliže nemocný přežije 7 až 10 dní. Prodromální fáze nastupuje okolo 4 až 7 dní. U pacienta se objevují průjmy s příměsí krve, proděravění střeva.
- **neurovaskulární forma** – kdy při dávce 20 Gy nastává metabolický rozvrat, srdeční zástava. U dávek větších než 50 Gy se pacient cítí dezorientovaný a zmatený. Může upadnout do bezvědomí. Jedná se o letální dávku pro organismus.

Dále je uvedeno poškození některých orgánů a jejich mezní hodnoty.

- **radiační dermatitis** – vzniká při kontaktu zářiče s pokožkou. Může zasahovat do hlubších vrstev kůže. Má 3 fáze.
 - **erytematózní dermatitis** – kde je mezní hranice 2 až 4 Gy. Období, kdy nejsou vidět příznaky, trvá okolo 2 až 4 týdnů. Projevuje se místním zarudnutím. Po dávce 3 Gy dochází k stálému odchlupení pokožky.
 - **deskvamativní dermatitis** – dávka musí být přibližně 20 Gy. Po pár hodinách se na kůži objevuje erytém. Období latence je zde

asi 2 až 3 týdny. Pak může vzniknout pokročilý erytém, který zasahuje do hlubších vrstev. Formují se puchýře.

- **nekrotická forma dermatitidy** – vzniká při více než 50 Gy. U tohoto typu dochází až ke tvorbě vředů.
- **chronická radiační dermatitis** – vzniká při soustavném vystavování kůže ionizujícímu záření. Mezní dávka se zde uvádí okolo 30 až 50 Gy.
- **katarakta (zákal oční čočky)** – může se objevit po dávce kolem 1,5 až 2 Gy na oční čočku.
- **poškození fertility** – 0,1 až 0,3 Gy u mužů způsobuje částečně sníženou produkci spermií. Když dojde k vystavení se dávce větší než 3 Gy, nastane trvalá sterilita. U žen dochází k trvalé neplodnosti při dávkách 2,5 až 8 Gy v 60 až 70%.

Stochastické účinky – jsou to pozdní účinky, které mohou, ale nemusí vzniknout při vystavení organismu ionizujícímu záření. Není pro ně žádný dávkový práh. Se zvětšující se dávkou vzniká i vyšší pravděpodobnost stochastických účinků. Pravidelným vystavováním záření se dávky přičítají. Vlivem ionizujícího záření mohou vznikat různé mutace v organismu, které mohou být dědičné a tím mohou zapříčinit vznik zhoubných nádorů.

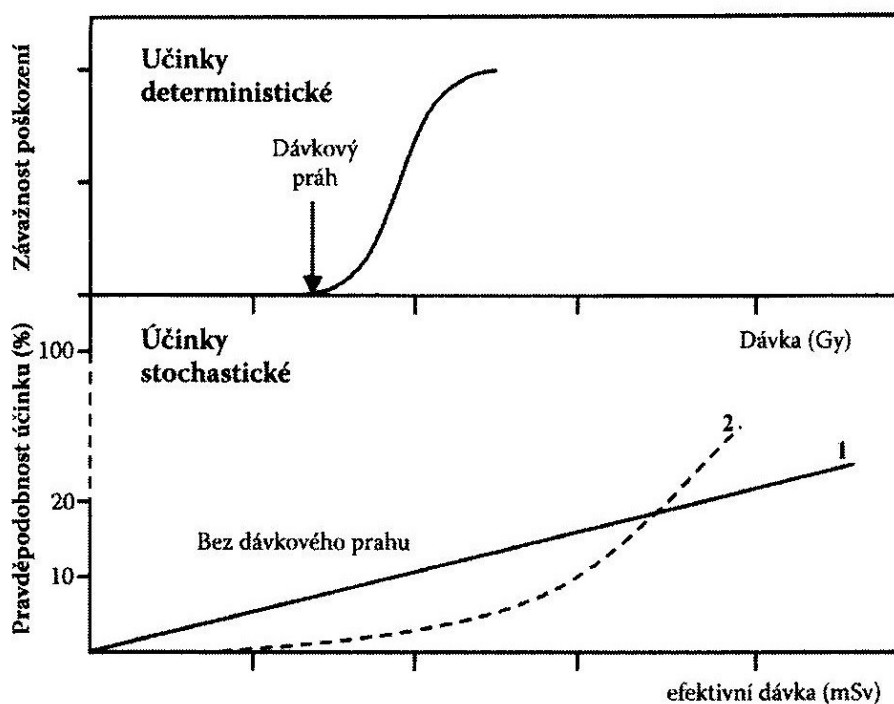
Vliv ionizujícího záření

časné účinky	pozdní účinky		
	somatické účinky		genetické
akutní nemoc z ozáření akutní lokální poškození akutní dermatitis poškození kostní dřevě poškození fertility	nenádorové pozdní změny chronická dermatitida zákal oční čočky	nádorová onemocnění	genetické změny
poškození vyvíjejícího se plodu			
nestochastické účinky		stochastické účinky	

Obrázek 1 Přehled stochastických a nestochastických účinků¹

¹KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, Příloha XIV.

V následujícím obrázku jsou porovnány křivky u deterministických a stochastických účinků. V horním grafu křivka roste se stoupající dávkou. Čím je větší dávka, tím více je organismus poškozen. Na dolním grafu je křivka s lineárním nárůstem. To znamená, že postupným vystavováním ionizujícího záření se nám dávky načítají a roste pravděpodobnost vzniku stochastických účinků. Je však možné, že určitá dávka radiace je pro organismus prospěšná. To nám značí druhá přerušovaná křivka.



Obrázek 2 Křivka průběhu deterministických a stochastických účinků²

² KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, s. 24.

3.1.3 Radiační ochrana

Pracoviště nukleární medicíny se musí řídit podle zásad, které jsou sepsány v **zákoně č. 18/1997 Sb.** (atomový zákon – o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření) a **vyhlášce č. 307/2002 Sb.** (o radiační ochraně) v poslední aktualizaci (č. 389/2012 Sb.).

Dohled nad pracovišti s radionuklidovými zdroji má Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Každé pracoviště musí být držitelem povolení, aby mohlo vlastnit a manipulovat se zdroji ionizujícího záření.

„Cílem radiační ochrany je zcela vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a omezit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků na míru přijatelnou pro jednotlivce a společnost.“ (5 s. 26) Je důležité řídit se určitými zásadami, abychom docílili správné ochrany před ionizujícím zářením. Z tohoto důvodu byl zaveden tzv. princip ALARA (As Low As Reasonably Achievable – tak nízké, jak je rozumně dosažitelné). Ten zahrnuje tři zásady. První je **princip zdůvodnění**, kdy se rozmyšlíme nad tím, zda přínos vyšetření převáží vzniklá rizika pacientovi. Další je **princip optimalizace**. To znamená, že se snažíme dát co nejmenší dávku záření, která je možná, ale za nesnížení kvality obrazu. Poslední je **princip nepřekročení limitů**, který nám říká, že bychom neměli překročit stanové limity.

Ke kontaktu se zářením můžeme přijít v profesi, díky lékařskému ozáření nebo z přirozeného pozadí. Profesionální expozice zahrnuje vystavování se radiaci při výkonu své práce. Do lékařského ozáření spadají pacienti, kteří jsou vyšetřováni metodami s použitím ionizujícího záření. Pouze tento typ ozáření nepodléhá třetímu principu nepřekročení limitů.

Následujícím důležitým bodem je rozdělení zářičů na otevřený a uzavřený zářič. V nukleární medicíně jsou především otevřené zdroje. Jedná se o radionuklidy, které nejsou zabezpečeny tak, aby nemohlo dojít k úniku do okolí. Tyto zářiče mohou být v kapalně nebo plynné podobě a jsou pouze odstíněny olověnými kryty. Uzavřené zářiče jsou zabezpečeny tak, aby nemohlo dojít k úniku radionuklidů.

Radiační limity

„Limity se vztahují na dávky způsobené jak zevním ozářením ze zdrojů mimo tělo, tak i vnitřním ozářením z radionuklidů vniklých do těla při vnitřní kontaminaci.“ (5 s. 27) Jejich základní rozdělení je na limity pro obyvatelstvo, limity pro radiační pracovníky, limity pro učně a studenty. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka 1 Radiační limity³

	Limity		
	Obecné	Pro radiační pracovníky	Pro učně a studenty
Součet efektivních dávek za rok	1 mSv	50 mSv	6 mSv
Součet efektivních dávek za 5 let po sobě jdoucích	5 mSv	100 mSv	-
Ekvivalentní dávka v oční čočce za rok	15 mSv	150 mSv	50 mSv
Průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm ² kůže za rok	50 mSv	500 mSv	150 mSv
Ekvivalentní dávka pro končetiny za rok	-	500 mSv	150 mSv

V tabulce máme uvedeny hodnoty efektivní a ekvivalentní dávky.

Efektivní dávka (E) – se zjišťuje ze součtu součinu tkáňových váhových faktorů w_T a ekvivalentní dávky H_T . Jednotka je tady sievert – Sv (J/kg).

Ekvivalentní dávka (H_T) – nám udává součin radiačního váhového faktoru w_R (pro α a neutrony je 20, pro β a γ je 1) a střední absorbované dávky D_{TR} . Jednotka je sievert – Sv (J/kg).

- Ekvivalentní dávka pro končetiny se stanovuje na oblast, která je od prstů po předloktí (pro ruce) a od chodidel po kotníky (pro nohy).

³ ČESKO Vyhláška č. 307 ze dne 13. června 2002 Vyhláška o radiační ochraně. Dostupný z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307_po_novele.pdf

Kategorizace pracovišť

Pracoviště se dělí do 3 kategorií podle zdrojů, které se zde používají. Do I. kategorie patří např. kostní denzitometr nebo pracoviště se zubním rentgenem. II. kategorii náleží rentgeny, které jsou použity v radiodiagnostice nebo radioterapii. III. kategorie zahrnuje radioterapii. Oddělení nukleární medicíny většinou spadá do II. kategorie, protože pracují s jednoduchými zdroji. Lůžková část tohoto oddělení, kde se provádí terapie ^{131}I , patří do III. kategorie.

Tabulka 2 Kategorizace pracovišť⁴

Kategorie pracoviště	Zdroje	Používaná zařízení nebo metody	Obor
I. kategorie	jednoduché	kostní denzitometr zubní rentgen kabinový rentgen provádění testů RIA	radiodiagnostika diagnostika v NM
II. kategorie	jednoduché	různá rentgenová zařízení, CT generátory ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$	radiodiagnostika radioterapie diagnostika v NM
III. kategorie	významné	urychlovače ozařovače s uzavřenými zářiči otevřené zářiče ^{131}I	radioterapie radionuklidová terapie v NM

Dále se v těchto prostorech vymezuje tzv. sledované a kontrolované pásmo. **Sledované pásmo** je stavebně oddělená část prostoru, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 1 mSv ročně. Tento úsek se vymezuje ve všech kategoriích a musí být označen znakem radiačního nebezpečí a upozorněním. Zde probíhá většinou pouze monitorování pracoviště. **Kontrolované pásmo** je úsek, kde může dojít k efektivní dávce vyšší než 6 mSv. Toto pásmo je také stavebně oddělené a zabezpečené před vniknutím nepovolané osoby. Nesmí se vstupovat těhotné ženy a osoby mladší 18 let, vyjma pacientů. Mohou zde pracovat jen pracovníci kategorie A.

⁴ HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého, 2009, s. 51.

Monitorování pracovníku, pracovního prostředí a okolí pracoviště

Na odděleních nukleární medicíny jsou pracovníci kategorie A (radiologický asistent), kteří jsou opatřeni dozimetry. Jedná se o dozimetry filmové, které se nechávají vyhodnocovat vždy jednou za měsíc. Každý pracovník nosí dozimetr na referenčním místě, což je levá strana hrudníku (prekordium). Díky nim se nechá měřit osobní dávkový ekvivalent. V případě, že radiologický asistent je vystaven většímu záření na oblast rukou, je vybaven i prstovým termoluminiscenčním dozimetrem (prstýnkem). Pracovníci v ionizujícím záření musí být sledováni pomocí lékařských prohlídek. Máme vstupní, periodické, mimořádné a výstupní kontroly.

Jelikož zde může dojít ke kontaminaci zevní nebo vnitřní, musí se pracovníci po odchodu z práce přeměřit pomocí detektoru. Vnitřní kontaminace nejčastěji vzniká vdechnutím či požitím. Nejčastějším radionuklidem, který se může dostat do ovzduší je ^{131}I . Když s ním přijdeme do styku, měli bychom se přeměřit detektorem, který se přikládám přímo ke štítné žláze. K zevní kontaminaci může docházet nesprávnou manipulací s radiofarmakem (např. potřísnění apod.).

Po každém pracovním dni je nutné zkontrolovat prostředí, které přišlo do styku s radioaktivními látkami (kontaminace povrchů). Pomocí Geiger-Müllerova detektoru zjišťujeme dávkový příkon záření.

Dále musíme sledovat výпустě. Abychom mohli nechat odejít radioaktivní látky do volné přírody, musí splňovat určité hodnoty. Tudíž máme i hodnoty objemové aktivity pro měření odpadní vody.

Radiační ochrana pracovníku

Jelikož je pracovník vystavován soustavnému záření musí dodržovat určité pravidla pro ochranu jeho zdraví. Toho dosáhne pomocí 3 postupů. Za prvé je důležitá **ochrana vzdáleností**, kdy se pracovník snaží být od zářiče dál, protože intenzita záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti. Proto při manipulaci s radioaktivními látkami používáme pinzety apod. Poté co je pacient naaplikován zase se snažíme být od něho trochu vzdáleni. Dalším je **ochrana časem**. Snažíme se pracovat rychle, abychom nebyli tak dlouho vystavováni záření. Poslední metodou je **ochrana stíněním**. Tady je důležité, aby každé radiofarmakum bylo stíněno olověným krytem anebo wolframovým.

Radiační ochrana pacientu

Ochrana pacientů spočívá v tom, že v případě, kdy je možné vyšetřit pacienta jiným způsobem než použitím ionizujícího záření, měli bychom ho použít (ultrazvuk, magnetická rezonance). Dále bychom neměli aplikovat zbytečně vysoké dávky. Zkontrolovat zda přístroje správně fungují, aby neudělaly chybné obrazy.

Diagnostická referenční úroveň

Diagnostická referenční úroveň nám udává optimální dávku pro dospělého pacienta o hmotnosti 70 kg. Tato dávka by se neměla překračovat, ale zároveň není limitem. U vyšetřovaných s vyšší hmotností nebo naopak s nižší je dávka upravena. V případě dětí tyto hodnoty nejsou určeny, proto se vypočítávají z hodnot pro dospělé. Níže je uvedena převodová tabulka pro děti podle hmotnosti.

Aktivita (^{99m}Tc)-MDP k aplikaci dětem dle tělesné hmotnosti jako podíl dávky pro dospělé (740MBq/70kg)

3 kg = 0,1	75 MBq	18 kg = 0,44	325 MBq	34 kg = 0,68	500 MBq	50 kg = 0,88	650 MBq
4 kg = 0,14	103 MBq	20 kg = 0,46	340 MBq	36 kg = 0,71	525 MBq	52-54 kg = 0,90	665 MBq
6 kg = 0,19	140 MBq	22 kg = 0,50	370 MBq	38 kg = 0,73	540 MBq	56-58 kg = 0,92	680 MBq
8 kg = 0,23	170 MBq	24 kg = 0,53	390 MBq	40 kg = 0,76	560 MBq	60-62 kg = 0,96	710 MBq
10 kg = 0,27	200 MBq	26 kg = 0,56	415 MBq	42 kg = 0,78	580 MBq	64-66 kg = 0,98	725 MBq
12 kg = 0,32	235 MBq	28 kg = 0,58	430 MBq	44 kg = 0,80	590 MBq	68 kg = 0,99	733 MBq
14 kg = 0,36	270 MBq	30 kg = 0,62	460 MBq	46 kg = 0,82	605 MBq		
16 kg = 0,40	300 MBq	32 kg = 0,65	480 MBq	48 kg = 0,85	630 MBq		

zdroj: SPC, EANM

Obrázek 3 Přepočtová tabulka podle hmotnosti⁵

⁵ ONM HK

3.1.4 Přístroje používané v nukleární medicíně

Scintilační kamera - gamakamera

V roce 1958 byla zhotovena první scintilační kamera, kterou vyrobil Hal Oscar Anger. „V počátečních experimentech používal jednootvorový kolimátor a scintilace v tenkém krystalu většího průměru exponoval na fotografickou desku. Rozhodující zdokonalení dosáhl tím, že ke krystalu přiložil fotonásobiče (původně 7 fotonásobičů), které snímaly záblesky ve scintilačním krystalu a převáděly je na elektrické impulsy, které se elektronicky vyhodnocovaly.“ (13)

Scintilační kamera je základní přístroj používaný v nukleární medicíně. Skládá se z kolimátoru, scintilačního krystalu, fotonásobiče, elektronické aparatury, počítače. V dnešní době se většinou používá dvouhlavá gamakamera, což znamená, že je opatřena dvěma detektory. Scintilační detektory mají velkou senzitivitu pro gama záření.

Prvním místem kudy prochází ionizující záření je **kolimátor**, který nám do určité míry ovlivňuje obraz. „Jeho úkolem je provést co nejdokonalejší projekci distribuce radioaktivity ve vyšetřovaném objektu pomocí záření γ do roviny velkoplošného scintilačního krystalu.“ (13) Je to deska s velkým počtem otvorů různé velikosti, tvaru a směrů. Je vyrobena z olova, popřípadě wolframu. Funkce kolimátoru je taková, že nám definuje orientaci dopadajících fotonů na krystal. Fotony, které letí jiným směrem než je otvor kolimátoru jsou zachytávány v přepážkách mezi otvory. Podle námi zvoleného kolimátoru se ovlivňuje rozlišení a citlivost získaného obrazu. Rozdělují se podle konfigurace otvorů, podle energie záření gama a podle rozlišení a citlivosti.

Podle konfigurace otvorů:

- **kolimátor s paralelními otvory** – nejvíce používaný, jehož obraz je stejný jako ve skutečnosti.
- **kolimátor konvergentní** – otvory se sbíhají do bodu (ohniska). Kolimátor vytváří zvětšený obraz (dříve se užívaly při zobrazení např. srdce).
- **kolimátor divergentní** – otvory se rozbíhají. Obraz máme zmenšený. Jeho použití je u malého zorného pole scintilační kamery (využití ke scintigrafii plic). Dnes už se běžně neužívá.

- **kolimátor Pinhole** – má pouze jeden otvor o průměru 3 až 5 mm. Detekuje nám pouze malý prostor, ale s vysokým rozlišením. Čím menší je vzdálenost detektoru od pacienta, tím je větší zvětšení. Nejčastěji se používá k zobrazení štítné žlázy (ve skeletu na Perthesovu chorobu).
- **kolimátor fan beam** – speciální kolimátor, který je v transverzální rovině konvergentní a v axiální je paralelní. Tento typ nám zajišťuje vysoké rozlišení i ve větší vzdálenosti od pacienta. Zaručuje nám také vyšší citlivost než kolimátor s paralelními otvory. Jeho využití je při SPECT mozku.

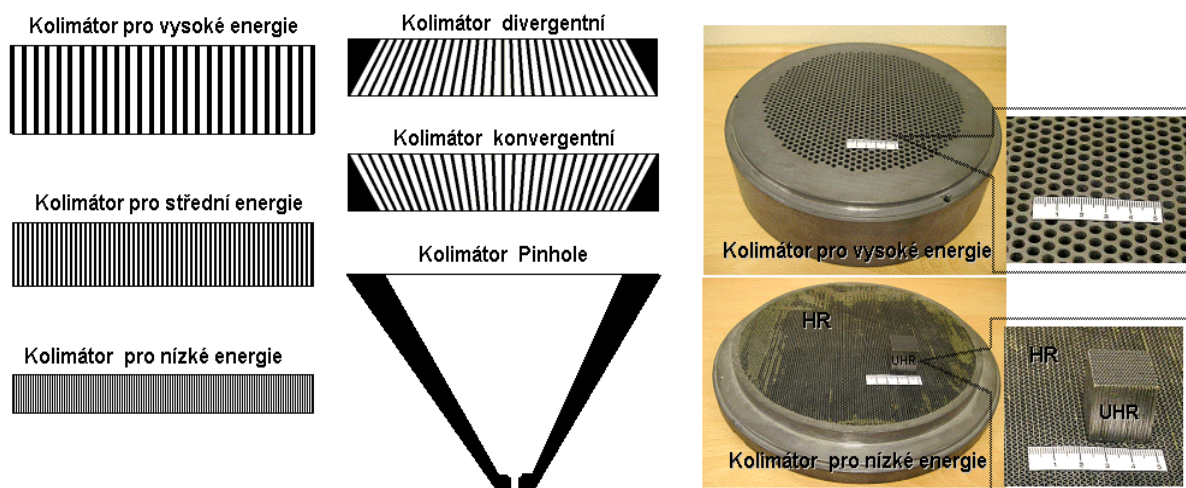
Podle záření gama:

- **kolimátor pro vysoké energie** (HE – High Energy) – jeho konstrukce musí být masivní. Má menší počet větších otvorů. Dnes se nepoužívá.
- **kolimátor pro střední energie** (ME – Medium Energy) – konstrukce je mohutnější (přepážky 2-3 mm). Používá se pro ^{131}I .
- **kolimátor pro nízké energie** (LE – Low Energy) – přepážky jsou asi 0,2 až 0,5 mm. Má vysoký počet otvorů. Využívá se pro $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (140 keV).

Nízkoenergetické kolimátory jsou dále rozděleny podle rozlišení a citlivosti:

- **kolimátor s vysokou účinností** (HS – High Sensitivity) – má krátké a větší otvory, tenké přepážky. Rozlišení je horší.
- **kolimátor s vysokým rozlišením** (HR – High Resolution) – otvory jsou delší a drobnější (1 až 2 mm). Přepážky jsou tenké (0,2 až 0,4 mm).
- **kolimátor s ultra-vysokým rozlišením** (UHR – Ultra High Resolution) – dlouhé a hodně malé otvory (1 mm). Přepážky jsou velice tenké (0,1 až 0,2 mm).
- **kolimátor s vhodným kompromisem mezi rozlišením a citlivostí** (LEAP) – má univerzální využití.

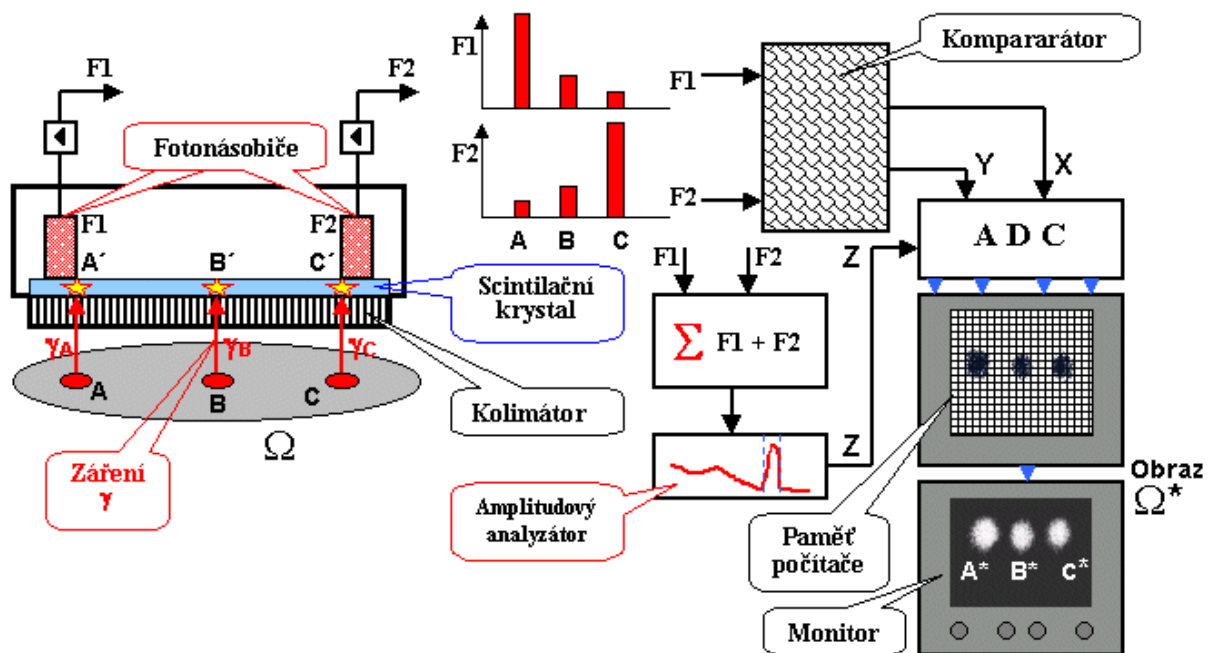
Nejběžnější typ užívaného kolimátoru je LEHR. Je kolimátor s paralelními otvory, vysokým rozlišením a nízkou citlivostí.



Obrázek 4 Přehled kolimátorů⁶

Z kolimátoru postupuje záření na **krystal**, který je zhotoven z jodidu sodného aktivovaného thaliem NaI(Tl). Díky thaliu dochází k vyšší luminiscenci. Obvyklý tvar krystalu je obdélník o rozměrech 40 až 50 cm a tloušťce 12,7 mm nebo 9,5 mm. Ke krystalu jsou připevněny **fotonásobiče** (60-90), které z něho převádějí světelné fotony. Světelné fotony dopadající na fotokatody fotonásobičů jsou zde přeměněny na fotoelektrony, které následně dopadají na dynody. Tady dochází k emisi sekundárních elektronů. Na každé další dynodě se počet zvětšuje, až na anodu doletí cca 10^6 elektronů. Se vzrůstajícím napětím mezi fotokatodou, dynodami a anodou nabývají elektrony vyšší rychlosti a tím dochází k vytváření dalších sekundárních elektronů. Z fotonásobiče získáme elektrické impulsy, které se potom zesílí jejich amplituda v **zesilovači**. Odtud se dále dostávají do **amplitudového analyzátoru**. Je to elektronický obvod, který nám vymezuje, jaké energie fotonů bude snímat. Třídí se podle výšky. Nakonec se impulsy dostávají do vyhodnocovacího zařízení.

⁶ ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>



Obrázek 5 Schéma scintilační kamery⁷

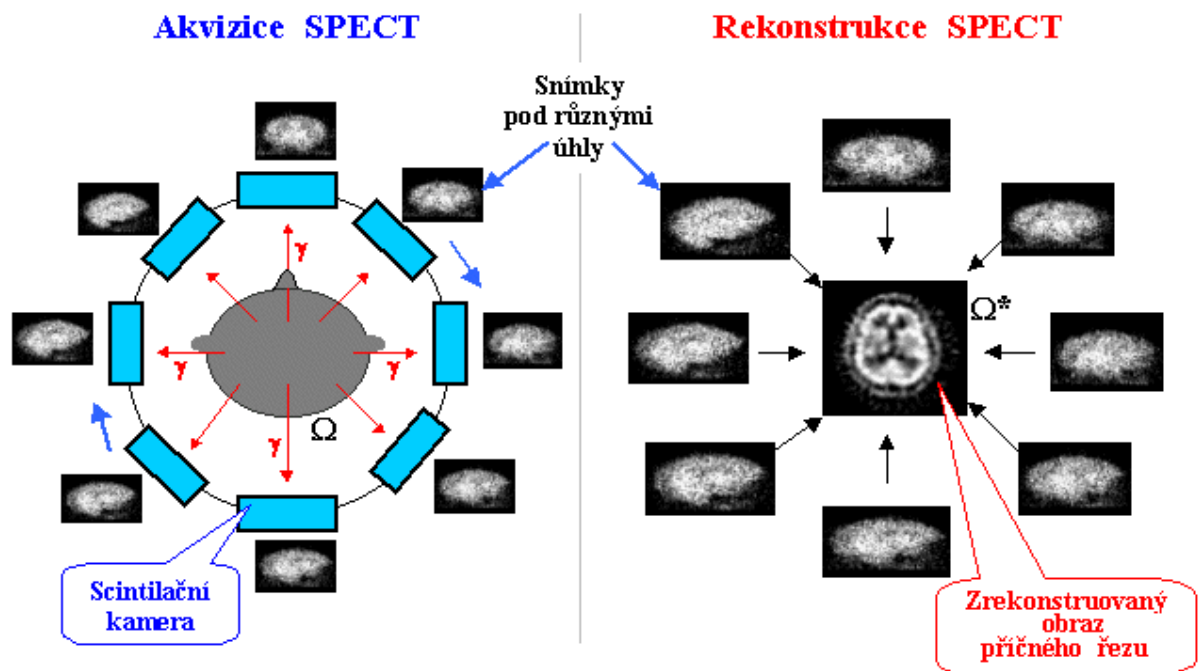
⁷ ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

Jednofotonová emisní tomografie – SPECT

Jedná se o speciální typ vyšetření. Díky SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) dokážeme získat trojrozměrné obrazy, které vypovídají o skutečné poloze námi hledaného ložiska. Oproti planární scintigrafii mají i vyšší kontrast. Používá se na vybranou oblast pacienta. Pomocí této metody vyrábíme statické snímky, protože pro dynamiku není SPECT dost rychlý.

Provádí se na scintilační kameře, na jejíž gantry se mohou připevněné detektory pohybovat dokola. Většinou je kamera opatřena dvěma detektory. Používá se zde kolimátor s vysokým rozlišením. Při vyšetření se kamera otáčí kolem pacienta a po určitých úhlech dochází ke snímání aktivity nad pacientem. Otočení detektorů je až o 360° , tímto způsobem získáme 32 nebo 64 obrázků. Rotace probíhá plynule nebo krokově. Můžeme nastavit, po kolika stupních chceme, aby se detektory zastavili a zde snímali. Tento typ se používá nejčastěji.

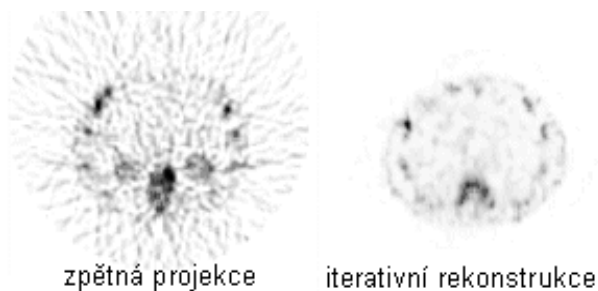
Radiofarmaka se zde používají stejná jako při planární scintigrafii.



Obrázek 6 Snímání pomocí SPECT techniky⁸

⁸ ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

Po nasbírání obrazů do počítače dochází k jejich rekonstrukci. Ta se může provádět dvěma způsoby. První metoda je **filtrovaná zpětná projekce**, která je tvořena dvěma kroky. „Při jednoduché zpětné projekci je informace obsažena v jednom pixelu každého obrazu (projekce) přenesena do všech pixelů v paměti počítače nacházející se v přímce kolmé k rovině detektoru. Výsledkem je obraz zájmové oblasti, který sice správně naznačuje lokalizaci lézí v ní se nacházejících, ale bohužel „rozmažán“ v důsledku tzv. „hvězdicového“ artefaktu. V druhém kroku se pomocí digitálního obrazového filtru potlačí „hvězdicovitý“ artefakt, čímž obraz zájmové oblasti velmi přiblíží k zobrazovanému objektu.“ (7 s. 41) Vzniká obraz s vyšším šumem. Druhý postup je **iterativní rekonstrukce**, která se v dnešní době nejvíce používá. Spočívá ve vyhledávání přibližně stejných obrazů, jako jsou obrázky, které byly při vyšetření nasnímány z různých úhlů. Tato metoda má několik bodů. „Jako nultá aproximace se volí obraz získaný při zpětné projekci, který se podobá již skutečnému obrazu hledanému iterativní rekonstrukcí, příp. může být voleno i prázdné pole. Ve druhém kroku se porovnávají matematicky simulované (odhadnuté) projekce tohoto obrazu se skutečně nasnímanými projekcemi zobrazované oblasti pod jednotlivými úhly a stanoví se příslušné odchylky pro jednotlivé pixely obrazu. Ve třetím kroku se na základě těchto diferencí opraví obsah pixelů obrazu, čímž se dostane I. aproximace. Druhý a třetí krok se cyklicky opakují, čímž vzniká II., III. a další aproximace, které postupně stále přesněji vystihují skutečnou distribuci radiofarmaka v zobrazované vrstvě (řezu).“ (7 s. 42) Touto rekonstrukcí získáme obraz s menším šumem. Nedochozí tady k vytváření „hvězdicovitých“ artefaktů. Také zde dochází ke korekci nežádoucích fyzikálních dějů.



Obrázek 7 Porovnání dvou metod⁹

⁹ ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

Technologie SPECT může být doplněn o CT (transmisní počítačová tomografie), pak nám vzniká **hybridní systém SPECT/CT**. Po dokončení klasické emisní tomografie dochází hned ještě k CT vyšetření. Transmisní počítačová tomografie zde může být plnohodnotná, která poměrně zvyšuje radiační zátěž pacienta. Některé soustavy jsou však vybaveny low-dose CT, jenž je založeno na nižší intenzitě rtg záření. V tomto případě je radiační zátěž pro pacienta podstatně menší. V průběhu CT vyšetření dochází k rychlému otáčení detektorů kolem pacienta. Díky této metodě získáváme kromě funkce orgánu také jejich anatomii.



Obrázek 8 Hybridní SPECT/CT gamakamera¹⁰

¹⁰ NEMOCNICE NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ. *Oddělení nukleární medicíny: Nová gamakamera na oddělení nukleární medicíny* [online]. 22. 2. 2008 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://www.nnm.cz/2011/?id=oddeleni_nuk_o

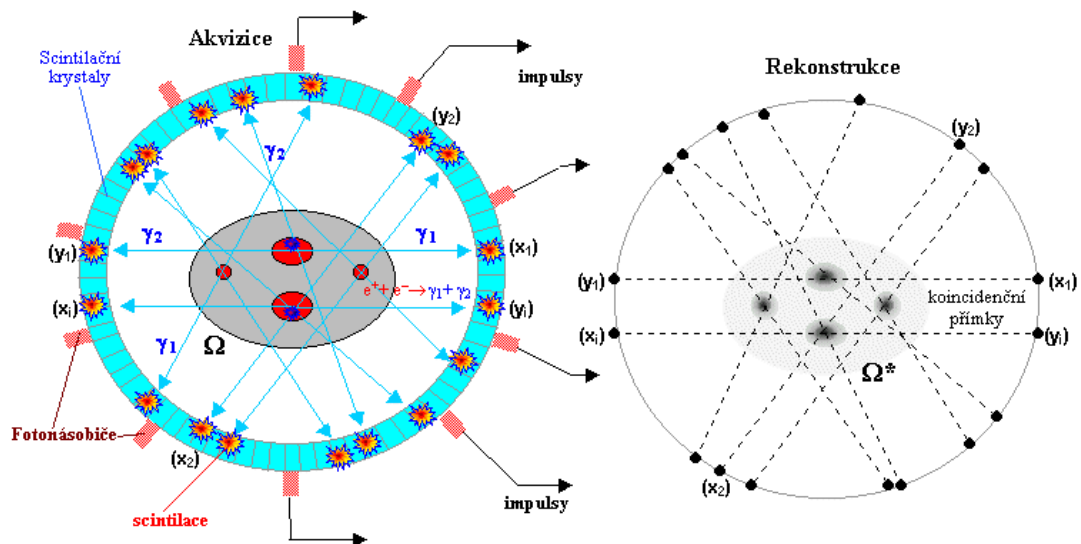
Pozitronová emisní tomografie – PET

V současné době je PET nejlepší metodou pro zobrazení funkce organismu. Touto technikou dokážeme zobrazit radioaktivně označené tkáně trojrozměrně. Celé to je založeno na přeměnách β^+ , při kterých z protonů vznikají neutrony a emitují se pozitrony. Důležité jsou zde právě pozitrony. U dvou pozitronů dochází k anihilaci a vzniku fotonů o energii 511 keV. Fotony se rozletí pod úhlem 180° . Současně musí dojít k zachycení obou kvant na protilehlých detektorech, protože jinak nejsou detekovány. Jen v určité oblasti dochází k registraci fotonů. Fotony dopadající na detektory mimo tento koincidenční prostor nejsou zaznamenávány.

Jelikož energie anihilačních fotonů je vysoká, je zapotřebí speciálních scintilačních detektorů. Dříve se zde používala germaniová sůl bismutu (BGO) a fluorid barnatý, dnes je to LSO nebo GSO. Snímání fotonů probíhá jen v určeném okénku, kde je možno je zaznamenat. Detektory jsou uskupeny do prstenců a jsou stacionární. Toto zařízení nevyužívá klasických kolimátorů, ale elektronické kolimaci, která nám umožňuje vyšší citlivost.

Při tomto vyšetření je zapotřebí speciální radiofarmakum. Nejčastěji se používá ^{18}F -FDG (fluorodeoxyglukóza).

I k PET může být přidáno CT a tím vzniká **hybridní systém PET/CT**. Klasická počítačová tomografie nám zobrazí anatomické struktury a pozitronová emisní tomografie zase funkci jednotlivých orgánů. Nejprve se provádí CT a pak PET. Poté dojde k sfúzování obou obrazů a získání výsledného.



Obrázek 9 Princip PET¹¹



Obrázek 10 Pozitronová emisní tomografie¹²

¹¹ ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

¹² DOLEŽAL, Jiří. *Fyzika* [online]. 2012, 16. 10. 2012 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

3.2 Radiologický asistent

Radiologický asistent je zdravotnický pracovník. Může pracovat na odděleních radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny. Tito pracovníci se zařazují buď do kategorie A nebo B. Pracující v kategorii A jsou ti, kteří by mohli získat ročně efektivní dávku vyšší než 6 mSv. Ostatní zaměstnanci jsou kategorie B. Jak už bylo řečeno pracovníci v kategorii A musí být opatřeni dozimetrem.

Asistent je odpovědný za správně provedené vyšetření pacienta, za vedení záznamu o jeho provedení. Dále je zodpovědný za množství aplikovaného radiofarmaka. Měl by rozpoznat poruchy na přístrojích. Pak by také měl překontrolovat možné kontraindikace k vyšetření (těhotenství atd.).

3.3 Anatomie kostry

Kosti dohromady vytváří skelet (kostru). Tvoří oporu celého těla. Společně s chrupavkami, klouby a vazivem zajišťují pohyb. Slouží jako ochranná schránka pro některé orgány (mozek, srdce, plíce, mícha aj.). Jsou zdrojem vápníku a fosforu.

Kost je pevná, tvrdá, nažloutlé barvy. Skládá se z dvou typů kostní tkáně. **Hutná tkáň** (kompakta) se nalézá na povrchu pod okosticí (tuhá vazivová blána). Její vlastnosti jsou pevnost a pružnost. Je vytvořena ze soustředně uložených kostních lamel, ve kterých jsou kostní buňky (osteocyty). **Houbovitá tkáň** (spongióza), která je součástí vnitřní vrstvy. Tato tkáň je tvořena nepravidelně organizovanými trámci, jež se mohou přetvářet podle zatížení kosti. Nachází se v plochých kostech, epifýzách dlouhých kostí a v kostech krátkých.

Uvnitř těl dlouhých kostí, skulin mezi trámci houbovitě tkáně hlavic (epifýzy), krátkých a plochých kostí se nalézá **kostní dřev**. Jedná se o síť vazivových vláken s hojným cévním prokrvením. Může být červená, žlutá a šedá. **Červená kostní dřev** je místem krvetvorby, vznikají zde červené krvinky, bílé krvinky a krevní destičky. U dospělých jedinců se nachází pouze v krátkých a plochých kostech (kost hrudní, pánevní kosti, lebeční kosti, žebra, obratle). Postupem věku dochází k úbytku červené kostní dřevě v některých kostech a na její místo se umísťuje tuk. Dochází ke vzniku **žluté kostní dřevě**, tady už k vytváření krvinek nedochází. Ve stáří se tuk mění ve vazivo a vyvíjí se **šedá kostní dřev**.

Kosti mohou být různých tvarů.

- **dlouhé** - skládají se z těla (diafýza) a dvou hlavic (epifýzy). Tělo je duté, tvořeno silnou kompaktní. Hlavice ji mají naopak slabou. Na povrchu kosti je okostice (periost). Mezi ně se řadí např. kost stehenní, kost pažní.
- **krátké** – v tomto případě je obsah kompakty v porovnání s dlouhými kostmi malý. Zde kompakty nazýváme cortex.
- **ploché** - kost hrudní, lebeční kosti.
- **nepravidelné** - mají jiné nezařaditelné tvary, např. obratel.
- **pneumatizované** - uvnitř jsou otvory, které mají sliznice. Např. dutiny čelní.

Skelet se dělí na osovou část (lebka, páteř, hrudní koš) a skelet končetin.

Kostra osová a kostra hlavy

- **Lebka** (cranium) je tvořena z mozkové části (neurocranium) chrání mozek a obličejovou část (splanchnocranium).
 - **Mozková část** je složena z kostí baze lební (čelní kost, čichová kost, klínová kost, spánkové kosti, týlní kost) a kostí klenby lební (temenní kosti).
 - **Obličejová část** je menší než neurocranium. Je vytvářena kostmi párovými a nepárovými. Mezi párové patří kosti nosní, kosti patrové, kosti lící, kosti slzní a horní čelist. Nepárové kosti jsou kosti radličná a dolní čelist.
- **Páteř** (columna vertebralis) je sloupec sestavený z 33 až 34 obratlů. Vytváří oporu těla a je kostěnou ochranou pro míchu. Obratel tvoří tělo, obratlový oblouk, otvor obratlový a několik výběžků. Do sloupce jsou spojovány pomocí meziobratlových plotének. Páteř má dvojí zakřivení. Kyfóza je prohnutí dozadu (hrudní, křížová) a lordóza je vyklenutí směrem dopředu (krční a křížová). Páteř je rozdělena na krční obratle (vertebrae cervicales), hrudní obratle (vertebrae thoracicae), bederní obratle (vertebrae lumbales), křížové obratle (vertebrae sacrales) a kostrční obratle (vertebrae coccygeales).

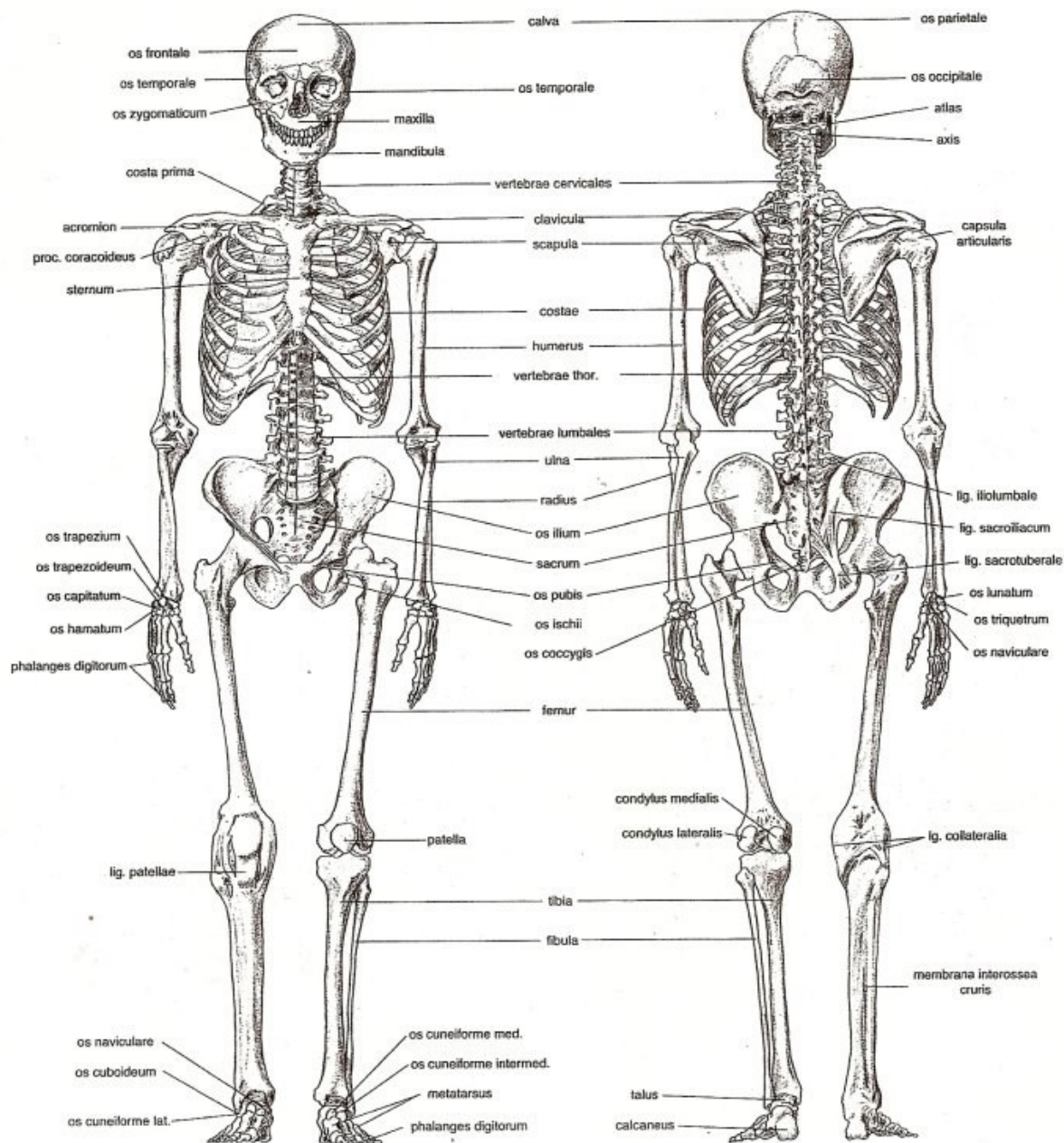
- **Krční obratle (7)** – Počáteční dva obratle mají odlišnou stavbu. První krční obratel se nazývá atlas (nosič). Nemá tělo a na horní části jsou kloubní jamky pro skloubení s týlní kostí. Tento obratel nám umožňuje kývání hlavou. Druhý krční obratel je axis (čepovec), který má zub (dens axis) opírající se o první obratel. Díky němu se hlava může otáčet.
- **Hrudní obratle (12)** – Na jejich bocích se nacházejí kloubní jamky pro skloubení s žebry.
- **Bederní obratle (5)** – Jedná se o nejmohutnější obratle z celé páteře.
- **Křížové obratle (5)** – U těchto obratlů dochází k pevnému spojení v kost křížovou (os sacrum). Tato kost má kloubní plošky pro skloubení s posledním bederním obratlem a pánevními kostmi.
- **Kostrční obratle (4 až 5)** – Tyto obratle se propojují v kostrč (os coccygis), která je srostlá s křížovou kostí.
- **Kostra hrudníku** vytváří kostěnou ochranu pro řadu orgánů (srdce, plíce, jícen, vrchní část břišních orgánů). Je tvořena kostí hrudní, žebry a hrudními obratli.
 - **Kost hrudní (sternum)** – Nachází se uprostřed na přední straně hrudního koše. Je to plochá kost tvořená rukojetí, tělem a mečovitým výběžkem.
 - **Žebra (costae)** – Hrudní koš utváří dohromady 12 párů žeber. Prvních 7 párů jsou pravá žebra, která jsou vpředu propojena chrupavkou s kostí hrudní. Dalších 3 páry (žebra nepravá) jsou v přední části spojena s předchozími žebry. Poslední dva páry (žebra volná) jsou vpředu zakončeny volně mezi svaly. Žebro je úzká, dlouhá, do oblouku zatočená kost, která se v zadní části mění v krček a poté v hlavičku, která je spojena s hrudními obratli.

Kostra končetin

- **Horní končetiny** jsou složeny z 2 částí (pletence a volné končetiny). Pletenec horní končetiny je utvořen z lopatky a klíční kosti. Volná končetina je složena z pažní kosti, vřetení, loketní kosti, zápěstních a záprstních kůstek, článků prstů.
 - **Lopatka** (scapula) – Jedná se o plochou trojúhelníkovou kost.
 - **Klíční kost** (clavicula) – Touto kostí je připojena končetina k hrudníku. Její tvar je dlouhý a esovitý. Je uložena napříč nad prvním žebrem a spojuje se s výběžkem lopatky.
 - **Pažní kost** (humerus) – Dlouhá kost rozšiřující se na spodní straně v dva epikondyly. Hlavici se kloubně spojuje s lopatkou.
 - **Vřetenní kost** (radius) – Je jednou z kostí tvořící předloktí. Nachází se na palcové straně.
 - **Loketní kost** (ulna) – Vytváří společně s vřetenní kostí předloktí. Je uložena na malíkové straně.
 - **Zápěstní kůstky** (ossa carpi) – Kůstek je dohromady 8. Jsou rozloženy do dvou řad po čtyřech. Do horní linie patří kost loďkovitá (os scaphoideum), kost poloměsíčitá (os lunatum), kost trojhranná (os triquetrum), kost hrášková (os pisiforme). Spodní se skládá z kosti mnohohranné větší (os trapezium), kosti mnohohranné menší (os trapezoideum), kosti hlavaté (os capitatum), kosti hákovité (os hamatum).
 - **Záprstní kůstky** (ossa metacarpi) – Celkem jich máme 5. Tvarují podklad dlaně.
 - **Články prstů** (phalanges) – Článků je 15. Jediný palec má dva články a ostatní prsty jsou tvořeny třemi články.
- **Dolní končetiny** jsou také tvořeny pletencem a volnou končetinou. Pletenec je tady formován pánevní kostí, která je tvořena kostí kyčelní, kostí sedací a stydkou kostí. Volná končetina je složena ze stehenní kosti, holenní kosti, lýtkové kosti, zánártních a nártních kostí, článků prstů. Kosti zánártní, nártní a články prstů vytvářejí nožní klenbu (podélnou a příčnou).
 - **Pánevní kost** (os coxae) – Vzniká srůstem tří kostí. Kyčelní kost (os ilium) je velká a plochá kost, která vybíhá v lopatu

kosti kyčelní. Zároveň utváří kyčelní kloub spolu s femurem. Další kostí je sedací, která tvoří sedací hrboly. Poslední je kost stydká, která uprostřed vytváří sponu stydkou.

- **Stehenní kost** (femur) – Je to největší kost v lidském těle upevňující se k osovému skeletu pomocí kyčelní kloubu. Pod hlavicí femuru je krček. Spodní část kosti vybíhá ve dva kondyly, jenž jsou součástí kolenního kloubu.
- **Češka** (patella) – Jedná se o největší sezamskou kost v těle. Její tvar je trojúhelník.
- **Holenní kost** (tibia) – Spolu s lýtkovou kostí formují bérec. Je uložena na palcové straně. Spodní část vytváří kotník.
- **Lýtková kost** (fibula) – Tenká kost, která dělá zevní kotník. Umístěna je na malíkové straně bérce.
- **Zánártní kosti** (ossa tarsi) – Celkem máme 7 kostí zánártních. Tvoří je kost hlezenní (talus), kost patní (calcaneus), která vystupuje v patní hrbol. Je to zároveň největší a nejpevnější zánártní kost. Dalšími kostmi jsou loďkovitá (os naviculare), krychlová (os cuboideum) a vnitřní, střední a zevní kost klínová (os cuneiforme mediale, intermedium et laterale).
- **Nártní kosti** (ossa metatarsi) – Je jich 5. První z nich je nejsilnější a druhý je nejdelší. Každou kost vytváří tělo, baze a hlavice.
- **Články prstů** (phalanges) – Článků je dohromady 14. Pouze palec je tvořen dvěma články, ostatní jsou po třech.



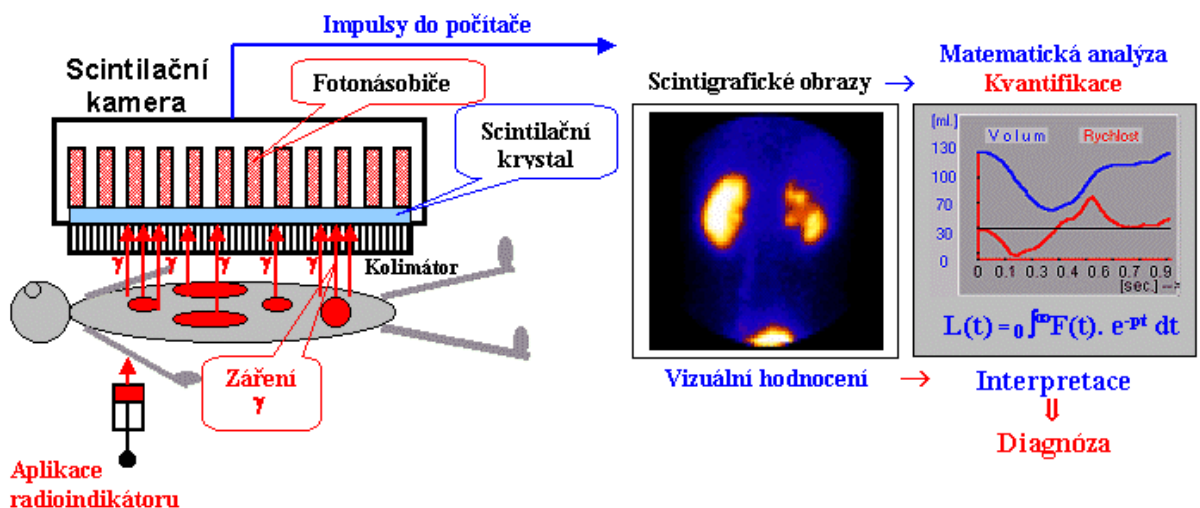
Obrázek 11 Kostra lidského těla¹³

¹³ PECNOVÁ, Martina. *Masáže Milada Langfelnerová: Opěrná soustava – Kostí* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://www.masaze-dvur.unas.cz/anatomie_operna.html

3.4 Scintigrafie skeletu

3.4.1 Princip metody

Pomocí scintigrafie zjistíme funkci vyšetřované tkáně. Díky této metodě můžeme zobrazit časné změny v metabolismu kostní tkáně. Jedná se o měření aktivity metodou in vivo, což znamená, že aplikujeme příslušnou radioaktivní látku přímo pacientovi do organismu, která se pak vychytává v daném orgánu. Je založeno na farmakokinetice radiofarmaka v organismu. Po aplikaci radioaktivní látky se zevně detekuje gama záření scintilační kamerou, které vychází z těla pacienta. Snímání může probíhat staticky nebo dynamicky. **Statická scintigrafie** je jenom jeden obrázek vyšetřované tkáně. Oproti tomu **dynamická scintigrafie** je několik statických obrázků, které zobrazujeme po určitou dobu. Poté je signál převeden pomocí počítače na obraz.



Obrázek 12 Průběh snímání scintilační kamerou¹⁴

V případě scintigrafie skeletu provádíme níže uvedené typy vyšetření.

- **planární scintigrafie** - dvojrozměrné zobrazení vyšetřované oblasti
- **celotělová scintigrafie** - vyšetřuje se celá kostra při průjezdu pacienta mezi detektory
- **tomografická scintigrafie (SPECT)** - zobrazení vybraných částí skeletu

¹⁴ ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

- **třífázová scintigrafie** – zobrazujeme distribuci radiofarmaka ve fázi perfuzní (blood flow), tkáňové (blood pool) a pozdní

3.4.2 Radiofarmakum

Každé radiofarmakum musí být složeno ze dvou částí. První složka obsahuje látku (neradioaktivní kit), která transportuje radioizotop do vyšetřované oblasti. Druhou částí směsi je látka, jež nám požadovanou tkáň viditelně označí. Ke značení užíváme radioaktivní prvek. Nejčastěji se využívá metastabilní technecium (^{99m}Tc), což je γ zářič s poločasem rozpadu 6 hodin a s energií 140 keV. Jedná se o otevřený zářič.

Tento radioizotop získáme z elučního molybden-techneciového generátoru (^{99}Mo - ^{99m}Tc), který má olověné stínění. Mateřský prvek je tady molybden, který má poločas rozpadu 66 hodin. V generátoru se vyskytuje v podobě molybdenanu sodného (Na_2MoO_4) spolu s oxidem hlinitým (Al_2O_3), na který je pevně vázán. V eluční koloně dochází k vymytí technecia pomocí fyziologického roztoku (chlorid sodný – NaCl). Tento roztok musí být sterilní a se stejným osmotickým tlakem jako je vnitřní prostředí. Tímto procesem nám vznikne technecistan sodný ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$), což je konečný produkt, který se naplní do prázdné lahvičky. Ta musí být sterilní a apyrogenní.

Na scintigrafii skeletu se nejčastěji používají osteotropní radiofarmaka (fosfátové komplexy značené ^{99m}Tc). Patří do skupiny chelátů. Nejvíce se aplikují bifosfonáty **^{99m}Tc -MDP** (kyselina methylen difosfonová, medronát) nebo **^{99m}Tc -HDP** (hydroxymetylen difosfát, oxidronát). Pacientovi se podá aktivita 800 MBq intra venózně.

Míra akumulace radiofarmaka v kostní tkáni závisí na prokrvení a na osteoblastické aktivitě.



Obrázek 13 Schéma molybden-techneciového generátoru¹⁵

3.4.3 Indikace

Hlavní indikací k tomuto vyšetření jsou metastázy do kostí (karcinom prsu, prostaty, ledvin, plic). Toto vyšetření je také přínosné pro diagnostiku primárních maligních kostních nádorů (osteosarkom, mnohočetný myelom), benigních nádorů, mezi které patří například osteoidní osteom, osteochondrom, chondroblastom). Další indikací mohou být artritidy, kloubní onemocnění, detekce zlomenin (stresové zlomeniny), týrané děti. Rovněž pomáhá u diagnostiky avaskulární nekrózy (Perthesova choroba). Scintigrafie skeletu se také používá pro diagnostiku bolestí ve skeletu bez známé příčiny a dalších jiných onemocněních.

3.4.4 Kontraindikace

Možnou kontraindikací je těhotenství (pokud se nejedná o neodkladný případ) a období kojení. Při vyšetření v období laktace je vhodné kojení přerušit alespoň na 12 hodin.

¹⁵ KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. *Radiofarmaka*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012, s. 15.

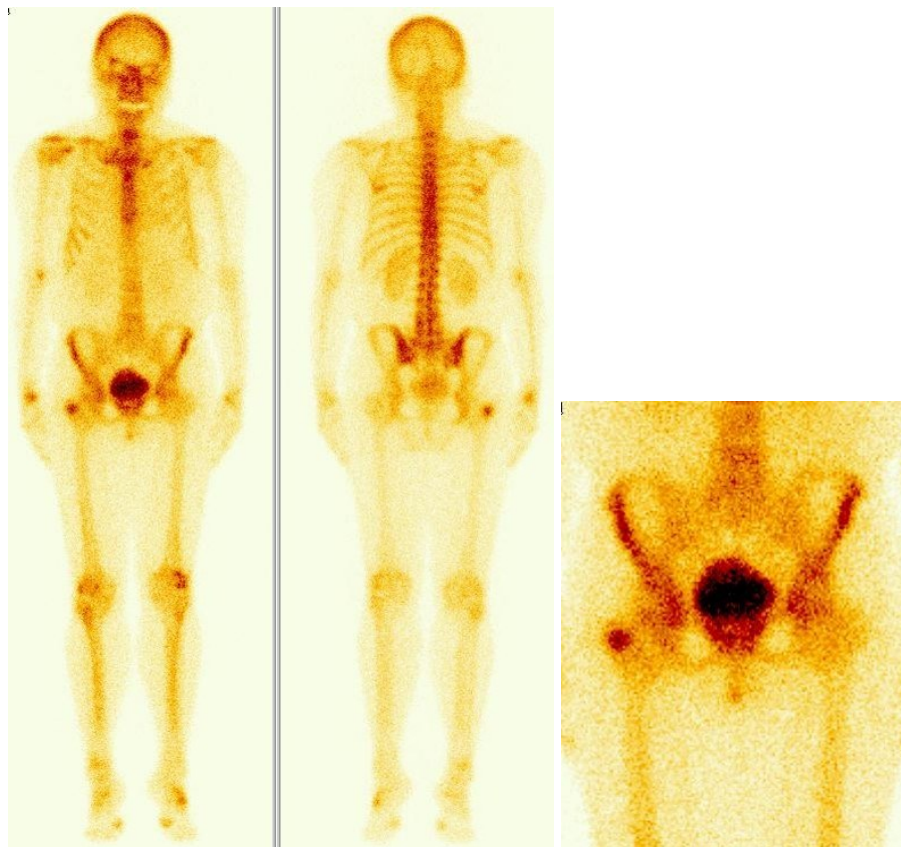
3.5 Patologie

Níže je uveden přehled nejčastějších onemocnění postihujících skelet.

3.5.1 Nádorová postižení skeletu

Primární

Primární nádorové onemocnění může rozdělit na benigní a maligní nádory. U **benigních nádorů** je problematictější rozlišení, protože jsou velmi různorodé. Jejich nálezy mohou být normální anebo s malou akumulací. Obvykle mívají nízkou osteogenezi a nižší prokrvení. Do této skupiny můžeme zařadit hemangiom, chondrom, enchodrom. Opačný případ je u osteoidního osteomu a osteoblastomu, kde je vysoká akumulace radiofarmaka.



Obrázek 14 Enchondrom v pravém velkém trochanteru¹⁶

¹⁶ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 11 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

Mezi **maligní (zhoubné) nádory** patří Ewingův sarkom, osteosarkom, chondrosarkom. **Osteosarkom** je nejvíc vyskytující se kostní nádor u mladších jedinců. Tento typ často metastazuje. **Ewingův sarkom** hodně postihuje mladé lidi, kterým napadá kostní dřeň velkých i malých kostí.

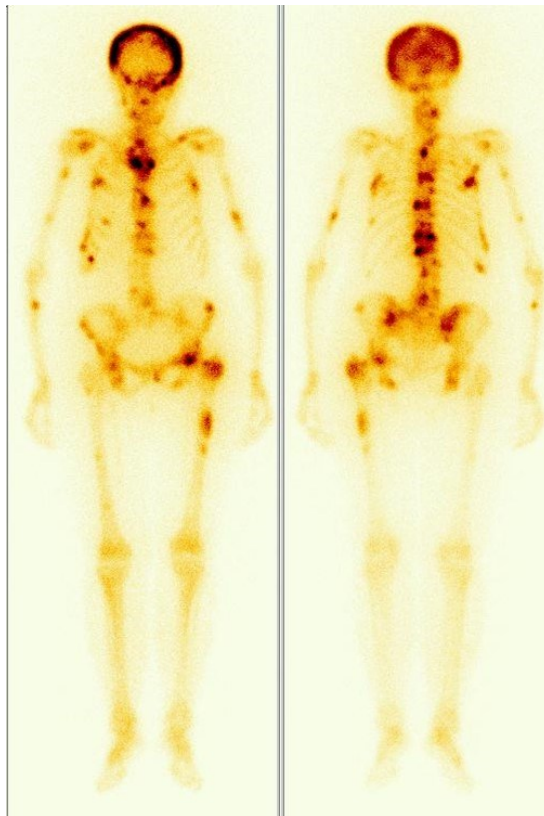


Obrázek 15 Ewingův sarkom. Na obrázku vlevo je pacient už po operaci.¹⁷

¹⁷ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 12 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

Sekundární

Do sekundárních nádorů patří **kostní metastázy**. Právě hledání těchto metastáz je nejčastější účel scintigrafie skeletu. Tato metoda oproti rentgenovému vyšetření nám umožní zjistit kostní aktivitu dříve (o 2 až 18 měsíců). Metastázy se nejčastěji zobrazují jako ložiska s vysokou akumulací radiofarmaka. Na scintigramu nám „svítí“. Mnohdy dochází k výskytu ložisek v osovém skeletu, především v kostní dřevě. Jedná se např. o obratle, sternum, pánev, klenbu lebni. Podle původního nádorového onemocnění se kostní metastázy dělí na tři skupiny. **Osteolytické**, které vytváří karcinom štítné žlázy, nadledvin, dělohy, popřípadě zažívacího traktu. Léze se zobrazuje spíše po jejím obvodu. Uprostřed je nižší akumulace. Další druh jsou metastázy **osteoplastické**, jež jsou tvořeny karcinomem prostaty, karcinoidem, neuroblastomem, meduloblastomem. Jsou pěkně viditelné. Mezi poslední typ patří **smíšené**, k nim dochází u karcinomu prsu, plic, děložního čípku, ovária a varlete.



Obrázek 16 Kostní metastázy u karcinomu prostaty¹⁸

¹⁸ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 8 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

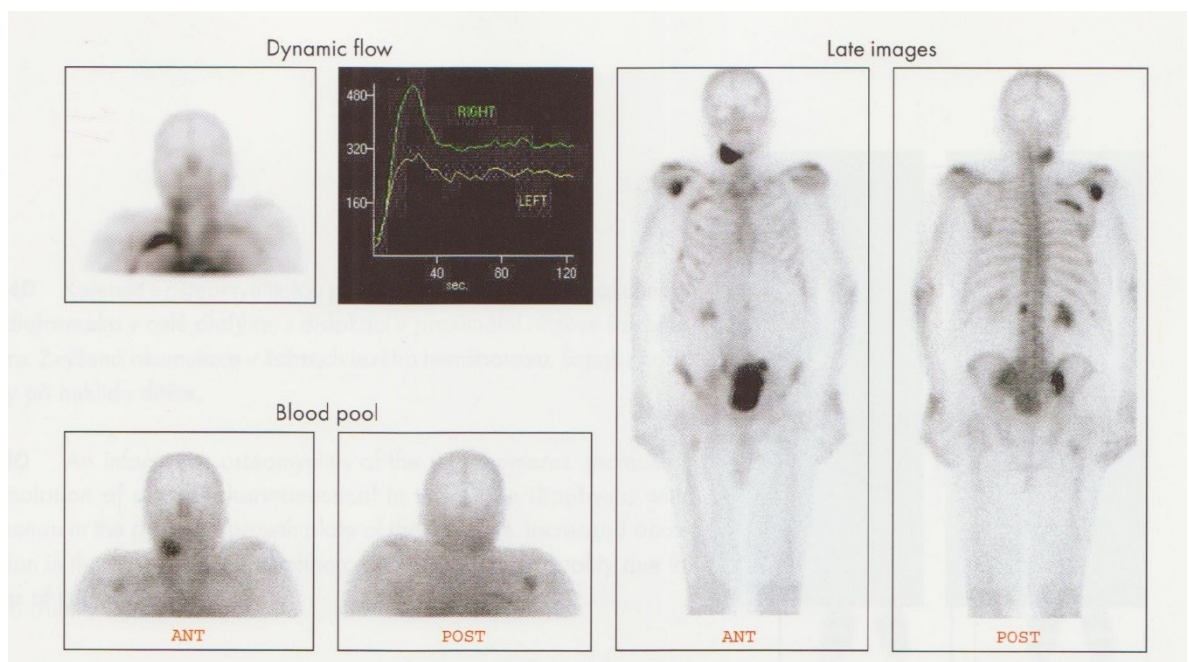
3.5.2 Nenádorová postižení skeletu

Kostní infekce

Osteomyelitis patří mezi infekční onemocnění kostní tkáně. Přesněji se jedná o zánět kostní dřevě, který zapříčiňují bakterie. Pomocí krevních cest dochází k jejímu infikování. „*Infekční proces v kostech či kostní dřevě vede k časným a výrazným změnám ve vaskularizaci a metabolismu, dále více či méně intenzivním změnám v okolní zdravé kosti. Tyto změny se projevují hyperémií zvýšením metabolické (osteoblastické) aktivity.*“ (8 s. 8) Může být akutní a chronická.

- **Akutní** – „*Při scintigrafii se zobrazuje brzy (už za 24-48 hodin). Na rtg snímku je osteomyelitické ložisko vidět až za 10-14 dní.*“ (5 s. 121) Nejlepší pro zobrazení akutní osteomyelitidy je třífázová scintigrafie skeletu.
- **Chronická** – V tomto případě může být nález zřejmější. Dochází k poškození kosti.

U **neuropatické diabetické nohy** dochází k postižení jejich kůstek.

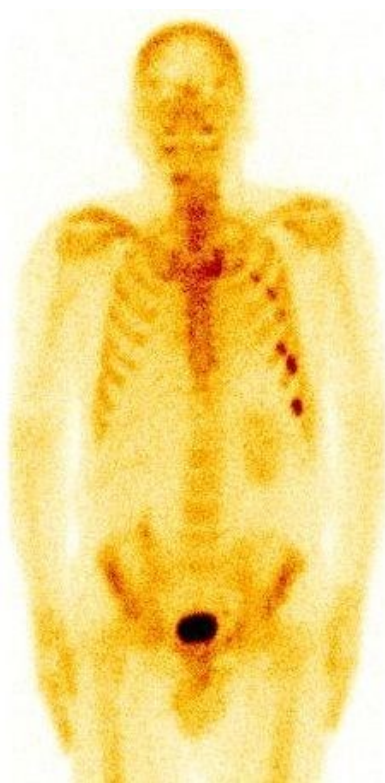


Obrázek 17 Chronická osteomyelitida mandibuly u 81letého muže¹⁹

¹⁹ VIŽĎA, Jaroslav, Hana KŘÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. 1. vyd. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, s. 37.

Fraktury a stresové faktury

Obyčejné zlomeniny se zobrazují pomocí rentgenu popřípadě CT vyšetřením. Mohou ale vzniknout fraktury, které takto nemůžeme diagnostikovat. Jedná se například o malé kůstky ruky, u obratlů, žeber, lopatky a také na lebce nebo pánvi. Zlomeniny se projevují vysokým vychytáváním radioaktivní látky. Jejich viditelnost na scintigramu je u dospělých po 48 až 72 hodinách. U dětí mohou nově vzniklé fraktury akumulovat radiofarmakum o něco dříve. „K normalizaci záchytu dochází u 60-80% nekomplikovaných fraktur bez dislokace do 1 roku, do 3 let u 95%. U komplikovanějších fraktur přetrvává pozitivní nález i mnoho let. V případě nezhojení fraktury (např. při vzniku paskloubu) může zvýšený záchyt radiofarmaka přetrvat doživotně.“ (8 s. 10) Pakliže asi po týdnu nedochází k hromadění radiofarmaka, nejednalo se o zlomeninu.



Obrázek 18 Zlomeniny žeber.²⁰

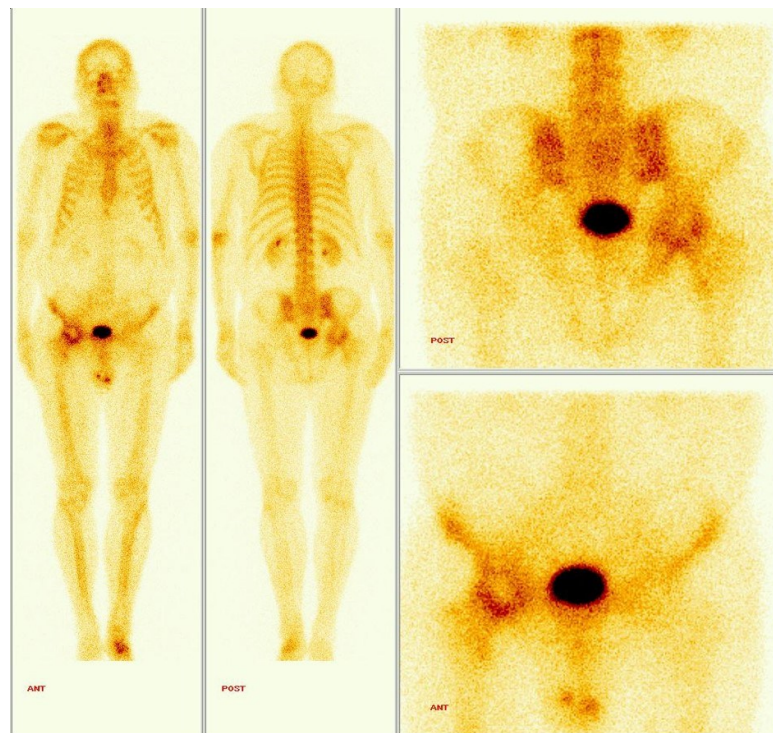
²⁰ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 26 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

Fraktury stresové vznikají působením dlouhodobé námahy na skelet. Tento případ může nastat například u sportovců.

Dále také můžeme scintigraficky provést vyšetření tzv. **syndromu týraného dítěte**, kdy se nám zobrazují i malé zlomeniny. Zde, ale nemůžeme s přesností určit, kdy došlo k poranění kosti.

Aseptické nekrózy

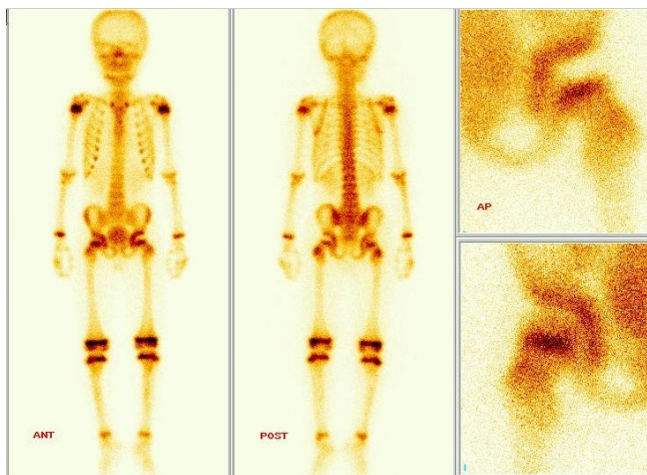
Avaskulární nekróza nejvíce postihuje hlavice dlouhých kostí (např. femuru). V akutní fázi nedochází k zachytávání radiofarmaka. Naopak v pozdní stádiu při hojení dochází k vyššímu vychytávání.



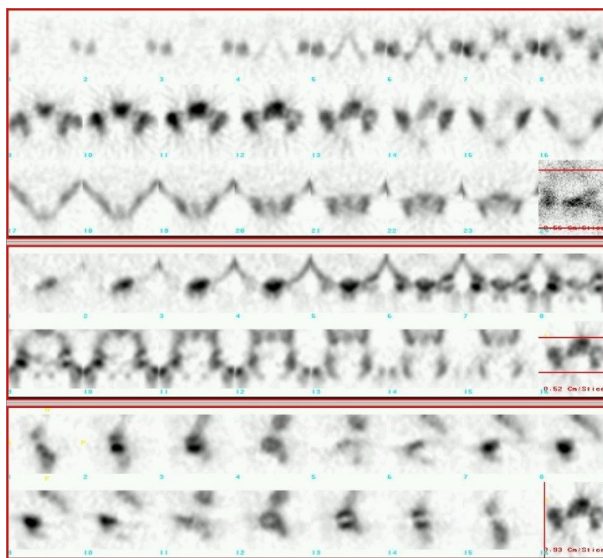
Obrázek 19 Aseptická nekróza. U 39leté pacientky došlo ke zlomení pravého krčku a následně k nekróze hlavičky femuru.²¹

²¹ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 19 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

Do této skupiny se také řadí **Perthesova choroba** (Morbus Legg-Perthes). Jedná se o onemocnění, které postihuje především chlapce od 3 do 10 let. Choroba způsobuje aseptickou nekrózu hlavičky kyčelního kloubu. Provádíme tady třífázovou scintigrafii, kdy v pozdní fázi snímáme kyčel pomocí kolimátoru pin hole. Hlavička a okolí málo nebo vůbec nevyčytává radiofarmakum. „*V průběhu hojení (začíná mezi 1.–3. týdnem) se dá scintigraficky dokázat nejprve pás zvýšené aktivity laterálně od centrální fotopenické zóny, v dalších měsících se zvýšená aktivita rozšíří na celou hlavičku.*“ (5 s. 122)



Obrázek 20 Perthesova choroba vlevo u 10letého chlapce²²



Obrázek 21 Ukázka SPECTu kyčlí²³

²² DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 13 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

²³ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 15 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

Onemocnění kloubu

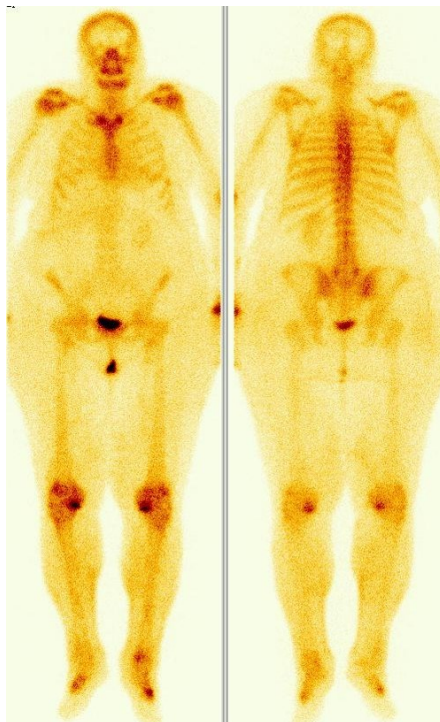
Kloubní choroby nejčastěji zjišťujeme pomocí třífázové scintigrafie. Takto stanovujeme např. **artritidu**, což je akutní zánětlivé onemocnění kloubů. V místě zánětu dochází k otoku, zčervenání a bolesti. U této diagnózy je zvýšená akumulace radiofarmaka ve všech třech fázích.



Obrázek 22 Revmatoidní artritida u 82leté ženy²⁴

²⁴ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 38 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

Na rozdíl od toho je **artróza**, jenž je zánětlivé onemocnění, při kterém dochází k ničení chrupavky. Dělíme jí na dekompenzovanou (sekundární zánět) a nedekompenzovanou. V případě nedekompenzované je nejintenzivnější aktivita až ve třetí etapě. Naproti tomu dekompenzovaná má vyšší záchyt i ve fázích prvních.



Obrázek 23 Oboustranná gonarthróza u 63leté ženy²⁵

²⁵ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 32 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

Mezi další onemocnění postihující klouby patří **ankyluzující spondylitis** (morbus Bechtěrev), které napadá především SI skloubení (sakroiliakální) a páteř. V tomto místě dochází k zvýšené aktivitě. U pacientů s touto nemocí se nachází antigen HLA-B27.

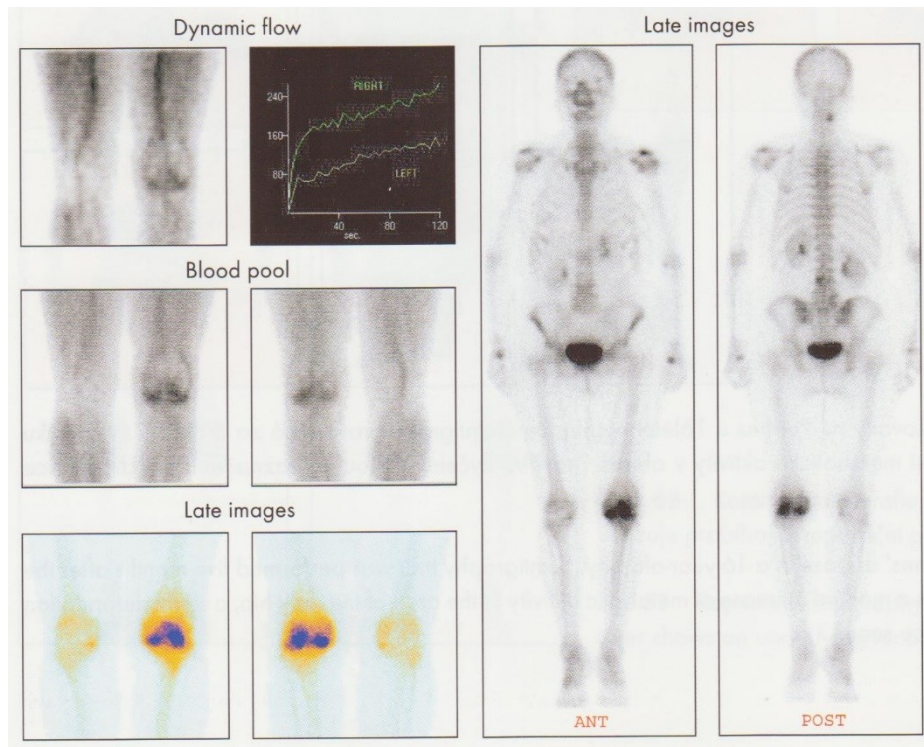


Obrázek 24 Bechtěrevova choroba u 23letého muže²⁶

Dále u pacientů po zavedení umělého kloubu může docházet k **uvolnění endoprotézy**. „Po implantaci kloubní endoprotézy dlouho přetrvává v jejím okolí zvýšená akumulace radiofarmaka, odpovídající reaktivním přestavbovým změnám. Reaktivně zvýšená přestavba je přítomna u cementové endoprotézy přibližně 12 měsíců po implantaci, ale u necementované endoprotézy až 3 roky, a to i u nemocných s asymptomatickým pooperačním průběhem. Intenzita akumulace se postupně snižuje, nejdéle bývá patrna po TEP kyčelního kloubu ve velkém trochanteru. U náhrady kolenního kloubu může vyšší kostní přestavba v mediálním kondylu tibie přetrvat až 30 měsíců od operace.“ (8 s. 9) Hromadění aktivity může způsobit krom uvolnění endoprotézy i infekce, únavová zlomenina, heterotopická osifikace. Opět používáme třífázovou scintigrafii. V případě infekce se nám osteotropní radiofarmakum

²⁶ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 41 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

akumuluje ve všech fázích. Pro lepší výsledky u infekčního postižení můžeme udělat i scintigrafii se značenými leukocyty.

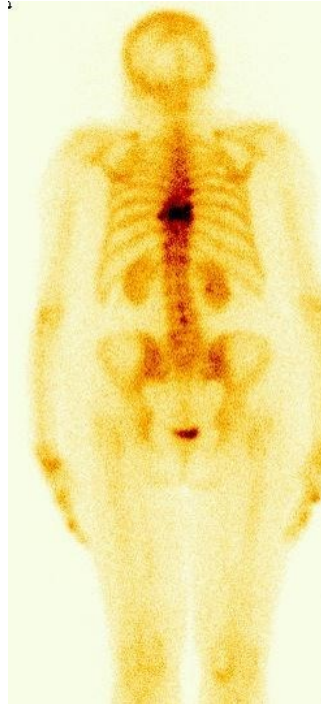


Obrázek 25 Uvolňování levé endoprotézy kolenního kloubu (žena 65 let)²⁷

Metabolické kostní poruchy

Osteoporóza je onemocnění, při kterém se zmenšuje množství kostní hmoty. Patří mezi nejvíce vyskytované poruchy kostního metabolismu. Díky tomu jsou kosti křehčí a tak se více lámou. Tato choroba může vznikat z řady různých důvodů. Většinou se rozvíjí u žen v klimakteriu, ale i po delší léčbě kortikoidy, u onemocnění jater nebo slinivky. V případě dlouhodobé nepohyblivosti může dojít k lokalizované osteoporóze. Scintigrafické vyšetření se v tomto případě provádí z důvodu osteoporotických zlomenin. „Typickým nálezem při postižení křížové kosti je „H“ (Honda) znamení s výraznou akumulací radiofarmaka v obou sakroiliakálních skloubeních a v kosti křížové.“ (8 s. 10)

²⁷ VIŽĎA, Jaroslav, Hana KŘÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. 1. vyd. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, 54.



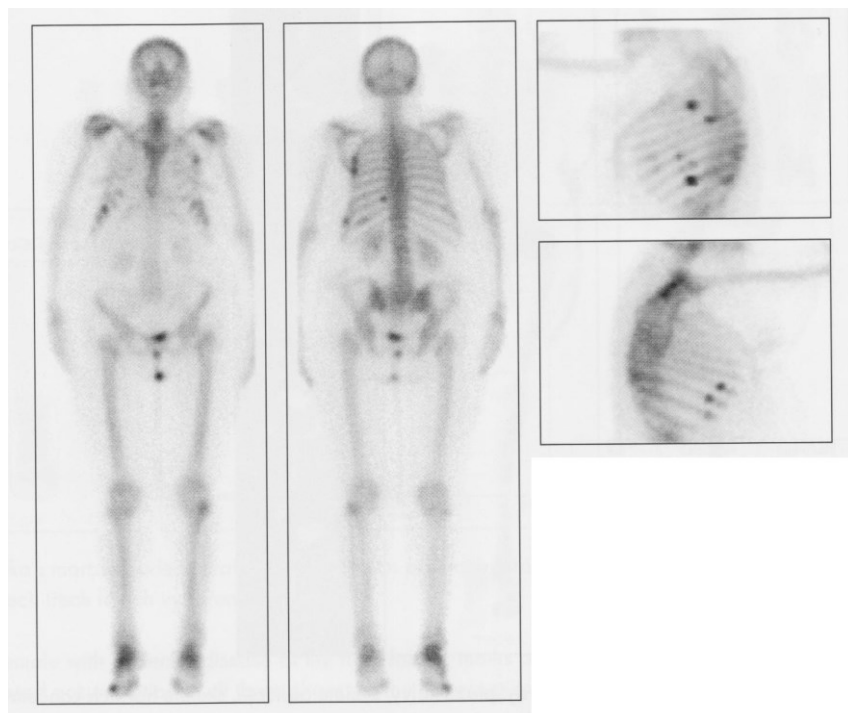
Obrázek 26 Kompresivní zlomenina při osteoporóze (těla obratlů Th 8, Th 9)²⁸

Dalším typem osteoporózy je idiopatická juvenilní, která vzniká v dětství (8 až 15 let) a může být i dědičná. Projevuje se stlačujícími frakturami páteře nebo zlomeninou dlouhé kosti (oblast metafýz).

Osteomalacie

Osteomalacie se rozvíjí v důsledku nedostačujícího množství vitamínu D. Kostí jsou deformované. Může docházet až ke zlomeninám. „*Na kostním scanu je zpravidla vysoká akumulace v axiálním skeletu, dlouhých kostech a periartikulárních oblastech, dále akumulace v kalvě, mandibule, sternu a kostochondrálních skloubeních. Současně je nízký záchyt radiofarmaka v ledvinách. Nález má charakter superscanu, který může být i u renální osteodystrofie a u pokročilejší formy primární hyperparatyreózy.*“ (8 s. 10)

²⁸ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 28 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

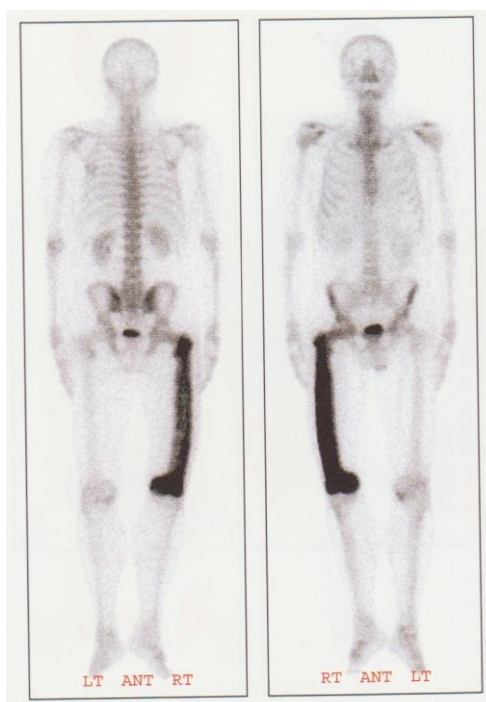


Obrázek 27 Oboustranné zlomeniny žeber u osteomalácie²⁹

Pagetova choroba (ostitis defomans)

U této choroby není znám přesný původ vzniku. Dochází zde k nadbytečnému přebudování kosti. Průběh přestavění není zcela běžným způsobem. Vyskytuje se převážně u starších obyvatel okolo 50 let (spíše u mužů). „V scintigrafickém obraze se postižené partie zobrazují s vysokým stupněm osteogeneze, která sleduje kontury kostí. Nejčastěji je postižena pánev, lebka, páteř, ale i femur, tibie nebo lopatka. Protože je akumulace radiofarmaka v důsledku vysoké intenzity osteogeneze nápadně zvýšená, scintigrafie skeletu je metodou volby i při monitorování efektu léčby.“ (5 s. 123)

²⁹ VIŽĎA, Jaroslav, Hana KRÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. 1. vyd. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, s. 49.



Obrázek 28 Pagetova choroba u 61letého muže (monoostická forma)³⁰

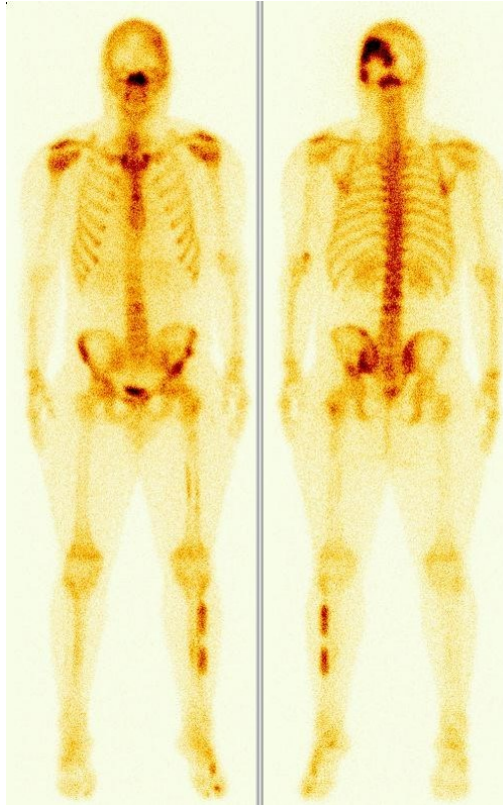
Hypertrofická osteoartropatie

Toto onemocnění se může objevit u plicních chorob (např. emfyzém, tuberkulóza, bronchogenní karcinom) nebo i u jiných jako jsou např. Crohnova nemoc aj. Vychytání osteotropního radiofarmaka je především zřetelné v dlouhých kostech a dále pak v metakarpálních a metatarzálních kůstkách. Také může dojít k rozsevu v lebce, lopatkách, klíční kosti nebo čéšce.

Fibrózní dysplazie

Zde provádíme třífázové vyšetření. Při popisu nálezu na scintigramu může dojít k záměně s kostními nádory. Můžeme pozorovat rozptýlenou nebo lokalizovanou akumulaci radiofarmaka.

³⁰ VIŽĎA, Jaroslav, Hana KŘÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. 1. vyd. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, s. 48.



Obrázek 29 Fibrózní dysplazie u 16letého chlapce³¹

Hormonálně podmíněné osteopatie

Tento typ onemocnění je mnohdy vytvořen, když dojde k hypofunkci nebo hyperfunkci příštítných tělísek, poškození štítné žlázy, hypofýzy nebo nadledvin.

Hyperostosis frontalis interna

V tomto případě na scintigramu pozorujeme zvýšenou aktivitu symetricky v čelní kosti.

³¹ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

4 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části jsem vycházela z činností probíhajících na oddělení nukleární medicíny, kde jsem absolvovala praxi. Na tomto pracovišti se scintigrafie skeletu prováděla s dvouhlavou SPECT/low dose CT kamerou s kolimátorem LEHR.

V praktické části je podrobně popsán postup při vyšetření z pohledu radiologického asistenta. Práce neobsahuje důvěrné informace o pacientech.

4.1 Příprava pacienta

Toto vyšetření si nežadá speciální přípravu. Radiologický asistent poučí pacienta, aby dostatečně pil, protože radiofarmakum je vylučováno močí. Kdyby močový měchýř byl plný i v průběhu vyšetřování, jeho ohromná akumulace radioaktivní látky by nám mohla zamezit správné čtení vyrobeného scintigramu. Z tohoto důvodu před vstupem do vyšetřovny vyzve radiologický asistent pacienta k tomu, aby si zašel na toaletu. Dále ho informuje o tom, že před samotným snímáním pod gama kamerou je zapotřebí sundat kovové věci, aby nám nevytvářely případné artefakty. Také je potřeba sundat epitézy (prsí náhrady apod.).

4.2 Vlastní vyšetření

Ráno před samotnými vyšetřeními se musí připravit radiofarmakum. Jeho chystání probíhá v digestoři, která je vyrobena ze stínícího materiálu. V ní si radiologický asistent natáhne radiofarmakum potřebné aktivity.



Obrázek 30 Digesto³²

V den vyšetření pacient přijde v ranních hodinách na oddělení nukleární medicíny. Zdravotnický personál si zkontroluje osobní údaje na žádance vyšetřované osoby. Poté radiologický asistent informuje pacienta o průběhu vyšetření. Vysvětluje mu, že po aplikaci se stává zdrojem ionizujícího záření. Dotazujeme se ho na to, zda není alergický. V případě ženy v reprodukčním věku se ptá, jestli není těhotná. Pracovníci také musí zjistit, zda vyšetřovaný nemá nějaké bolesti, neutrpěl úraz, zlomeniny apod. Rovněž jestli neužívá léky, které by mohly ovlivňovat záchyt radiofarmaka v kosti. Poté radiologický asistent seznamujeme pacienta s tím, že celý den po vyšetření by měl co nejvíce omezit kontakt s malými dětmi a těhotnými ženami. Také o tom, že je důležité zvýšit příjem tekutin, jelikož se farmakum vylučuje močí, tak se sníží jeho radiační zátěž. Po tomto poučení mu předloží a nechá podepsat informovaný souhlas „Souhlas pacienta/tky – zákonného zástupce s aplikací radiofarmaka a následným vyšetřením na gamakameře“ (Příloha A). Podle indikace je buď prováděna celotělová scintigrafie anebo třífázová scintigrafie. V některých případech se vyrábí pouze planární cílená scintigrafie.

³² Foto autor, ONM HK

Celotělová scintigrafie

Při tomto vyšetření je aplikován ^{99m}Tc -medronát 800 MBq intra venózně. Radiologický asistent připraví pomůcky k aplikaci radiofarmaka. Mezi které patří rukavice, dezinfekce, škrtidlo, náplast, sterilní čtvereček a stříkačka s radiofarmakem, která navlékneme do olověného krytu a ještě dáme do olověného stínění. Při aplikaci je radiologický asistent po ruce lékaři, který radiofarmakum aplikuje pacientovi. Čas aplikace, způsob a místo vpichu zaznamenat radiologický asistent do informovaného souhlasu (Příloha B).



Obrázek 31 Pomůcky k aplikaci radiofarmaka³³

Po vpravení radiofarmaka do organismu dochází k jeho zabudování do skeletu. Tento proces chvíli trvá, proto radiologický asistent pozve pacienta k vyšetření gamakamerou až minimálně za 2 hodiny od aplikace radioaktivní látky.

V požadovaný čas samotného vyšetření vyzve radiologický asistent pacienta, aby si zašel na toaletu. Zadá vyšetřovaného do počítače, kde vyplní jeho celé jméno, rodné číslo, pohlaví a vybere protokol pro celotělovou scintigrafii skeletu. Připraví vyšetřovací lůžko pro pacienta tím, že dá čistý papír na lůžko. Poté pacienta pozve na vyšetřovnu. Za zástěnou ho nechá odložit boty, oblečení s kovovými prvky, další předměty, které obsahují kov (brýle,

³³ Foto autor, ONM HK

peněženky aj.) nebo nějaké náhrady (prsí aj.). Asistent uloží pacienta na vyšetřovací stůl. Jeho poloha je na zádech s nohama směřujícími do gantry. Na lůžku máme z boku metr, podle kterého si nastaví, kde bude mít pacient hlavu, aby se mu vešel celý na vzniklý scintigram. Vyrábí se z přední a zadní projekce. V počítači má už přednastavené parametry. Matice by měla být 256 x 1024 a rychlost posunu stolu 12 až 20 cm/min. Dále si nastaví body contouring, což mu zabezpečuje, aby detektor při posunech stále kopíroval tělo co nejlíže. Vyšetření trvá kolem 15 minut.

Jestliže se mu zobrazí nejistá patologická místa, podle lékaře může vyšetření doplnit o SPECT nebo SPECT/CT. Je to vyšetření jen určité námi zvolené oblasti. V tomto případě je nastavení 2 x 60 obrázků nebo 2 x 30 obrázků s pohybem 2 x 180° (jeden krok je o 3° až 6°). Jeden obrázek může trvat kolem 10 až 20 sekund. Dále si může zvolit matici. Nejčastěji je 128 x 128, ale jde navolit i 64 x 64. Také zde nastavuje body contouring. Po vyšetření radiologický asistent ještě opět poučí vyšetřovaného, aby zvýšil příjem tekutin. Dojde k rychlejšímu odplavení radiofarmaka z těla a tím se zmenší i radiační zátěž pro pacienta a případně i okolí.



Obrázek 32 Snímání gamakamerou³⁴

³⁴ Foto autor, ONM HK

Třífázová scintigrafie

Radiologický asistent pozve pacienta z čekárny do vyšetřovny. Vysvětlím mu, kde si má odložit boty, oblečení s kovovými prvky, předměty obsahující kov (brýle, peněženka apod.). Do počítače si vyplní jeho celé jméno, rodné číslo, pohlaví a určí si protokol k vyšetření. Matice je zde 128 x 128, 4 sekundy na 1 scintigram. Poté si pacienta uloží na stůl přístroje. Lůžko si nastaví do pozice, ve které začíná snímání skeletu. Teprve tehdy dochází k aplikaci stejného radiofarmaka jako u celotělové scintigrafie lékařem. Radiologický asistent opět pomáhá lékaři s aplikací.



Obrázek 33 Aplikace radiofarmaka u dynamické scintigrafie³⁵

Ihned po aplikaci začíná první úsek vyšetření a to fáze perfuzní, kdy se snímá prokrvení. Jedná se o dynamickou scintigrafii (průjezd pod detektorem). Doba tohoto stádia je asi 2 až 3 minuty. Poté probíhá fáze tkáňová. V této etapě snímáme odchod radiofarmaka z krve do kostí. Je to v období 3. až 5. minuty po intra venózní aplikaci. Matici si nastaví 256 x 256. Vyrábí se statické snímky po dobu 5 až 10 minut. Třetí je fáze pozdní, kdy už je radiofarmakum vycytáno v kostech, provádí se za minimálně 2 hodiny od aplikace. Jde o normální statický scintigram buď vybrané části anebo celého těla. Matici je 256 x 256. V některých případech může ještě udělat snímky po 24 hodinách. Také může toto vyšetření doplnit o SPECT nebo SPECT/CT.

³⁵ Foto autor, ONM HK

V případě Perthesovy choroby po vše třech výše zmíněných fází radiologický asistent provádí ještě cílený planární scintigram na oblast kyčelního kloubu pomocí kolimátoru pin hole. Může si zde nastavit i zvětšení. Toto snímání trvá přibližně 5 až 10 minut.



Obrázek 34 Vyšetření pomocí pin hole kolimátoru u m. Perthes³⁶

Cílené planární scintigramy

Toto vyšetření je podobné jako u celotělové scintigrafie, jen nedochází k průjezdu pacienta. Na vybranou oblast je zde prováděno snímání z přední a zadní projekce. Matici zde má 256 x 256. Detektory přiblížíme co nejvíce k povrchu těla. Doba snímání je zhruba 5 až 10 minut. Opět může přidat SPECT nebo SPECT/CT.

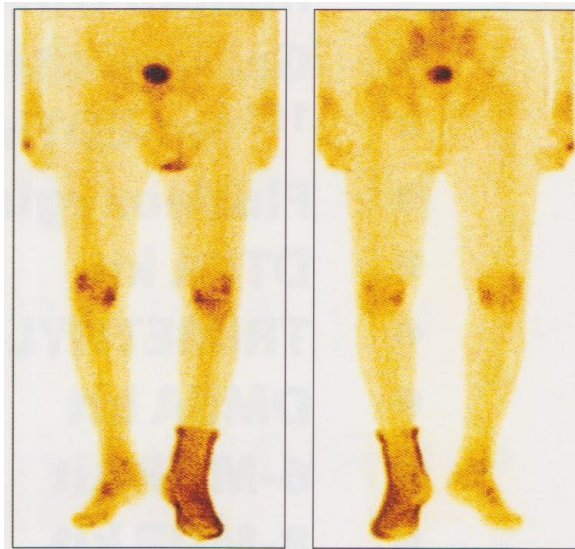
³⁶ Foto autor, ONM HK

4.3 Zdroje chyb při vyšetření

Radiologický asistent by si měl dávat pozor na možné vzniklé chyby při vyšetření.

Může dojít k řadě několika různých chyb. V případě, že radiologický asistent nevysvětlí nebo pacient zapomene odložit kovové předměty, můžou být ve scintigramech patrné artefakty.

Dále když radiologický asistent špatně poučí vyšetřovaného o tom hygienických návycích. Jelikož se radiofarmaka vylučují močí a potem, může důsledkem špatné hygieny dojít ke kontaminaci oblečení, kůže apod. Toto je další zdroj artefaktů. Špatný obraz také vzniká, když se pacient během vyšetření hýbe.



Obrázek 35 Kontaminace ponožky močí³⁷

Musí si dát pozor na detektor přístroje, aby byl co nejbližší pacientovi. Poté vzniká špatné rozlišení.

Mohou vznikat další artefakt jako třeba při špatném intra venózní aplikaci radiofarmaka, kdy se farmakum vylíje do okolí a na obrázcích se zobrazuje jako místo vysoké akumulace. Díky tomu můžou být okolní struktury značně zkreslené.

³⁷ VIŽĎA, Jaroslav, Hana KRÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. 1. vyd. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, s. 71.

4.4 Výsledky vyšetření

Normální rozmístění radiofarmaka u dospělých lidí je v axiálním skeletu, mírnější akumulace v končetinách. Dále může být zobrazena kost hrudní (sternum), laryng.

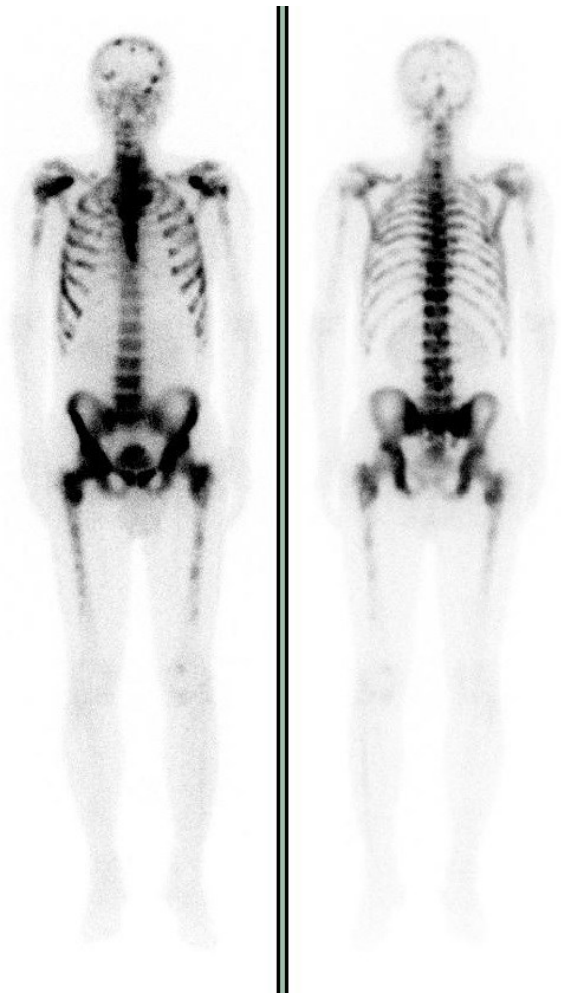


Obrázek 36 Normální nález³⁸

³⁸ DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012, 7 s. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>

Patologická ložiska jsou místa vysoké akumulace radiofarmaka. Mohou se vyskytovat i patologická místa, která radiofarmakum nevyčytávají.

Zvláštním případem je tak zvaný **superscan**, který vzniká u diseminace metastatického procesu. Dochází zde k velkému kontrastu mezi měkkými tkáněmi a kostmi. Na scintigramu vidíme mohutnou akumulaci v kostní dřeni a chybějící vyobrazení ledvin a močového měchýře. Končetiny jsou vyobrazeny pouze v horní třetině.



Obrázek 37 Superscan³⁹

³⁹ ONM HK

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty, pro výpočet efektivní dávky získané pacientem. Dané hodnoty násobíme aplikovanou aktivitou.

Tabulka 3 Radiační zátěž⁴⁰

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

⁴⁰ Věstník MZČR. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, roč. 2011, číslo 9. [online] [cit. 2013-04-20]. Dostupný z: http://www.mzcr.cz/Legislativa/Soubor.ashx?souborID=12893&typ=application/pdf&nazev=ZDRAVOTNICTVI_09-11.pdf

5 DISKUZE

V následující kapitole rozvedu některé důležité problematiky. V první řadě bych se chtěla věnovat tomu, jaký přínos má právě scintigrafické vyšetření pro diagnostikování onemocnění skeletu oproti skiografii. Scintigrafie nám poskytuje informace o funkci (morfologii). Zatím co skiografie nám podá údaje o anatomii. U řady nádorových a nenádorových onemocnění nejde v první řadě o anatomické struktury, ale právě o morfologii. Tu zobrazíme pomocí scintigrafie mnohem dříve než na rentgenových snímcích. Proto má nezastupitelnou roli pro diagnostiku onemocnění skeletu. Myslím si, že prozatím není lepší metoda, která by mohla scintigrafii skeletu nahradit.

V teoretické části jsem uvedla velice důležitou věc a to je radiační ochrana. Radiologický asistent by měl dodržovat ochranu vzdáleností, časem a stíněním. V praxi je to trochu problematické. Především ochrana vzdáleností. Někdy pacienti samotní moc dobře nechápou, že jsou právě oni zdrojem ionizujícího záření. Z tohoto důvodu chodí blízko ke zdravotnickému personálu i k okolním lidem, i když jsou na to upozorněni. Během praxe jsem také došla k závěru, že samotný pracovník si mnohdy neuvědomuje, že se zbytečně vystavuje škodlivému záření. Myslím si, že by na to měl být kladen větší důraz. Postupem se radiační dávky nakupují a vzniká větší pravděpodobnost stochastických účinků. Ochrana stíněním ve smyslu olovené vesty je na tomto oddělení neúčinná. Důvodem je, že vesta pohltí jen malé množství záření.

V praktické části jsem popsala vyšetření z pohledu radiologického asistent. Hlavním cílem bylo zjistit jakou úlohu má radiologický asistent při tomto vyšetření. Během praxe jsem zjistila, že jeho role je velice důležitá a nezastupitelná. Zajišťuje správné provedení scintigrafie a je pravou rukou lékaře.

Průběh vyšetření by měl probíhat podle národních radiologických standardů. Ovšem každá nemocnice má tyto standardy trochu odlišné.

Na oddělení nukleární medicíny, kde jsem vykonávala praxi, jsem po porovnání došla k závěru, že místní radiologické standardy jsou stejné nebo jen nepatrně odlišné od národních.

Vyšetření si více méně řídí lékař. U každého pacienta je to individuální. Podle nálezu sám rozhodne, co dalšího bude chtít po radiologickém asistentovi. V tomto mohou být právě nepatrné odlišnosti od národních standardů.

V průběhu praxe jsme provedli velké množství vyšetření skeletu. Z toho největší počet byl celotělových scintigrafií, které se dělaly z důvodu diagnostiky kostních metastáz. Dále jsme vyrobili třífázové scintigrafie. Také jsme prováděli diagnostiku Perthesovy choroby, která se nedělá tak běžně, u 6leté holčičky. V teoretické části mám uvedeno, že tato choroba postihuje nejčastěji chlapce od 3 do 10 let.

6 ZÁVĚR

Stále přibývají nová nádorová onemocnění, která ráda metastazují do kostí. Postupem věku mohou vznikat různé artrózy a artritidy. U pacientů s umělými klouby může dojít k jejich uvolňování. Mohou vznikat nádorová onemocnění přímo kostí (např. osteosarkom). A může se rozvíjet mnoho dalších onemocnění, které postihnou kostru. Z tohoto důvodu je nutné správně a včas diagnostikovat. Scintigrafie je významnou metodou pro diagnostiku onemocnění skeletu.

Ve své bakalářské práci jsem podrobně popsala scintigrafické vyšetřovací metody u zobrazení skeletu z pohledu radiologického asistenta. Jaká je příprava pacienta a jak probíhá vlastní vyšetření. Uvedla jsem, na co by si měl dát pozor, aby nedošlo k chybám při vyšetření.

Úloha radiologického asistenta pro vyšetření je důležitá. Právě na něm závisí, jak je vyšetření provedené. Radiologický asistent by měl být šikovný. Některá vyšetření může provádět sám a u některých je pomocná síla lékaře.

Při vypracovávání práce jsem využila vlastní zkušenosti z praxe a poznatky ze školy. Také jsem dostala velice užitečné rady od zdravotnického personálu. Z velké části jsem využila literaturu. Doufám, že jsem vytvořila přehledný popis scintigrafického vyšetření, který by mohl být užitečný.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 1*. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2001, 516 s. ISBN 80-7169-970-5.
2. DIENSBIER, Zdeněk a Jindřich BROUSIL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988, 217 s.
3. HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
4. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. *Radiofarmaka*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012, 97 s. ISBN 978-80-7464-183-1.
5. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2.
6. MERKUNOVÁ, Alena a Miroslav OREL. *Anatomie a fyziologie člověka: pro humanitní obory*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2008, 302 s. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-1521-6.
7. MYSLIVEČEK, Miroslav. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. Skriptum (Univerzita Palackého). ISBN 978-80-244-1723-3.
8. VIŽĎA, Jaroslav, Hana KŘÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. 1. vyd. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, 71 s. ISBN 80-239-6676-6.
9. VOKURKA, Martin a Jan HUGO. *Velký lékařský slovník*. 4. aktualiz. vyd. Praha: Maxdorf, 2004, 966 s. Jessenius. ISBN 80-7345-037-2.
10. VYSKOČIL, Václav. *Osteoporóza a ostatní nejčastější metabolická onemocnění skeletu*. 1. vyd. Praha: Galén, 2009, 507 s. ISBN 978-80-7262-637-3.

Internetové zdroje

11. DOLEŽAL, Jiří. *Kosti* [online]. 2012, 16. 10. 2012 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>
12. DOLEŽAL, Jiří. *Fyzika* [online]. 2012, 16. 10. 2012 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>
13. ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Jaderná a radiační fyzika, nukleární medicína* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/strana2.htm>.

14. Věstník MZČR. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, roč. 2011, číslo 9. [online] [cit. 2013-04-20]. Dostupný z: http://www.mzcr.cz/Legislativa/Soubor.ashx?souborID=12893&typ=application/pdf&nazev=ZDRAVOTNICTVI_09-11.pdf
15. ČESKO Vyhláška č. 307 ze dne 13. června 2002 Vyhláška o radiační ochraně. Dostupný z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307_po_novele.pdf

8 PŘÍLOHY

Příloha A Informovaný souhlas	74
Příloha B Informovaný souhlas – zadní strana	75



Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové
Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906
Oddělení nukleární medicíny - 6681
Tel.: 495 832 337

Souhlas pacienta/tky – zákonného zástupce
s aplikací radiofarmaka a následným vyšetřením na gamakameře

Pacient/ka:
příjmení jméno titul

Rodné číslo: Pojišťovna:

Zákonný zástupce:
(otec, matka) příjmení jméno titul

Doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:

.....
příjmení jméno titul pracovní zařazení
(zdravotní sestra, zřízenec)

Plánovaný výkon: **Scintigrafie skeletu**

Radiofarmakum: ^{99m}Tc-medronát

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Vás ošetřující lékař scintigrafické vyšetření na našem oddělení. Vyšetření se provádí na gamakameře po předchozí aplikaci radiofarmaka (léku označeného radioaktivním izotopem), obvykle nitrožilní. Zobrazení záchytu radiofarmaka umožňuje posoudit stav orgánů, přítomnost patologických ložisek apod.. Dle potřeby je scintigrafie doplněna nízkodávkovým CT. Interval mezi aplikací a vyšetřením závisí na typu výkonu. Vyšetření způsobuje nevelkou radiační zátěž organismu.

Nežádoucí vedlejší účinky (alergické reakce) se po aplikaci radiofarmak vyskytují zcela ojediněle. Pokud by se objevily po odchodu z našeho oddělení, obraťte se na svého ošetřujícího lékaře nebo pohotovost v místě bydliště, event. na Oddělení urgentní medicíny FN HK (495834120 nebo 495834130).

Před vyšetřením sdělte případné alergie v minulosti, u žen v reprodukčním věku těhotenství, podezření na těhotenství, kojení.

V den vyšetření je doporučen zvýšený příjem tekutin. Po vyšetření není nutné omezení obvyklého způsobu života, nedochází ke změně pracovní způsobilosti, není třeba měnit Váš léčebný režim. Po celý den vyšetření, je třeba omezit kontakt s malými dětmi a těhotnými ženami.

Podrobnější dotazy Vám ochotně zodpoví lékař aplikující radiofarmakum nebo jiný lékař oddělení.


Byl/a jsem srozumitelně seznámen/a s průběhem vyšetření. Byly mi zodpovězeny všechny mé otázky, a to srozumitelně, včetně všech rizik či komplikací.

Prohlašuji, že jsem lékařům nezamlčel/a žádné údaje o svém zdravotním stavu (včetně alergií), mně známé, které by mohly nepříznivě ovlivnit průběh vyšetření. Současně prohlašuji, že v případě výskytu neočekávaných komplikací, vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně mého života nebo zdraví souhlasím s tím, aby byly provedeny veškeré další potřebné a neodkladné výkony nutné k záchraně mého života nebo zdraví.

Souhlasím s plánovaným vyšetřením dne: v hodin

Podpis:

Příloha B Informovaný souhlas – zadní strana


Tel: 492 322 127
Tel: 492 322 127
Tel: 492 322 127

Aplikace radiofarmaka

Čas:

Způsob: i.v. s.c. jiný:

Místo: kubitální žíla vpravo vlevo
předloktí vpravo vlevo
dorsum ruky vpravo vlevo
dorsum nohy vpravo vlevo
jiné

Lékař/ka provádějící poučení a aplikaci radiofarmaka. Lékařské ozáření schválil/a lékař/ka:

– jmenovka a podpis: