

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Martina Šolínová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Úloha radiologického asistenta při scintigrafii a SPECT/CT skeletu

Martina Šolínová

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martina Šolínová**
Osobní číslo: **Z14138**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **Úloha radiologického asistenta při scintigrafii a SPECT/CT 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. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

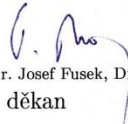
1. ČIHÁK, Radomír. Anatomie 1. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada Publishing, 2001, 516 s. ISBN 80-7169-970-5.
2. VIŽDA, Jaroslav, Hana KRÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, 71 s. ISBN 80-239-6676-6.
3. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2.
4. MYSLIVEČEK, Miroslav. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. ISBN 978-80-244-1723-3.
5. HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kulíř**


Katedra informatiky, managementu a radiologie

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. května 2017**


prof. MUDr. Josef Fusek, DSc.
děkan

L.S.


Věra Záhorová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 27. února 2017

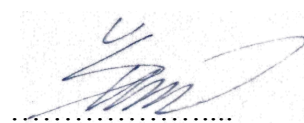
Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci 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 9.5.2017



Martina Šolínová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Jiřímu Kulířovi za vedení mé bakalářské práce, jeho ochotu a cenné rady. Též děkuji všem pracovníkům z oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové za vstřícnost a pomoc při praktické části mé bakalářské práce. Poděkování patří i mé rodině za podporu a trpělivost během celého studia.

ANOTACE

Bakalářská práce, nazvaná Úloha radiologického asistenta při scintigrafii a SPECT/CT skeletu, popisuje jedno ze základních a často prováděných vyšetření na oddělení nukleární medicíny. Skládá se z teoretické a praktické části. Teoretická část obsahuje anatomii kostry, základní informace o nukleární medicíně, radiační ochraně, radiologickém asistentovi, přístrojích používaných v nukleární medicíně, patologii. Praktická část se zabývá popisem průběhu samotného vyšetření na oddělení nukleární medicíny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Skelet, radiologický asistent, scintigrafie, hybridní přístroj SPECT/CT, scintilační kamera

TITLE

Role of radiology assistant in bone scintigraphy and SPECT/CT

ANNOTATION

Bachelor thesis: The role of radiology assistant in bone scintigraphy and SPECT/CT, describing one of the basic, common examinations in the Department of Nuclear Medicine. The thesis consists of a theoretical and practical part. The theoretical one consists of the skeletons anatomy and basic information about nuclear medicine and pathology. The practical part consists of a description of the process of the examination in the Department of Nuclear Medicine.

KEYWORDS

Skeleton, radiology assistant, scintigraphy, hybrid SPECT/CT system, scintillation camera

OBSAH

0	Úvod.....	11
1	Cíl.....	12
2	Teoretická část	13
2.1	Anatomie kostry	13
2.2	Nukleární medicína	17
2.2.1	Základní fyzikální pojmy.....	17
2.2.2	Interakce ionizujícího záření s prostředím.....	18
2.2.3	Biologické účinky ionizujícího záření	18
2.2.4	Přístroje používané v nukleární medicíně.....	21
2.3	Radiační ochrana.....	27
2.4	Radiologický asistent	31
2.5	Radiofarmaka	32
2.6	Scintigrafie a SPECT/CT skeletu.....	34
2.6.1	Princip.....	34
2.6.2	Radiofarmakum	35
2.6.3	Indikace.....	35
2.6.4	Kontraindikace.....	36
2.6.5	Patologie	36
3	Praktická část	44
3.1	Příprava pacienta.....	44
3.2	Vlastní vyšetření.....	44
3.2.1	Celotělová scintigrafie	45
3.2.2	Třífázová scintigrafie	47
3.2.3	Cílené plantární scintigramy	48
3.3	Zdroje chyb při vyšetření	48
3.4	Výsledky vyšetření.....	49

4	Diskuze	52
5	Závěr	53
6	Použitá literatura	54
7	Přílohy.....	56

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 Kostra lidského těla	16
Obrázek 2 Křivka průběhu deterministických a stochastických účinků.....	21
Obrázek 3 Schéma přenosu a záznamu informace o distribuci radiofarmaka v těle pacienta scintilační kamerou	22
Obrázek 4 Nejčastěji používané kolimátory	23
Obrázek 5 Snímání pomocí SPECT.....	25
Obrázek 6 Hybridní přístroj SPECT/CT.....	25
Obrázek 7 Princip PET	26
Obrázek 8 Kategorizace pracovišť	29
Obrázek 9 Filmový osobní dozimetr	31
Obrázek 10 Eluční molybden-techneciový generátor.....	33
Obrázek 11 Schématické znázornění celého procesu scintigrafického vyšetření.....	35
Obrázek 12 Osteogenní sarkom	37
Obrázek 13 Mnohočetné metastázy karcinomu prostaty	38
Obrázek 14 Kompresivní fraktury	39
Obrázek 15 Osteoartróza malých kloubů ruky	40
Obrázek 16 Ovolnění endoprotézy levého kolenního kloubu	41
Obrázek 17 Pagetova choroba	42
Obrázek 18 Digestoř	45
Obrázek 19 Uložení pacienta.....	46
Obrázek 20 Začátek snímání	47
Obrázek 21 Ponožka kontaminovaná radioaktivní močí	49
Obrázek 22 Normální nález	50
Obrázek 23 Superscan	51
Tabulka 1 Radiační limity.....	28

0 ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá úlohou radiologického asistenta při scintigrafii a SPECT/CT skeletu. Jedná se o velmi často prováděné vyšetření na oddělení nukleární medicíny. Umožňuje nám neinvazivní metodou zobrazit změny kostního metabolismu. Hlavní přednost scintigrafie je její vysoká senzitivita, která odhalí řadu patologických procesů ve skeletu dříve, než jiné zobrazovací metody. Toto vyšetření můžeme doplnit o jednofotonovou emisní tomografii (SPECT). Nevýhodou scintigrafie je její nízká specifická.

Její nejčastější využití je při hledání kostních metastáz. Zejména u karcinomu prsu, prostaty, plic aj. Dále scintigrafii využíváme u metabolických onemocnění skeletu, při kostních nádorech, zánětech, frakturách, různých nekrotizacích aj.

V teoretické části je zařazena anatomie skeletu, základní informace o nukleární medicíně, pozornost je také věnována radiační ochraně, jejíž dodržování je velmi důležité pro pracovníky i pacienty. Také jsou zde zařazena nejčastěji využívaná radiofarmaka. Důležité jsou také přístroje, na kterých je samotné vyšetření prováděno.

V praktické části je popsán průběh samotného vyšetření a zejména činnost radiologického asistenta během celého vyšetření.

1 CÍL

Cílem mé bakalářské práce je popsat práci radiologického asistenta při scintigrafii a SPECT/CT skeletu, zhodnotit jeho činnost v průběhu vyšetření a porovnat radiologické standardy z absolvované praxe s národními radiologickými standardy.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Anatomie kostry

Kosti svým souborem tvoří základ pohybového systému těla. Podle jejich tvaru je dělíme na kosti dlouhé, krátké, ploché, nepravidelného tvaru a pneumatizované. Pro některé orgány slouží jako ochranná schránka (mozek, mícha, srdce, plíce aj.). (3)

Kost je pevný, tvrdý, v jistém rozmezí i pružný orgán nažloutlé barvy. Kosti se skládají ze tří stavebních komponent. Kost pokrývá silný, tuhý, vazivový list – **okostice (periosteum)**. Probíhají zde cévy zajišťující výživu kosti a nervy. Pod okosticí se nachází deskovitá nebo trubicovitá **kostní kompakta**. Skládá se z soustředěně orientovaných kostních lamel. Kompakta dodává kosti pevnost a pružnost. Uvnitř kostí se nachází houbovitá tkáň – **kostní spongióza**, která je složena z kostních trámčů. Dodává kosti především pevnost. (2, 3)

Uvnitř dlouhých kostí se nacházejí dutiny, které vyplňuje **kostní dřev (medulla ossium)**. Skládá se z vazivových buněk a cévních pletení. Červená kostní dřev je místem krvetvorby. Tvoří se zde červené krvinky, bílé krvinky a krevní destičky. Postupně je nahrazena žlutou kostní dřeví, která je tvořena tukovou tkání. Nakonec se tuková tkáň změní ve vazivo a vznikne šedá kostní dřev. (2, 3)

Skelet se rozděluje na kostru hlavy, kostru osovou (páteř, hrudní koš) a kostru končetin.

Kostra lebky (cranium)

Lebka se skládá z obličejové a mozkové části lebky.

- **Obličejová část** je poměrně malá. Horní oddíl je pevně spojený, dolní oddíl je pohyblivý. Horní oddíl tvoří horní čelist (maxilla), lící kosti (os zygomaticum), slzná kost (os lacrimale), nosní kosti (os nasale), patrové kosti (os palatinum) a radličná kost (vomer). Dolní oddíl představuje dolní čelist (mandibula). Pod dolní čelistí je drobná kůstka jazyka (os hyoideum). (3)
- **Mozková část** je tvořena lebeční klenbou - temenní kost (os parietale) a lebeční bázi - týlní kost (os occipitale), klínová kost (os sphenoidale), spánková kost (os temporale), čichová kost (os ethmoidale) a čelní kost (os frontale). (3)

Kostra páteře a hrudníku

Páteř (columna vertebralis) tvoří 33-34 obratlů. Vytváří osu vzpřímeného těla a kostěnou schránku pro míchu. Obratel je krátká kost s nepravidelným tvarem. Skládá se z těla obratle a oblouku s výběžky. Mezi obratli jsou vloženy pružné chrupavky - meziobratlové destičky.

Páteř má esovitý tvar. Prohnutí dozadu (kyfóza) je v oblasti hrudní páteře a kosti křížové. Naopak prohnutí dopředu (lordóza) je u krční a bederní páteře. (2)

Obratle dělíme na 7 krčních (vertebrae cervicales), 12 hrudních (vertebrae thoracicae), 5 bederních (vertebrae lumbales), 5 křížových, které srůstají v jednu kost křížovou (os sacrum) a 4-5 kostrčních spojených v kostrční kost (os coccygis). (2)

Kostru hrudníku tvoří žebra, hrudní obratle a hrudní kost. Hrudník vytváří kostěnou schránku pro životně důležité orgány.

- **Žebra (costae)** jsou dlouhé, obloukovité kosti pohyblivě připojené k obratlovým tělům. K hrudní kosti jsou připojena žební chrupavkou. Prvních sedm párů jsou žebra pravá, protože se připojují chrupavkou přímo k hrudní kosti. Další tři páry jsou žebra nepravá, jelikož se chrupavkami spojují s pravými žebry. Poslední dva páry jsou nespojeny. Jedná se o volná žebra, která končí mezi svaly břišní stěny.
- **Hrudní kost (sternum)** je plochá kost. Skládá se z rukojeti, vlastního těla a mečovitého výběžku. (3)

Kostra horní končetiny

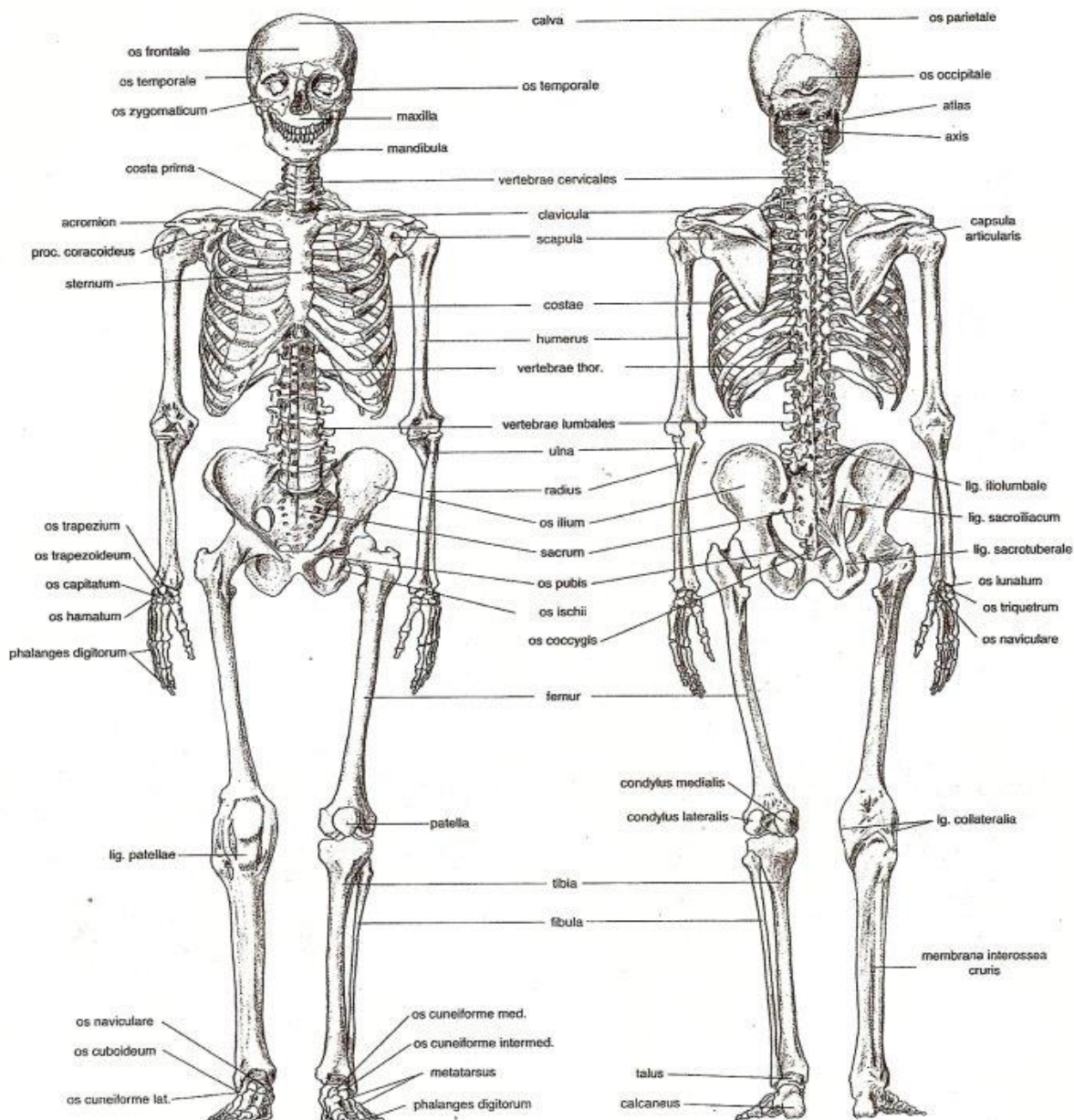
Tvořena je pletencem horní končetiny a vlastní volnou horní končetinou. Pletenec tvoří klíční kost a lopatka. Volná končetina se skládá z pažní kosti, vřetenní kosti, loketní kosti, zápěstních a záprstních kůstek a článků prstů. (2)

- **Lopatka (scapula)** je plochá kost, která má trojúhelníkový tvar. Vybíhá v důležitý orientační bod při vyšetřeních – nadpažek (acromion).
- **Klíční kost (clavicula)** je dlouhá, esovitě zahnutá kost. Je spojena s hrudní kostí a nadpažkem.
- **Pažní kost (humerus)** vytváří kostěný základ paže. Je to dlouhá kost, která na dolním konci vybíhá v nadkloubní hrboly (epikondyly).
- **Vřetenní kost (radius)** se nachází na palcové straně předloktí. Dolní konec vybíhá v bodcový výběžek.
- **Loketní kost (ulna)** leží na malíkové straně předloktí. Horní část vybíhá v okovec (olecranon ulnae) a dolní část v bodcovitý výběžek.
- **Kostra zápěstí (carpus)** je tvořena osmi malými kůstkami ve dvou řadách. Proximální řadu tvoří kost hrášková (os pisiforme), trojhranná (os triquetrum), poloměsíčitá (os lunatum) a loďkovitá (os scaphoideum). Distální řada je tvořena kostí hákovitou (os hamatum), hlavatou (os capitatum), trapézovitou (os trapezoideum) a trapézovou (os trapesium).
- **Kostra záprstí** je složená z pěti kostí (os metacarpale I-V).
- **Kostra prstů** je u palce tvořena dvěma články a u ostatních prstů třemi články (falangy). (2, 3)

Kostra dolní končetiny

Skládá se z pánevního pletence a volné dolní končetiny. Pánev (pelvis) tvoří kostěnou schránku pro některé břišní a pánevní orgány. Rozděluje se na horní velkou pánev a dolní malou pánev. Velikost a tvar pánve je odlišná podle pohlaví. U žen tvoří malá pánev důležitou porodnickou cestu. (3)

- **Pánevní kost (os coxae)** je tvořena ze tří kostí. Kyčelní kost (os ilium) je plochá kost lopatkovitého tvaru. Je v ní jamka kyčelního kloubu (acetabulum). Sedací kost (os ischii) vybíhá v sedací hrboly. Stydká kost (os pubis) vytváří sponu stydkou. Mezi stydkými kostmi se nachází stydká spona (symfýza). Kosti pánve se kloubně spojují s kostí křížovou.
- **Stehenní kost (femur)** je největší kost lidského těla. Hlavice je s tělem spojena dlouhým krčkem. Dolní část vybíhá ve dva kloubní hrboly (kondyly).
- **Češka (patella)** je největší sesamská kost v těle.
- **Holenní kost (tibia)** leží na palcové straně bérce. Horní část vybíhá v kondyly. Dolní konec vytváří vnitřní kotník (malleolus).
- **Lýtková kost (fibula)** je na malíkové straně bérce. Dolní konec vytváří zevní kotník.
- **Zánártní kosti (ossa tarzi)**. Je jich celkem sedm. Patní kost (calcaneus) je největší a vybíhá v hrbol patní kosti. Hlezenní kost (talus) leží shora na patní kosti. Dále tu jsou tři klínové kůstky (ossa cuneiformia), krychlová kost (os cuboideum) a kost loďkovitá (os naviculare).
- **Nártní kosti (ossa metatarzi)**. Je jich pět a navazují na články prstů.
- **Články prstů (phalanges)** jsou u palce tvořeny dvěma kůstkami, ostatní třemi. (2, 3)



Obrázek 1 Kostra lidského těla¹

¹ PECNOVÁ, Martina. *Masáže Milada Langfelnerová: Opěrná soustava – Kosti* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://www.masaze-dvur.unas.cz/anatomie_operna.html

2.2 Nukleární medicína

„Nukleární medicína je obor zabývající se diagnostikou a léčbou pomocí otevřených radioaktivních zářičů aplikovaných do vnitřního prostředí organismu“. (7, s.13) Jedná se o samostatný lékařský obor, jehož vznik byl umožněn objevem umělé radioaktivity v roce 1932. Rozlišujeme metody **in vivo** a **in vitro**. In vivo se radiofarmakum aplikuje přímo do těla pacienta nejčastěji intravenózní injekcí. Při diagnostických vyšetřeních emitují radionuklidy **elektromagnetické záření** (záření gama, RTG, záření vznikající při anihilaci pozitronů). Pro terapii se využívají radiofarmaka emitující **korpuskulární záření** (částice beta, případně alfa). Vyšetření in vitro používá metody určené ke stanovení koncentrace látek v tělních tekutinách. Pacient při této metodě není v kontaktu s radioaktivní látkou. Nukleární medicína potřebuje ke své existenci úzkou vazbu s dalšími klinickými obory (onkologie, kardiologie, endokrinologie, urologie aj.). (5, 7)

2.2.1 Základní fyzikální pojmy

„Radioaktivita je proces, při kterém se nestabilní jádro určitého nuklidu samovolně přeměňuje (včetně účasti obalových elektronů) na jádro jiného nuklidu za současného vzniku ionizujícího záření“. (7, s.19) Mateřské jádro je nestabilní a přeměňuje se na jádro dceřiné. Každý radionuklid má svůj typ přeměny, energii emitovaného záření a poločas přeměny. (7, 8)

- **Přeměna α** – z mateřského jádra vylétá částice alfa tvořená 2 protony a 2 neutrony. Dceřiný nuklid se v periodické tabulce posouvá o dvě místa doleva. Emitované částice mají energii od 4 do 8 MeV. Velká hmotnost částice umožňuje jen malý dosah ve tkáni, cca 0,03mm.
- **Přeměna β^-** – doprovází ji emise elektronů z atomového jádra, neutron se mění na proton, elektron a antineutrino. V jádře se zvýší počet protonů o jeden a dceřiný nuklid se v periodické tabulce posune o jedno místo doprava. Jednotlivé energie elektronů vytváří spojité spektrum. Střední dosah v tkáni je cca 1-4mm.
- **Přeměna β^+** – dochází k emitaci kladně nabitých pozitronů z jádra. Proton se mění na neutron, pozitron a neutrino. Protonové číslo se zmenší o jedna a dceřiný nuklid se v periodické tabulce posune o jedno místo doleva.
- **Elektronový záchyt** – jádro zachytí elektron z vnitřní slupky, v jádře se spojí elektron s protonem a vznikne neutron. Protonové číslo se zmenší o jedna a dceřiný nuklid se posouvá v periodické tabulce o jedno místo doleva. Nejčastěji je záchyt ze slupky K, která je jádru nejbližší. Elektronový záchyt je doprovázen zářením X.
- **Záření γ** – přeměny alfa a beta jsou často doprovázeny emisí záření gama, protože dceřiné jádro je v energeticky excitovaném stavu. Při přechodu do základního stavu dojde k vyzáření přebytečné energie formou elektromagnetického záření (záření gama). (5, 7, 14)

2.2.2 Interakce ionizujícího záření s prostředím

Záření rozdělujeme podle způsobu ionizace na přímo ionizující (α , elektrony, protony aj.) a nepřímo ionizující (rentgenové, γ , neutrony). **Přímo ionizující záření** jsou částice, které mají náboj. Tyto částice přímo vyřazují elektrony z atomových obalů a způsobují excitaci a ionizaci atomů. Částice ztrácí každou interakcí část své energie a její dosah ve tkáni je jen několik milimetrů. **Nepřímo ionizující záření** nemá elektrický náboj. Záření předá nejčastěji elektronu z elektronového obalu svou energii. V nukleární medicíně probíhá předání nejčastěji pomocí **fotoefektu** nebo **Comptonova rozptylu**. Při fotoefektu předá foton svou energii elektronu na vnitřní slupce elektronového obalu a tento elektron vyrazí. Elektron z vyšší slupky obsadí volné místo a současně vyzáří charakteristické rentgenové záření. U Comptonova rozptylu probíhá interakce s elektronem na vnější slupce atomového obalu. Foton předá elektronu jen část své energie. Vznikne odražený elektron a rozptýlený foton. (5, 8, 11)

2.2.3 Biologické účinky ionizujícího záření

Průchodem fotonů γ nebo rentgenového záření tkání může dojít ke třem procesům v závislosti na jejich energii.

- Fotony projdou tkání bez interakce a nedochází k rozptylu ani absorpci.
- Fotony zastavují a předávají veškerou svou energii elektronům atomového obalu. Dochází k jejich úplné absorpci fotoefektem.
- Fotony ztrácejí jen část své energie při Comptonově rozptylu na elektronech atomového obalu a dojde k částečné absorpci energie fotonů. (4, 14)

Druhý a třetí proces způsobují absorpci energie záření ve tkáni. Při popisu biologických účinků definujeme **absorbovanou dávku D**. Jedná se o množství energie absorbované v materiálu na jednotku hmotnosti. Její jednotkou je joule na kilogram ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$). U ionizujícího záření se používá jednotka **gray**, kdy platí $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$. Gray je celkem velká jednotka a proto se v praxi častěji používají miligray mGy a mikrogray μGy . (4)

Při zachycení záření v těle dojde k ionizaci nebo excitaci atomů a molekul. Pokud k procesu dojde přímo v buňce DNA (kyselina deoxyribonukleová), jedná se o **fyzikální stádium**. Další stádium je **chemické**, při němž může docházet k radiolýze vody a ke vzniku radikálů $\text{H}\cdot$ a $\text{OH}\cdot$. Tyto radikály mohou reagovat s DNA a poškodit ji. Poslední stádium je **biologické**, které někdy trvá měsíce až roky. V tomto stádiu vznikají morfologické a funkční změny na buňce. (4, 7)

Na dvoušroubovici kyseliny deoxyribonukleové je základní poruchou zlom jednoho nebo úplný zlom dvojvlákna DNA. Toto poškození vzniká i při průchodu jedné částice hustě ionizujícího záření jádrem buňky. Toto záření (např. částice alfa a neutrony) má vysokou hodnotu lineárního přenosu energie (LET – linear energy transfer). Pokud projde buňkou záření s nízkým LET (rentgenové, γ aj.) může vzniknout zlom jen jednoho vlákna DNA. Když je molekula DNA hrubě narušena, může dojít k reprodukční smrti buňky. Může také dojít k mutacím, které dělíme na genetické a somatické. (7, 13)

Každá tkáň v těle má jinou **radiosenzitivitu** (tj. vnímavost ke vzniku poškození ionizujícím zářením). Velkou radiosenzitivitu mají tkáně málo diferencované, které se rychle dělí (např. kostní dřeň, samčí gonády, střevní epitel). Naopak radiorezistentní jsou buňky diferencované, které se málo nebo vůbec nedělí (např. nervové buňky, myokard). (4)

Na základě této skutečnosti způsobuje ionizující záření v organismu **deterministické** nebo **stochastické účinky**.

Deterministické účinky

Dávkový práh pro vznik deterministických účinků je pro každou tkáň jiný. Jejich závažnost stoupá s obdrženou dávkou. Účinky se projeví krátce po ozáření, nebo v průběhu několika dnů až týdnů. Po dosažení určité dávky nastává maximální účinek a tkáň nekrotizuje. Jestliže je počáteční poškození mírné, dokáže se v krátké době reparovat, ale vysoká dávka může způsobit progresivní poškození. Nejdříve nastupuje **fáze prodromální**, poté je **období latence** a nakonec **fáze manifestní**, kdy dochází k úplnému rozvoji onemocnění. Deterministické účinky nenastanou, pokud je obdržená dávka pod prahem jejich vzniku. (4, 7)

Pokud dojde k celotělovému ozáření, rozlišujeme 3 typy akutní nemoci z ozáření (ANO).

- **Dřeňová (hematologická) forma** – rozvíjí se po celotělovém ozáření dávkou 3-4 Gy. První příznaky se mohou objevit již při dávce 1 Gy. Dochází k významnému útlumu krvetvorby. Prvotní příznaky jsou nespecifické – bolest hlavy, nauzea, zvýšená teplota aj. Poté nastupuje několikadenní období latence. Následuje rozvoj vlastního onemocnění – sepse, krvácení, zhroucení obranných imunitních mechanismů, orofaryngeální syndrom aj. Pokud je dávka nízká, dojde po 6-8 týdnech ke zlepšení stavu pacienta.
- **Gastrointestinální (střevní) forma** - její prahová dávka je 6-10 Gy. Jedná se o obnažení povrchu střeva důsledkem nekrózy buněk střevní výstelky. Dochází k významné poruše vodního a minerálního hospodářství. Tato forma je vážná a smrtelná.

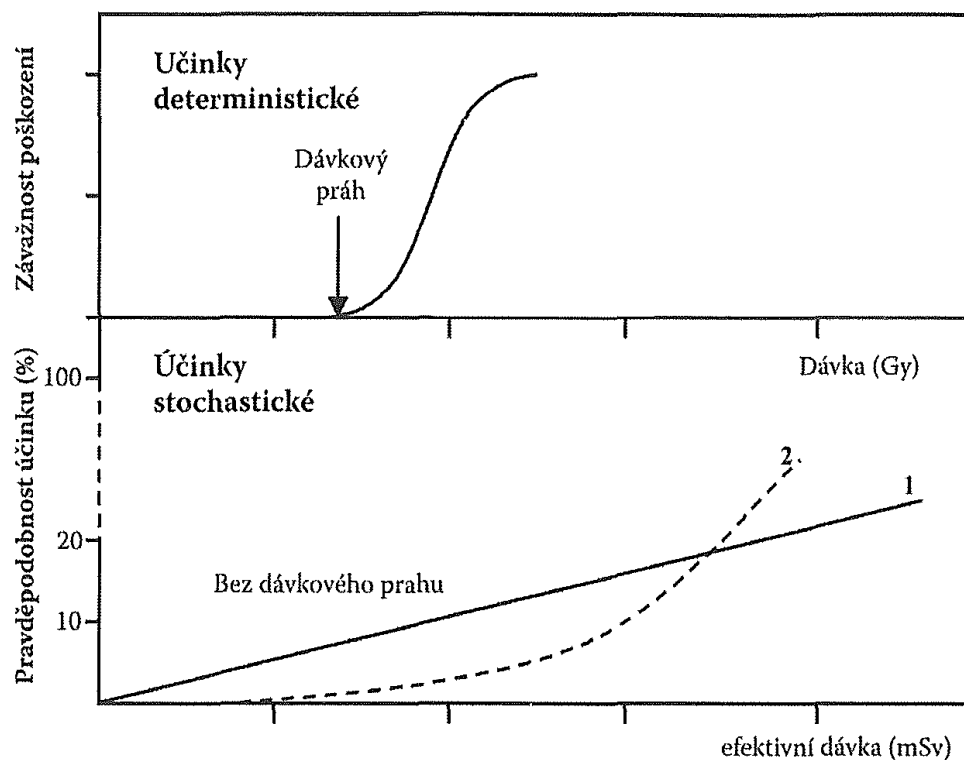
- **Neurovaskulární forma** - při dávkách nad 20 Gy se dostavuje metabolický rozvrat, kardiogenní šok a kóma. Pokud dávka překročí 50 Gy, dojde k dezorientaci, selhávání oběhu, křečím a bezvědomí. Tato dávka je pro organismus letální. (4, 13)

Dojít může také k akutnímu lokálnímu poškození, kdy je záření vystavena pouze část těla.

- **Radiační dermatitis** – vzniká v případě, že zdroj záření byl blízko těla, nebo v kontaktu s pokožkou. Rozlišujeme 3 fáze.
 - Erytematózní dermatitis – rozvoj začíná po dávce 2-4 Gy. Objevuje se místní zarudnutí. Následuje období latence, které trvá 2-4 týdny. Pokud je dávka vyšší než 3 Gy, může dojít k přechodné epilaci.
 - Deskvamativní dermatitis – prahová dávka je okolo 20 Gy. Po časném erytému a období latence (2-3 týdny) nastupuje pozdní erytém, který postihuje i hlubší vrstvy kůže. Často dochází ke vzniku puchýřů.
 - Nekrotická forma dermatitidy – dávka přesahuje 50 Gy. Dochází ke tvorbě hlubokých vředů.
- **Chronická radiační dermatitis** – vzniká při dlouhodobém, opakovaném vystavování kůže záření. Prahová dávka je 30-50 Gy. Rozlišujeme atrofický a hypertrofický typ.
- **Katarakta (zákal oční čočky)** – vyskytnout se může již při dávce nad 0,5 Gy.
- **Poškození fertility** – u mužů dochází k dočasně sterilitě při dávkách 0,1-0,3 Gy. Trvalá sterilita nastane po dávce vyšší než 3 Gy. 2,5-8 Gy způsobuje u žen trvalou neplodnost až v 70%. (7)

Stochastické účinky

Pro vznik stochastických účinků neexistuje žádný dávkový práh. Tyto účinky jsou bezprahové a s rostoucí dávkou se jen zvyšuje pravděpodobnost jejich vzniku, nikoli jejich závažnost. Nelze rozlišit, zda se jedná o následek ozáření, protože nádory a genetická poškození se neliší od těch, které vzniknou spontánně. Do stochastických účinků patří vznik nádorů a genetické účinky. (4)



Obrázek 2 Křivka průběhu deterministických a stochastických účinků²

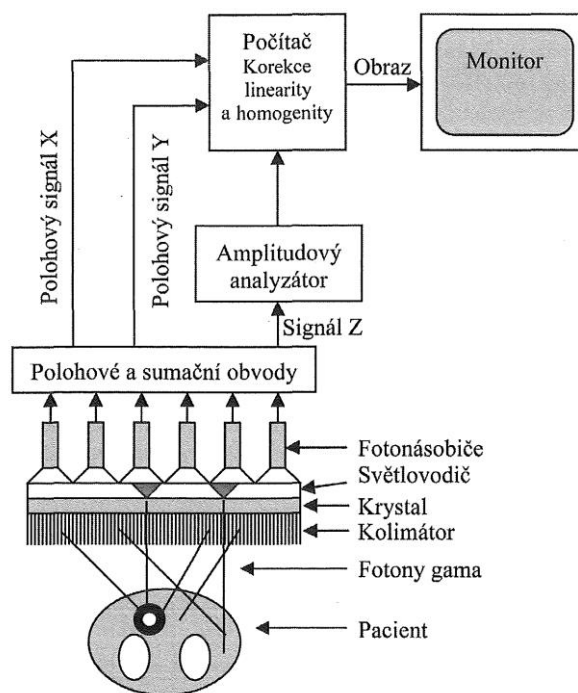
2.2.4 Přístroje používané v nukleární medicíně

Scintilační kamera (gamakamera)

Používá se pro scintigrafická vyšetření. Skládá se z scintilačního krystalu, kolimátoru, fotonásobiče, elektronické aparatury a počítače. Ve většině případů se používá dvouhlavá kamera, která má dva detektory. Scintilační detektory jsou velmi senzitivní na gama záření. (5)

Ionizující záření nejprve dopadá na **kolimátor**. Kolimátor je deska z olova nebo wolframu, ve které je velký počet různých otvorů. Funguje jako filtr a pouští jen fotony letící ve správném směru. Ostatní fotony jsou zachyceny v přepážkách mezi otvory. Používáme různé typy kolimátorů podle energie záření gama aplikovaného radiofarmaka, podle rozlišovací schopnosti a citlivosti a podle konfigurace otvorů. (7, 13)

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



Obrázek 3 Schéma přenosu a záznamu informace o distribuci radiofarmaka v těle pacienta scintilační kamerou³

Podle konfigurace otvorů

- Kolimátor s paralelními otvory – otvory jsou kolmé na krystal. Obraz je stejně velký jako ve skutečnosti. Tento kolimátor se používá nejvíce.
- Kolimátor divergentní – otvory se rozbíhají ke zdroji záření a obraz je zmenšený.
- Kolimátor konvergentní – otvory se sbíhají ke zdroji záření a obraz je zvětšený.
- Kolimátor pinhole – má nálevkovitý tvar a jeden malý otvor (3-5 mm). Obraz je zvětšený a převrácený. Rozlišení má velmi vysoké, ale nízkou citlivost. Používá se k vyšetření malých orgánů, zejména štítné žlázy.
- Kolimátor fan beam – speciální typ, který je v transverzální rovině konvergentní a v axiální je paralelní. Rozlišení má velmi vysoké. (7, 14)

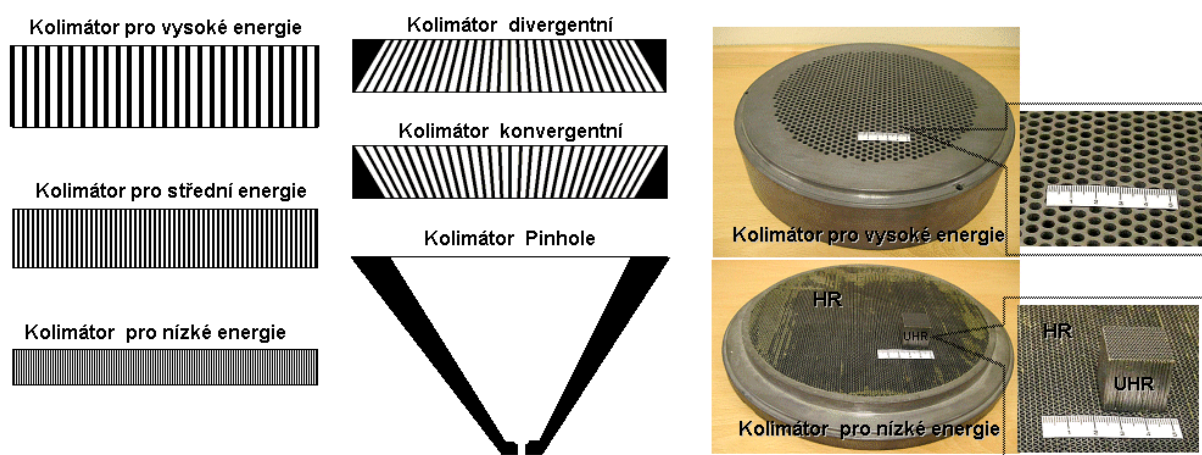
Podle energií

- Kolimátor pro nízké energie (LE – low energy) – obsahuje velký počet drobných otvorů a tenké přepážky (0,2-0,5mm). Nejčastěji se používá pro ^{99m}Tc (140 keV).
- Kolimátor pro střední energie (ME – medium energy) – pro ¹¹¹In, nebo ⁶⁷Ga.
- Kolimátor pro vysoké energie (HE – high energy) - mohutnější konstrukce i přepážky (2-3mm). Pro ¹³¹I (364 keV).
- Kolimátor pro velmi vysoké energie (UHE – ultra high energy) – robustní konstrukce s dostatečně silnými přepážkami (3-5mm). Nejčastěji pro anihilační záření γ . (7, 14)

³ KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc, 2014, s. 28

Podle rozlišení a citlivosti

- Kolimátor s vysokou účinností (HS – high sensitivity) – obsahuje krátké větší otvory a tenké přepážky. Rozlišení je zhoršené.
- Kolimátor s vysokým rozlišením (HR – high resolution) – delší drobné otvory a velmi tenké přepážky. Rozlišení má vysoké, ale sníženou citlivost.
- Kolimátor s ultra vysokým rozlišením (UHR – ultra high resolution) – dlouhé hodně drobné otvory a velice tenké přepážky. Jeho velmi vysoké rozlišení je na úkor snížené citlivosti.
- Kolimátor s kompromisem mezi rozlišením a citlivostí (LEAP – low energy all purpose) – jeho využití je univerzální. (5, 7)



Obrázek 4 Nejčastěji používané kolimátory⁴

Když projde záření kolimátorem, dostává se na **scintilační krystal**. Jedná se o jodid sodný aktivovaný thaliem NaI(Tl). Nejčastěji je obdélníkového tvaru, 40-50cm velký. Na krystalu je pomocí světlovodivé hmoty připevněno okolo 60-65 **fotonásobičů**, které převádějí světlo detekované na scintilačním krystalu na elektrický signál. Světelné fotony dopadají na fotokatodu fotonásobiče a mění se na fotoelektrony. Fotoelektrony dopadají na **system dynod**, kde se znásobí až 10^6 krát. Výsledkem je dobře měřitelný elektrický impulz. Impulz po zesílení v zesilovači postupuje do **amplitudového analyzátoru**. Nakonec se impulzy dostanou do vyhodnocovacího zařízení. (7, 11)

⁴ ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

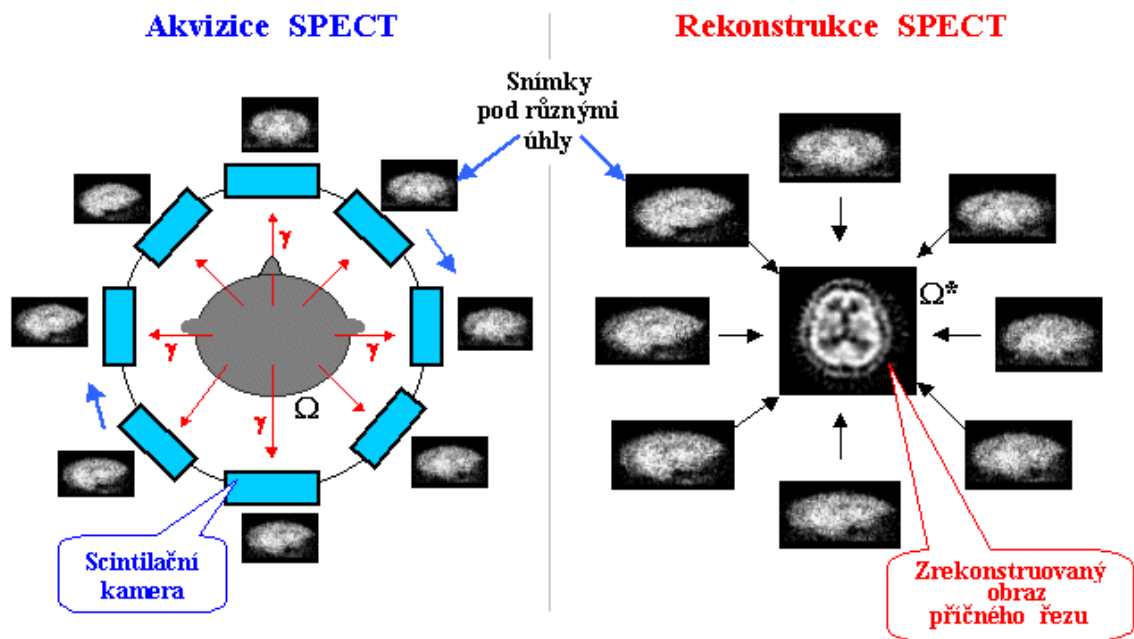
Jednofotonová emisní tomografie – SPECT

U jednofotonové emisní tomografie SPECT (single-photon emission computed tomography) se zdroj záření gama nachází v těle pacienta. Naproti tomu u transmisní výpočetní tomografie CT se zdroj záření nachází mimo tělo pacienta. Základem SPECT přístroje je **detektor**, který je stejný jako u kamery pro plantární scintigrafii. Použit se může jeden detektor, ale nejčastěji se používají přístroje se dvěma detektory. (5)

Při vyšetření se detektory mohou otáčet kolem pacienta krokově, nebo plynule (méně používané). Nejčastěji se zaznamenává 120 projekcí na 360° rotaci. Na dvoudetektorové kameře zaznamená každý detektor 60 projekcí po 3°. Stupně, po kterých se kamery budou otáčet a snímat, si můžeme nastavit. Při použití jednodetektorové kamery trvá záznam dvakrát déle. Všechny získané projekce se ukládají do počítače. V počítači se projekce rekonstruují. **Rekonstrukce** probíhá pomocí filtrované zpětné projekce, nebo nejčastěji iterativní rekonstrukcí. Iterativní rekonstrukce spočívá ve vyhledání přibližně stejných obrazů, jako jsou obrazy nasnímané z jiných úhlů. U této rekonstrukce má obraz menší šum. Vznikne trojrozměrný obraz, který zobrazuje distribuci radioaktivní látky ve vyšetřované oblasti. Z něho lze získat tomografické řezy tkání. (7)

Hlavní **výhodou** SPECT je získání trojrozměrného obrazu, který nám lépe ukáže uložení léze. Tato metoda má oproti plantární scintigrafii také vyšší kontrast. Díky tomu zobrazíme i léze, které by při plantárním zobrazování nemusely být vidět. **Nevýhoda** je horší prostorová rozlišovací schopnost a vyšší šum než u plantárního zobrazování. (7)

Pokud systém SPECT doplníme o CT přístroj, vzniká nám **hybridní systém SPECT/CT**. Tento přístroj dokáže zobrazit jak funkci orgánu, tak i jeho anatomii. Některé přístroje mají rentgenku spojenou s gantry SPECT kamery, což omezuje rychlost rotace a může být použit pouze **nízkodávkový režim (low-dose)**, kterým získáme pouze orientační obrazy s nízkým rozlišením. Jiné přístroje mohou rentgenkou rotovat rychle a používají jak low-dose režim, tak především high-dose režim. Tímto režimem získáváme plně diagnostický režim s vysokým rozlišením, ale spojený bohužel s vyšší radiační zátěží pacienta. (5, 7)



Obrázek 5 Snímání pomocí SPECT⁵



Obrázek 6 Hybridní přístroj SPECT/CT⁶

⁵ ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

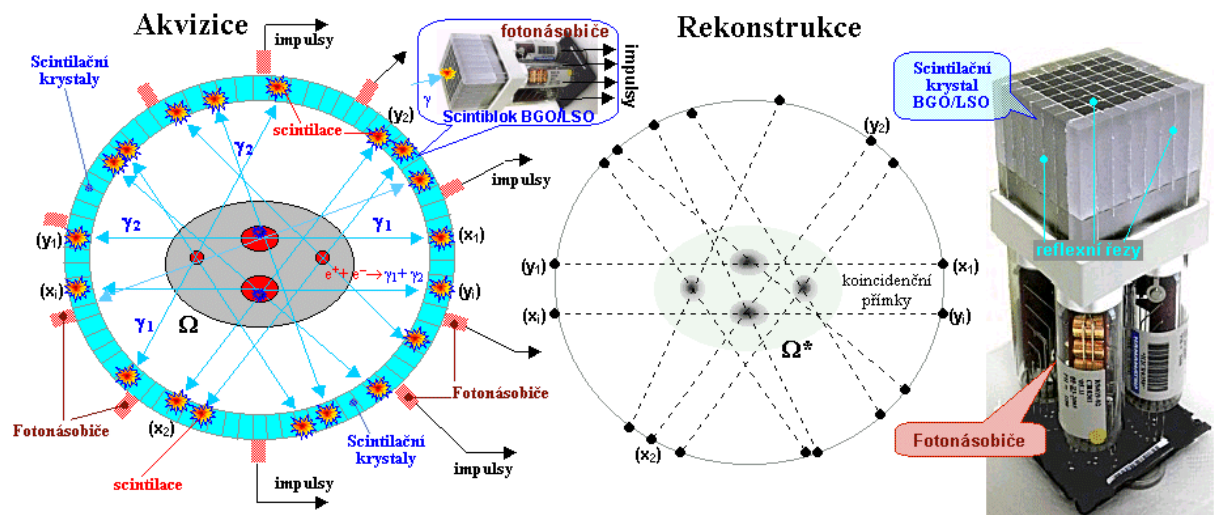
⁶ ONM FNHK

Pozitronová emisní tomografie – PET

PET (positron emission tomography) se skládá z mnoha drobných detektorů uspořádaných do prstenců okolo pacienta. Detektory se při vyšetření nepohybují. Zařízení nepoužívá klasické kolimátory, ale využívá **elektronickou kolimaci**, která má vyšší citlivost. Jedná se o nejlepší metodu pro zobrazení funkce organismu. (5, 7)

Používá se β^+ **radioaktivní zářič** (nejčastěji radiofarmakum 18F-FDG), u kterého dojde k emisi pozitronu, který interaguje s blízkým elektronem. Dochází k jejich **anihilaci** a vzniku fotonů o energii 511 keV. Z místa anihilace odlétají fotony pod úhlem 180° . Dosah pozitronu ve tkáni je velmi malý. Obě kvanta fotonů musí být zachyceny na protilehlých detektorech současně, jinak nedojde k jejich detekci. „*Při současné detekci dvou impulzů ve dvou detektorech lze s vysokou pravděpodobností předpokládat, že se poloha místa emise nachází ve spojnici dvou bodů na detektorech, ve kterých byly fotony detekovány*“. (5, s.30) Ze získaných údajů se pomocí počítače rekonstruuje trojrozměrný obraz distribuce radiofarmaka ve vyšetřované oblasti. (5)

PET je možné spojit s CT a vzniká **hybridní systém PET/CT**. Pozitronová emisní tomografie nám zobrazí funkci orgánů a počítačová tomografie anatomické struktury. První se provede CT a poté PET. Následně dochází k fúzi obou obrazů a získáme výsledný obraz. (7)



Obrázek 7 Princip PET⁷

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

2.3 Radiační ochrana

Podle legislativy související s ochranou před ionizujícím zářením musí pracoviště nukleární medicíny a všechna pracoviště pracující s ionizujícím zářením dodržovat zásady uvedené v zákoně č. **263/2016 Sb.** (atomový zákon) a vyhlášku o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje č. **422/2016 Sb.** Lékařská ozáření se dále řídí zákonem o specifických zdravotních službách.

„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.46) Radiační ochrana má tři základní principy, které musí dodržovat každý pracovník provádějící činnost vedoucí k ozáření. (5)

- **Princip zdůvodnění** – přínos vyšetření musí převážit jeho rizika
- **Princip optimalizace** – pracovník musí dodržovat radiační ochranu na tak vysoké úrovni, aby byly dávky tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout
- **Princip nepřekročení limitů** – záření omezí tak, aby nedošlo k přesažení stanovených limitů (4)

Ozáření rozlišujeme na **ozáření při práci** (radiační pracovníci při práci), **lékařské ozáření** (vyšetřovací a léčebné postupy), **ozáření obyvatel** (všechna ostatní ozáření). Lékařské ozáření nemá žádné limity. Zásadou je, že riziko spojené s ozářením je nižší než jeho přínos. (5)

Velmi důležité je také rozdělení zářičů na uzavřené a otevřené. **Uzavřený zářič** je zapouzdřený a není možný únik radionuklidu mimo pouzdro. Těsnost je ověřována předepsanými zkouškami. Tyto zářiče se používají v teleterapii nebo v brachyterapii. **Otevřený zářič** je každý, který neodpovídá podmínkám pro uzavřený zářič. Používají se v diagnostice a léčebné nukleární medicíně. Nejčastěji jsou v kapalném nebo plynném stavu. (4)

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“. (4, s.27) Do dávek se nezahrnuje ozáření z přírodního pozadí. Rozlišujeme 4 skupiny, které podléhají limitům. (4)

- **Obecné limity** - platí pro obyvatele. Efektivní dávka 1 mSv/rok. Ekvivalentní dávka v oční čočce 15 mSv/rok a průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm³ kůže je 50 mSv/rok.
- **Limity pro radiační pracovníky** - efektivní dávka 20 mSv/rok. 100 mSv za pět let po sobě jdoucích a zároveň maximálně 50mSv/rok. Ekvivalentní dávka v oční čočce 100 mSv za pět let po sobě jdoucích a 50 mSv/rok. Průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm³ kůže 500 mSv/rok a ekvivalentní dávka pro končetiny je 500 mSv/rok.
- **Limity pro učně a studenty** - efektivní dávka 6 mSv/rok. Ekvivalentní dávka v oční čočce 15 mSv/rok. Průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm³ kůže 150 mSv/rok a ekvivalentní dávka pro končetiny je 150 mSv/rok.
- **Limity pro ozáření ve zvláštních případech** – platí pro osoby, které přicházejí do styku s pacienty s aplikovanými radionuklidy. Děti 1 mSv/rok a dospělí 5 mSv/rok (4, 5, 15)

Tabulka 1 Radiační limity⁸

	Limity		
	Obecné	Pro radiační pracovníky	Pro učně a studenty
Součet efektivních dávek za rok	1 mSv	20 mSv	6 mSv
Součet efektivních dávek za 5 let po sobě jdoucích	-	100 mSv	-
Ekvivalentní dávka v oční čočce za rok	15 mSv	100 mSv	15 mSv
Průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm² za rok	50 mSv	500 mSv	150 mSv
Ekvivalentní dávka pro končetiny za rok	-	500 mSv	150 mSv

⁸ ČESKO Vyhláška č. 422 ze dne 14. prosince 2016 Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Dostupný z: <https://www.sbirka.cz/POSL4TYD/NOVE/16-422.htm>

Kategorizace pracovišť

Pracoviště dělíme podle stupně ohrožení zdraví a životního prostředí do 4 kategorií. V **I. kategorii** jsou například pracoviště s kostním denzitometrem nebo zubním rentgenovým zařízením. Do **II. kategorie** zařazujeme rentgenové zařízení pro radiodiagnostiku nebo radioterapii. Patří sem také oddělení nukleární medicíny. **III. kategorie** jsou pracoviště s urychlovačem částic a významnými zdroji záření. Pracoviště **IV. kategorie** jsou jaderné elektrárny a úložiště radioaktivního odpadu. (4)

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

Obrázek 8 Kategorizace pracovišť⁹

Na těchto pracovištích se vymezuje kontrolované a sledované pásmo. **Kontrolované pásmo** je část pracoviště, kde je možné obdržet roční efektivní dávku vyšší než 6 mSv. Tato část je stavebně oddělena a zajištěna před vstupem nepovolaných osob. Označuje se znakem radiačního nebezpečí a upozorněním. Vstupovat do něho nesmí těhotné ženy a osoby mladší 18 let, mimo pacientů. Zaměstnání zde mohou být jen pracovníci kategorie A. **Sledované pásmo** je úsek, kde roční efektivní dávka může být vyšší než 1 mSv. Probíhá zde pouze monitorování pracoviště. (4, 5)

⁹ HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, s. 51

Monitorování

Monitorování je měření všech veličin týkajících se radiační ochrany. Tyto veličiny se zaznamenávají a vyhodnocují. Zjišťuje se dodržování limitů dávek, optimalizace radiační ochrany, bezpečnost pracoviště. Monitorování musí upozornit na vznik mimořádné události.

Každé pracoviště využívající ionizující záření má program monitorování. Monitorování obsahuje:

- **Monitorování pracoviště** – příkon dávkového ekvivalentu a radioaktivní kontaminace povrchů.
- **Osobní monitorování** – všichni pracovníci kategorie A používají osobní dozimetry. Kontrola probíhá jednou za měsíc. Dozimetr se umístí na levou přední stranu pracovního oděvu v oblasti hrudníku (referenční místo) a měří se osobní dávkový ekvivalent. Pracovníci, kteří mají vystaveny ruce zvýšené expozici, nosí navíc prstové dozimetry.
- **Monitorování výpustí** – na odděleních nukleární medicíny. (4)

Radiační ochrana pracovníků

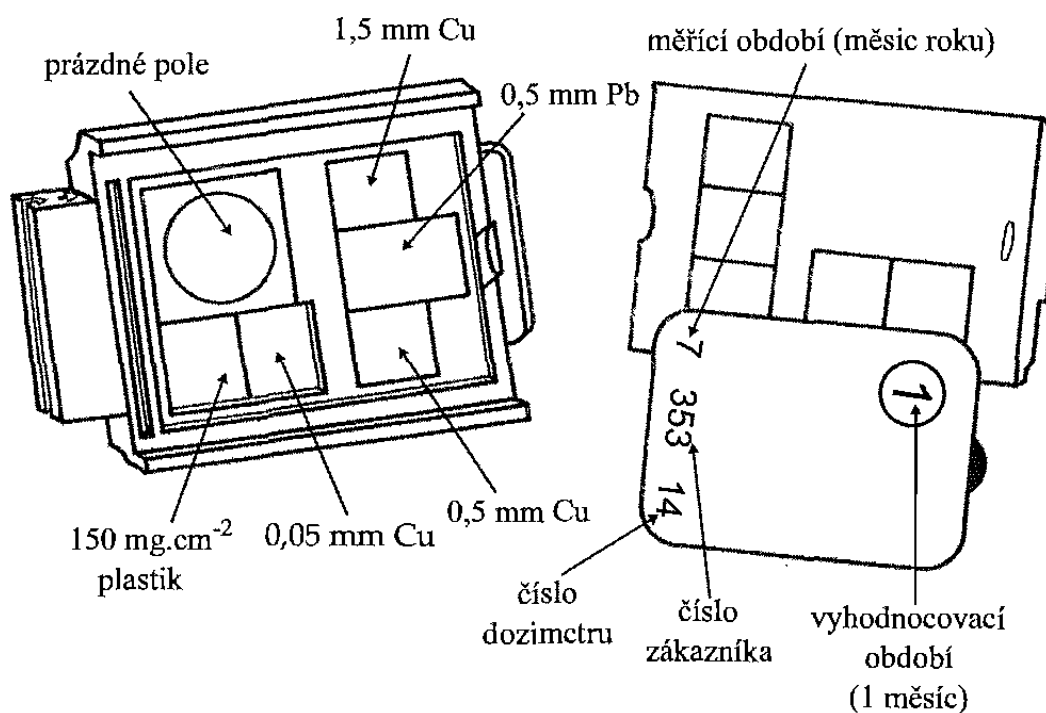
Pracovníci musí dodržovat 3 postupy, které chrání jejich zdraví. Velmi důležitá je **ochrana časem**. Pracovník by měl být v blízkosti pacienta co nejkratší dobu nebo dobu bezpodmínečně nutnou. Další je **ochrana vzdáleností**. Dávkový příkon záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření. Poslední je **ochrana stíněním**. Důležité je stínění radiofarmak olověným krytem a také používání ochranných pomůcek. (4)

Radiační ochrana pacientů

Pokud je možné pacienta vyšetřit jiným způsobem, který nepoužívá ionizující záření, měli bychom ho použít. Pacientům by neměly být aplikovány zbytečně vysoké dávky. Dále bychom měli kontrolovat kvalitu aplikovaných radiofarmak a funkčnost vyšetřovacích přístrojů. (4)

Diagnostická referenční úroveň

Při volbě optimální dávky vycházíme z diagnostické referenční úrovně u dospělého pacienta, který váží 70 kg. Tato dávka by se neměla překročit, ale není to limit. Dávka se upravuje podle hmotnosti pacienta. Pro dětské pacienty nejsou dávky stanoveny. Vycházíme z dávek pro dospělé. (4, 7)



Obrázek 9 Filmový osobní dozimetr¹⁰

2.4 Radiologický asistent

„Za výkon povolání radiologického asistenta se považuje zejména provádění radiologických zobrazovacích i kvantitativních postupů, léčebné aplikace ionizujícího záření a specifické ošetrovatelské péče poskytované v souvislosti s radiologickými výkony.“ (Zákon č. 96/2004)

Radiologický asistent se zařazuje do **kategorie A nebo B**. Pokud by mohla efektivní dávka za rok překročit 6 mSv, jedná se o pracovníka kategorie A. Všichni ostatní zaměstnanci jsou v kategorii B. Všichni pracovníci skupiny A musí mít osobní dozimetry. (4)

Asistent má zodpovědnost za správnost provedeného vyšetření, množství aplikovaného radiofarmaka, vedení záznamů o vyšetření. Je zodpovědný za rozpoznání případných poruch a je poučen, jak postupovat při vzniku mimořádné události. (4)

¹⁰ HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, s. 58

2.5 Radiofarmaka

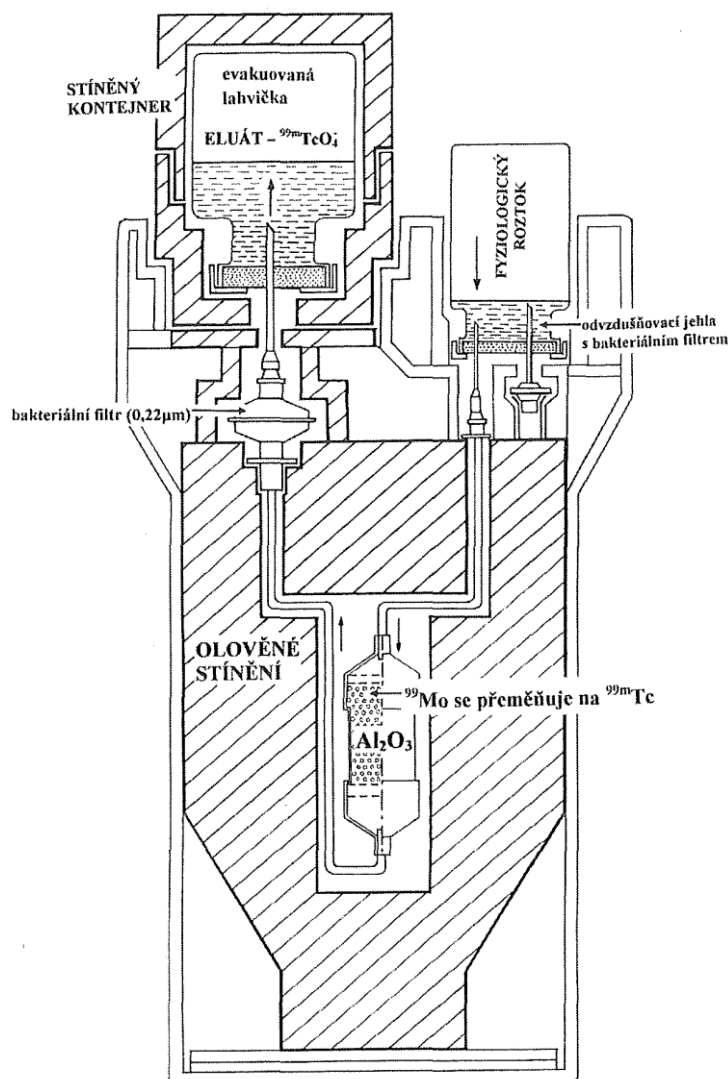
Jedná se o léčivý přípravek, který obsahuje **radionuklid**. Každé radiofarmakum musí mít dvě složky. První obsahuje látku transportující radioizotop do vyšetřované oblasti. Druhou je látka, která tkáň označí. Radiofarmakum je zdrojem ionizujícího záření. Jejich aplikace probíhá na oddělení nukleární medicíny z diagnostických nebo terapeutických důvodů. Radiofarmaka podáváme 3 způsoby. **Parenterálně** ve formě roztoků nebo suspenzí, **perorálně** formou roztoků, koloidů, emulzí nebo tuhých látek a **inhalačně** v podobě plynů nebo aerosolů. (6, 7)

Radiofarmaka se vyrábějí v jaderných reaktorech, urychlovačích nebo se získávají z generátorů.

- **Jaderný reaktor** – radionuklidy zde vznikají dvěma způsoby. Terčový materiál se ozáří neutronovým svazkem, kterým se aktivují doposud stabilní jádra, nebo se štěpné produkty ^{235}U izolují. Ozařovat lze velké množství materiálu.
- **Urychlovač nabitých částic (cyklotron)** – terčový materiál je ozářen protony, deuterony, částicemi α aj. Podle materiálu terčiku vzniká např. ^{111}In nebo pozitronové zářiče. Lékařské cyklotrony se používají u prvků s velmi krátkým poločasem rozpadu. Nejčastěji jsou umístěny přímo na PET pracovišti.
- **Radionuklidový generátor** – základem je přeměna mateřského radionuklidu s dlouhým poločasem rozpadu na dceřiný s krátkým poločasem přeměny. Nejčastěji používaný je ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátor. Mateřským prvkem je molybden s poločasem rozpadu 66 hodin. Jedná se o kolonu ze skla, uvnitř které je oxid hlinitý a adsorbovaný molybden amonný. Technecium je vymýváno z generátoru pomocí fyziologického roztoku. Jedná se o eluci. Doba použitelnosti generátoru je většinou 1 týden. Další často používaný generátor je ^{81}Rb - $^{81\text{m}}\text{Kr}$, kterým se získává radioaktivní krypton v plynné formě. Nevýhodou je krátký poločas rozpadu mateřského radionuklidu, jen 4,58 hodin. Výhodou je krátký poločas dceřiného radionuklidu, 13 vteřin, který umožňuje nízkou radiační zátěž pacientů. (6, 7)

Na odděleních nukleární medicíny se radiofarmaka připravují v laboratořích pro přípravu radiofarmak. Zde se radioaktivní látka přijímá, připravuje se k aplikaci a likvidují se zde zbytky radioaktivního materiálu. Radiofarmaka se zde připravují třemi způsoby:

- Úpravou objemové aktivity (ředěním)
- Značením neaktivního kitu radionuklidem (smísením)
- Inkubací biologického materiálu s radionuklidem (7)



Obrázek 10 Eluční molybden-techneciový generátor¹¹

Kontrola kvality radiofarmak

Radiofarmaka mají stejné požadavky jako jiná léčiva, ale jelikož obsahují radioaktivní prvek, mají mimo klasických zkoušek kvality farmak (chemická čistota, pH, sterilita atd.) ještě další testy. Kontroluje se aktivita radiofarmaka, která se stanovuje měřičem aktivity. Dále se kontroluje **radionuklidová čistota**. Vypočítává se podíl aktivity deklarovaného radionuklidu na celkové aktivitě preparátu. Radionuklidová čistota je velmi vysoká (vyšší než 99%), zbytek jsou nežádoucí kontaminanty, které zbytečně zvyšují radiační zátěž pacientů. (6)

¹¹ KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, s. 32

Kontroluje se také **radiochemická čistota**. Vyjadřuje podíl deklarované chemické sloučeniny na celkové aktivitě preparátu. Pokud se radionuklid nachází i v jiné chemické sloučenině, považuje se tato sloučenina za radiochemickou nečistotu. (6)

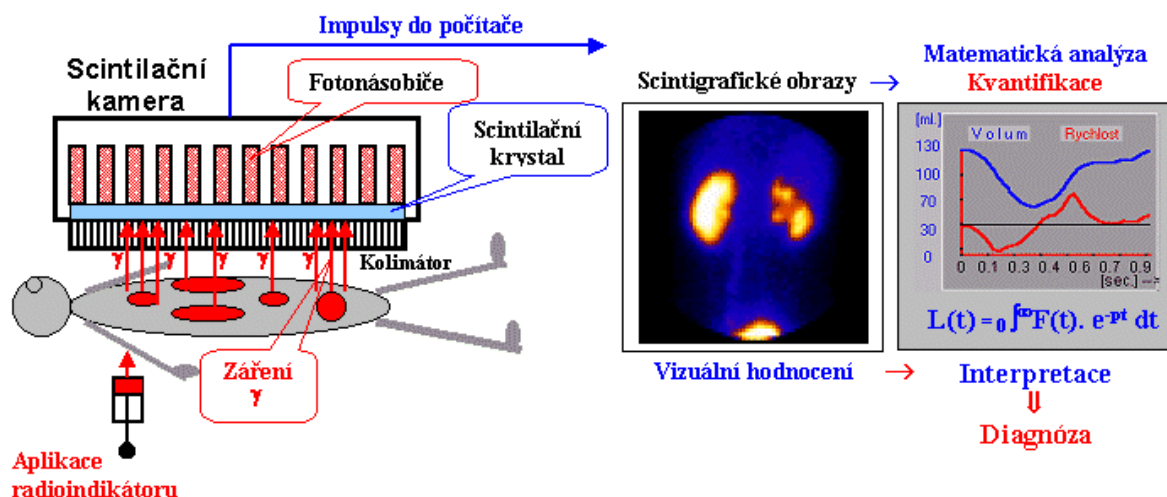
2.6 Scintigrafie a SPECT/CT skeletu

2.6.1 Princip

Scintigrafie skeletu je jedno z nejčastěji prováděných vyšetření na oddělení nukleární medicíny. Umožňuje nám detekci časného stádia onemocnění. Zobrazuje změny v metabolismu kostní tkáně. Jedná se o vyšetření s velkou citlivostí, ale je málo specifické. Záchyt **osteotropního radiofarmaka** je závislý na regionálním průtoku krve a osteoblastické aktivitě kostí. Všechny stavy, které vedou ke změně těchto faktorů, mohou zapříčinit abnormální nález, proto je nutné nález interpretovat v klinickém kontextu. (7, 9)

Základem vyšetření je **planární scintigrafie**, která se doplňuje o **SPECT/CT**. Pomocí toho můžeme porovnávat funkční a anatomické obrazy. SPECT/CT zvyšuje specifitu scintigrafie skeletu a umožňuje rozlišit maligní změny od benigních. (7)

Informaci o rozložení kostní přestavby a prokrvení v postižené oblasti poskytuje **třífázové vyšetření**. První fáze je **perfuzní**, kdy je vyšetření zahájeno ihned po aplikaci radiofarmaka. Pomocí dynamické scintigrafie sledujeme první průtok radiofarmaka postiženou oblastí. Ihned navazujeme druhou **fázi krevního poolu (tkáňová)**. Zobrazuje rozložení radiofarmaka v krvi a také v měkkých tkáních. Provádí se statický scintigram. Poslední **fáze je pozdní**, která se provádí 3 až 4 hodiny po aplikaci radiofarmaka. Tato fáze zobrazuje metabolismus kostí. (7, 9)



Obrázek 11 Schématické znázornění celého procesu scintigrafického vyšetření¹²

2.6.2 Radiofarmakum

Při scintigrafii skeletu používáme ke značení nejčastěji radioizotop ^{99m}Tc (**metastabilní technecium**). Jedná se o gama zářič, který má energii 140 keV a poločas rozpadu 6 hodin. Získáváme ho z elučního molybden-techneciového generátoru (^{99}Mo - ^{99m}Tc). Konečný produkt je technecistan sodný, kterým se naplní prázdné sterilní lahvičky. (7)

Při scintigrafii skeletu se nejčastěji používají **osteotropní radiofarmaka**. Jsou na bázi fosfátových komplexů značených ^{99m}Tc . Zejména se aplikují **bifosfonáty** ^{99m}Tc -MDP (medronát), nebo ^{99m}Tc -HDP (oxidronát). Intenzita akumulace radiofarmaka v kostní tkáni je závislá na prokrvení a osteoblastické aktivitě. Pacient obdrží dávku 800 MBq intra venózně. (7, 12)

2.6.3 Indikace

Nejčastější indikací ke scintigrafii skeletu jsou **metastázy do kostí** (karcinom prostaty, prsu, plic aj.). Toto vyšetření se také využívá při diagnostice primárních maligních (osteosarkom, myelom) a benigních (hemangiom, osteochondrom) nádorů skeletu. Další indikací je osteomyelitida a artritida, také fraktury a postraumatické změny skeletu. Pomáhá při diagnostice avaskulární nekrózy, osteitis deformans (m. Paget) a u metabolických onemocnění. Scintigrafie se používá i pro zobrazení ortopedických protéz. (7, 9, 12)

¹² ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

2.6.4 Kontraindikace

Scintigrafie skeletu by se neměla provádět v těhotenství, nebo pouze v neodkladných případech. Pokud se vyšetření provádí v období laktace, je vhodné kojení přerušit minimálně na 12 hodin. (7)

2.6.5 Patologie

Níže jsou uvedeny nejčastější onemocnění skeletu.

Nádorová onemocnění skeletu

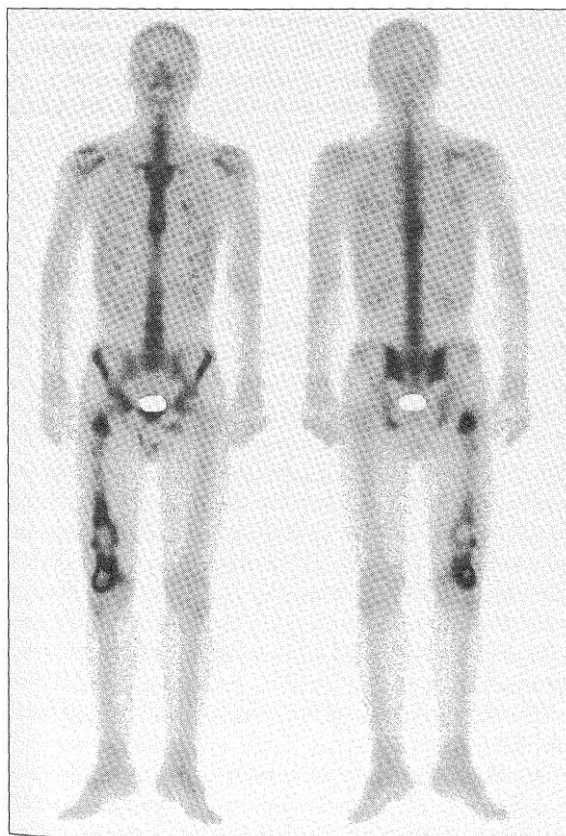
Pomocí scintigrafie skeletu nelze odlišit benigní a maligní tumory.

Benigní kostní nádory

Ve většině případů se jedná o náhodný nález. Intenzita prokrvení ložiska je nízká, nebo normální. Patří sem např. hemangiomy, fibrózní dysplazie, cysty, osteochondromy. Výjimkou je osteoidní osteom, který je hodně prokrvený a má vysokou aktivitu. (5, 7)

Maligní kostní nádory

Nejčastěji se jedná o osteosarkom, mnohočetný myelom a Ewingův sarkom. Dnes je scintigrafie často nahrazena PET/CT vyšetřením. Nejčastějším kostním nádorem je osteosarkom. Vyskytuje se často u mladých jedinců a v mnoha případech metastazuje. U malých chlapců se objevuje Ewingův sarkom postihující kostní dřev zejména dlouhých kostí. (5)



Obrázek 12 Osteogenní sarkom¹³

Sekundární kostní nádory – kostní metastázy

Prokázání metastáz je jeden z hlavních úkolů kostní scintigrafie. Karcinomy typicky metastazující do skeletu jsou karcinom prostaty, prsu a plic. Metastázy se nejčastěji zobrazují jako ložiska s vysokou akumulací radiofarmaka (horká ložiska), která na scintigramu „svítí“. Méně často se jedná o fotopenická ložiska (studená), která mohou mít jen reaktivní kostní přestavby. Vyšší účinnost detekce je u horkých ložisek. Kostní metastázy se nejčastěji nacházejí v kostech bohatých na kostní dřeň (např. obratle, pánev, sternum, kalva, dlouhé kosti končetin). Metastázy se dělí podle původu primárního nádoru do třech skupin. **Osteolytické** při karcinomu štítné žlázy, dělohy, nadledvin. Zobrazuje se spíše jen ložiska a nižší akumulace uprostřed. Dále **osteoplastické** u karcinomu prostaty, neuroblastomu, karcinoidu a meduloblastomu. Ložisko je dobře viditelné. Posledním typem jsou **smíšené** metastázy, které způsobuje karcinom prsu, plic, děložního čípku, ovaria a varlete. (1, 7)

¹³ KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, s. 119



Obrázek 13 Mnohočetné metastázy karcinomu prostaty¹⁴

Nenádorová onemocnění skeletu

Kostní infekce

Osteomyelitida je infekční zánět kostí, který má těžký průběh i možné komplikace. U malých dětí je nejčastější hematogenní osteomyelitida. Ostatní typy vznikají přestupem z jiného infekčního ložiska, nebo zavlečením infekce při traumatu a postihují starší pacienty. (1)

Hematogenní osteomyelitida vzniká díky bakteriémií. Bakterie se nejčastěji usadí v metafýzách dlouhých kostí (kostní dřeni). Dochází k zánětlivé exsudaci a rozšíření infekce do dřevné dutiny a pod periost. Pokud se zánět zvětšuje, dojde k prasknutí periostu a hnis se dostává do měkkých tkání. V některých případech může postupem zánětu vzniknout hnisavá artritida (zánět kloubu). Osteomyelitida se dělí na akutní a chronickou. (1, 7)

¹⁴ KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, s. 120

Fraktury

Běžné fraktury se diagnostikují pomocí rentgenu nebo CT vyšetření. V některých případech mohou skiagrafické metody selhat. Počínající hojení se zvýšenou kostní přestavbou lze scintigraficky zobrazit již 48-72 hodin po úrazu. Celotělový kostní sken se využívá při podezření na syndrom týraného dítěte k průkazu malých fraktur. U komplikovaných fraktur může docházet ke zvýšenému záchytu radiofarmaka i několik let po úrazu. Pokud není fraktura zhojena, může pozitivní nález trvat doživotně. Pokud týden po úrazu nedochází k akumulaci radiofarmaka, nejednalo se o zlomeninu. (7)

Stresové fraktury vznikají, pokud je skelet přetížený. Velmi často vznikají u výkonných sportovců. Na rtg vyšetření bývá nález dlouho negativní. (5)



Obrázek 14 Kompresivní fraktury¹⁵

¹⁵ KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, s. 123

Avaskulární nekróza

Nejvíce postihuje hlavice dlouhých kostí, zejména femuru. V akutní fázi nedochází k záchytu radiofarmaka. Ve fázi hojení je vidět pás zvýšené aktivity, který se postupně rozšíří na celou hlavici. U dětí se jedná o Pethesovu chorobu, která způsobuje aseptickou nekrózu hlavice kyčelního kloubu. Využívá se kolimátor pin-hole. (5)

Onemocnění kloubů

Artritida je akutní zánětlivé onemocnění kloubu. Používáme nejčastěji třífázovou scintigrafii. Dochází k hyperémii, exsudaci a proliferaci synoviální membrány. Radiofarmakum se zvýšeně akumuluje ve všech třech fázích. (7)

Naproti tomu **artróza** je nezánnětlivé onemocnění, při kterém dochází k porušení chrupavky. Zvýšená akumulace radiofarmaka je jen ve třetí fázi. Pokud dochází k sekundárnímu zánětu, je aktivita zvýšená ve všech třech fázích. (7)

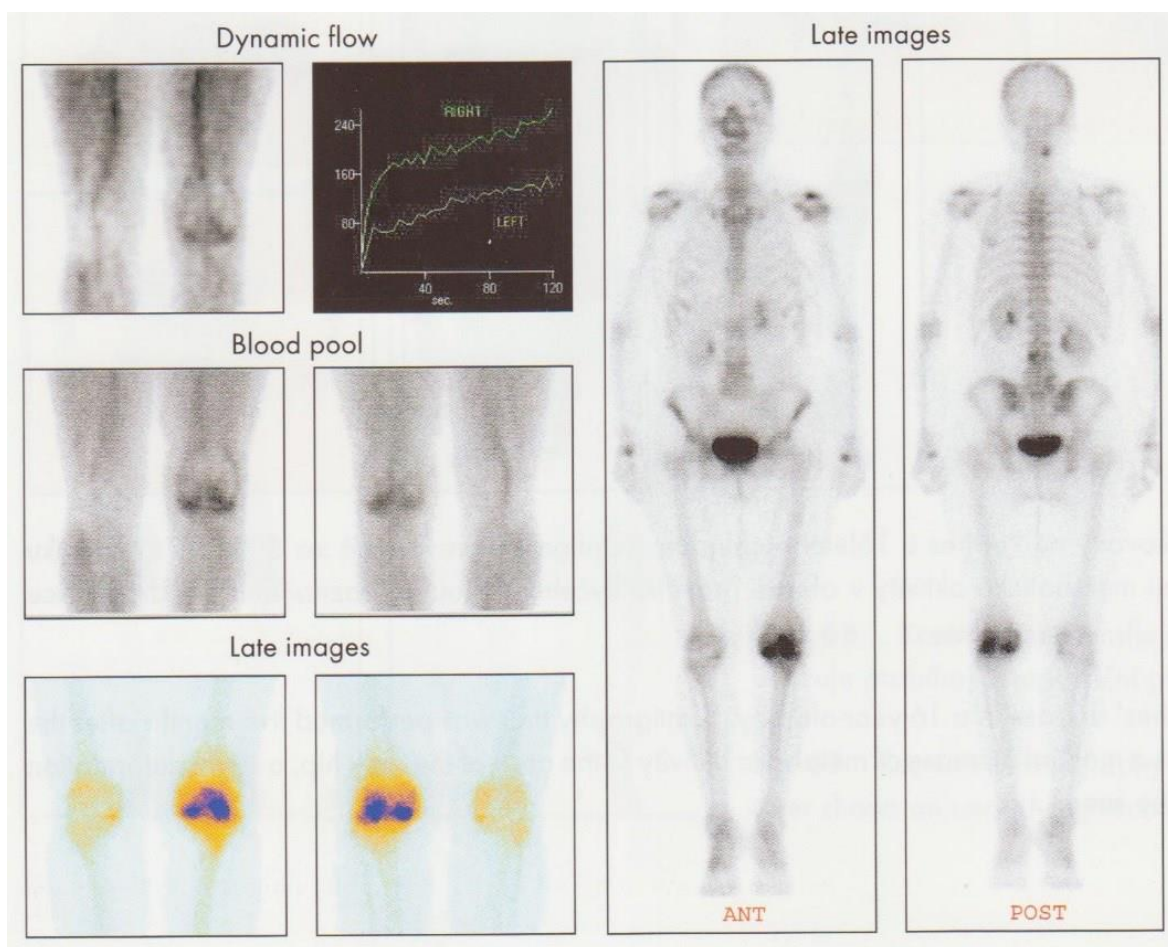


Obrázek 15 Osteoartróza malých kloubů ruky¹⁶

Dalším kloubním onemocněním je **ankyluzující spondylitis** (morbus Bechtěrev). Typický je zvýšený záchyt radiofarmaka v oblasti sakroiliakálního spojení a ve kostovertebrálních spojeních. Pacienti mají exprimovaný antigen HLA-B27. (5)

¹⁶ KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, s. 122

Dále může dojít ke komplikacím **po implantaci endoprotéz**. Po implantaci dlouho přetrvává zvýšená akumulace radiofarmaka. „*Prosté uvolnění (loosening) femorální komponenty se v scintigrafickém obraze TEP kyčelního kloubu manifestuje jako okrouhlé ložisko zvýšené osteogeneze v oblasti distálního konce jejího dřívku. Infekci v okolí implantované endoprotézy je možné diagnostikovat trojfázovou scintigrafií, kde vidíme zvýšenou aktivitu i v obou prvních fázích*“ (7, s.122) Pokud není výsledek jasný, může se provést scintigrafie se značenými leukocyty. (7)



Obrázek 16 Ovolnění endoprotézy levého kolenního kloubu¹⁷

¹⁷ VIŽĎA, Jaroslav, Hana KRÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, s. 54

Metabolické kostní poruchy

Osteoporóza je kostní onemocnění, při kterém dochází k redukci kostní hmoty. Jedná se o poruchu kostního metabolismu, kdy odbourávání kosti převažuje její novotvorbu. Kost je křehčí a více náchylná na zlomeniny. Generalizovaná forma se často objevuje u starších lidí a žen po klimakteriu. Při dlouhodobé imobilizaci se může rozvinout lokalizovaná forma. Scintigrafický obraz je bez ložisek zvýšené akumulace, pokud nejsou přítomny fraktury. (1, 10)

Osteomalacie vzniká při nedostatečném množství vitamínu D. Dochází k deformitám kostí a někdy k zlomeninám. V důsledku hojení nekompletních fraktur můžeme vidět mnohočetná ložiska se zvýšeným zachytem radiofarmaka. Tento obraz může být špatně interpretován jako metastázy. (1)

Pagetova choroba (ostitis deformans) je nadbytečné přebudování kosti nejasné etiologie. Na scintigramu je intenzivní záchyt radiofarmaka v dlouhých kostech, pánvi a v lebce. Ledviny jsou málo viditelné, protože většina radiofarmaka je vychytána v kostech. (7, 10)



Obrázek 17 Pagetova choroba¹⁸

¹⁸ VIŽŇA, Jaroslav, Hana KŘÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, s. 48

Hypertrofická osteoartropatie je jeden z nejčastějších paraneoplastických revmatických syndromů. Osteotropní radiofarmakum se vychytává zejména v dlouhých kostech a také v metakarpálních a metatarzálních kůstkách. (7)

Fibrózní dysplazie je onemocnění, při kterém dochází uvnitř diafýz a metafýz rostoucích kostí k přítomnosti expanzivní vazivově-kostní tkáně. Provádí se třífázová kostní scintigrafie. (7)

Hormonálně podmíněné osteopatie se často vyskytují při poruchách funkce příštítných tělísek, štítné žlázy, nadledvinek a hypofýzy. (7)

3 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části vycházím z poznatků, které jsem získala na oddělení nukleární medicíny, kde jsem absolvovala praxi. Na tomto pracovišti je scintigrafie a SPECT/CT skeletu jedno z nejčastěji prováděných vyšetření. Provádí se zde na SPECT/CT kameře s kolimátorem LEHR.

V praktické části je popsán průběh vyšetření a úloha radiologického asistenta při něm.

Práce neobsahuje žádné důvěrné informace pacientů.

3.1 Příprava pacienta

Pacient nemusí být na vyšetření speciálně připraven. Nemusí být nalačno, ale je důležitá dostatečná hydratace, protože radiofarmakum se vylučuje močí. Před vstupem do vyšetřovny je pacient vyzván, aby si došel na toaletu. Velká akumulace radiofarmaka v močovém měchýři by mohla zhoršit čtení výsledného scintigramu. Dále pracovníci pacienta poučí, že před vyšetřením si musí odložit všechny kovové předměty, které by mohly způsobovat artefakty. Vyndat se musí i epitézy (prsni náhrady). V anamnéze by měly být uvedeny všechny aktuální obtíže a onemocnění, která mají spojitost s muskuloskeletárním aparátem (zlomeniny, operace, úrazy aj.) a mohly by ovlivnit vychytávání osteotropního radiofarmaka v kostech.

3.2 Vlastní vyšetření

Ráno se na oddělení musí přichystat radiofarmakum potřebné k vyšetření. Příprava probíhá v **digestoři**. Digestoř je vyrobena ze stínícího materiálu. Radiologický asistent si natáhne do stříkačky radiofarmakum potřebné aktivity.

V den vyšetření přichází pacient na oddělení nukleární medicíny v ranních hodinách. Zdravotnický personál zkontroluje osobní údaje na žádance pacienta. Radiologický asistent informuje pacienta o průběhu celého vyšetření. Vysvětlí mu, že po aplikaci radiofarmaka se stává zdrojem ionizujícího záření, a proto by měl 24 hodin po vyšetření co nejvíce omezit kontakt s dětmi a těhotnými ženami. Pokud se jedná o ženu v reprodukčním věku, ptá se, zda není těhotná.

Zjišťuje také, zda pacient nemá žádné alergie. Dále se dotazuje na užívání léků, které by mohly změnit vychytávání radiofarmaka. Poté pacientovi doporučí zvýšený příjem tekutin, jelikož se radiofarmakum vylučuje močí. Následně se pacientovi předloží a nechá podepsat informovaný souhlas „Souhlas pacienta/tky – zákonného zástupce s aplikací radiofarmaka a následným vyšetřením na gamakameře“ (Příloha A). Po podepsání souhlasu je provedeno dané vyšetření.



Obrázek 18 Digestor¹⁹

3.2.1 Celotělová scintigrafie

Aplikuje se **99mTc-MDP (medronát) 800 MBq** intravenózně. Radiologický asistent připravuje pomůcky k aplikaci radiofarmaka – rukavice, škrtidlo, náplast, desinfekce, sterilní čtvereček a stříkačku s radiofarmakem. Stříkačku navlékne do olověného krytu a uloží do olověného stínění. Radiofarmakum aplikuje pacientovi lékař a radiologický asistent mu podává pomůcky. Do informovaného souhlasu se zaznamená čas aplikace, místo a způsob vpichu. Po aplikaci radiologický asistent vyzve pacienta, aby přišel za 2 hodiny, protože zabudování radiofarmaka do skeletu trvá určitou dobu.

¹⁹ ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

Za 2 hodiny pacient přichází a radiologický asistent ho vyzve, aby si došel na toaletu. Do počítače zadá osobní informace pacienta – jméno, příjmení, rodné číslo, pohlaví a vybere protokol pro celotělovou scintigrafii skeletu. Na vyšetřovací stůl dá papír a polštářek pod hlavu. Následně pacienta pozve na vyšetřovnu a vyzve ho, aby si odložil boty a všechny předměty, které obsahují kov. Vyndat se musí také epitézy. Radiologický asistent položí pacienta na vyšetřovací stůl. Pacient leží na zádech a nohy mu směřují do gantry. Podle metru, který je z boku na stole, asistent zkontroluje, zda se pacient celý vejde na scintigram. V počítači jsou již přednastavené parametry. **Rychlost posunu stolu** bývá 12-20cm/min. a **matice** 256 x 1024. Jelikož je dobré, aby detektor kopíroval co nejbližší tělo pacienta, zvolí se funkce **body contouring**. Pacientovi se snímá celé tělo z přední a zadní projekce. Celková délka vyšetření je okolo 15 minut.



Obrázek 19 Uložení pacienta²⁰

²⁰ foto autor, ONM FNHK

Výsledný **scintigram** zhodnotí lékař a dle potřeby doplní vyšetření o SPECT, nebo SPECT/CT na určitou oblast. Nastavuje se 2 x 60, nebo 2 x 30 obrázků. Detektory se posouvají o 3 až 6°. Jedno snímání trvá většinou 10 až 20 sekund. Dále se nastavuje matice, nejčastěji 128 x 128. Opět se zaškrťává body contouring. Po ukončení vyšetření odchází pacient domů.

3.2.2 Třífázová scintigrafie

Příprava probíhá podobně jako u celotělové scintigrafie. Radiologický asistent pozve pacienta do vyšetřovny a vyzve ho, aby si odložil boty a všechny věci obsahující nějaké kovy. Do počítače zadá jméno, příjmení, rodné číslo, pohlaví pacienta a vybere protokol pro třífázovou scintigrafii skeletu. Zvolí **matici** 128 x 128 a **rychlost** 4 sekundy na 1 scintigram. Pacienta uloží na vyšetřovací stůl. Pacient leží na zádech, nohy směřují do gantry. Asistent zajede s pacientem na pozici, ze které začíná snímání. V této pozici aplikuje lékař pacientovi radiofarmakum stejné jako u celotělové scintigrafie a radiologický asistent mu podává pomůcky.



Obrázek 20 Začátek snímání²¹

²¹ foto autor, ONM FNHK

Ihned po aplikaci se spouští první fáze vyšetření. Jedná se o **perfuzní fázi**, ve které se zobrazuje regionální průtok krve snímanou oblastí. Jedná se o dynamickou scintigrafii a trvá 2 až 3 minuty. Navazuje na ni **druhá fáze, tkáňová**. Zde se zachycuje přestup radiofarmaka z krve do extracelulárního prostoru měkkých tkání a kostí. Nastavuje se matice 256 x 256. Tato fáze trvá 5 až 10 minut. **Třetí fáze je pozdní (metabolická)**. Provádí se za minimálně 2 hodiny od aplikace. Radiofarmakum je již vychytáno v kostech. Provádí se statický scintigram vybrané části, nebo celého těla. V některých případech se dělá ještě tzv. čtvrtá fáze za 24 hodin po aplikaci. Vyšetření se může doplnit o SPECT, nebo SPECT/CT.

Pokud je indikací k vyšetření **Pethesova choroba**, doplňuje ještě cílení plantární scintigram. Používá se kolimátor pin hole a nastavuje se na oblast kyčelního kloubu. Vyšetření trvá 5 až 10 minut.

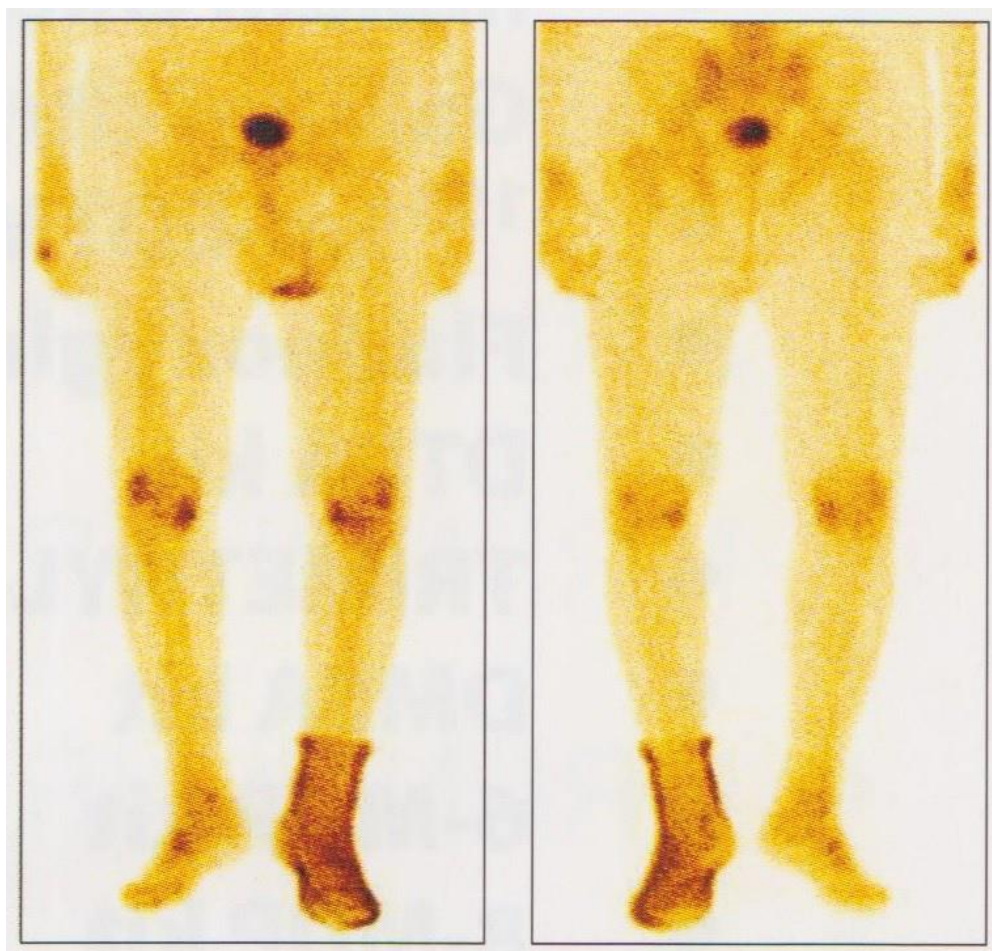
3.2.3 Cílené plantární scintigramy

Provádí se cílené snímání na určitou část těla pacienta. Nepochází k průjezdu. Snímání probíhá z přední a zadní projekce. Volí se **matice** 256 x 256. Detektory se dají co nejbližší k tělu pacienta. Vyšetření trvá 5 až 10 minut. Doplnit se může SPECT, nebo SPECT/CT.

3.3 Zdroje chyb při vyšetření

Při vyšetření může dojít k řadě chyb, na které by si měl dávat radiologický asistent pozor. Pokud není pacient správně poučen a nesundá si všechny kovové předměty, může dojít k výpadku záření. Kontaminace oděvu radiofarmakem, nebo radioaktivní močí je další zdroj artefaktů. Špatný obraz vzniká také, pokud je pacient během vyšetření neklidný a hýbe se. Ke zhoršení rozlišovací schopnosti dochází, jestliže je detektor příliš daleko od těla pacienta.

Artefakty mohou vzniknout i při paravenózní aplikaci radiofarmaka. Paravenózní infiltrát se zobrazuje jako ložisko vysoké akumulace a může zkreslovat okolní struktury. Také radioaktivní moč v dutém systému ledvin a při velkém měchýřovém reziduu může překrýt některé léze v pánvi.



Obrázek 21 Ponožka kontaminovaná radioaktivní močí²²

3.4 Výsledky vyšetření

Normální nález rozmístění radiofarmaka je u dospělých jedinců v oblasti páteře a všech kloubů. U dětí je zvýšená akumulace v růstových zónách.

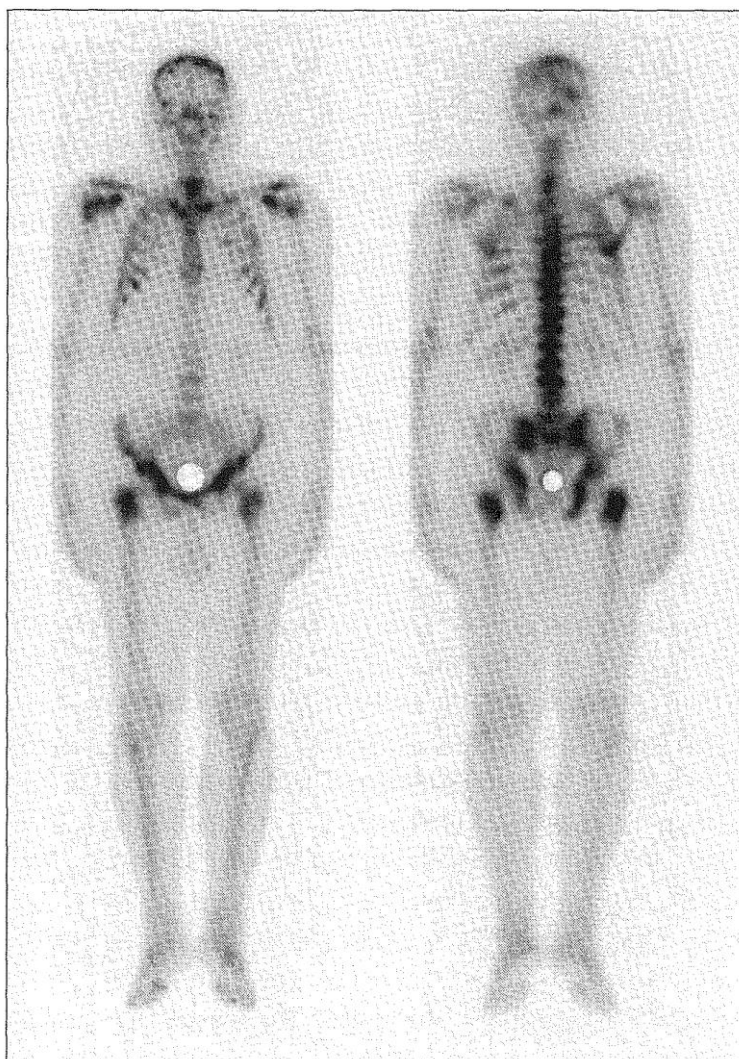
²² VIŽĎA, Jaroslav, Hana KŘÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. 1. vyd. Husinec - Řež: LACOMED, 2006, s. 71.



Obrázek 22 Normální nález²³

Patologický proces se většinou zobrazuje jako ložisko zvýšené akumulace radiofarmaka (tzv. horká ložiska). Méně často se projeví jako ložisko výpadu aktivity (tzv. studené ložisko). Zvláštním případem je tzv. superscan, který vzniká u masivního poškození skeletu metastatickým procesem. Radiofarmakum se zvýšeně hromadí v celém axiálním skeletu, ale nezobrazují se ledviny ani aktivita močového měchýře.

²³ KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, s. 118



Obrázek 23 Superscan²⁴

²⁴ KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, s. 120

4 DISKUZE

V této kapitole rozvedu několik důležitých problematik. Důležité je porovnat scintigrafické vyšetření skeletu se skiagrafií. Skiografie nám umožňuje získat údaje o anatomii. Naproti tomu díky scintigrafii získáváme i informaci o funkci (morfologii) dané tkáně. Radiační zátěž je u scintigrafie srovnatelná s klasickým rtg snímkováním. Navíc při scintigrafii můžeme zobrazit při stejné radiační zátěži celé tělo, ne pouze určitou oblast. Nevýhodou je větší vystavení zdravotnických pracovníků ionizujícímu záření, než u skiografie. Proto je velmi důležité dodržovat radiační ochranu.

Jak jsem již uvedla výše, další důležitou problematikou je dodržování radiační ochrany o které jsem se zmínila v teoretické části. Radiologický asistent musí dodržovat tři důležitá pravidla – ochranu vzdáleností, časem a stíněním. V praxi je to složitější, protože pacienti někdy nerozumí tomu, že jsou zdrojem ionizujícího záření a chodí blízko k zdravotnickému personálu, i když jsou na to upozorněni. Právě díky tomu je někdy dodržení ochrany vzdáleností složité. Ochrana časem se dodržuje lépe, ale každý pracovník si ji musí připomínat. Ionizující záření není vidět, ani cítit, a proto je lehké neuvědomit si jeho přítomnost. Ochrana stíněním ve smyslu olovené vesty se na tomto oddělení nevyužívá, protože vesta pohltí jen malé množství záření. Celkově si myslím, že by měl být na radiační ochranu kladen větší důraz.

V praktické části bylo cílem zjistit a popsat úlohu radiologického asistenta při tomto vyšetření. Vyšetření řídí lékař. Individuálně u každého pacienta určuje, jak proběhne. Radiologický asistent vyšetření provádí a zajišťuje jeho správnost. Dále je také pravou rukou lékaře. Některé vyšetření může provádět sám, některé jen se spoluprací lékaře. Úloha radiologického asistenta je tedy velmi důležitá a nezaměnitelná.

Vyšetření by mělo probíhat podle národních radiologických standardů. Každá nemocnice má tyto standardy trochu odlišné. Na oddělení nukleární medicíny, kde jsem vykonávala praxi jsem zjistila, že místní radiologické standardy jsou stejné, nebo se jen mírně liší od národních.

V průběhu praxe jsme prováděli různá vyšetření. Nejčastějším byla celotělová scintigrafie. Toto vyšetření se provádí nejčastěji u diagnostiky kostních metastáz. Dalším velmi často prováděným vyšetřením je třífázová scintigrafie, která byla ve většině případů doplněna o SPECT, nebo SPECT/CT.

5 ZÁVĚR

Existuje mnoho onemocnění, která mohou postihnou kostru. Vzniknout může nádorové onemocnění kostí, nebo nádorové onemocnění, které velmi často do kostí metastazuje. S vyšším věkem se mnohdy objevují artritidy a artrózy. U žen po klimakteriu se často vyskytuje osteoporóza. Někdy se mohou objevit komplikace po implantaci endoprotéz. A vzniknout může ještě řada dalších onemocnění postihujících kostru. Právě proto je velmi důležitá jejich správná a brzká diagnostika. V diagnostice onemocnění skeletu je scintigrafie a SPECT/CT skeletu velmi důležitou a přínosnou metodou.

V teoretické části je popsána základní anatomie kostry a její části. Jsou zde vymezeny základní fyzikální pojmy důležité v nukleární medicíně a nukleární medicína jako obor. Popsány tu jsou i přístroje používané v nukleární medicíně. Dále je tam rozebrána radiační ochrana, limity a monitorování pracovišť. Jedna kapitola shrnuje používaná radiofarmaka, způsob jejich přípravy a požadavky na ně kladené. Další kapitola popisuje princip scintigrafie a SPECT/CT skeletu. Poslední kapitola popisuje nádorové i nenádorové onemocnění postihující skelet.

Praktická část popisuje praktické provedení vyšetření a roli radiologického asistenta při něm. Je zde také uvedeno, jak musí být pacient připraven před vyšetřením a co by měl dodržovat po vyšetření.

Při vypracování své bakalářské práce jsem z velké části použila odbornou literaturu. Využila jsem i mnoho poznatků ze školy. Čerpala jsem také ze zkušeností z praxe a velmi užitečných rad od zdravotnického personálu.

Plně doufám, že jsem vytvořila přehledný a srozumitelný popis scintigrafického vyšetření skeletu, který by mohl být užitečný pro širokou veřejnost.

6 POUŽITÁ LITERATURA

1. BÁRTOVÁ, Jarmila. *Patologie pro bakaláře*. 4. vyd. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0794-8.
2. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 1*. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2001, 516 s. ISBN 80-7169-970-5.
3. DYLEVSKÝ, Ivan. *Somatologie*. Vyd. 2. (přeprac. a dopl.). Olomouc: Epava, 2000. ISBN 80-86297-05-5.
4. HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
5. KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
6. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. *Radiofarmaka*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012, 97 s. ISBN 978-80-7464-183-1.
7. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2.
8. MYSLIVEČEK, Miroslav. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. Skriptum (Univerzita Palackého). ISBN 978-80-244-1723-3.
9. VIŽĎA, Jaroslav, Hana KŘÍŽOVÁ a Elen URBANOVÁ. *Atlas kostní scintigrafie: Atlas of bone scintigraphy*. Husinec - Řež: LACOMED, 2006. ISBN 80-239-6676-6.
10. VOKURKA, Martin a Jan HUGO. *Velký lékařský slovník*. 4. aktualiz. vyd. Praha: Maxdorf, 2004, 966 s. Jessenius. ISBN 80-7345-037-2.
11. ZIESSMAN, Harvey A., Janis P. O'MALLEY, James H. THRALL a Frederic H. FAHEY. *Nuclear medicine*. 4th ed. Philadelphia, PA: Elsevier/Saunders, c2014. Requisites series. ISBN 9780323082990.

Internetové zdroje

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

14. ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika: Jaderná a radiační fyzika, nukleární medicína* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z:
<http://www.astronuklfyzika.cz/scintigrafie.htm>.
15. ČESKO Vyhláška č. 422 ze dne 14. prosince 2016 Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. Dostupný z:
<https://www.sbirka.cz/POSL4TYD/NOVE/16-422.htm>

7 PŘÍLOHY

Příloha A Informovaný souhlas	57
Příloha B Informovaný souhlas – zadní strana	58



Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové - Nový 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-oxidronát

Vážená paní, vážený pane,
na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Váš ošetřující lékař scintigrafické vyšetření na našem oddělení. Vyšetření se provádí na gamakameře po předchozí aplikaci radiofarmaka (léku označeného radioaktivním izotopem), obvykle nitrožilní. Zobrazení zachytu 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

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

Dle anamnestických údajů: Gravidita: ANO NE Kojení: ANO NE

Alergie:

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

– jmenovka a podpis:

Vyšetření provedl/a: