

Univerzita Pardubice

Fakulta zdravotnických studií

Radionuklidové metody v diagnostice onemocnění

respiračního traktu

Ondřej Kuklíněk

Bakalářská práce

2014

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej Kuklínek**
Osobní číslo: **Z11288**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **Radionuklidové metody v diagnostice onemocnění respiračního traktu**
Zadávající katedra: **Katedra informatiky, managementu a radiologie**

Zásady pro vypracování:


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. KUPKA, K., KUBINYI, J., ŠÁMAL, M. a kol. Nukleární medicína. Praha: Nakladatelství P3K, 2007. ISBN 978-80-903584-9-2
2. ČIHÁK, R. Anatomie 2. Praha: Grada Publishing, 2002, 488 s. ISBN 978-80-247-0143-1
3. MÍKOVÁ, V. Nukleární medicína: průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína. Praha: Galén, 2008. ISBN 978-807-2625-338
4. Věstník č. 9/2011 nádorní radiologické standardy.
5. HUŠÁK, V. 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 Kulíš
Katedra informatiky, managementu a radiologie

Datum zadání bakalářské práce: 1. října 2012
Termín odevzdání bakalářské práce: 9. května 2014


prof. MUDr. Arnošt Pellant, DrSc.
děkan

L.S.


Ing. Jana Holá, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. března 2014

Prohlašuji:

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

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplívající 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 její skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 30. 4. 2014

Ondřej Kuklínek

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Jiřímu Kulířovi, vedoucímu fyzikálně-elektronického úseku Oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice v Hradci Králové, za odborné vedení mé bakalářské práce a také kolektivu Oddělení nukleární medicíny v Hradci Králové za pomoc při shromažďování materiálů k praktické části mé práce.

ANOTACE

Práce se zabývá radionuklidovými metodami v diagnostice nemocí dýchacího traktu. Popisuje principy a funkce diagnostických přístrojů využívaných v nukleární medicíně a také se zabývá problematikou radiofarmak používaných v tomto oboru. V praktické části se zaměřuji zejména na vzdělávání radiologických asistentů v této problematice.

KLÍČOVÁ SLOVA

radiologický asistent, plíce, diagnostika, scintigrafie, nukleární medicína

TITLE

Radionuclid methos in respiratory tract illness diagnosis

ANNOTATION

My work engages in problematics of radionuclid methods in respiratory tract illness diagnosis. It describes principles and functions of diagnostic machines which are used in nuclear medicine. It also engages in problematics of usage of radiopharmaceuticals used in this field. The practical part is aimed mainly on education of radiologist assistants in the field.

KEYWORDS

Radiology asistent, lung, diagnostics, scintigraphy, nuclear medicine

Obsah

Obsah	7
Seznam obrázků	9
0 Úvod	10
1 Cíl	11
2 Teoretická část	12
2.1 Anatomie dýchacího traktu	12
2.1.1Horní cesty dýchací	12

2.1.2 Dolní cesty dýchací.....	12
2.2 Radiofarmaka.....	15
2.2.1 Popis jednotek, které charakterizují radionuklidy	15
2.2.2 Rozdělení radiofarmak.....	16
2.2.3 Rozdělení radiofarmaka podle způsobu podání.....	17
2.2.4 Výroba radionuklidů	17
2.2.5 Výroba a získávání radionuklidu	17
2.3 Detekce záření a planární scintigrafie.....	21
2.3.1 Scintilační detektory	21
2.4 Ventilační plicní scintigrafie.....	26
2.4.1 Radiofarmaka používaná při plicní ventilační scintigrafii.....	26
2.4.2 Provedení vyšetření ventilační plicní scintigrafie.....	27
2.4.3 Vyšetření plicní permeability.....	28
2.4.4 Vyšetření mukociliární clearance	29
2.5 Perfuzní plicní scintigrafie.....	30
2.5.1 Radiofarmaka používaná při perfuzní plicní scintigrafii	30
2.5.2 Příčiny narušení standardního obrazu plicní perfuze.....	31
2.5.3 Hlavní indikace vyšetření perfuzní plicní scintigrafie.....	31
2.6 Diagnostika nitrohruční infekce	37
2.6.1 Indikátory používané pro detekci nitrohručních infekcí.....	37
2.7 Diagnostika nitrohručních malignit	39
2.8 Molekulární zobrazení	41
2.9 Speciální postupy vyšetření u pacientů určitého věku.....	42
2.9.1 Specifické postupy při vyšetřování pacientů dětského věku	42
2.9.2 Specifické postupy při vyšetření pacientů pokročilého věku	43
3 Praktická část.....	44
3.1 Společná část pro všechny vyšetření	44

3.2 Provedení perfuzní scintigrafie plic	48
3.3 Provedení vyšetření plic ⁶⁷ Ga-citrátem	51
3.4 Vyšetření značenými autologními leukocyty	53
4 Diskuze	55
5 Závěr	56
6 Seznam použité literatury	57
7 Přílohy	58

Seznam obrázků

Obrázek 1 Dýchací soustava	14
Obrázek 2 Cyklotron	18
Obrázek 3 Technecium molybdenový generátor	20

Obrázek 4 Scintilační detektor	22
Obrázek 5 Studnový detektor	45
Obrázek 6 Digestoř	46
Obrázek 7 Aplikační místnost	46
Obrázek 8 Ovládací konzole	48
Obrázek 9 Jednohlavá gama kamera	49
Obrázek 10 Kolimátory	52
Obrázek 11 SPECT.....	53
Obrázek 12 Konzole přístroje SPECT.....	54

0 Úvod

Radiodiagnostické vyšetření pomocí radionuklidů zůstává v dnešní době, která poskytuje velké množství ostatních diagnostických metod, jednou z nejpřesnějších zobrazovacích postupů. Tato metoda vyšetření se volí hlavně k zjištění přítomnosti plicní embolie, plicního karcinomu ale i mnoha dalších patologických procesů.

V mé práci se snažím zachytit vývoj scintigrafického zařízení. Zaměřuji se proto na časem osvědčené metody, jako perfuzní plicní scintigrafie nebo ventilační scintigrafie, dále také na metody relativně nové (SPECT a PET), ale i metody zatím v klinické praxi nepoužívané, jako například metody molekulárního zobrazení.

Aby moje práce byla, co se týče celistvosti, kompletní, obsahuje kapitoly, které mají případnému čtenáři přiblížit nejen radionuklidové vyšetření dýchacího traktu, ale také problematiku scintigrafických vyšetření jako takových.

1 Cíl

Práce si klade za cíl popsat principy vyšetření, radiofarmaka, techniku a činnosti radiologického asistenta při scintigrafických vyšetřeních nemoci dýchacího traktu. A to:

- 1) Činnosti při perfuzní scintigrafie plic.
- 2) Činnosti při vyšetření plic ^{67}Ga -citrátem.
- 3) Činnosti při vyšetření značenými autologními leukocyty.

2 Teoretická část

2.1 Anatomie dýchacího traktu

Dýchací systém (systema respiratorium) – vývojově vzniká společně se systémem trávicím. Vznikem tvrdého a měkkého patra se rozděluje primitivní dutina ústní na dutiny dvě, a to dutinu nosní a dutinu ústní, která začíná vpředu zevním nosem, opatřeným nosními dírkami, a vzadu se otevírá do choanami (vnitřními nozdrami) do nosohltanu.

2.1.1 Horní cesty dýchací

Mezi horní cesty dýchací zahrnujeme dutinu nosní (cavitas nasi) a na ni poté navazující nosohltan (nasopharynx).

Dutina nosní (cavitas nasi) – vytváří se spojením přední dutiny nosní, která sahá od nozder až po horní okraj carilago alaris major, a kostěné dutiny nosní, která je úplně rozdělená nosní přepážkou na pravou a levou část.

2.1.2 Dolní cesty dýchací

Tyto cesty se vytvářejí samostatně, nezávisle na horních cestách dýchacích, jako výchlípka středního embryonálního hltanu, který vzniká z entodermu. Vychlípenina je nejprve jednouchá, postupně se rozděluje na pravou a levou část. Z této výchlípky poté vznikají další části dolních cest dýchacích:

Hrtan (larynx)

Je nepárový orgán, který slouží k dýchání a k vytváření zvuků (fonaci). Navazuje vpředu na pars laryngea pharyngis. Podklad hrtanu je vytvořen souborem chrupavek, které jsou pohyblivě spojené klouby, vazy a svaly tak, že vzniká charakteristický tvar orgánu se slizniční výstelkou. Hrtan je dorzálně spojen s hltanem a je zavěšený na kostěnou jazylku, která ho spojuje s bází lebeční.

Funkce hrtanu: Mezi základní funkci patří tvorbu hlasu, který je tvořen pomocí glottis, jejíž okraje jsou podloženy hlasovými vazami, vytvářející štěrbinu, která se při výdechu rozechvěje mechanickým působením vzduchu za vzniku tónu. Na následnou tvorbu řeči má vliv spolupráce s dutinou ústní a dutinou nosní. Další funkcí hrtanu patří kašel, při

kterém dochází k odstraňování hlenu, který se hromadí v dolních cestách dýchacích. Při kašli dojde k mohutnému nádechu, poté k uzavření rima glottidis a následně k nárazovému výdechu, na který má vliv břišní svalstvo. Ke kašli dochází v situaci, kdy do dýchacího ústrojí vnikne chemicky dráždivá látka, voda nebo cizí těleso. Dýchání také patří k funkci hrtanu, která je zajištěna otevřením rima glottidis. Hrtan má také vliv na polykání, kdy při polknutí dojde k zaklopení epiglottis blíže k aditus laryngis.

Průdušnice (trachea)

Je trubice, která navazuje kaudálně na hrtan. Trachea začíná ve výšce obratle C₆ a skrze aperturu thoracis superior přechází do hrudníku, kde končí bifurcatio trachea. Rozdělení do bronchů dexter at sinister se nachází v oblasti obratů Th₄- Th₅.

Průdušky (bronchi)

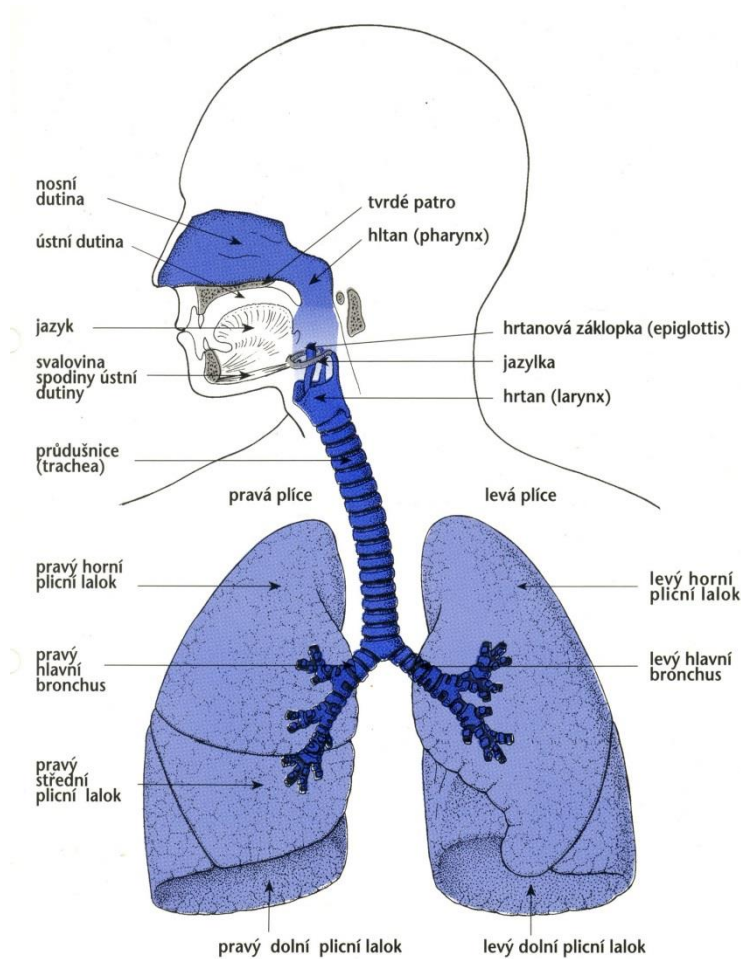
Je sumární název pro systém rozvětvených dýchacích trubic, které vedou vzduch z průdušnice až do dýchacích odstavců plic. Větvení bronchů odpovídá stavebnímu členění plic. Vzniká bronchiální strom, který se označuje jako arbor bronchitis. Ten se větví na: bronchy principales a ten dále na bronchus principalis dexter et sinister, bronchy lobares – lalokové bronchy. Větve hlavních bronchů rozdělujících se při vstupu do plic, do hlavního oddílu plic a segmentových bronchů – bronchy segmentales – větve lalokových bronchů vstupující do anatomicky určených složek laloků zvaných plicní segmenty.

Za hlavní bronchy se považují bronchy uložené v mediastinu. Od lalokových bronchů do periferie jsou bronchiální stromy již součástí plic.

Plíce (pulmones)

Jsou párové orgány, jejichž hlavní funkcí je výměna plynů mezi vzduchem a krví. Bronchy vstupují do plic a dále se zde větví na menší trubičky - bronchioly (průdušky), na jejichž konce navazují alveoli pulmonis – plicní sklípky, které tvoří drobnostěnná výdut' o průměru 0,1 -0,9 mm. V těchto dutinách dochází k vlastní výměně plynů. V obou plicích se nachází dohromady 300 – 400 milionů alveolárních sklípků. Plíce jsou uloženy v pleurálních dutinách. Pulmo dexter je uložena v pravé pleurální dutině a pulmo sinistra v levé pleurální dutině. Obě pleurální dutiny mají serózní výstelku pleura perietalis, jež se v české terminologii nazývá pohrudnice. Tato výstelka přímo naléhá

na pokrývku plic zvanou pleura pulmonalis (poplicnice). Plice mají tvar kužele s otupeným vrcholem a se zploštěnou a vkleslou mediální plochou obrácenou proti mediastinu a srdci.



Obrázek 1 Dýchací soustava

¹ Schéma dýchací soustavy. In: *Stránky Střední zdravotnické školy Kroměříž* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.szskm.cz/soma/17A_dychaci_system.jpg

2.2 Radiofarmaka

Radiofarmaka jsou radioaktivní izotopy, které jsou navázány na jiné látky, jako jsou různé jednoduché anorganické látky, organické molekuly, peptidy, proteiny, krevní deriváty, buňky a jiné. Díky této vazbě se docílí distribuce izotopu v těle do místa potřeby. Kritéria kladená na výrobu farmaka jsou velmi vysoká, hlavní důraz je na sterilitu, která je velice důležitá, zejména pokud se jedná o parenterálně podávané radiofarmakum. Radiofarmaka se vyrábějí v mnoha formách, existují ve formě plynů, kapalné i pevné. Dělíme je podle způsobu podávání na injekční, kapsle, roztoky k perorálnímu podání, plyny určené k inhalaci a další.

Radioaktivní farmaka se od běžných farmak liší v několika ohledech. Ten hlavní tkví v přítomnosti izotopu. S tím se musí počítat při jeho výrobě, distribuci a podání. Jelikož má každý izotop svůj poločas rozpadu, který se u některých (zejména v případě plynů používaných k ventilační scintigrafii) pohybuje i kolem několika minut, musí se vyrábět přímo na pracovišti nukleární medicíny nebo se na oddělení dopravovat z místa výroby. To však není v některých případech ideální, protože s dobou dochází k přeměně izotopu na jiný prvek, a tudíž k ztrátě jeho účinnosti. Mezi další charakteristiky nuklidu jsou druhy záření (alfa, beta ⁺, beta ⁻, gama aj.), energie ionizujícího záření, množství radionuklidu.

2.2.1 Popis jednotek, které charakterizují radionuklidy

Poločas rozpadu (T_{1/2})

Je doba, za kterou se přemění právě polovina jader jednoho radionuklidu na jádra jiného nuklidu. Jednotkou jsou sekundy, hodiny až roky.

Druh ionizujícího záření

Udává, k emisi jakých částic dochází při přeměně jader. V nukleární medicíně se využívá záření alfa (emise jader helia), beta⁺ (emise pozitronů), beta⁻ (emise elektronů) a gama (elektromagnetické záření).

Energie ionizujícího záření

Energie ionizujícího záření se udává v elektronvoltech (eV), ale hlavně v jeho násobcích (KeV, MeV, ...)

Množství radionuklidu

Vyjadřuje se její aktivitou v becquerelech (Bq), 1Bq je jedna přeměna jednoho jádra za 1 sekundu. Jelikož je tato jednotka velice malá, používají se její násobky (kBq, MBq, ...)

2.2.2 Rozdělení radiofarmak

Radiofarmaka používané k terapii

K vychytávání radiofarmaka dochází v místě, které chceme pomocí záření zlikvidovat (jako v lézích nebo nádorech) nebo v něm chceme docílit snížení produkce hormonů určité tkáně, a tím snížit nadprodukcí například hormonů produkovaných touto tkání (štítná žláza). K tomuto účelu se využívají beta zářiče. Beta záření proniká v tkáních jen do několika milimetrů od zdroje, předává však tkáním na rozdíl od gama záření větší energii. Ve tkáních dochází buď k přímému poškození tkáně, nebo k hydrolýze vody, což vede ke vzniku volných radikálů a k dalšímu poškození buněk.

Diagnostická radiofarmaka

K scintigrafickému vyšetření se využívají především gama zářiče, jako například ^{99m}Tc, ⁶⁷Ga, ¹³¹I aj. Pro vyšetření na PET se využívají beta⁺ zářiče, které emitují pozitrony.

Pozitrony anihilují s elektrony za vzniku dvou fotonů, ty jsou detekovány detektory. Pro toto vyšetření se využívá hlavně ^{18}F -FDG, dále lze použít radioizotopy uhlíku, kyslíku, dusíku, aj

2.2.3 Rozdělení radiofarmaka podle způsobu podání

Parenterální radiofarmaka

V klinické praxi jsou nejvyužívanějším způsobem podání radiofarmak. Patří sem: pravé roztoky, koloidní disperze, suspenze.

Perorální radiofarmaka

Mezi tyto RF patří: roztoky, emulze, tuhé látky (například označená potrava).

Inhalační radiofarmaka

Nejpoužívanější RF v této kategorii jsou: plyny, aerosoly.

2.2.4 Výroba radionuklidů

Výroba radionuklidu je rozdělena do několika fází. Ty jsou:

- 1) výroba a získávání radionuklidu
- 2) příprava značených sloučenin
- 3) úprava radiofarmaka do lékové formy
- 4) hodnocení jakosti

2.2.5 Výroba a získávání radionuklidu

Radionuklidy vyráběné pro lékařské potřeby se získávají různými jadernými reakcemi, při kterých se mění stavba výchozího atomového jádra za vzniku jádra jiného. K těmto

reakcím dochází v cyklotronech, jaderných reaktorech nebo v radionuklidových generátorech.

Získávání radionuklidů z cyklotronů

V cyklotronovém zařízení dochází k urychlení kladných částic (protonů, deutronů nebo částic alfa) po spirálních drahách. Při svém pohybu jsou urychlovány magnetickým polem. Částice na konci spirální dráhy narazí do terčíku tvořeného specifickým materiálem. Po nárazu dochází k jaderným reakcím, při nichž vznikají požadované radionuklidy. Příkladem nuklidu, který se v cyklotronech vyrábí, je indium 111. To se získává urychlením protonů o energiích 12 MeV, které narážejí do kadmiového terčíku. Poté co v terčíku proběhnou reakce je rozpuštěn v kyselinách nebo v alkalických roztocích a dalšími chemickými procesy jsou radionuklidy získávány k dalšímu zpracování. Z cyklotronů se získávají nejčastěji ^{111}In , ^{67}Ga , ^{123}I , ^{201}Tl , ^{18}F , ^{11}C , nebo ^{13}N .



Obrázek 2 Schéma cyklotronu

² BROŽ, Martin. Cyklotron. In: [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Cyklotron#mediaviewer/Soubor:Cyklotron.jpg>

Získávání radionuklidů z jaderného reaktoru

Jaderný reaktor je zařízení schopné moderovat štěpné reakce, které v něm probíhají. Štěpným materiálem je nejčastěji ^{235}U . Získávání nuklidů probíhá dvěma způsoby. Prvním způsobem je aktivace radioaktivních látek pomocí neutronového ozařování, při němž dochází k zachycení tepelného neutronu terčem tvořeného radionuklidem. Při tomto postupu vzniká radioaktivní izotop stejného prvku, jako byl terčik. Vzniklý radionuklid je chemicky shodný jako ozařovaný prvek, a proto se nedá jednoduše oddělit. Vzniklý nuklid je bohatě zředěný dceřinými stabilními atomy, proto má nízkou měrnou aktivitu. Druhým způsobem je separace radionuklidů ze štěpných produktů, při které se izolují štěpné produkty uranu 235, jež mají vysoké štěpné výtěžky a určité poločasy rozpadu. Ty jsou vhodné pro použití v nukleární medicíně. Tento způsob je výhodnější než při použití toku neutronů, jelikož získané nuklidy mají vyšší měrnou aktivitu. Chemickými procesy dochází ke konečné izolaci, jež ovlivňuje výslednou čistotu produktu.

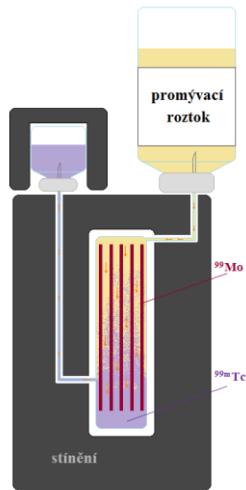
Pomocí ozařování kladných částic vznikají radionuklidy, kterých kliniky hojně využívají, například: ^{131}I , ^{125}I , ^{51}Cr , ^{59}Fe . Metodou separace radionuklidů z štěpných produktů vzniká ^{99}Mo , ^{131}I a ^{90}Sr .

Získávání radionuklidů z generátoru

Základem tohoto zařízení je kolona naplněná nestabilním (mateřským) prvkem, který se postupem času přeměňuje na požadovaný radionuklid (mateřský). Generátory jsou v dnešní době základem pro vznik radionuklidů přímo na pracovišti nukleární medicíny, tím pádem se na oddělení může pracovat i s nuklidy s velmi malým poločasem rozpadu, jelikož odpadá doba, která je nutná pro transport nuklidu z místa výroby danou firmou do místa aplikace. Podle konstrukce se dělí generátory na chromatografické, extrakční a sublimační.

Technecium-molybdenový generátor

Základem tohoto generátoru je molybden 99, který je v koloně vázán na oxid hlinitý. Molybden se postupem času přeměňuje na technecium 99m, to se z kolony získává vymýváním oxidu hlinitého elucí chloridu sodného. Tento generátor je schopen produkovat technecium po dobu dvou týdnů.



Obrázek 3 Technecium-molybdenový generátor

Rubidium-kryptonový generátor

Hlavní součástí tohoto generátoru je rubidium 81, které je vázáno na membráně generátoru. Proud vzduchu proudící přes membránu odnáší dceřiný produkt, v tomto případě krypton 81m, a proudí ventilační hadicí do pacientových plic. Rozložení plynu v plicích vyšetřovaného se snímá pomocí gama kamery.

³ BÍNA, Petr. Techneciový generátor. In: [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Tc-generator.png>

2.3 Detekce záření a planární scintigrafie

V nukleární medicíně jsou nejvíce používány scintilační detektory na detekci záření, které vychází z pacienta po aplikaci určitého radiofarmaka. Dále se ve zdravotnictví používají ionizační komory používané na určení množství radionuklidu při přípravě radiofarmaka a před jeho podáním pacientovi. Také jsou používány Geiger-Mullerovy a proporcionální detektory pro detekci záření v ochranné dozimetrii. Detektory zařízení jsou schopné přijmu záření díky principu ionizace plynu. Záření, které prochází detektorem, způsobuje ionizaci neutrálních atomů plynu.

2.3.1 Scintilační detektory

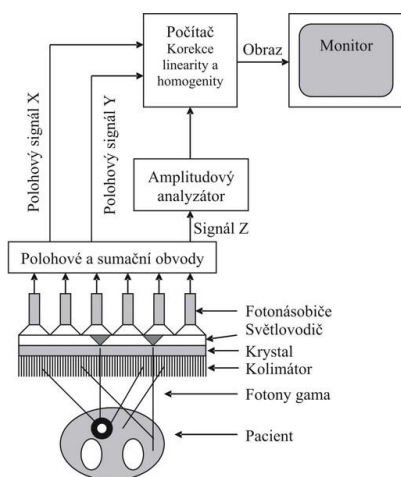
Hlavní výhody scintilačních detektorů je jejich vysoká citlivost na gama a rentgenové záření. Součástí detektoru je scintilační krystal, fotonásobič a vyhodnocovací soustava. Detekce záření se uskutečňuje v scintilačním krystalu, ten je nejčastěji tvořen z germaniové soli bismutu a chloridu barnatého. Fotoefekt a Comptonův rozptyl vyvolaný průchodem záření způsobují excitaci atomů detekční látky s následným vznikem záblesku viditelného světla. Velikost a tvar detektoru je závislý na aplikaci, pro kterou je detektor určen. Přes světovod putuje záblesk do fotonásobiče, který mnohonásobně zvětšuje počet elektronů, a to díky velkému počtu dynod. Elektrony na výstupu z fotonásobiče vytvoří proudový a napěťový impuls. Impulzy putují do zesilovače, kde dochází k zesílení amplitudy. Ze zesilovače putují impulzy do amplitudového analyzátoru, tam se třídí. Díky amplitudovému analyzátoru je scintilační detektor schopen rozeznat rozložení výšek impulzů, a tedy i scintilační spektrum záření gama, které se skládá z jednoho či více fotopíků a comptonova spojitého spektra.

Před každým vyšetřením, které je uskutečněno na scintilačním detektoru, je nutno zjistit množství záření přicházející z přírodních a kosmických zdrojů. Toto záření se nazývá pozadí scintilačního detektoru. Pro snížení nežádoucího záření se detektor umísťuje do stínícího olověného krytu.

Pro usměrnění chodu záření, které je potom detekováno v planární nebo tomografické scintigrafii, se používají olověné kolimátory. Kolimátory se rozlišují podle velikosti,

uspořádání lamel. Mnohoo otvorový kolimátor s paralelními otvory se používá u nízkoenergetického gama záření. Je tvořen velkým množstvím otvorů v olovené desce, jež je uspořádána rovnoběžně s osou detektoru. Paralelní kolimátory a hlavně HS kolimátory s velkým rozlišením se používají u většiny vyšetření v nukleární medicíně. Pinhole kolimátor je typický tím, že má pouze jeden otvor v olovené nebo wolframové konstrukci a poskytuje zvětšený a převrácený obraz. Zvětšení obrazu klesá s rostoucí vzdáleností od snímaného objektu. Výhodou tohoto kolimátoru je dobrá prostorová rozlišovací schopnost, avšak jen v případě, kdy je objekt v malé vzdálenosti od detektoru. Nevýhodou kolimátoru je nízká citlivost a zkreslení, které je tím větší, čím je větší tloušťka zkoumaného objektu. Pinhole je používán především při zobrazování malých orgánů v těle, jako například štítné žlázy, ledvin nebo kyčelních kloubů u dětí. Kolimátor typu fan-beam je fokusován v transverzálním směru a je paralelní k axiálnímu směru. Při stejném prostorovém rozlišení má tento kolimátor o 50 procent větší citlivost než kolimátor s paralelními lamelami. Používá se hlavně u scintigrafického vyšetření mozku.

Kolimátory se dále rozlišují podle energie záření, které jsou schopné účinně odfiltrovat. Platí, že čím vyšší je energie záření, tím tlustší musí být lamely v kolimátoru. Rozdělují se do 3 skupin: kolimátory pro nízké energie, které se používají pro energie menší než 160 KeV, kolimátory pro střední energie (energie do 300 KeV) a pro vysoké energie, které jsou účinné od 400 KeV.



Obrázek 4 Schéma scintilačního detektoru

⁴ Scintilační detektor. In: *Fakultní nemocnice UP* [online]. [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: <http://www.lf.upol.cz/menu/struktura-lf/kliniky/klinika-nuklearni-mediciny/>

Emisní tomografie

V nukleární medicíně se používají dvě hlavní vyšetřovací metody, které se od sebe výrazně liší. Hlavním rozdílem je typ využívaných radionuklidů, dále také přístrojové vybavení, zpracování výsledku, klinické využití, ale také cena. První využívanou metodou je pozitronová emisní tomografie (PET), jež využívá anihilaci pozitronů a elektronů, které jsou zaznamenávány multidetektorovým systémem. Druhou metodou je jednofotonová emisní tomografie (SPECT). Toto zařízení, jak název napovídá, se liší od metody PET tím, že využívá pro detekci fotonů detektory opatřené kolimátory. V dnešní praxi se používá hlavně hybridních systémů, jako SPECT/CT. Tato zařízení využívají fúze jednofotonové emisní tomografie a počítačové tomografie, zatímco PET/CT využívající pozitronové emisní tomografie a počítačové tomografie. Výhodou těchto metod je možnost superpozice obrazů ze dvou různých zdrojů, čímž odpadá nutnost složitých geometrických úprav. Obraz z CT má anatomickou vypovídající hodnotu a obraz emisní tomografie dodává funkční výpověď. Až po složení obou obrazů dohromady se můžou plnohodnotně dojít ke správné diagnostice.

Pozitronová emisní tomografie

Pro tuto metodu se využívají radionuklidy, které při rozpadu svých jader emitují pozitrony, v hmotném prostředí dochází k jejich ztrátě energie po několika milimetrech šíření a poté zanikají anihilací s elektronem za vzniku dvou fotonů o energii 511 KeV. Ty se od sebe šíří po přímých drahách s úhlem 180° , poté jsou detekovány speciálně upravenými scintilačními detektory. Detektory jsou vyrobeny z germaniové soli bismutu a chloridu barnatého. Díky skutečnosti, že se fotony šíří po přímých drahách a že se šíří rychlostí světla, se dá říct, že jsou detekovány prakticky ve stejný moment protilehlými, na sebe paralelními, detektory. Tím odpadá nutnost využívání kolimátoru, jelikož dochází jen k zaznamenání fotonů, které jsou detekovány ve stejnou chvíli a všechny ostatní fotony nejsou zaznamenány. V tomto případě se hovoří o *elektronické kolimaci*. Výhodou této metody je zejména fakt, že díky krátkému poločasu rozpadu pozitronových zářičů je možné vyšetření v krátké době opakovat. Nevýhodou je kvůli nízkému poločasu rozpadu nutnost přípravy radiofarmaka přímo na pracovišti.

Výjimkou je pozitronový zářič ^{18}F , který má poločas rozpadu téměř 2 hodiny, tudíž je možnost jeho přivážení na pracoviště z místa výroby. Fluor 18 se používá hlavně navázaný ve vazbě Flodeoxyglukosa (FDG). FDG je dnes ve vyspělých zemích vedle $^{99\text{m}}\text{Tc}$ nejpoužívanějším radionuklidem v nukleární medicíně.

Při rekonstrukci detekovaných dat z PET může dojít k několika případům devalvaci obrazu. Prvním případem je fakt, že i fotony které mohly být při průchodu rozptýleny mohou být zaznamenány jako anihilační pár. Některé z těchto anihilačních párů lze rozpoznat díky faktu, že výsledná přímka, která spojuje tyto dva fotony, vůbec neprotíná tělo pacienta. Za druhé je to případ, kdy v různých místech dojde k dvěma současným anihilacím. Pokud detektory zachytí pouze jeden anihilační foton z každého páru, dojde k takzvané náhodné koincidenci. V tomto případě se opět jedná o chybnou detekci, jelikož na přímce neleží ani jedna z obou anihilací.

Jednofotonová emisní tomografie

Metoda jednofotonové emisní tomografie, zkráceně SPECT, se využívá v nukleární medicíně pro detekci funkce tkání vyšetřovaného. Tím se liší od CT, které zobrazuje anatomickou strukturu těla. SPECT má také výrazně delší vyšetřovací dobu, jež se u některých vyšetření pohybuje v řádu několika minut, na rozdíl od CT, kde expoziční doba je v řádu sekund. Na druhou stranu má SPECT výrazně nižší rozlišovací schopnost. Oba tyto způsoby vyšetření používají stejnou metodu rekonstrukce obrazů, kdy se používá algoritmus filtrované zpětné projekce dat - jak v případě SPECT, tak CT se může využít metoda interaktivní rekonstrukce. Vyšetření na SPECT jsou v drtivé většině vyšetření planární s radiofarmaky, které mají delší poločas rozpadu, jelikož je při delší době vyšetření nežádoucí, aby se intenzita záření ve vrstvách měnila příliš rychle, a tím způsobovala devalvaci obrazu. Existuje i možnost dynamické scintigrafie, tato metoda se však využívá spíše v experimentální rovině, jelikož její použití v klinické praxi je velice technicky náročné. Hlavní výhodou metody SPECT oproti planární scintigrafii je vyšší kontrast výsledného snímku související s překonáním projekční superpozice a možnost určit množství radiofarmaka v tkáni.

Faktorem, který snižuje validitu snímků, je zeslabení (atenuace) obrazu, způsobená nejčastěji fotoefektem a Comptonovým rozptylem. Rozptýlené záření může tvořit nezanedbatelné množství celkového počtu impulzů (uvádí se až 60%), z tohoto důvodu

je velice důležité dbát na správnou korekci zařízení, na zeslabení a rozptyl záření, jinak vyšetření na SPECT neodpovídá skutečné distribuci radiofarmaka (tato korekce platí i pro vyšetření PET).

Transmisní měření – se dá v emisní tomografii přirovnat k metodě CT. Zatímco u CT se kolem pacienta otáčí rentgenka, u transmisního měření je to gama radionuklid o předem zjištěné aktivitě a s odlišnou energií než má indikátor použitý při emisním měření. Kamera při svém pohybu zaznamenává emisní a transmisní impulzy. Z transmisních měření je dále vypočtena mapa zeslabovacích koeficientů, ta je podobná CT snímku. Po opravě na energii radionuklidu použitého jako emisní indikátor se z naměřených dat vypočte četnost impulzů, které jsou nezkresleny zeslabením záření. Nově se může využívat metody hybridních přístrojů, které využívají místo externího zdroje záření zabudované CT, což vede k nižší dávce záření (tzv. low-dose CT).

Pro korekci na rozptyl se využívá skutečnosti, že fotony, které podlely rozptýlení, mají nižší energii. Fotony s nižší energií jsou odfiltrovány amplitudovým analyzátozem kamery, jelikož jejich energie není dostatečná, aby se dostaly přes dolní okraj energetického prahu analyzátoru, v němž se provádí záznam obrazu. Dále lze odfiltrovat i méně rozptýlené fotony, které jsou schopny projít analyzátozem a jsou zaznamenány v oblasti fotopíku díky využití speciálních technik, jako například snímání obrazu v několika energetických oknech současně - podle rozdělení četností v jednotlivých oknech se odhaduje podíl rozptýlených fotonů na celkové četnosti impulzů v oblasti fotopíku.

2.4 Ventilační plicní scintigrafie

2.4.1 Radiofarmaka používaná při plicní ventilační scintigrafii

Radioaktivní plyny

^{133}Xe s poločasem rozpadu 5,27 hodin a energií 233 keV se používá k určení distribuce plicní ventilace. Jeho používání je však limitováno náročností na vybavení pracoviště nukleární medicíny, které musí být vybaveno speciálně upraveným spirometrem. Rovněž je problematický kvůli nutnosti zajištění radiační ochrany personálu oddělení.

Druhým typem radionuklidového plynu používaného pro ventilační scintigrafii plic je $^{81\text{m}}\text{Kr}$ s energií 190 keV, který se získává přímo na pracovišti z ^{81}Rb generátoru. Ten je však velice finančně náročný kvůli krátkému poločasu rozpadu radionuklidu Rb, který činí 4,6 hodin. Z tohoto důvodu je doba použití jednoho generátoru limitovaná na jeden den. Jeho výhodou je však možnost současného provedení ventilační a perfuzní scintigrafie, což je zapříčiněno dostatečným rozdílem energií fotonů $^{99\text{m}}\text{Tc}$ a $^{81\text{m}}\text{Kr}$, který je dost velký, aby bylo možné jejich rozlišení na gama kameře.

Radionuklidové aerosoly kapalné a plynné

Nejčastěji využívané aerosoly jsou na bázi $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$. Ty se získávají z tryskových nebo ultrazvukových nebulizérů, ve kterých vznikají částice o průměru 0,7- 1,0 μm , díky čemuž dochází k jejich depozici v plicních alveolách. Při této aplikaci je nutná dobrá spolupráce pacienta, a to z důvodu delšího průběhu vyšetření, protože 1% - 2% aktivity jsou deponovány v plicních sklípcích. Pro zvýšení účinku nuklidu se používají systémy APE, které vytvářejí částice o průměru 0,3-0,4 μm a díky tomu lépe pronikají do plicních alveol. Další větší nevýhodou tohoto radionuklidu jsou arteficiální centrální depozice radioaktivních částic, a to hlavně při zvýšené bronchiální rezistenci.

Aerosoly na bázi uhlíku

^{99m}Tc -TECHNEGAS je firemní název techneciem značené uhlíkové částice. Tyto částice jsou několikanásobně menší, než jsou schopny vyprodukovat nebulizátory, a tím mnohem lépe pronikají do plicních alveolů. Nevýhoda tohoto radiofarmaka je vysoká dávka, která se absorbuje v plicích, a také cena zařízení pro značení částic. To se skládá z grafitové nádoby naplněné technecistanem za přítomnosti zahřátého argonu na teplotu 2500°C .

2.4.2 Provedení vyšetření ventilační plicní scintigrafie

Průběh vyšetření pomocí ^{133}Xe

Na oddělení je pacient připojený na spirometr obsahující ^{133}Xe . Nastavení gamakamery je na zadní projekci. Celé vyšetření se skládá z 3 částí: 1. část: wash-in, při kterém se provádí dynamická studie distribuce plynu v různých částech plic při současném nádechu pacienta. Křivka je vykreslena na základě změny registrované aktivity v průběhu nádechu. 2. část: ekvilibrium, v této fázi pacient po dobu 3-5 minut vdechuje radionuklidní plyn z uzavřeného okruhu. Snímaná aktivita v plicích je mírou regionálního alveolárního objemu. 3. část: wash-out, při němž je jako u wash-in zhotovena studie, jež popisuje aktivitu v plicích při „vydechování“.

Ventilační scintigrafie ^{133}Xe se nejčastěji používá k prokázání obstrukční bronchopulmonální choroby, která způsobuje prodloužení doby, při které plyn vstupuje do postižené oblasti. Dochází také k prodloužení wash-out fáze, u níž se zvyšuje časový interval do nastolení rovnovážné fáze. Při pokročilé stádiu onemocnění se plyn může zdržovat v emfymatozních bulkách i více než 10 minut. Nevýhoda vyšetření je, že poskytuje informace pouze z jedné projekce, a to zpravidla zadní.

Průběh vyšetření pomocí ^{81m}Kr

Pacient vdechuje plyn přímo z generátoru po celou dobu vyšetření, při kterém je snímán z několika projekcí. Doba vyšetření je pouze několik minut. Obrazy z tohoto vyšetření

jsou většinou dobře čitelné díky nepřítomnosti velkého množství artefaktů, zejména díky absenci tělesného pozadí, centrální depozice nebo kontaminace radioaktivními slinami. Výhodou vyšetření je nízká radiační zátěž personálu oddělení díky nízkému poločasu rozpadu ^{81m}Kr . Toto vyšetření standardně provádíme za předešlé aplikace Tc-magroagregátu albuminu, aby bylo možné provádět zároveň perfuzní plicní scintigrafii.

Průběh vyšetření ventilační plicní scintigrafie pomocí aerosolu

Pacientovi se po dobu vdechování aerosolu, což nejčastěji trvá kolem 12 minut, ukládají částice v plicích, ty zde potom sedimentují. Po dosažení dostatečné aktivity dochází k jejímu snímání gama kamerou nejčastěji v 4-6 projekcích (přední, levé zadní šikmá, zadní, pravá zadní šikmá a je možná i pravá a levá šikmá). Interpretaci tohoto vyšetření zhoršují artefakty, které způsobuje manifestující se arteficiální aktivita, jež se akumuluje na sliznicích velkých dýchacích cest nebo v jícnu a žaludku. Množství aerosolových částic, které ulpí v plicích, jsou výsledkem jednak jejich velikosti, ale také průchodnosti dýchacích cest. Dochází k depozici v místě sníženého průtoku vzduchu. Výhodou vyšetření je jeho snadná dostupnost, jelikož však zápory převyšují klady, postupem času se od něj upouští.

Hlavní indikací pro ventilační plicní scintigrafii je podezření na neprůchodnost periferních dýchacích cest a ztrátu vzdušnosti. K další indikaci patří podezření na plicní embolii. V takovém případě dochází k doplnění perfuzní plicní scintigrafie ventilační, aby se zvýšila vypovídající hodnota vyšetření. Dále tento postup slouží k zjištění funkčnosti plic nebo jejich částí před provedením thorako chirurgického zákroku.

2.4.3 Vyšetření plicní permeability

Pro vyšetření stavu a integrity epiteální membrány lze provést stanovení *alveokapilární clearance*, to znamená stanovit rychlost úniku inhalovaných radionuklidových částic nebulizované ^{99m}Tc -DTPA kapalně o průměru částic menších než $1\mu\text{m}$. Po dokončení inhalační fáze se okamžitě zahajuje měření průběžného poklesu radioaktivní látky v plicích pomocí dynamické studie. Křivka poklesu množství radionuklidu je standardně monoexponenciální. Referenční hodnoty únikového poločasu se pohybují

od 50 do 70 minut. Mezi faktory, které mají vliv na zkrácení této doby, patří kouření, tělesná aktivita vykonaná před vyšetřením nebo vyšší koncentrace kyslíku ve vdechovaném vzduchu.

K onemocněním, která zapříčiňují zkrácení poločasu, patří zejména *intersticiální plicní procesy*, a to hlavně kryptogenní fibrotizující alveolitis, sarkoidoza, ornitozy, toxické poškození plic nebo terapie amiodaronem či některé cytostatika, zkrácení dále může vyvolat i syndrom dechové tísně (ARDS). Vyšší prognostický i monitorovací význam než informace o jednorázové hodnotě má však monitorování změn v průběhu onemocnění a léčby. Proto je vhodné doplnit vyšetření *aleokapilární clearance* standardními vyšetřeními plicního intetina, jako třeba CT s vysokým rozlišením nebo bronchoalveolární laváží.

Poškození kapilárního endotelu lze také prokázat pomocí monitorování úniku značeného transferinu z vaskulárního kompartmentu určením jeho kumulace v oblasti plic po odečtení plicního krevního poolu. Tato metoda se klinicky používá hlavně při syndromu nádechové tísně, u hemodialyzovaných nemocných a po léčbě ozařování plic pro ověření zvýšené endotelní propustnosti.

2.4.4 Vyšetření mukociliární clearance

Vyšetření mukociliární clearance se standardně používá k posouzení funkce řasinkového epitelu bronchů.

Po inhalaci značeného farmaka (nejčastěji se jedná o mikrosféry albuminu, nebulizovaný MMA koloid, mikrosféry polystyrenové či teflonové), jehož částice mají průměr větší než 5 μ m, dochází k jejich depozici na povrchu epitelu tracheobronchiálního stromu řasinky, poté se přesouvají směrem do faryngu. Standardní doba očištění, stanovená podle dynamické scintigrafie, trvá zhruba 4-6 hodin. Některé faktory mohou tuto dobu prodlužovat, například stáří nebo spánek, aplikace beta2 agonistů nebo teofylinů, ale zejména narušení řasinkového epitelu dýchacích cest u chronických bronchitid, bronchiálního astmatu, cystické fibrózy, u Kartagenerova syndromu, nebo u chřipky.

2.5 Perfuzní plicní scintigrafie

2.5.1 Radiofarmaka používaná při perfuzní plicní scintigrafii

Mezi radiofarmaka používaná v perfuzní plicní scintigrafii patří ^{99m}Tc -značený makroagregát albuminu nebo albuminové mikrosféry. Částice se po intravenózním podání zachytávají v prekapilárách. Prekapiláry mají průměr okolo $8\mu\text{m}$, z toho důvodu musí být aplikované částice větší, aby došlo k jejich zachytu. Částice se po několika hodinách, enzymatickými a mechanickými pochody, rozpadají na menší částice a prochází kapilárním řečištěm. Aplikovaný počet částic radiofarmaka by neměl přesáhnout 500 000. K embolizaci dochází přibližně u každé desetitisíce kapiláry, tím pádem nedochází k většímu vzestupu tlaku v plicích, a tedy ani k hemodynamické reakci.

Kontraindikace u tohoto vyšetření nepředstavuje plicní hypertenze ani pravolevý zkrat. Pacientovi se vleže za intenzivního dýchání aplikuje radiofarmakum. Vyšetřování se doporučuje provádět vestoje či vsedě, čímž se docílí rozvíti plic, které zaručuje lepší zobrazení případných lézí. Snímání se může provádět až několik desítek minut po aplikaci farmaka a provádí se 3 - 6 základních projekcích. Rozložení radiofarmaka je stejné, jako bylo v době aplikace. Vyšetření se může doplnit tomografickou scintigrafií SPECT, která dokáže odhalit přítomnost subsegmentárních lézí na plicích, ty nejsou při normálním planárním vyšetření detekovatelné.

Regulérní schéma distribuce aktivity v plicích může být ovlivněno:

1. Vyrovnáním nebo prohozením apikobazárního perfuzního gradientu.
2. Stranovou nesouměrností v intenzitě perfuze obou plic, jejich částí, nebo případně absence zobrazení celé plíce.
3. Ložiskovými nehomogenitami šíření perfuze.

4. Perfuzní porucha subsegmentárního, segmentárního nebo dokonce lobárního původu.

2.5.2 Příčiny narušení standardního obrazu plicní perfuze

Známky snížení až nepřítomnosti perfuze jsou přítomny:

- při postižení plicního cévního řečiště tromboembolií nebo při poškození větví arterie pulmonaris aplázií či hypoplazií
- při utlačování plicních arterií infiltráty nebo nádorem
- při útlaku plicní tkáně emfyzematózní bulou, výpotkem nebo zvětšením srdce
- při kongenitálních a-v spojkách
- při nedostatku kyslíku v alveolách vedoucí k vazokonstrikci u alveolární hypoventilaci, bronchiální obstrukce či atelaktáze

Příznaky vyrovnání nebo obrácení perfuzního gradientu při prekapilární nebo postkapilární plicní hypertenzi způsobuje:

- embolizace, těžký emfyzém, pneumonie, bronchogenní karcinom
- některé srdeční vady, které mohou vést k abnormalitám převozního schématu, nejsou specifické, a tím zhoršují jednoznačné etiologické zhodnocení

Při hodnocení plicních scintigramů hraje významnou roli prostý snímek plic, ke kterému by se mělo vždy přihlídnout při hodnocení vyšetření.

2.5.3 Hlavní indikace vyšetření perfuzní plicní scintigrafie

1. podezření na plicní embolii
2. rozhodování o operabilitě plicního karcinomu
3. rozlišení primární nebo plicní hypertenze

2.5.4 Patologie při vyšetření plicní perfuze

Patologické aspekty, které způsobují narušení ventilace anebo perfuze, se dají rozdělit do několika skupin, které lze scintigraficky objektizovat do skupin vaskulárních plicních nemocí. Tyto procesy zpravidla zachovávají alveoly strukturálně nepoškozené, proto je ventilace v místě cévního uzávěru zachovaná. Postižení jsou nejčastěji způsobena plicní embolií, nádorovou cévní kompresí nebo plicní vaskulitidou.

Plicní embolizace

Při diagnostice toho onemocnění hraje nejdůležitější roli čas, jelikož včasné odhalení snižuje úmrtnost z více než 30-50% na pouhých 8-20%, mimo to při neléčení dochází k časté recidivě (zhruba v 50%). Řada pitevnických výzkumů dokazuje, že pouze 30-50% plicních embolií je za život odhaleno. Nejčastějším zdrojem vzniku vmetků v těle jsou hluboké žíly dolních končetin postižené tromboflebitidou, dále vznikají v pravé srdeční předsíni, dolní duté žíle a v žíle pánevní.

Při diagnostice plicní embolie se dnes využívá digitální subtrakční angiografie a především multidetektorové spirální CT, případně CT s elektronovým svazkem. Mezi výhody těchto vyšetření patří především včasná dostupnost (do 24 hodin) a také dokáží odhalit přímo obstrukci nebo defekt ve stěnách plicních arteriol. Plicní angiografie představuje dnes zlatý standart v diagnostice embolie, postupně se z ní **však** odstupuje. Využívána je stále především na pracovištích, které nejsou vybaveny nejnovější CT technikou, dále také u pacientů, u kterých chceme snížit radiační zátěž, či u pacientů trpících alergií na kontrastní látky.

Plicní embolie může být příčinou vzniku subsegmentárního, segmentárního nebo lobárního perfuzního defektu. Závažnost defektu závisí na velikosti embolu. Malé emboly způsobují periferní defekty, větší emboly mohou blokovat přístup krve do celého segmentu laloku anebo dokonce do celé plice. Ne zřídka se stává, že defekty jsou vícečetné nebo oboustranné. Pro detekci malých embolů je výhodné využít SPECT/ CT, a to kvůli jeho lepší detekční schopnosti.

Charakteristickým úkazem na scintigramu plic zasaženým embolem je tzv. *missmatch*, což znamená, že na perfuzním scintigramu nejsou žádné abnormality, ovšem na ventilačním přítomny jsou. Tento jev však může být způsoben i jiným onemocněním než jen plicní embolií. Nejčastěji se jedná o sekundární narušení kapilární perfuze, při primární poruše ventilace, a proto je nezbytná korelace perfuzního scintigramu s ventilačním, jelikož např. pro bronchiální onemocnění je typický *ventilačně-perfuzní match*, což je stejný výpadek perfuze i ventilace ve stejné oblasti. Nejvýznamnější činitel v diagnostice je *časový faktor*, ve kterém došlo k odhalení embolu a reparace perfuze. Z tohoto důvodu je nutné vyšetření provést nejdéle 24 hodin po příhodě, a to proto, že jen v této době provedený sken bez patologického nálezu embolii vylučuje. Většinou však až do 7. dne prokazujeme jen menší známky reparace. K významnému zlepšení dochází většinou až mezi 25. - 128. dnem po embolizaci. Studie dokazují, že přítomnost plicní embolie, v případě že ji scintigram nepotvrdil, je velmi malá, uvádí se přibližně v 4% případech.

Imitace akutní plicní embolie na scintigramu může vyvolat i řada dalších chorob. Jedna z nich je nedostatečná reparace staršího plicního embolu, která nastává asi v 35% případech, kde nedochází k úplné úpravě. Proto se doporučuje opakování vyšetření po určitém časovém intervalu (nejistěji po 3-4 měsících od příhody). Vyhotovený scintigram z tohoto vyšetření potom funguje jako referenční pro porovnání při podezření na další embolii.

Plicní hypertenze

Primární i sekundární plicní hypertenze při srdečních onemocněních mohou vést k vyrovnání nebo dokonce k obrácení fyziologického nebo apikobazálního perfuzního gradientu. Modifikace gradientu je důležitou známkou pro plicní postižení při závažném srdečním onemocnění. Na scintigramu u pacienta postiženého primární plicní hypertenzí většinou nejsou patrné charakteristické defekty, zatímco u plicní embolie lze pozorovat i vícečetné perfuzní defekty.

Vrozené srdeční vady

Pro kongenitální srdeční vady spojené s pravolevými zkraty při plicní hypertenzi je typické pronikání aplikovaného radiofarmaka do ledvin a mozku. Kvantifikovat zkrat se tedy dá pomocí určení podílu radioaktivity nad plícemi.

Plicní konsolidace

Plicní konsolidace může být vyvolána plicní infekcí nebo embolickou infarazí. Dochází k narušení nejen regionální plicní ventilace, ale i plicní kapilární perfuze s odrazem v scintigrafických obrazech. Uvádí se, že zhruba 10% embolizací vede k plicní konsolidaci za současné nepřítomnosti typického nesouladu mezi zachovanou ventilací a chybějící perfuzí (*mismatch*). Akutní plicní zánětlivá onemocnění mohou vést k nesegmentální snížené perfuzi v místech postižených zánětem, ovšem stále je nutná korelace s RTG snímkem hrudníku a případně s ventilační plicní scintigrafií.

Obstruktivní onemocnění

Obstrukční chronické plicní onemocnění zahrnuje emfyzémy, chronické bronchitidy, bronchiektázie a exacerbace astmatu. Pro tato onemocnění je typická redukce alveolární ventilace v pozdní fázi ve spojení s perfuzními abnormalitami. To může být způsobeno buď zánikem části plicního kapilárního řečiště, nebo hypoxickou vazokonstrikcí. Poměrně typické pro toto onemocnění jsou obrazy disperzně nesegmentální ložiskové nehomogenity distribuce aktivity v plicích při perfuzní scintigrafii. Při použití radioaktivního aerosolu dochází k centrální depozici před překážkami v bronchiálním větvení. Stupeň centrální depozice bereme jako ukazatel závažnosti poškození.

Restriktivní procesy

Chronický zánět nebo fibróza může v některých případech vést k obliteraci alveolů. Kapiláry prostupující ztlustělou a zanícenou alveolární stěnou způsobují výrazné poškození perfuze. Plicní fibróza způsobuje nehomogenitu distribuce perfuze nebo její

absenci v postižených oblastech v závislosti na pokročilost nemoci. Sarkoidóza může mít za následek vnik velkých kuželovitých defektů perfuze v plicích.

Pleurální výpotek

Pro pleurální výpotek je typická redukce až absence ventilace i perfuze v částech plic, která odpovídá velikosti výpotku. Perfuze může být moderována i polohou pacienta při aplikaci radiofarmaka, objevuje se nesegmentální výpadek ventilace i perfuze zpravidla hladkých okrajů, případné zkrácení vertikálního rozměru obrazu plic.

Bronchogenní karcinom

Za manifestaci bronchiálního karcinomu v scintigrafickém obraze jsou zodpovědné dva faktory.

Zevní cévní komprese nádorovou masou

Centrálně lokalizovaný bronchogenní karcinom může zapříčinit kompletní absenci perfuze buď v segmentu laloku, nebo dokonce v celé plíci. Periferní plicní karcinom může vést až k ložiskové redukci perfuze nesegmentálního nebo subsegmentárního charakteru. Absenci perfuze v celé plíci může mít na svědomí útlak vyvolaný přítomností metastatického postižení mediastinální uzliny.

Obstrukce dýchacích cest

Narušení ventilace a perfuze závisí na stupni obstrukce, pokud karcinom nenarušuje plicní cévy. Omezení výměny plynů v důsledku obstrukce vede k lokální hypoxii, která je příčinou arteriální vazokonstrikce. Perfuzní a ventilační defekt odpovídá anatomické lokaci postiženého segmentu nebo laloku. Kompletní lokální obstrukce způsobuje atelaktázu (nevzdušnost plicního tkaniva) s úplnou absencí ventilace a výrazně sníženou perfuzí.

Malé bronchiální karcinomy nemají za následek velké scintigrafické změny.

Vyšetření plicní perfuze a ventilace se velice často provádí před řadou thorakochirurgických výkonů. Pro predikaci pooperační plicní funkce je výhodné použít perfuzní plicní scan. U pacientů, u kterých se uvažuje nad lobektomií nebo pneumonektomií, lze odhadnout vitální kapacitu plic ze součinu vitální kapacity předoperačních plic za jednu sekundu a podílu nádorem nepostižené druhotné plíce na celkové plicní kapilární perfúzi. Pokud je hodnota vitální kapacity vyšší než 800 ml, výkon lze provést.

2.6 Diagnostika nitrohruční infekce

Zhotovení průkazu přítomnosti nitrohruční infekce je užitečné zejména u nemocných s horečkami nejasného původu a u postižených s modifikovanými anatomickými poměry v dutině hrudní, například v důsledku thorakochirurgické operace, plicní fibrózy nebo při ztluštění pleury.

2.6.1 Indikátory používané pro detekci nitrohručních infekcí

⁶⁷Ga-citrát

Výhodou tohoto radiofarmaka je jeho vysoká senzitivita pro průkaz infekce v oblasti hrudníku, mezi jeho nevýhody však patří nízká specifita. Pozitivní nález vyvolávají nejen bakteriální infekce, ale i granulomatozní záněty, některé formy intersticiální pneumonie (například pneumocytové pneumonie v rámci nemoci AIDS) a také některé malignity plic a mediastina. V současné době se používá Ga-citrát především k vyšetření chronických granulomatozních infekcí, při sarkoidóze a plicní tuberkulóze.

Leukocyty značené ¹¹¹In nebo ^{99m}Tc

Toto radiofarmakum se osvědčilo především pro diagnostiku zánětů provázených leukocytární infiltrací u nemocných s bronchiektáziemi nebo s plicním abscesem, jsou však méně vhodné u akutních pneumonií, kde bývá často negativní nález.

^{99m}Tc značené protilátky proti granulocytům

Techneciem značené protilátky představují další možnost scintigrafického průkazu, zejména u zánětlivých procesů s leukocytárními infiltráty. Srovnáme-li toto radiofarmakum se značenými leukocyty, zjistíme, že výhoda leukocytů tkví v lepší dostupnosti na pracovišti, jejich nevýhodou je však menší senzitivita průkazu infekce.

¹¹¹In značená analoga chemotaktických peptidů

Leukocytární chemotaktické peptidy mají na rozdíl od značených antigranulocytárních protilátek určité výhody. Díky své menší molekulární velikosti snáze pronikají do extravaskulárních prostor, mají rychlejší plazmatickou clearance, která podmiňuje nižší aktivitu pozadí a lepší kontrast. Receptorový systém na známých populacích buněk je lépe definován a nevede k tvorbě HAMA protilátek.

18F-fluorodeoxyglukoza (FDG)

Pomocí PET-CT se s velmi dobrým rozlišením zobrazují zánětlivé afekty v oblasti hrudníku. Nevýhodou FDG je jeho těžší etiologická interpretace, jelikož dochází k jeho akumulaci i v nitrohrudních malignitách.

2.7 Diagnostika nitrohručních malignit

Klinický význam vyšetření, které podstupuje nemocný s neklasifikovaným nitrohručním nálezem nebo známou nitrohruční masou, zahrnuje 4 jasně definované situace:

1. odlišení zánětu od nitrohruční malignity u nemocných se solitárním plicním uzlem nebo ložiskovou konsolidací prokázanou na prostém snímku hrudníku nebo při CT
2. objektivizace rozsahu a stupně pokročilosti karcinomu u pacientů s již ověřeným plicním nádorem
3. monitorování odpovědi nemocného na léčbu
4. diagnostika možné recidivy u nemocných, kteří podstoupili dříve léčbu plicního nádoru

Dnes dostupné indikátory nejsou zcela schopné tuto problematiku řešit.

⁶⁷Ga-citrát

Nevýhodou tohoto radiofarmaka je především to, že se hromadí v nádorové tkáni stejně tak jako v místě zánětu, i když mechanismus je rozdílný. Z tohoto důvodu jej nelze využít pro rozlišení mezi nádorovou a zánětlivou etiologií plicního uzlu, a proto je vhodnější pro určení míry postižení a sledování odpovědi na podstoupenou léčbu. Je nenahraditelný při diagnostice mediastinálních nebo plicních maligních lymfomů.

²⁰¹Tl-chlorid, ^{99m}Tc-MIBI a ⁹⁹Tc-tetrofosmin

Tato farmaka mají vlastnost, že se nespecificky vychytávají v určitém procentu plicních nádorů a u lymfomů středního a vyššího stupně malignity. Jejich výsledky jsou však horší než při použití ⁶⁷Ga-citrátu.

^{111}In , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -anti CEA monoklonální protilátky

Mezi nevýhody těchto radiofarmak patří hlavně to, že se akumulují nejen v bronchogenních karcinomech, ale i v jiné ložiskové plicní afekci i nemaligní povahy.

Značená analoga somatostatinu

K těmto farmakům patří předně ^{111}In -pentetretotid (*OctreoScan*), který se váže na somatostatinové receptory malobuněčných bronchogenních karcinomů, vzácně se také objevuje vychytávání u nemocných se skvamozním karcinomem a adenokarcinomem. Dále sem patří $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -depreotid (*NeoSpect*), který se dobře akumuluje i v ložiskách nemalobuněčných plicních karcinomů.

^{18}F - fluorodeoxyglukoza (FDG)

Akumuluje se především v nádorových buňkách, které jsou specifické svým zvýšeným metabolismem glukózy. Velkou nevýhodou tohoto farmaka je jeho nižší specifita, protože dochází k jeho akumulaci v zánětech. Vyšetření FDG mohou provádět pouze pracoviště nukleární medicíny vybavené pozitronovou emisní tomografií (PET/CT).

2.8 Molekulární zobrazení

Jedná se o mladou techniku, která se dnes v klinické praxi ještě nevyužívá, ale díky jejímu velkému úspěchu na poli experimentálního zobrazení u malých laboratorních zvířat můžeme čekat její uvedení do klinické praxe v řádu několika let.

Metoda molekulárního zobrazení se využívá pro situace, kdy chceme zmapovat procesy, které se dějí na molekulární nebo submolekulární úrovni, a tím odhalit abnormality při expresi genů a proteinů. Tímto se tato metoda liší od konvenčního radiodiagnostického zobrazení, pomocí kterého můžeme dokázat výsledné patologické změny jen na makroskopické úrovni. Ovšem vývoj molekulárního zobrazení je velice složitý a skládá se z několika kroků. Prvním a nejobtížnějším krokem při vývoji je definice cílové struktury, kterou chceme zobrazit. Tímto procesem se zabývá genomika, jež zkoumá vliv určitého patogenu na mutaci DNA. Tato mutace se dále rozvíjí v patologické procesy, jako například nádorové bujení. Po odhalení zdroje abnormality a jejích důsledků v řetězci DNA můžeme přejít k dalšímu kroku, a to vývoji techniky pro její zobrazení. Zobrazení se uskutečňuje pomocí indikátorů, ty se aplikují do vnitřního organismu a dané struktury zviditelní na zobrazovacím přístroji. Indikátory se skládají ze dvou složek, první složka slouží k vyhledání a navázání na danou strukturu, druhou složkou je složka signalizační, ta zprostředkovává zviditelnění struktury. Existují však i nepřímé metody molekulárního zobrazení, například ultrazvukové měření hustoty cév. Kvalitní indikátor je však nedostačující pro zobrazování, protože neexistují detekční přístroje, které tyto indikátory jsou schopny zachytit a dále zpracovat.

Mezi přístroje umožňující molekulární zobrazení patří mikro-SPECT, mikro-PET, mikro-CT, mikro-UZ nebo speciální optické zobrazovací přístroje.

2.9 Speciální postupy vyšetření u pacientů určitého věku

2.9.1 Specifické postupy při vyšetřování pacientů dětského věku

Při vyšetření dětských pacientů v nukleární medicíně musíme mít na paměti, že mohou vyvstat jisté specifické problémy, se kterými se u dospělých pacientů nesetkáváme.

Psychická vyspělost pacienta

Prvním problémem může být psychická nevyspělost dětského pacienta, která může vést k nespolupráci při přípravě vyšetření, například při aplikaci radiofarmaka nebo u samotného vyšetření, kdy je požadováno, aby vyšetřovaný zůstal určitou dobu bez pohybu. Tyto problémy jsou hlavně u menších dětí, ale také u mentálně postižených. V těchto situacích je nutno vytvořit pouto důvěry mezi zdravotními pracovníky a dítětem. Někdy postačí k zabavení dítěte jen hračka nebo přítomnost rodičů, ovšem nezdědka je nutné aplikovat tlumící léky. K tomuto účelu se nejčastěji využívá Midazolam.

Množství aplikovaného radiofarmaka

Dětský pacient je radiosenzitivnější než dospělí, a proto je nutno zvážit druh radiofarmaka a jeho množství. Pro výpočet množství aplikované dávky se bere v potaz váha pacienta nebo velikost tělesného povrchu. Doporučené dávky se uvádějí v tabulce, která je vydaná Evropskou asociací pro nukleární medicínu (EANM – European Association of Nuclear Medicine). Problém vyvstává u novorozenců, kterým by podle jejich hmotnosti musela být aplikovaná dávka, jež by však byla nedostatečná pro její následnou detekci. Z tohoto důvodu EANM doporučila tzv. minimální aktivitu, která je nezbytná pro vytvoření hodnotitelného záznamu.

Orgánová distribuce dětského pacienta

Další odlišností při vyšetřování dětského pacienta oproti adultnímu je odlišná orgánová distribuce, jež je daná nezralostí některých orgánových struktur nebo fyziologických procesů. To musíme brát na vědomí při vyšetření mozku ^{99m}Tc-technecianem,

u kterého dochází k neostrému ohraničení mozkové části kvůli nekompletně vytvořené hematoencefalické bariéře. Další vyšetření, kde musíme brát v potaz věk pacienta, je choleoscintigrafie, jelikož u dětských pacientů nejsou plně vyvinuté jaterní enzymy, což způsobuje odlišnou distribuci derivátu kyseliny iminodioxové.

Spojitosť s radiační ochranou dětí mají i některá vyšetření kojících pacientek, u nichž může dojít k přecházení radiofarmaka do mateřského mléka.

2.9.2 Specifické postupy při vyšetření pacientů pokročilého věku

Při stárnutí dochází k zpomalení fyziologických funkcí a k úbytkům parenchymu některých orgánů. Stárnutí jednotlivých funkcí orgánů probíhá velmi individuálně a ne všechny jednotky odumírají stejně rychle. Pro stáří je typická polymorbidita a často chronický průběh nemoci. Proto při hodnocení výsledků vyšetření je nutno znát nejen diagnózu onemocnění, kvůli které je pacient vyšetřován, ale i anamnézy předchozí. Bez předešlého seznámení lékaře s anamnézou pacienta, nemůže rozhodnout, zda se při vyšetření glomerulární funkce se jedná o snížení funkce důsledkem stárnutí, nebo důsledkem zhoršení onemocnění ledvin. U starších lidí je také výhodné kombinovat vyšetření plicní perfuze s ventilačním vyšetřením, jelikož se lépe odliší plicní embolie od chronické bronchitidy. U vyšetření skeletu bývá někdy problematické určit správný důvod osteoblastické akumulace radiofarmaka v páteři pacienta, která může být způsobena nejen metastázemi ale i chronickými zlomeninami, jež v pokročilém věku nebývají vzácné.

Důležitá je proto spolupráce rodiny pacienta a lékaře, který by měl být obeznámen s výsledky předešlých laboratorních vyšetření a zobrazovacích metod.

3 Praktická část

Radiologický asistent je na oddělení nukleární medicíny zodpovědný za velké množství úkonů, které provází pacienta od jeho přijetí na oddělení až po jeho propuštění. Ve své praktické části se zaměřuji na úlohu radiologického asistenta při třech vyšetřeních dýchacího ústrojí, a to perfuzní plicní scintigrafie, vyšetření zánětů pomocí ^{67}Ga -citrátu a vyšetření značenými leukocyty. Tato kapitola je rozdělena do dvou úseků. První popisuje společnou část všech vyšetření, které se provádí na oddělení nukleární medicíny. Druhá je zaměřena čistě jen na daná vyšetření.

3.1 Společná část pro všechny vyšetření

Registrace

Registrace pacienta se provádí při všech výkonech. Uskutečňuje se na recepci oddělení nukleární medicíny, kde je pacientovi vysvětleno, jaký režim musí dodržovat před podstoupením vyšetření. U některých vyšetření je nutno vysadit určité léky. Při perfuzním scintigrafii plic nemusí pacient dodržovat žádný speciální režim. Určitá oddělení preferují podávání těchto informací i v papírové podobě. Pro tento případ je přichystáno papírové poučení rozdílné pro všechny vyšetření.

Pacient si také v době před vyšetřením musí důkladně přečíst informovaný souhlas (viz. Příloha A). V něm se dočte podrobnosti o průběhu vyšetření a použitém radiofarmaku, možné vedlejší účinky a je upozorněn také na zvýšenou nutnost příjmu tekutin po výkonu. Případné dotazy pacienta zodpoví radiologický asistent, popřípadě lékař provádějící vyšetření. Po přečtení a pochopení pacient vyplní svoje jméno, zákonného zástupce kvůli možnosti výskytu nečekaných událostí a svým podpisem stvrdí, že všemu rozumí a souhlasí s vyšetřením. Patientky také podepisují potvrzení, že nejsou těhotné. V případě nejasnosti může lékař nařídít test gravidity.

Nastavení gama kamery před vyšetřením

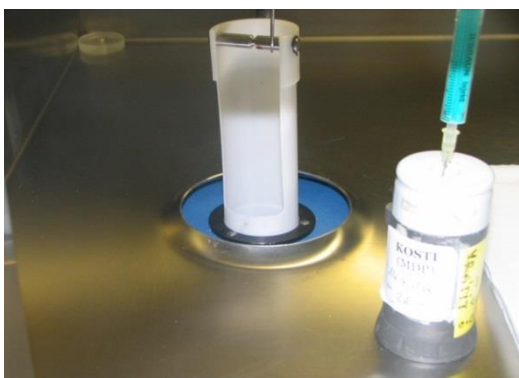
Radiologický asistent před vyšetřením doplní do protokolu přístroje základní údaje o pacientovi, jako je výška, hmotnost, rodné číslo, jméno a příjmení a vybere druh vyšetření, který se bude provádět. Případné změny základního nastavení provádí lékař. Asistent je taktéž zodpovědný za správný výběr a případnou výměnu kolimátoru. Před každým pacientem je nutné vyměnit jednorázovou podložku. V případě znečištění kamery je povinností asistenta toto znečištění odstranit.

Identifikace pacienta před vyšetřením

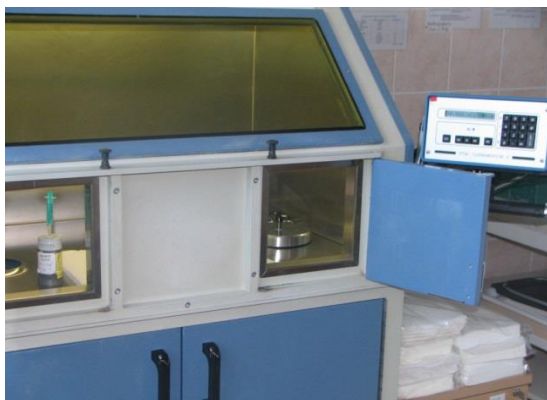
Před podáním radionuklidu je jako před každým vyšetřením nutné provést aktivní identifikaci pacienta. Ta se provádí jednoduše před podáním látky otázkám pacienta na jméno, příjmení, popřípadě také na rodné číslo nebo datum narození. Pokud by nastala situace, kdy si asistent není jistý, zda bude vyšetřovat správného pacienta, nesmí vyšetření či aplikaci provést.

Příprava radiofarmaka

Radiofarmakum je farmaceutem připravováno v laboratoři nebo je dopraveno na oddělení již připravené. Radiologický asistent natahuje radiofarmakum do sterilních stříkaček. Množství potřebného farmaka je vypočítáno podle návodu od výrobce, odvíjí se od váhy pacienta. Pro kontrolu správné aktivity se užívá studnového detektoru. K tomuto účelu je na pracovišti laboratorní digestoř, která přispívá k radiační ochraně pracovníků. Stříkačka s nuklidem je následně ukryta v ochranném obalu, aby nedocházelo k nežádoucímu ozáření pracovníků či pacientů.



Obrázek 5 Studnicový detektor



Obrázek 6 Digestor pro přípravu radiofarmak

Aplikace radiofarmaka

Aplikaci radiofarmaka provádí lékař, tomu asistuje radiologický asistent, který je zodpovědný za přípravu nezbytného vybavení, jako dezinfekce, farmakum natažené ve stříkačce, sterilní jehla, tampony, jednorázové rukavice, škrtidlo a náplasti.



Obrázek 7 Aplikační místnost

Radiační ochrana personálu

Při vyšetřování musí mít pracovníci nukleární medicíny na paměti, že se z pacientů stávají zdroje záření, a tak k nim také přistupovat. Je nutné řídit se základními pravidly ochrany před zdroji ionizujícího záření. Zátěž se dá podstatně snížit, nejlepším způsobem je oddálení od zdroje, jelikož dochází k zmenšení intenzity se čtvercem vzdálenosti. Radiologický asistent proto musí s pacientem jednat vždy s odstupem a k ovládání stolu gamakamery používat bezdrátové ovladače. Ovladovnu je proto vhodné

^{5,6,7} Foto autor, FNHK

přemístit z vyšetřovny do jiné místnosti nebo pro zmírnění zátěže využít stínících clon.

Třetí

a poslední ochranou je čas. Čím je doba od aplikace farmaka delší, tím je nižší zbylá aktivita.

Asistent samozřejmě musí mít stále na paměti, že jedná s člověkem. Je nutné pacientovi vysvětlit, proč by se neměl přibližovat k ostatním lidem, hlavně k dětem a těhotným ženám.

3.2 Provedení perfuzní scintigrafie plic

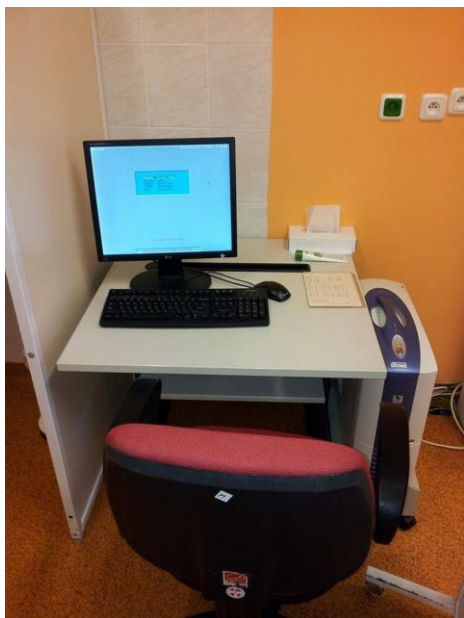
Princip vyšetření

Princip tohoto vyšetření je popsán v teoretické části viz výše.

Příprava pacienta před vyšetřením

Není vyžadována žádná speciální příprava pacienta před vyšetřením, před vyšetřením nemusí dodržovat žádnou speciální životosprávu ani vysadit užívaná léčiva. Aplikace radiofarmaka se provádí těsně před vyšetřením v aplikační místnosti. Pacient při aplikaci leží, aby se dosáhlo rovnoměrného rozložení v plicích a nedošlo v důsledku gravitace k akumulaci farmaka v nižších segmentech plic. Aplikuje se ^{99m}TC -MAA o aktivitě nejčastěji 170-180 MBq (záleží podle tělesných proporcí pacienta).

Příprava přístroje



Obrázek 8 Konzole jednohlavé gama kamery

Bylo již částečně popsáno ve společné části, viz výše.

⁸ Foto autor, FNHK

Pro plicní scintigrafii se nejčastěji využívá jednohlavá gamakamera. Radiologický asistent zadá na ovládací konzoli gama kamery správný protokol a zadá základní údaje o pacientovi.

Pro toto vyšetření volíme paralelní kolimátor s vysokým rozlišením pro nízké energie a matice 64*64.



Obrázek 9 Jednohlavá gama kamera

Příprava a polohování pacienta

Radiologický asistent zavolá pacienta z čekárny, poté si od něj vezme vyplněný a podepsaný informovaný souhlas a zodpoví pacientovi případné nejasnosti. Pacient by se měl následně svléci od pasu nahoru (vyšetření se také může provádět v oblečení, jestliže na něm nejsou přítomny žádné útvary, které by způsobovaly devalvací obrazu).

Vyšetření se provádí vsedě ve třech základních projekcích - zadní, pravá zadní šikmá a levá zadní šikmá (tyto projekce jsou zdokumentovány v příloze B). Asistent posadí pacienta na židli, nasměruje ho do příslušné polohy a poté už jen monitoruje průběh vyšetření. Po ukončení vyšetření asistent odesílá data lékaři na popis a propouští pacienta, kterého ještě poučí, aby se po zbytek dne vyvaroval kontaktu s dětmi a těhotnými ženami.

⁹ Foto autor, FNHK

Toto vyšetření může být doplněné vyšetřením na SCPET popřípadě SPECT-CT. Pro správnou diagnózu je důležité, aby pacient s sebou přinesl prostý RTG snímek plic.

V příloze přikládám několik výsledků vyšetření perfuzní plicní scintigrafie (příloha C).

3.3 Provedení vyšetření plic ^{67}Ga -citrátem

Princip vyšetření ^{67}Ga -citrátem

Gallium citrát se v krvi váže z 30% na transferin a 70% se nachází ve volné formě. V místě zánětu je zvýšená permeabilita kapilár a díky tomu Gallium proniká do zánětlivého ložiska. V zánětu dochází k jeho navázání na laktoferin, který je uvolňován leukocyty. Laktoferin vykazuje vyšší afinitu k ^{67}Ga než transferin. Gallium se také váže na kyselé mukopolysacharidy, což je další významný proces, který vede k zvýšené koncentraci radionuklidu v zánětech.

Příprava pacienta před vyšetřením

Není vyžadována žádná speciální příprava pacienta před vyšetřením. Kontraindikace je těhotenství a laktace. Pro vyšetření může mít negativní vliv zvýšená saturace transferinu železem, která nastává u pacientů s hemolytickou anémií nebo po prodělání většího množství transfúzí krve. Pacient přijde 48 hodin před vlastním vyšetřením a aplikuje se mu ^{67}Ga -citrát o aktivitě 170 MBq. Následně je poučen o tom, že by se měl pokud možno vyvarovat kontaktu s ostatními osobami. Po 48 hodinách přichází pacient na oddělení.

Příprava přístroje

Asistent si na ovládací konzoli gama kamery vybere příslušný program a vyplní základní údaje o pacientovi, používáme kolimátor pro střední energie.

Provedení vyšetření

Pacient se před uložením svlékne do spodního prádla, následně je položen na vyšetřovací stůl. Vyšetření trvá zhruba hodinu a provádí se celotělová předo-zadní scintigrafie se SPCET vyšetřením dutiny hrudní. Asistent po dokončení programu odesílá data na popis lékaři a propouští poučeného pacienta. Tomu je však nutno

vysvětlit, že ^{67}Ga -citrát má poločas rozpadu 78 hodin, tím pádem by se v dalších dnech měl vyvarovat přílišnému kontaktu s ostatními lidmi. ^{67}Ga -citrát je vylučován trávicím traktem, a proto je důležité, aby pacient po 24 a 48 hodinách po vyšetření vyprázdnil střeva – v případě nutnosti se předepisuje projímadlo.

Pokud vyšetření není průkazné, může se zopakovat po několika dnech.

Nález při vyšetření ^{67}Ga - citrátem

Při běžném scintigramu dochází k mírnému vychytávání farmaka v játrech, slezině, střevech, nosofaryngu a kostní dřeni. Také při vyšetření, které se uskuteční do 24 hodin po aplikaci, se vyskytuje akumulace v ledvinách

K patologickému vychytávání farmaka dochází v místech zánětů. Toto vyšetření hraje velkou roli při diagnostice intersticiálních plicních nebo nespecifických granulomatozních procesů, mezi které patří hlavně sarkoidóza.



Obrázek 10 Kolimátory

¹⁰ Foto autor, FNHK

3.4 Vyšetření značenými autologními leukocyty

Princip vyšetření

Tc-HMPAO je lipofilní radiofarmakum, které se mění na hydrofilní sloučeninu v okamžiku, kdy pronikne přes buněčnou membránu, čímž dojde k upevnění jeho vazby uvnitř bílých krvinek. Při následné aktivní migraci leukocytů do místa zánětu se zobrazuje ložisko.

Příprava pacienta před vyšetřením

Je nutné poučit pacienta, že musí před vyšetřením 2 - 4 hodiny lačnit, ale zároveň musí být dobře hydratovaný, což je důležité hlavně u dětí. K vyšetření je nutné si donést krevní testy provedené praktickým lékařem. Kontraindikací pro toto vyšetření je těhotenství a kojení. Vyšetření se nedoporučuje lidem, kteří mají nižší počet leukocytů než $2,5 \cdot 10^9$ leukocytů na litr. Před vyšetřením se pacientovi odebírá 50 ml krve, ta se poté označí v laboratoři ^{99m}Tc -hexamethylpropylen aminem (zkráceně HMPAO), který se navazuje na leukocyty v krvi. Poté je označené krev aplikována pacientovi. Aplikovaná dávka je 700MBq.

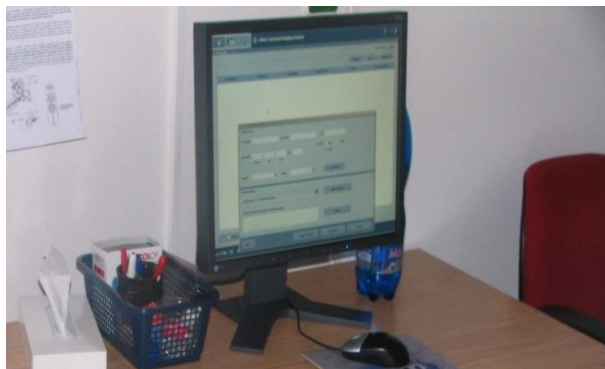
Příprava přístroje

Asistent si na konzoli gama kamery zvolí příslušný program pro celotělní vyšetření a vyplní základní údaje o pacientovy.



Obrázek 11 Přístroj SPECT

¹¹ Foto autor, FNHK



Obrázek 12 Ovládací konzole přístroje SCPET

Provedení vyšetření

Po aplikaci radiofarmaka se provádí celotělová scintigrafie po 0,5 a 2-3 hodinách. Doba trvání vyšetření je zhruba 10 minut. Standardně se toto vyšetření doplňuje vyšetřením SPECT dutiny hrudní.

Nález při použití značených leukocytů

K fyziologické akumulaci farmaka dochází v játrech, slezině, v krevním poolu a kostní dřeni.

Toto vyšetření se využívá hlavně pro diagnostiku plicních infekcí, jako je například TBC, pneumonie nebo bronchopneumonie, ale i abscesů, které se zobrazí na scintigramu a SPECT vyšetření jako místa intenzivní akumulace radiofarmaka.

¹² Foto autor, FNHK

4 Diskuze

I když se v dnešní době vyskytuje nespočet metod, které se využívají k zobrazení vnitřních orgánů člověka, scintigrafie bude vždy patřit mezi nejlepší způsoby zobrazovacích metod. Hlavním důvodem je možnost zobrazení nejen struktury, ale také funkce dýchací soustavy, se kterou se ostatní metody (CT, magnetická rezonance) nemohou rovnat.

V budoucnu bychom se mohli dočkat vylepšení této techniky metodou molekulárního zobrazení, která je v dnešní době bohužel ještě v plenkách, avšak za několik let by mohlo dojít k jejímu zapojení do klinické praxe, což by znamenalo další krok na cestě za dokonalou zobrazovací technikou.

Radiologický asistent je nepostradatelnou silou na odděleních, kde se pracuje se zdroji ionizujícího záření. Vzdělávání radiologů v minulých letech prošlo mnoha změnami. Na počátku se radiologie dala studovat již na střední zdravotní škole, později byla zavedena jako nástavba a dnes se dokonce studuje samostatně na vysokých školách.

Vysokoškolské studium tohoto oboru poskytuje asistentům všestranné vzdělání, jež zahrnuje nejen fyziku, matematiku, ošetřovatelství, ale také psychologii nebo etiku. Poznatků všech těchto věd na odděleních jako je nukleární medicína s přehledem využijí.

Co se týče vyšetřovacích postupů používaných při plicní scintigrafii, neexistuje jednotný postup pro všechna oddělení. I když zevrubný postup je popsán v radiologických standardech, jednotlivá oddělení si postupy obměňují, aby docílila jejich větší efektivity.

5 Závěr

V této práci jsem se pokusil o souhrn všech informací, které by mohly pomoci budoucím radiologickým asistentům při práci v oblasti nukleární medicíny. Teoretická část popisuje přístroje používané v NM, radiofarmaka, jednotlivé metody vyšetření a patologie, kterou mohou odhalit. Praktická část popisuje jednotlivé kroky při vyšetření plicní perfuze , Ga-citrátem a značenými leukocyty. Postupy v praktické části jsou výstižné, aby mohly fungovat přímo jako návod, ve kterém se dá systematicky hledat určitá problematika.

Doufám, že tento návod poslouží dalším generacím asistentů nejen při studiu, ale také při jejich praxi a v budoucí práci na oddělení nukleární medicíny, která patří, co se týče obtížnosti, k nejnáročnějším pracovištím se zdroji ionizujícím zářením.

6 Seznam použité literatury

1. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, et al. *Nukleární medicína*. vydání. P3K, 2007. ISBN 978-80-903584-9-2.
2. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 2. 3.*, upr. a dopl. vyd. Editor Miloš Grim, Oldřich Fejfar. Praha: Grada, 2011, 534 s. ISBN 978-80-247-3817-8.
3. MYSLIVEČEK, Miroslav. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. ISBN 978-802-4417-233
4. HAVLÍK, Jiří, et al. *Infektologie: Učebnice pro lékařské fakulty*. 2. vyd. Praha: Avicenum, 1990. 393 s. ISBN 80-201-0062-8.
5. JEŽEK, Pavel, MACKŮ, Miloš. *Infekční lékařství*. 2. přepr. vyd. Brno: UJEP Brno, 1990. 119 s.
6. VOTRUBOVÁ, Jana, et al. *Klinické PET a PET/CT*. Praha: Galén, 2009. 207 s. ISBN 978-80-7262-619-9
7. HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-23500.

7 Přílohy

Příloha A Informovaný souhlas Fakultní nemocnice Hradec Králové



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 plicní perfuze**

Radiofarmakum: ^{99m}Tc-MAA

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 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:

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

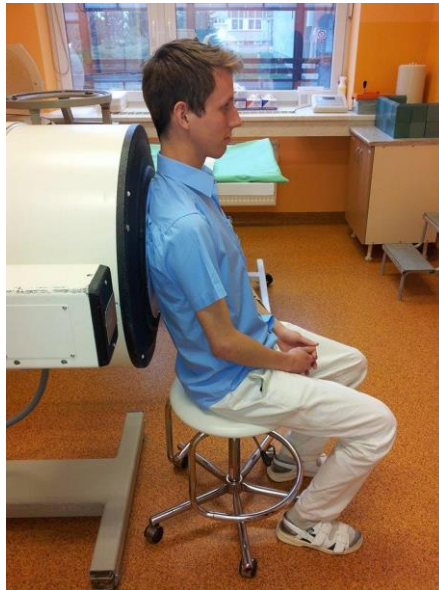
 jiné

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

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

– jmenovka a podpis:

Příloha B Projekce při vyšetření plicní perfúze



Příloha C Nález při vyšetření plicní perfúze

Oddělení nukleární medicíny - Fakultní nemocnice Hradec Králové
Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové - tel.: 495832337, IČO 00179906

Jméno pacienta: Datum vyšetření: 9.4.2014 11:42:47
Rodné číslo: Studie: PP140245

Anterior and Posterior Region Analysis [%]

	Left	Right
Top	11.1	9.5
Middle	26.6	25.8
Bottom	12.4	14.5

Left Sum Ratio: 50.1%
Right Sum Ratio: 49.9%

Vytvářeno 9.4.2014 11:52:19 Mediso Imaging Systems

Fakultní nemocnice Hradec Králové
Sokolská 581, Hradec Králové, PSČ 500 05, IČO: 00179906
Oddělení nukleární medicíny - 6681 - (tel. 495832337)

Popis vyšetření

Pacient : ŽENA 49 let poj: 207
Datum vyš.: 26.03.2014 11:21
Odeslá : 1.INT preventivní kardiologie 1143
50005

Statická scintigrafie plic s 99mTc-MAA:
přístroj:
Rucline (Mediso) - inv.č. 9330

Po aplikaci radiofarmaka se zobrazila obě plicní křídla, s mírně difúzně sníženým zachycením v pravém dolním plicním poli v přední projekci, jinak oboustranně s homogenní kresbou parenchymu, ostrých kontur, bez výpadků perfúze svědčících pro plicní embolizaci.

stranová analýza levá plice pravá plice
total..... 45.3 % 54.7 %

Závěr: Nález nesvědčí pro četnější plicní embolizaci.
dr. Tilšer, dr. Vižďa

Skup. | Kod | Množství | Název
2 | 0002018 | 185.00 | 99mTc-makrosalb inj. 99mTc

Podpis : 26.03.2014 12:06 MUDr. Jan Tilšer

FAKULTNÍ NEMOCNICE
HRADEC KRÁLOVÉ
Oddělení nukleární medicíny - 6681
Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové
IČO: 00179906, tel.: 495 832 337

VÝSLEDEK PŘEDÁN
PACIENTOVĚ

Oddělení nukleární medicíny - Fakultní nemocnice Hradec Králové
Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové - tel.: 495832337, IČO 00179906

Jméno pacienta: Datum vyšetření: 26.3.2014 11:44:46
Rodné číslo: Studie: PP140236

Anterior and Posterior Region Analysis [%]

	Left	Right
Top	13.8	15.5
Middle	23.3	27.1
Bottom	8.2	12.2

Left Sum Ratio: 45.3%
Right Sum Ratio: 54.7%

Vytvářeno 26.3.2014 11:50:19 Mediso Imaging Systems

Fakultní nemocnice Hradec Králové
Sokolská 581, Hradec Králové, PSČ 500 05, IČO: 00179906
Oddělení nukleární medicíny - 6681 - (tel. 495832337)

Popis vyšetření

Pacient : MUŽ 1969 poj: 207
Datum vyš.: 28.03.2014 09:49
Odeslá : 1.INT koron. a arytmolog.jedn. 1112
50005

Statická scintigrafie plic s 99mTc-MAA:
přístroj:
Rucline (Mediso) - inv.č. 9330

Zobrazila se obě plicní křídla, bilaterálně s ostrými konturami bez patrných segmentárních či subsegmentárních defektů perfúze. Distribuce plicní perfúze je oboustranně homogenní.

stranová analýza levá plice pravá plice
total..... 49.2 % 50.8 %

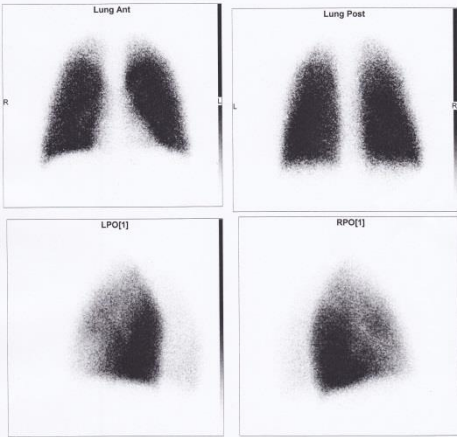
Závěr: Normální nález bilat. Nález nesvědčí pro plicní embolii.
dr. Tilšer, konzultována dr. Michlová

Skup. | Kod | Množství | Název
2 | 0002018 | 185.00 | 99mTc-makrosalb inj. 99mTc

Podpis : 28.03.2014 10:24 MUDr. Jan Tilšer

FAKULTNÍ NEMOCNICE
HRADEC KRÁLOVÉ
Oddělení nukleární medicíny - 6681
Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové
IČO: 00179906, tel.: 495 832 337

Jméno pacienta: Datum vyšetření: 28.3.2014 10:05:47
Rodičské číslo: Studie: PP140240



Anterior and Posterior Region Analysis [%]

	Left	Right
Top	9.8	9.1
Middle	24.4	23.4
Bottom	15.0	18.3

Left Sum Ratio: 49.2%
Right Sum Ratio: 50.8%

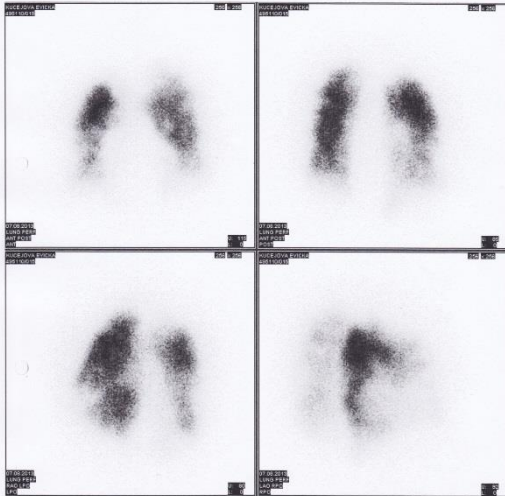
Vytiskeno 28.3.2014 10:16:13

Mediso Imaging Systems



Patient Name:
Patient ID:
Serial No: 10334
Study Name: LUNG PERF
Date & Time: 07.08.2013
FN Hradec Králové
Oddělení nukleární medicíny

Patient Name:
Patient ID:
Serial No: 10334
Study Name: LUNG PERF
Date & Time: 07.08.2013
FN Hradec Králové
Oddělení nukleární medicíny



Popis vyšetření

Pacient : ŽENA 1999 poj: 111
Datum vyš.: 07.08.2013 08:39
Odesílá : 2.INT lůžkové oddělení E 1222
50005

Statická scintigrafie s 99mTc-MAA:

Nucline:
Infinia 1 (GE) - inv.č. 2990

Záchyty RF v obou plicních křídlech je difúzně až ložiskově nehomogenní.
Levá plic se segmentárními výpadky perfuze ve střední 1/3, vícečetné segmentární necitře ochrácené defekty při laterálním okraji. Výrazné snížení perfuze RF ventroapikálně.
Prává plic s výpadky perfuze v apexu, výrazné poškození až absence perfuze v dolní polovině plic ventrálně a laterálně, vícečetné subsegmentární poškození perfuze při laterálním okraji plic a segmentární posterobazálně.

stranová analýza: levá plic pravá plic
total..... 51 % 49 %

Závěr: Segmentární a subsegmentární poškození plicní perfuze při sukcesivní plicní embolizaci.

MUDr. Eva Krčálová
Druhé čtení: MUDr. Blanka Michalová

Skup. Kod Množství Název
2 0002018 185.00 99MTC-MAKROSALB INJ. 99MTC

Podpis : 07.08.2013 09:42 MUDr. Eva Krčálová

FAKULTNÍ NEMOCNICE
HRADEC KRÁLOVÉ
Oddělení nukleární medicíny - 6681
Sokolovská 581, 500 05 Hradec Králové
IČO: 00179906, tel.: 495 832 337

Popis vyšetření

Pacient : ŽENA 1991 poj: 111
Datum vyš.: 16.08.2011 13:23
Odesílá : 2.INT všeobecná ambul. III 1234
50005

Scintigrafie plic 99mTc-MAA
(gamakamera OctNucline 9200)

Zobrazila se obě plicní křídla s výrazně nehomogenním rozložením perfuze, levá plic hypoperfundovaná. Několik defektů hypoperfúze až aperfúze na periférii obou plicních křídél, převaha nálezu vlevo.
Podíl na celkové perfúzi: 76% pravá plic
24% levá plic

Záznam reg. plicní perfúze přiložen.

Závěr: nález je kompatibilní s diagnózou plicní embolie dle charakteru nálezu staršího data, infikovaný plicní infarkt v levém dolním laloku ?
v dif.dg.: CHOPN, astma bronchiale

druhé čtení: MUDr. Elen Urbanová

Podpis : 16.08.2011 14:11 MUDr. Tereza Kohlová

6
0
06
Fakultní nemocnice Hradec Králové
Sokolovská 581, 500 05 Hradec Králové
Oddělení nukleární medicíny
MUDr. Tereza Kohlová
tel. 495 832 337

VÝSLEDEK PŘEDÁN
PACIENTOVĚ

Krčálová