

Univerzita Pardubice

Fakulta zdravotnických studií

Úloha radiologického asistenta při radionuklidovém vyšetření plic

Lucie Čeřovská

Bakalářská práce

2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lucie Čerovská**
Osobní číslo: **Z11094**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **Úloha radiologického asistenta při radionuklidovém vyšetření plic**
Zadávající katedra: **Katedra informatiky, managementu a radiologie**

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

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

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


1. KUPKA, K., KUBINYI, J., ŠÁMAL, M. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: Nakladatelství P3K, 2007, 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2
2. ČIHÁK, R. Anatomie 1. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2001, 516 s. ISBN 80-7169-970-5
3. BLAŽEK, O. a kol. Radiologie a nukleární medicína. Praha: Avicenum, 1989.
4. HUŠÁK, V. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0
5. Věstník MZČR, č. 9/2011. Národní radiologické standardy.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kulíř**
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 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 11.2.2014

Čeřovská Lucie

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Jiřímu Kulířovi, vedoucímu fyzikálně-elektronického úseku Oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice Hradec Králové za odborné vedení mé bakalářské práce.

Čeřovská Lucie

ANOTACE

Práce se věnuje činnostem radiologického asistenta při radionuklidovém vyšetření plic. Popisuje principy současné přístrojové techniky a také moderní radiofarmaka. Zaměřuje se také na vzdělávání radiologických asistentů a právní předpisy související s jejich činností.

KLÍČOVÁ SLOVA

radiologický asistent, plíce, scintigrafie, nukleární medicína

TITLE

The role of the radiologist assistant in radionuclide lung examination

ANNOTATION

The work focuses on the activities radiology assistant in radionuclide examination lung. It describes the principles of contemporary instrumentation and modern pharmaceuticals. It also focuses on the education of radiology assistants and legislation related activities.

KEY WORDS

radiology assistant, lung, scintigraphy, nuclear medicine

Obsah

1. CÍL PRÁCE	11
2. TEORETICKÁ ČÁST	12
2.1. Nukleární medicína.....	12
2.2. Radiologický asistent	13
2.2.1. Činnosti radiologického asistenta:	14
2.3. Stavba atomu	15
2.4. Ionizující záření	15
2.4.1. Zdroje ionizujícího záření.....	16
2.4.2. Detekce ionizujícího záření	17
2.5. Radioaktivita	18
2.6. Radiační ochrana	19
2.6.1. Deterministické účinky	19
2.6.2. Stochastické účinky.....	20
2.6.3. Principy radiační ochrany.....	21
2.6.4. Veličiny radiační ochrany	22
2.6.5. Ochrana před ionizujícím zářením	23
2.6.6. Monitorování	24
2.7. Radionuklidy.....	26
2.8. Radiofarmaka	27
2.9. Anatomie plic	29
2.10. Fyziologie plic	32
2.10.1. Základní funkce dýchacího systému.....	32
2.11. Patologické procesy plic vyšetřované v NM	35
2.11.1. Plicní embolie.....	35
2.11.2. CHOBP – chronická obstrukční choroba bronchopulmonální.....	35
2.11.3. Sarkoidóza	36
2.11.4. Plicní infekce (TBC, pneumonie, bronchopneumonie) a abscesy	36
2.12. Scintigrafie.....	38
2.12.1. Princip scintigrafie.....	38
2.12.2. Metody scintigrafie	39
2.12.3. Přístroje pro scintigrafii plic	39
2.13. Scintigrafická vyšetření plic.....	44
2.13.1. Ventilační plicní scintigrafie	44
2.13.2. Perfúzní plicní scintigrafie	45
2.13.3. Scintigrafie s Ga-citrátem.....	46
2.13.4. Scintigrafie se značenými leukocyty	46
2.13.5. Vyšetření plic pomocí PET	47

3. PRAKTICKÁ ČÁST	48
3.1. Příprava pacienta.....	48
3.2. Vlastní vyšetření	50
3.3. Výsledky vyšetření.....	56
3.4. Nálezy na scintigramech plic.....	58
4. DISKUZE	63
5. ZÁVĚR	64
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65

Seznam ilustrací

Obrázek 1 Schéma 99Mo-99mTc generátoru (Mysliveček, 2007, s. 23)	27
Obrázek 2 Dýchací soustava (http://www.uzdravim.cz/dychaci-soustava-cloveka.html).....	31
Obrázek 3 Proces dýchání (http://www.uzdravim.cz/dychaci-soustava-cloveka.html)	34
Obrázek 4 Schéma gama kamery (Mysliveček, 2007, s. 33)	42
Obrázek 5 Odd. nukleární medicíny MMN Jilemnice (autor)	48
Obrázek 6 Příjem pacientů, kartotéka (autor)	49
Obrázek 7 Ambulantní karta (autor).....	49
Obrázek 8 Kity DTPA a MAA (autor)	50
Obrázek 9 Ultrazvukový nebulizátor s inhalačním systémem (autor).....	51
Obrázek 10 Pacient při inhalaci 99mTc-DTPA (autor).....	52
Obrázek 11 Uložení pacienta (autor)	53
Obrázek 12 Snímání gama kamerou, levá zadní šikmá a pravá před. š. projekce (autor)	53
Obrázek 13 Farmaceut při přípravě radiofarmaka (autor)	54
Obrázek 14 Radiofarmakum připravené k i.v. aplikaci (autor)	54
Obrázek 15 I.v. aplikace radiofarmaka (autor)	55
Obrázek 16 Snímání gama kamerou, pravá zadní šikmá a levá před.í š. projekce (autor)	55
Obrázek 17 Výsledek vyšetření plicní ventilace (autor).....	57
Obrázek 18 Výsledek vyšetření plicní perfuze (autor)	57
Obrázek 19 Perfuzní scintigrafie plic, normální nález (Doležal)	58
Obrázek 20 Perfuzní scintigrafie plic, plicní embolie (Doležal).....	59
Obrázek 21 Perfuzní scintigrafie plic, plicní embolie (autor).....	59
Obrázek 22 Ventilační scintigram plic, normální nález (Doležal)	60
Obrázek 23 Ventilační scintigram plic, hypoventilace l. plíce, obstrukce bronchů karcinomem (Doležal).....	60
Obrázek 24 Ventilační scintigram plic, porucha ventilace (akut. bronchitida) (www.kcsolid.cz).....	60
Obrázek 25 Perfuzní scintigrafie plic, embolizace v pravé plíci (www.nemjil.cz)	61
Obrázek 26 Celotělová scintigrafie s 67Ga-citrát, sarkoidóza plic (Doležal).....	62

Úvod

Jako téma bakalářské práce jsem si zvolila úlohu radiologického asistenta při scintigrafickém vyšetření plic. Téma jsem si zvolila také proto, že bych se chtěla v budoucnu věnovat práci na nukleární medicíně.

Práce je rozdělena na teoretickou část, kde je popisuji, co znamená radiologický asistent a nukleární medicína. Protože radiologický asistent pracuje se zdroji ionizujícího záření, je zde zmíněna radiační ochrana, její veličiny, principy a monitorování. Dále se v teoretické části zabývám plícemi, jejich anatomii, fyziologií a chorobami, které se vyšetřují na nukleární medicíně. Nakonec jsou popsány scintigrafické přístroje pro vyšetření plic.

V praktické části je popsána úloha radiologického asistenta při konkrétních scintigrafických vyšetřeních plic. Tato část je vytvořena na základě vlastních zkušeností z praxe a doplněna o fotografie z celého průběhu vyšetření.

1. Cíl práce

Cílem mé práce je vytvořit teoretický přehled o principu a využití vyšetřovacích metod nukleární medicíny při vyšetření plic a popsat činnosti radiologického asistenta při scintigrafickém vyšetření plic na základě odborné literatury a vlastních zkušeností z odborné praxe.

2. Teoretická část

2.1. Nukleární medicína

Nukleární medicína se zabývá diagnostikou a terapií pomocí aplikace otevřených radioaktivních izotopů do vnitřního prostředí organismu. Větší část náplně tohoto oboru tvoří diagnostika, laboratorní diagnostika a léčba se provádí podstatně méně.

Zobrazovací metoda využívaná v nukleární medicíně se nazývá scintigrafie podle scintilačního detektoru tvořícího základ scintilační kamery, nebo také gamagrafie, podle gama záření, které emitují aplikované radionuklidy. Nejvíce používaný radionuklid v diagnostice je metastabilní technecium (^{99m}Tc). Prvotní informací tohoto oboru je funkční informace, morfologická (strukturální) informace je druhotná, odvozená.

Terapie se provádí pomocí alfa a beta zářičů a v současnosti se týká hlavně štítné žlázy. Léčba štítné žlázy se provádí radioaktivním jódem (^{131}I).

Výhody nukleární medicíny spočívají hlavně v minimální invazivnosti, nepříliš vysoké radiační zátěži a citlivosti zobrazení metabolické aktivity, které jsou vždy v předstihu před morfologickými změnami (např. u metastáz v kostech je až o 6 měsíců dřívější záchyt, než na rentgenovém snímku). Nevýhody jsou v menší specifitě metodik a v tom, že je zobrazována pouze živá tkáň.

Nukleární medicína je interdisciplinární obor, prolíná se zde fyzika, matematika, elektronika, radiologie, radiobiologie a medicína. (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2007; Lang 1998)

Mezi klasické scintigrafické metody patří:

- Kardiologie – zátěžová a klidová perfuzní scintigrafie myokardu.
- Onkologie – scintigrafie skeletu, detekce neuroendokrinních nádorů, detekce sentinelové uzliny.
- Pulmologie – detekce plicní embolizace.
- Nefrologie
- Neurologie – posuzování perfuze CNS u stenóz karotid, průkaz mozkové smrti, detekce degenerativních onemocnění.
- Endokrinologie – detekce příštítných tělísek, scintigrafie štítné žlázy.

Mezi metody, které jsou na ústupu, patří scintigrafie jater a sleziny, žlučové cesty, evakuace žaludku, detekce hemangiomů, detekce GIT krvácení, pasáž jícnem, ventrikulografie, scintigrafie likvorových cest.

Historie oboru:

- **1934** – Byl připraven první umělý radionuklid ^{30}P s fyzikálním poločasem přeměny 2 minuty (Frederic Joliot a Iren Joliot-Curie).
- **1952** – Zhotoven první pohybový scintigraf.
- **1957** – První scintilační kamera (Hal Anger)
- **1973** – První PET scanner – NaI (Tl) detektory
- **1978** – PET s detektory BGO (bismuth-germanium), první komerčně dostupný PET (600 kusů)
- **2001** – PET s detektory LSO (lutecium oxyorthosilikát), kratší délka scintilace, zpracování větších fotonových toků.
- **Počátek 21. století** – Hybridní systémy PET/CT, SPECT/CT.
- **Po roce 1950** – Postupný rozvoj v ČR.
- **Od roku 1971** – Uznána v ČR nukleární medicína jako odborná specializace.

2.2. Radiologický asistent

Radiologický asistent provádí radiologické zobrazovací postupy a ozařovací techniky, včetně radiologických postupů používaných při lékařském ozáření ve zdravotnických zařízeních na pracovištích radiodiagnostických, radioterapeutických, nukleárně medicínských a na dalších pracovištích, kde se provádějí radiologické výkony u pacientů.

Radiologický asistent je radiologický pracovník kategorie A. To znamená, že by mohl obdržet efektivní dávku vyšší než 6mSv ročně. Podléhá osobnímu monitorování pomocí osobního dozimetru, který je kontrolován každý měsíc.

Limity pro radiační pracovníky kategorie A jsou: 50 mSv na kalendářní rok a 100 mSV na 5 let po sobě jdoucích. (Hušák, 2009; Ullman, online)

Způsobilost k výkonu povolání radiologického asistenta upravuje § 8 odst. 1 zákona č.96/2004 Sb. ve znění zákon č. 105/2011Sb.Odborná způsobilost se získává absolvováním:

- Akreditovaného zdravotnického bakalářského studijního oboru pro přípravu radiologických asistentů.
- Tříletého studia v oboru diplomovaný radiologický asistent na vyšších zdravotnických školách, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 2004/2005,
- Střední zdravotnické školy v oboru radiologický laborant, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 1996/1997.

2.2.1. Činnosti radiologického asistenta:

Informování pacienta, případně jeho zákonného zástupce, ošetřující sestru nebo porodní asistentku o prováděném radiologickém výkonu, rizicích souvisejících s lékařským ozářením a postupy k jejich snížení.

- Optimalizace radiační ochrany včetně posuzování indikovaných nebo požadovaných lékařských ozáření a navrhování příslušných opatření.
- Provádění a vyhodnocování rutinních zkoušek provozní stálosti ve všech typech zdravotnických radiologických pracovišť.
- Provádění ozařovací techniky na základě předpisu odborného lékaře včetně podpůrných odborných činností související s přípravou a realizací těchto technik.
- Provádění radiologických zobrazovacích i nezobrazovacích postupů, včetně podpůrných odborných činností směřující k přípravě, realizaci a interpretaci těchto postupů.
- Provádění specifické ošetrovatelské péče poskytované při radiologických postupech, aplikace léků případně i intravenózních diagnostik.
- Spolupráce s ostatními specialisty a zdravotnickými pracovníky včetně předávání informací o daném lékařském ozářením.
- Vedení příslušné dokumentace.

2.3. Stavba atomu

Atom je základní stavební částice všech látek. Atom je tvořen kladně nabitým jádrem a záporně nabitým elektronovým obalem.

Atomové jádro se skládá z protonů (částice s kladným nábojem, jejich počet v jádře udává protonové číslo Z) a neutronů (částice bez náboje, jejich počet v jádře udává neutronové číslo N). Protony a neutrony nazýváme nukleony, jejichž počet v jádře udává nukleonové číslo A ($A=N+Z$).

Elektronový obal se skládá z elektronů (částice se záporným nábojem). Stavba elektronového obalu ovlivňuje chemické vlastnosti atomu. Počet elektronů v základním stavu je shodný s počtem protonů. Elektronový obal je konstruován do slupek, každý atom má 1-7 elektronových slupek. Každá slupka má svou danou energetickou hladinu, která se liší vzdáleností od jádra. Elektrony na slupce nejbližší k jádru mají největší energii. Poslední, vnější vrstva se nazývá valenční, elektrony ve valenční vrstvě jsou vázány nejslabší energií. (Lang, 1998)

2.4. Ionizující záření

Ionizující záření je tok hmotných částic, nebo fotonů elektromagnetického vlnění. Tyto částice jsou schopny ionizovat atomy prostředí, nebo excitovat jejich jádra. Vzniká jako průvodní jev jaderných procesů, nebo procesů v elektronovém obalu atomu (u rentgenového záření). Jádro, nebo obal atomu se dostává do excitovaného stavu, stává se tak energeticky nestabilní. Stabilní stav získá zpět tím, že vyzáří energii ve formě částic, nebo fotonů elektromagnetického vlnění. (Hušák, 2009; Diensbier, Brousil, 1988)

Podle interakce s hmotou se ionizující záření dělí na **přímo ionizující** a **nepřímo ionizující záření**. Podle charakteru se dělí na **částicové (korporkulární) záření** a **na elektromagnetické (fotonové)**.

Přímo ionizující záření

Je tvořeno nabitými částicemi s dostatečnou kinetickou energií k vyvolání ionizace.

- Elektrony, pozitrony
- Protony
- Částice α , β

Nepřímo ionizující záření

Je tvořeno nenabitými částicemi, které samy prostředí neionizují, ale při interakcích (srážkách) s prostředím uvolňují sekundární, přímo ionizující částice.

- Fotony
- Neutrony

Korpuskulární záření

- Záření α
- Záření β
- Neutrony

Fotonové záření

- Rentgenové záření
- Gama záření

2.4.1. Zdroje ionizujícího záření

Vyhláška SÚJB 307/2002 Sb. udává kritéria pro klasifikaci zdrojů ionizujícího záření. Dle závažnosti radioaktivity se zdroje dělí do 5 kategorií - klasifikace na základě zprošťovacích úrovní aktivity jednotlivých radionuklidů:

- Nevýznamné zdroje - drobné uzavřené etalony
- Drobné - silnější URZ a ORZ nízkých aktivit
- Jednoduché - zařízení pro radiodiagnostiku
- Významné - URZ pro radioterapii a vysoce aktivní ORZ
- Velmi významné - jaderné reaktory

2.4.2. Detekce ionizujícího záření

Detekce ionizujícího záření se v nukleární medicíně využívá z důvodu radiační ochrany, k měření a zobrazování.

Zčernání fotografické emulze je nejstarší způsob detekce a využívá se v osobní dozimetrii pomocí filmových dozimetrů, které jsou citlivé na expozici záření beta, gama a rentgenového záření. Filmový dozimetr obsahuje uvnitř světlotěsné krabičky film citlivý na ionizující záření a několik různě silných vrstev olovených a měděných filtrů pro rozlišení záření různého druhu a energie.

Termoluminiscence je další princip detekce ionizujícího záření. Funguje tak, že některé anorganické krystaly akumulují energii ionizujícího záření a po zahřátí na teplotu 300 – 400 stupňů Celsia emitují viditelné světlo, které je úměrné množství absorbované energie. Tento způsob detekce se využívá především v prstových dozimetrech.

Ionizace molekul plynu je využita v plynových detektorech, kde radioaktivní záření vytvoří iontové páry, sloužící jako nosiče elektrického proudu po přivedení vysokého napětí na elektrody ionizované tímto plynem. Na principu ionizace plynu fungují Geiger-Müllerovy detektory a scintilační komory.

Scintilace jsou záblesky viditelného světla, které vysílá scintilační krystal při absorpci rentgenového, nebo gama záření. Fotony viditelného světla jsou pak ve fotonásobiči převedeny na tok elektronů. Na výstupu fotonásobiče jsou registrovány elektrické impulsy, které jsou zesíleny v zesilovači, tříděny v analyzátoru impulsů a zaznamenávány počítačem, který podle nich vytváří výsledný obraz. Scintilační detektor obsahuje krystal jodidu sodného s příměsí thalia - NaI(Tl). Slouží k detekci gama a X záření. (Lang, 1998)

2.5. Radioaktivita

Radioaktivita je schopnost atomových jader nestabilních nuklidů rozpadat se (přeměňovat) na jádra jiných prvků za současného uvolňování energie formou jaderného záření.

Poločas rozpadu ($T_{1/2}$): Doba, za kterou se přemění právě polovina atomových jader.

Radioaktivita se dělí na přirozenou a umělou. Přirozená radioaktivita je samovolný rozpad v přírodě se vyskytujících radionuklidů (např. Po, Ra, Rn).

Umělá radioaktivita je samovolný rozpad uměle připravených nuklidů. Je vyvolána vnějším ozařováním stabilních nuklidů neutrony, nebo nabitými částicemi v urychlovačích.

Druhy přeměn:

- **Přeměna α**

Proud rychle letících heliových jader (${}^4\text{He} = 2 \text{ protony} + 2 \text{ neutrony}$). Proniká několikacentimetrovou vrstvou vzduchu, má silné ionizační účinky. Díky nízké pronikavosti v tkáni (několik μm) a vysokým ionizačním účinkům je vhodné pro terapii. Dceřiný prvek má nukleonové číslo o 4 jednotky menší a protonové číslo o 2 menší než původní atom. V periodické tabulce se posune o 2 místa vlevo. Toto záření má velmi malý dosah a zachytí jej i list papíru nebo slabá hliníková fólie.

- **Přeměna β^+**

Z atomového jádra je emitován kladně nabitý pozitron za současné přeměny protonu na neutron. Tento rozpad nastává u jader s přebytkem protonů. Proton se přemění na neutron, zůstávající v jádře a na kladně nabitý pozitron a neutrino, které jsou z jádra emitovány. Dceřiný prvek má protonové číslo o jedna menší. Dosah pozitronů v tkáni je maximálně 2 mm, poté se spojí s elektronem za vzniku dvou kvant anihilačního záření o energii 511 keV.

- **Přeměna β^-**

Z atomového jádra je emitován záporně nabitý elektron za současné přeměny neutronu na proton. K tomuto rozpadu dochází u jader s přebytkem neutronů. Neutron se rozdělí na kladně nabitý proton, který zůstává v jádře a na záporně nabitý elektron, který je z jádra emitován současně s malou neutrální částicí neutrinem. Dceřiný prvek má protonové číslo o jedna větší. Dosah v tkáni tohoto záření je několik mm, tudíž je vhodné pro terapii.

- **Elektronový záchyt**

Elektronový záchyt nastává u jader s nedostatkem neutronů. Atomovým jádrem je zachycen jeden elektron z vnitřní slupky elektronového obalu za současné přeměny protonu v neutron a emisí záření gama a neutrina. Na místo původního elektronu přeskočí elektron z vyšší hladiny a dochází tím k uvolnění rentgenového záření. Dceřiný prvek má protonové číslo o jedna menší.

- **Izomerní přechod**

Izomerní přechod se vyskytuje u jader, která jsou v metastabilním stavu. Metastabilní stav (m) znamená, že stav jádra je na vyšší energetické hladině a při převedení do základního stavu emituje fotony. Při izomerním přechodu je emitováno záření gama. Protonové a nukleonové číslo zůstává stejné. (Krupka, Kubinyi, Šámal, 2007; Blažek 1989)

2.6. Radiační ochrana

Cílem radiační ochrany je zabránění vzniku deterministických účinků ionizujícího záření a omezení rizika stochastických účinků.

Z důvodů vedlejších rizik jsou zavedeny následující opatření vedoucí k ochraně pacientů:

- volba alternativního vyšetření, volba vyšetřovacích metod bez ionizujícího záření (sonografie, magnetická rezonance)
- kontrola aktivity radiofarmak před aplikací
- respektování diagnostických referenčních úrovní a volba optimální aktivity radiofarmak
- ovlivňování kinetiky radiofarmak
- kontrola kvality vyšetřovacích přístrojů (Mysliveček, Kamínek, Koranda, Hušák, 2007)

2.6.1. Deterministické účinky

Deterministické účinky určují zdravotní poškození, které je charakterizováno určitou prahovou dávkou. S rostoucí dávkou se zvyšuje závažnost poškození. Nejznámějšími projevy deterministických poškození jsou akutní nemoc z ozáření, akutní poškození kůže, sterilita a zákal oční čočky, který patří mezi následky pozdní.

Akutní nemoc z ozáření vzniká po jednorázovém celotělovém ozáření vyšší dávkou. Klinický obraz akutní nemoci z ozáření závisí na dávce. Podle velikosti dávky se nejprve projeví příznaky podmíněné poruchou krvevorných orgánů, dále poruchou trávicího ústrojí a nakonec poruchou centrálního nervového systému.

Akutní poškození kůže se dělí na několik forem v závislosti na dávce, kterou kůže obdržela. Nejlehčí formou je zarudnutí, při vyšších dávkách se vytvoří zarudnutí postupně přecházející v zánětlivý stav a tvorbu puchýřů. Nejtěžší formou je vytvoření nekrotické tkáně a vředy. Prahovou hodnotou pro vznik nejlehčí formy poškození kůže je dávka cca 3 Gy, zarudnutí se projeví v období 1 – 3 týdny po ozáření.

Sterilita se u mužů a žen liší. Muži jsou citlivější, přechodná sterilita u nich byla zjištěna pro dávky 0,5 – 2 Gy. V průběhu 1 – 3 let dojde k regeneraci. Trvalou sterilitu způsobují dávky 3 Gy a vyšší. U žen je trvalá sterilita způsobena dávkami v rozmezí cca 2,5 – 8 Gy.

Zákal oční čočky (katarakta) postihuje útvar, který nemá přímou výživu a vlastní buněčný substrát. Proto je doba od ozáření k vytvoření změn dlouhá (6 měsíců a více). Ke vzniku může dojít již po jednorázovém ozáření dávkou 1,5 Gy.

2.6.2. Stochastické účinky

Stochastické účinky jsou účinky podmíněné mutacemi buněk. Jedná se o bezprahové účinky, ale s rostoucí dávkou stoupá pravděpodobnost vzniku poškození. Samotný projev poškození však není závislý na dávce. Mezi účinky stochastické patří vznik zhoubných nádorů a genetických změn.

Mechanismy, kterými vznikají nádorová onemocnění, nejsou přesně známy. Pro hodnocení je důležitá doba mezi ozářením a projevem poškození, neboli doba latence. Pro leukémie je průměrná doba latence 8 let, u některých typů jsou to 2 roky. U solidních nádorů je doba latence 15 – 25 let

Děti a mládež jsou až 3-10 krát citlivější na ozáření ve srovnání s dospělými. Je to z toho důvodu, že u nich probíhá ve větší míře dělení buněk a současně je u nich delší doba života, který mají před sebou. (Klener, 2000)

2.6.3. Principy radiační ochrany

Cílem radiační ochrany je zabezpečení ochrany zdraví každého jednotlivce, jeho potomků a lidské populace při umožnění využívání zdrojů ionizačního záření ve prospěch člověka.

Koncepce radiační ochrany slouží k vyloučení deterministických účinků (stanovení závazných limitů pro tkáňové dávky) a k omezení pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků na míru pokládanou za přijatelnou pro jednotlivce a společnost. (Hušák, 2009)

Princip zdůvodnění

Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo zásahy k omezení ozáření v důsledku radiačních nehod musí dbát na to, aby každá činnost byla zdůvodněna přínosem, který vyváží rizika, jež při těchto činnostech vznikají či mohou vzniknout. (Hušák, 2009, s.63)

Princip optimalizace

Princip ALARA (as low as reasonably achievable) – Tak nízké, jak je rozumně dosažitelné.

Pro všechny zdroje ionizačního záření v rámci dané činnosti musí být minimalizována velikost individuálních dávek, počet osob vystavených záření a pravděpodobnost ozáření.

Při optimalizaci radiační ochrany se porovnávají náklady na opatření ke zvýšení radiační ochrany, s finančním ohodnocením očekávaného snížení ozáření. (Vyhláška č.307/2002, s. 6369)

Princip limitování

Limity ozáření (mezní hodnoty), které nesmí být překročeny, jsou dány Vyhláškou č.307/2002 Sb. Limity se liší pro běžné obyvatelstvo, pro radiační pracovníky a pro havarijní situace. Obecnou funkcí limitů je zamezení vzniku deterministických účinků a snížení rizika vzniku stochastických účinků ozáření.

Do limitů nespadá lékařské ozáření a ozáření z přírodního pozadí.

Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, je povinen omezovat ozáření osob tak, aby celkové ozáření nepřesáhlo v součtu stanovené limity ozáření. (Hušák, 2009, s. 63)

Zajištění bezpečnosti zdrojů

Zdroje ionizujícího záření musí být zabezpečeny tak, aby nad nimi nemohlo dojít za předvídatelných podmínek ke ztrátě kontroly. Princip zabezpečení zdrojů zahrnuje opatření pro zábranu odcizení a přístupu k nim nepovolaným osobám, předávání zdroje jen držiteli platného povolení, technická bezpečnost, dobrý technický stav zdrojů aj. (Hušák, 2009, s. 64)

2.6.4. Veličiny radiační ochrany

Aktivita A

Samovolná přeměna jader nestabilních izotopů jednoho chemického prvku v jádra izotopů jiného prvku, za současného uvolňování energie.

Aktivita charakterizuje množství radioaktivní látky. Je to počet radioaktivních přeměn v dané látce vztažený na jednotku času. Radioaktivita radionuklidu klesá exponenciálně s časem.

Jednotkou je Becquerel [Bq]

Poločas rozpadu $T_{1/2}$

Čas, za který se přemění právě jedna polovina jader daného radionuklidu (vteřiny, dny roky).

Měrná aktivita

Měrná aktivita je vztažena k jednotkové hmotnosti zářiče (jednotka $Bq.kg^{-1}$). U plošných zdrojů se používá plošná aktivita (jednotka $Bq.m^{-2}$), u objemových zdrojů objemová aktivita ($Bq.m^{-3}$).

Aktivita je důležitou veličinou, která charakterizuje radionuklidové zdroje ionizujícího záření.
(Hušák, 2009)

Absorbovaná dávka D

Absorbovaná dávka je energie ionizujícího záření absorbovaná v jednotce hmotnosti ozařované látky v určitém místě.

Jednotkou je Gray, [Gy]=[J/kg]

Dávkový příkon D

Dávkový příkon je poměr přírůstku dávky za čas.

Jednotkou je Gy/s

Intenzita záření klesá se čtvercem vzdálenosti. Intenzita záření = $1 / (\text{vzdálenost})^2$

Lineární přenos energie LET

Přenos energie na jednotku dráhy. LET souvisí s pronikavostí ionizujícího záření v tkáni. Je definována jako podíl změny energie (dE) na vzdálenost (dl), kterou ionizující částice prošla daným prostředím, $LET = dE / dl$.

Vysoké LET mají neutrony a alfa částice, nízké LET má záření gama, beta a rentgenové záření.

Kerma

Kerma je součet počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných nenabitými ionizujícími částicemi v určitém objemu látky o určité hmotnosti. Kerma se používá v souvislosti s nepřímo ionizujícím zářením. Charakterizuje energii předanou nepřímo ionizujícím zářením (fotony, neutrony) při první srážce nabitým částicím (elektrony, protony).

Ekvivalentní dávka E_T

Ekvivalentní dávka udává informaci o dávce absorbované a zároveň zohledňuje biologickou účinnost daného typu záření. Je dána součinem radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky v orgánu, nebo tkáni pro ionizující záření.

Radiační váhový faktor je definován pro jednotlivé druhy záření. Vyjadřuje míru účinku záření bez ohledu na to, o jakou tkáň se jedná.

Ekvivalentní dávka je stanovena za účelem zhodnocení rizika rozvoje deterministických účinků záření.

Dávkový ekvivalent

Dávkový ekvivalent je součinem absorbované dávky v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q , jež zohledňuje biologickou účinnost daného typu záření.

Jednotkou je Sievert, $1\text{Sv} = 1\text{J/kg}^{-1}$, energie 1 Joulu absorbovaná v 1 kg látky.

Efektivní dávka H_E

Efektivní dávka je součet součinů ekvivalentních dávek v jednotlivých orgánech a tkáních a příslušných váhových tkáňových faktorů, které vyjadřují rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků.

Hodnota efektivní dávky absorbované v daném orgánu či v celém organismu určuje hodnocení rizika stochastických účinků záření.

2.6.5. Ochrana před ionizujícím zářením

Ochrana časem

Radiační zátěž pracovníka roste s časem, po který se vyskytuje v blízkosti zdroje ionizujícího záření. Pracovník nesmí pobývat v blízkosti ZIZ, když jeho přítomnost není bezpodmínečně nutná.

Platí vztah: Dávka = dávkový příkon x doba pobytu.

Ochrana vzdáleností

Dávka záření gama, nebo rentgenového záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od ZIZ. Zvětší-li se vzdálenost od zdroje např. na dvojnásobek, dávka klesne na čtvrtinu původní hodnoty. A naopak, pokud se vzdálenost od ZIZ zmenší na polovinu, zvětší se dávka čtyřikrát.

Ochrana stíněním

Ochrana stíněním se provádí umístěním vrstvy vhodného materiálu, která zeslabí svazek záření a tím i dávku, mezi zdroj ZIZ a pracovníka.

2.6.6. Monitorování

Monitorování je cílené měření veličin charakterizujících ozáření, pole záření nebo radionuklidy a hodnocení a zaznamenávání výsledků těchto měření pro účely usměrňování ozáření.

Na odděleních nukleární medicíny se provádí monitorování pracoviště, osobní monitorování, monitorování výpustí a monitorování okolí.

Monitorování pracoviště: Měření dávkového příkonu se provádí před zahájením provozu, nebo v případě změn na pracovišti. Monitoruje se vyšetřovna, ovladovna, čekárna a ostatní prostory sousedící s vyšetřovnou.

Kontinuální měření je zajišťováno pomocí pevně instalovaných sond, nebo přenosnými měřiči, kterými se dávkový příkon měří uprostřed místnosti, jeden metr nad podlahou a na povrchu krytů.

Dávkový příkon na povrchu krytů, kontejnerů a boxů, ve kterých jsou skladovány radioaktivní látky, nesmí být vyšší než 100 $\mu\text{Sv/h}$. Ve vzdálenosti jednoho metru od povrchů nesmí přesáhnout 10 $\mu\text{Sv/h}$.

Osobní monitorování: Provádí u radiačních pracovníků kategorie A, pomocí osobních dozimetrů, které jsou vyhodnocovány jednou za měsíc. Osobní dozimetr se nosí na přední levé straně hrudníku, při používání ochranné zástěry se nosí vně zástěry. Pracovníci, kteří manipulují s radionuklidy, nosí ještě prstový termoluminiscenční dozimetr, kde je v prstenu uzavřen termoluminiscenční krystal. Prsten se nosí krystalem do dlaně.

Dále je zavedeno monitorování vnitřní kontaminace, kvůli riziku vnitřního ozáření po vdechnutí nebo požití radionuklidu.

Limity efektivní dávky pro radiační pracovníky jsou 100 mSv za pět po sobě jdoucích kalendářních roků, nejvýše však 50 mSv za jeden kalendářní rok. Pro ekvivalentní dávku v oční čočce je maximální hodnota 150 mSv za kalendářní rok.

Monitorování radioaktivních odpadů: Odpady kontaminované radionuklidy vznikají při přípravě a aplikaci radiofarmak a nesmějí se likvidovat běžným způsobem.

Tyto odpady se rozdělují na pevné, kapalné a plynné.

Pevné odpady se skladují ve vymírací místnosti v olověných boxech po dobu 10 fyzikálních poločasů rozpadu, potom se přeměří. Pokud odpad splňuje uvolňovací úroveň, kterou udává vyhláška SÚJB pro každý radionuklid, tak je zlikvidován běžným způsobem.

Kapalný odpad představuje zejména voda s radioaktivním ^{131}I . Je skladován v samostatných jímkách po dobu 10 fyzikálních poločasů rozpadu, po kterých se přeměří a pokud splňuje uvolňovací úroveň (aktivita 450 Bq/l) je vypuštěn do splaškové vody.

Plynný odpad vzniká hlavně na lůžkových odděleních, kde se provádí terapie pomocí ^{131}I . Dalším plynným odpadem je ^{133}Xe , dříve používaný při plicní ventilaci. Vydechovaný plyn byl vypouštěn do pytlů a skladován po dobu 10 fyzikálních poločasů rozpadu (aktivita uvolňovací úrovně je 50 Bq/m³).

Monitorování okolí: Provádí se na pracovištích 4. kategorie a na pracovištích 3. kategorie kde je to vyžadováno SÚJB.

2.7. Radionuklidy

Je známo více než 2000 radioaktivních izotopů 104 chemických prvků. Radionuklidy se rozdělují na přirozené a umělé. Přirozené radionuklidy, se vyskytují v přírodě a je jich okolo sta. Nejznámějšími jsou např. ^{226}Ra , ^{222}Ra .

V nukleární medicíně se přirozené radionuklidy nepoužívají, proto vznik nukleární medicíny umožnil teprve objev umělé radioaktivity v r. 1932.

Umělé radionuklidy jsou vyráběny v reaktorech a urychlovačích.

Radionuklidy přirozené i umělé se přeměňují (rozpadají) různým způsobem na jiné nuklidy, které jsou stabilní, nebo také radioaktivní a rozpadají se dále.

Při těchto přeměnách se uvolňuje ionizující záření různého druhu. Jedná se o záření alfa, beta a gama.

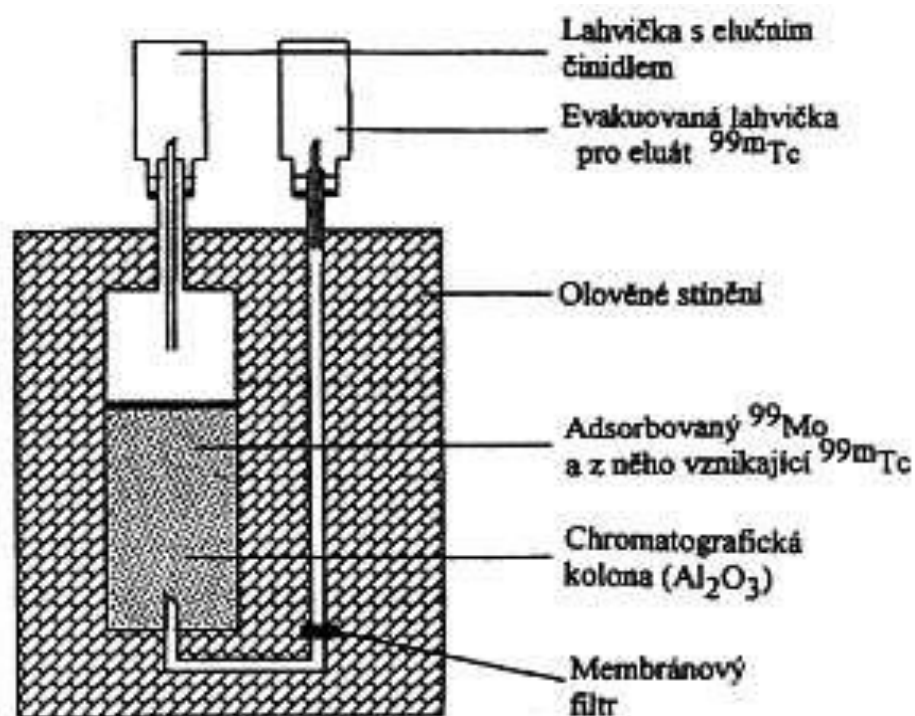
Radionuklidy vhodné pro nukleární medicínu:

Z velkého počtu známých umělých radionuklidů jsou pro nukleární medicínu vhodné pouze radionuklidy výrobně a cenově dostupné, s fyzikálními charakteristikami, kterými jsou: Druh emitovaného záření, energie emitovaného záření a fyzikální poločas přeměny. (Myslivoček, Kamínek, Koranda, Hušák, 2007).

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ – Technecium je nejčastěji používaný prvek při scintilačních vyšetřeních.

Získává se v radionuklidovém generátoru elucí (vymýváním) z uměle připravovaného ^{99}Mo . Poločas rozpadu $^{99\text{m}}\text{Tc}$ je okolo 6 hodin a energie emitujících fotonů záření gama je 140 keV. Při vyšetření s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ používáme paralelní kolimátor pro nízké energie s vysokým rozlišením.

^{131}I – Radioaktivní jód je nejpoužívanějším radionuklidem v radionuklidové terapii. ^{131}I má poločas rozpadu 8 dní, emituje záření beta o energii 606 keV a záření gama o energii 364 keV. Slouží především k terapii štítné žlázy. V diagnostice se používá k akumulárnímu testu štítné žlázy k prokázání zvýšené, či snížené funkce štítné žlázy.



Obrázek 1 Schéma ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátoru (Myslivoček, 2007, s. 23)

2.8. Radiofarmaka

Radiofarmaka jsou léčivé přípravky obsahující chemické nebo biologické aktivní látky, jejichž účinnou složkou je radionuklid, který je zdrojem ionizujícího záření. (Český lékopis, Praha 2005)

Radiofarmaka jsou pacientům aplikována na pracovištích nukleární medicíny z diagnostických či terapeutických důvodů.

Radiofarmakum obsahuje dvě složky, radionuklid a farmakum. Farmakum se vybírá podle své farmakokinetiky a musí mít afinitu (zachytávání) k orgánu, který chceme vyšetřit, nebo se musí účastnit příslušné fyziologické funkce.

Radiofarmaka musí být uchovávány v uzavřených nádobách bez přístupu světla, musí být opatřeny znakem radioaktivity, aktivitou radionuklidu k referenčnímu datu a dobou použitelnosti. Lékové formy radiofarmak jsou: parenterální ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), per orální (^{131}I) a inhalační ($^{81\text{m}}\text{Kr}$, ^{133}Xe , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA).

Podle akumulace radiofarmaka v oblasti se změněnou metabolickou aktivitou rozlišujeme pozitivní scintigrafii, kde je vyšší akumulace v místě změněné metabolické aktivity oproti

okolí a negativní scintigrafii, kde je akumulace nižší. (Lang, 1998; Krupka, Kubinyi, Šámal, 2007)

Požadavky na radiofarmaka:

- **Aktivita**
Aktivitu radionuklidu zjišťujeme pomocí ionizační komory ve studnovém uspořádání. Záření z radionuklidu ionizuje plyn v ionizační komoře a indukuje tím v komoře proud přímo úměrný aktivitě radionuklidu.
- **Radionuklidová čistota**
Je to podíl aktivity žádaného radionuklidu na celkové aktivitě vzorku. Kontaminace vzorku jiným radionuklidem (v případě generátoru ^{99}Mo) bývá menší než 1%.
- **Radiochemická čistota**
Je to podíl aktivity žádané chemické sloučeniny na celkové aktivitě vzorku.
- **Sterilita**
Farmakum nesmí obsahovat životaschopné mikroorganismy.
- **Apyrogenita**
Farmakum nesmí obsahovat pyrogeny tj. látky, které vyvolávají horečku (některé bakteriální toxiny).

2.9. Anatomie plic

Plíce jsou párové orgány, v nichž při dýchání probíhá výměna plynů mezi vzduchem a krví. Bronchy, průdušky, vstupující do plic, se v plicích postupně větví až na nejmenší trubičky - bronchioli, průdušinky, na jejichž konečné větévky pak navazují alveoli pulmonis, plicní sklípky, alveoly - drobné tenkostěnné výdutě o průměru 0,1-0,9 mm, kde teprve probíhá vlastní výměna plynů mezi vzduchem a krví v sítích krevních kapilár obetkávajících alveoly. (Čihák, 2001, s. 206)

Dětské plíce mají růžovou barvu, během života se ale mění na šedočerné, kvůli vdechovanému prachu a kouři. Jsou měkké, pružné a houbovitě konzistence. Průměrná hmotnost obou plic je okolo 700 gramů.

Baze plic je konkávně vydutá a nasedá na brániční klenbu. Zevní plocha plic je konvexní a naléhá na hrudní stěnu. Na vnitřní ploše, přivrácené do mediastina, je plicní hilus a obtiskuje se zde řada orgánů mediastina.

Velikost plic je závislá na velikosti hrudníku. Pravá plíce je větší než levá. Pravá plíce je složena ze tří laloků (lobus superior, lobus medius, lobus inferior), levá ze dvou laloků (lobus superior, lobus inferior). Plicní laloky se dále člení na plicní segmenty. *Plicní segmenty jsou základními stavebními i funkčními jednotkami plic. Plicní segment je část plicního laloku, která je ventilovaná jedním bronchem a vyživovaná jednou větví plicní tepny. (Dylevský, 2009, s.348)*

Pravá plíce se skládá z deseti segmentů (3 segmenty tvoří horní lalok, 2 střední a 5 dolní), levá z osmi (4 segmenty tvoří horní lalok a 4 segmenty dolní).

Levá plíce se nachází v levé pleurální dutině, pravá plíce v pravé pleurální dutině. Obě dutiny jsou vystlány pohrudnicí. Povrch plic pokrývá poplicnice (pleura). Mezi poplicnicí a pohrudnicí jsou vzduchotěsné pohrudniční dutiny. (Naňka, Elišková, 2009; Dylevský, 2009)

Poplicnice je tenká, lesklá, průhledná blána, pokrývající povrch plic. V plicním hilu přechází v pohrudnici. **Pohrudnice** vytváří okolo každé plíce samostatnou a uzavřenou dutinu. Přiléhá na hrudní stěnu.

Mediastinum - mezihrudí

Je to prostor uprostřed hrudníku mezi pravou a levou pleurální dutinou. Sahá od páteře ke sternu a jsou v něm uloženy některé orgány: průdušnice, jícen, srdce v osrdečníku a velké cévy vystupující a vstupující do srdce.

Plicní hilus

Vstupuje zde do plic hlavní bronchus společně s plicními artériemi a plicními žilami. Vstupují zde ještě nutritivní bronchiální tepny a nachází se zde mízní uzliny. Zakulacený plicní vrchol zasahuje až nad první žebro do krčních krajin.

Průdušnice – trachea

Je trubicový orgán spojující hrtan s průduškami plic. V hrudníku se větví na pravou a levou průdušku, které vstupují do plic.

Průduška – bronchus

Trubicový orgán, který je součástí dýchací soustavy. Slouží k vedení vzduchu z plic a do plic. Pravý a levý primární bronchus vznikají rozdělením (bifurkací) průdušnice. Dále se dělí na menší průdušky a průdušinky (bronchioly), tzv. bronchiální strom. Primární bronchy se dělí na sekundární lobární bronchy. Levý na dva a pravý na tři. Ty se ještě dělí na terciální, levý na osm, pravý na deset.

Plicní sklípky - alveoly

Je to poslední část dýchacího systému. V alveolách probíhá vlastní dýchání, přestup kyslíku do krve a odvod oxidu uhličitého do vydechovaného vzduchu. Stěna alveol je tvořena sítí jemných vazivových vláken, mezi kterými probíhají bohaté pleteně krevních vlásečnic. Na vnitřní straně je tenká vrstva respiračního epitelu, buňky respiračního epitelu se nazývají pneumocyty.

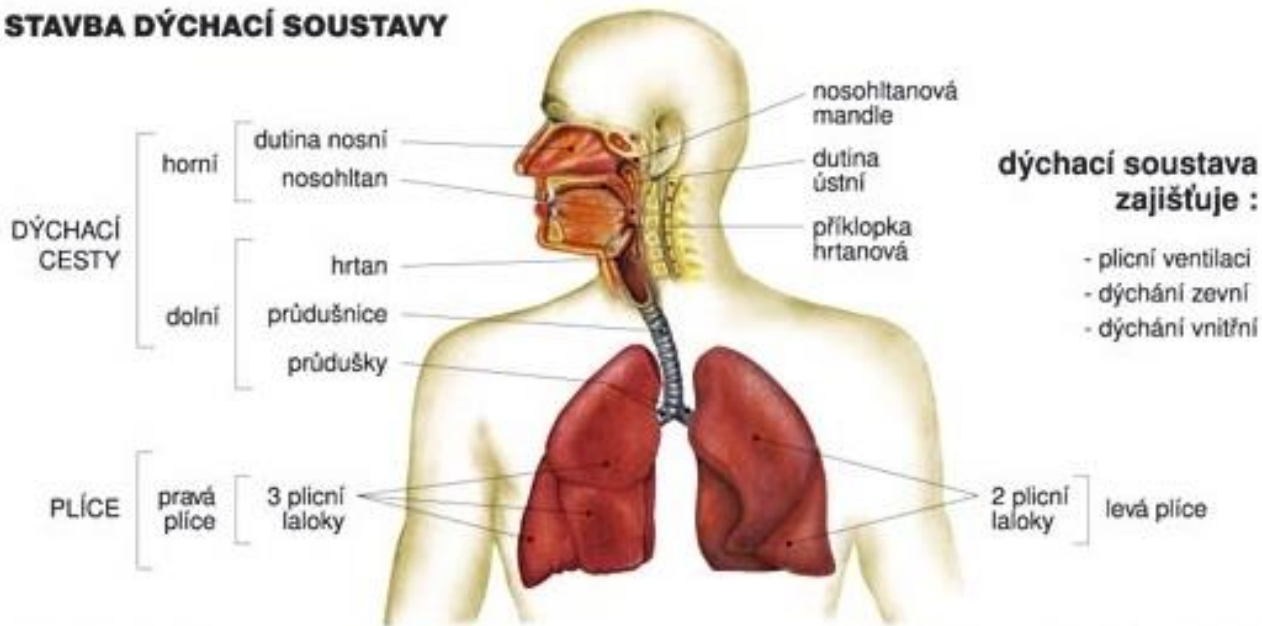
Cévní zásobení plic

Plíce mají dvojitý krevní oběh, nutritivní a funkční.

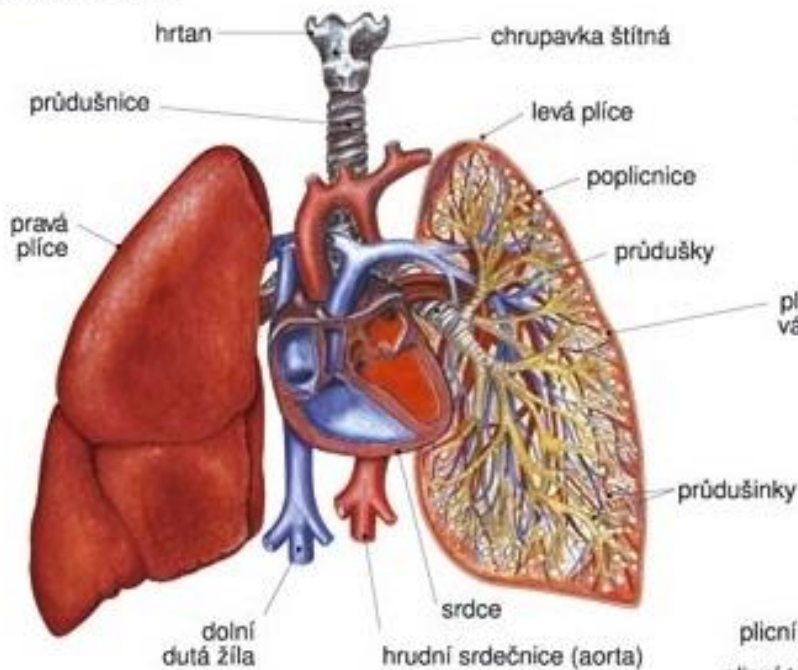
Nutritivní oběh zajišťují průduškové tepny, které jsou větvemi hrudní aorty, mezižebních tepen a aortálního oblouku. Průduškové tepny zásobují stěny průdušek, mízní uzliny, vazivo plic a poplicnici.

Funkční oběh umožňuje výměnu dýchacích plynů mezi krví a vzduchem. Funkční oběh tvoří levá i pravá plicní tepna. V plicích se plicní tepny větví na hustou síť tenkých kapilár, které opřádají plicní sklípky. Plicní žíly vznikající z těchto sítí vedou mezi plicními lalůčky a v přepážkách mezi plicními segmenty. Z plic vystupují dvě pravé a dvě levé plicní žíly, které odvádějí okysličenou krev do levé srdeční předsíně. (Dylevský, 2009; Čihák, 2001)

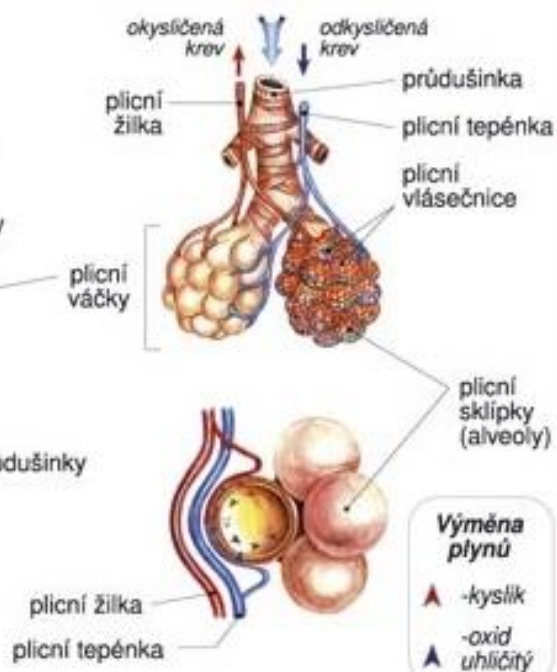
STAVBA DÝCHACÍ SOUSTAVY



STAVBA PLIC



STAVBA PLICNÍCH VÁČKŮ



Obrázek 2 Dýchací soustava (<http://www.uzdravim.cz/dychaci-soustava-cloveka.html>)

2.10. Fyziologie plic

Základní funkcí plic je výměna plynů mezi atmosférickým vzduchem a krví. Tato výměna probíhá až v konečné části dýchacích cest, v plicních sklípcích. Ve zbylých částech dýchacího systému k výměně nedochází, tyto části se označují jako mrtvý prostor.

Mrtvý prostor se dělí na anatomický a fyziologický. V anatomickém nikdy nedochází k výměně plynů. Jedná se o dýchací cesty od dutiny nosní až k plicním sklípkům. Fyziologický mrtvý prostor je oblast anatomického mrtvého prostoru a k tomu plicní sklípky, které nejsou zapojeny. Při klidném dýchání se totiž nevyužívají všechny plicní sklípky, některé zůstávají jako rezerva pro zvýšené nároky. (Merkunová, Orel, 2008)

2.10.1. Základní funkce dýchacího systému

- **Ventilace (zevní dýchání)**

Do ventilace patří pouze nádech (inspirium) a výdech (expirium). Nádech je aktivní děj, kdy hlavním nádechovým svalem je bránice. Výdech je v klidových podmínkách pasivním dějem, podílí se na něm napětí žeberních chrupavek, napětí plic, napětí tekutiny na vnitřní straně plicních sklípků a vytlačení bránice břišními orgány. Při zvýšených nárocích na výměnu plynů se výdech stává také aktivním dějem (např. při fyzické námaze). Hlavními výdechovými svaly jsou pak vnitřní mezižeberní svaly a pomocné dýchací svaly.

Ventilace plic zajišťuje výměnu vzduchu mezi zevní atmosférou a plicními sklípků, dále přivádí a odvádí vzduch k plicním sklípkům a od nich, očišťuje, ohřívá a zvlhčuje vdechovaný vzduch.

Ukazateli plicní ventilace jsou statické objemy plic, stanovují se spirograficky a zaznamenávají se tyto údaje:

Inspirační rezervní objem: Je to objem vzduchu, který ještě maximálně nadechneme po normálním klidovém nádechu.

Dechový objem: Je objem vzduchu, který v klidu nadechneme, nebo vydechneme.

Expirační rezervní objem: Objem vzduchu, který ještě maximálně vydechneme po klidovém výdechu.

Reziduální objem: Objem vzduchu, který zůstává v plicích po maximálním výdechu.

Vitální kapacita plic: Objem vzduchu, který maximálně vydechneme, po předchozím maximálním nádechu.

Celková kapacita plic: Objem vzduchu, který je v plicích po maximálním nádechu.

Dalším ukazatelem ventilace jsou dynamické plicní objemy. Patří sem minutová ventilace plic, ta určuje množství vzduchu, které nadechneme a vydechneme během jedné minuty.

- **Distribuce**

Distribuce představuje rozdělení vzduchu v dýchacích cestách. Označuje části plic, které jsou zásobeny vzduchem nejvíce, nebo nejméně. V klidu jsou nejméně zásobeny oblasti plicních hrotů, a plíce v okolí hilů. Nejvíce jsou zásobeny oblasti zevních bráničních úhlů.

- **Difúze**

V plicních sklípcích pokračuje kyslík přestupem (difúzí) přes stěnu plicních sklípků a stěnu kapilár do krve a naopak z krve do plicních sklípků prostupuje stejnou cestou oxid uhličitý.

Difúze závisí na rozdílu tlaku mezi kyslíkem a oxidem uhličitým a na prokrvení plic.

- **Perfúze**

Cévní systém zajišťující výměnu plynů se nazývá nízkotlaký (malý) plicní oběh.

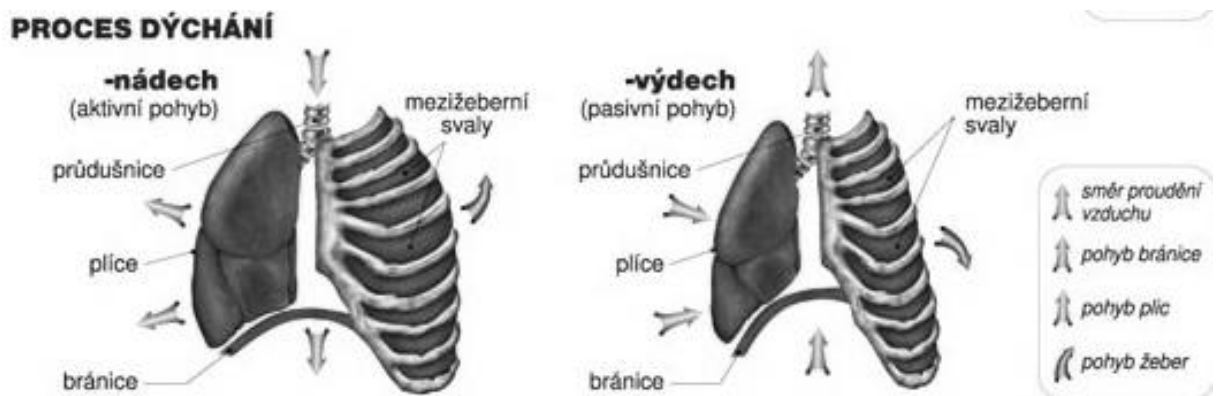
Plicním oběhem protéká u zdravého člověka téměř stejné množství krve jako oběhem systémovým. Zásadní rozdíl je však v tom, že plicní oběh je systémem nízkotlakým. V důsledku toho má na plicní arteriální i venózní cirkulaci významný vliv gravitace. U stojícího či sedícího člověka jsou lépe prokrveny bazální partie, při poloze vleže je tento gradient vrchol-báze nahrazen gradientem předozadním. Perfuzi plic ovlivňuje i řada dalších faktorů, jako je plicní arteriální a venózní tlak, alveolární tlak, hodnota intrapleurálního tlaku a některé hormonální a chemické vlivy. Praktický význam má však i to, že hypoventilace vede k hypoxii, a tím k reflexní redistribuci perfuze (hypoxická plicní prekapilární vazokonstrikce). Distribuci kapilární plicní perfuze lze objektivizovat (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2007, s.77)

Regulace dýchání

Základní funkcí mechanismů řídících dýchání je zajištění souladu mezi metabolickými potřebami organismu a plicní ventilací. Dýchání také ovlivňují volní i mimovolní aktivity (např. kašel, tvorba hlasu).

Řízení dýchání zajišťuje centrum v prodloužené míše. Modifikace dýchání spojené s lidskými projevy (např. řeč) jsou řízené z mozkové kůry.

Na řízení dýchání se podílí také chemické změny, které vedou k podráždění chemoreceptorů. Může to být pokles tlaku kyslíku, zvýšení tlaku oxidu uhličitého, nebo změna pH v krvi. (Merkunová, Orel, 2008; Naňka, Elišková 2009)



Obrázek 3 Proces dýchání (<http://www.uzdravim.cz/dychaci-soustava-cloveka.html>)

2.11. Patologické procesy plic vyšetřované v NM

2.11.1. Plicní embolie

Plicní embolie je náhlé vmetnutí a zachycení krevní sraženiny v plicní tepně, kde se stává překážkou krevního zásobení plicní tkáně. Plicní infarkt je odumření plicní tkáně následkem uzávěru plicní tepny krevní sraženinou.

Nejčastějším vmetkem (embolem) v plicní tepně je krevní sraženina, která se vytvořila v žilách dolních končetin nebo pánve.

Po uvolnění do žilního oběhu se vmetky dostávají v 65 % do obou plic, ve 20 % do pravé a v 10 % do levé plice. Dolní plicní laloky bývají postiženy 4x častěji než horní. Většina vmetků se zachycuje ve větších nebo středních plicních tepnách.

Vzácnějšími příčinami plicní embolie jsou tukové emboly po zlomeninách a embolie plodové vody, u nichž jsou hlavním místem uzávěru plicního krevního řečiště drobné tepny a vlásečnice spíše než velké plicní tepny. Postižení drobných cév často vede k závažnému selhávání dýchání v podobě tzv. syndromu dechové tísně.

Méně často vznikne trombóza primárně v plicních tepnách, např. u vrozených srdečních vad s těžkou hypertenzí v plicním řečišti.

2.11.2. CHOBP – chronická obstrukční choroba bronchopulmonální

Onemocnění vzniká jako následek chronického zánětu průdušek, zánětu respiračních bronchiolů, bronchiálního astmatu. Je charakterizováno ztížením výdechu a jeho zpomalením. Onemocnění je častější u mužů, ale u žen přibývá vzhledem k rozšiřujícímu se kuřáctví. K rizikovým faktorům patří kouření, pracovní prostředí (chemické provozy, těžba uhlí), znečištění životního prostředí. Základní změnou je emfyzém - dilatace dýchacích cest distálně od respiračního bronchiolu a rozrušení sept mezi plicními sklípky. K tomuto dochází působením proteáz - enzymů štěpících bílkoviny - které se uvolňují v průběhu zánětu. Za obstrukcí, dochází k překrvení plicních sklípků, stěny sklípků jsou destruovány, vznikají velká vzdušná ložiska - plicní emfyzém (rozedma plic). Vnitřní povrch alveolů pro výměnu plynů se postupně zmenšuje. V klinickém obraze tomuto odpovídá chronický kašel s vykašláváním hlenu, ztížení výdechu (zánětlivá sekrece v bronších), námahová, později i klidová dušnost, cyanóza (omezování respirační plochy), hypertrofie pravé komory (krev protéká plicním řečištěm proti většímu odporu).

2.11.3. Sarkoidóza

Sarkoidóza je onemocnění neznámého původu, postihující plíce, játra, slezinu, mízní uzliny, kůži a kosti. V postižených orgánech a tkáních se vytvářejí typické uzlíky (tzv. granulomy), které se na rozdíl od tuberkulózních uzlíků nerozpadají, mohou vymizet nebo se přeměnit v jizvu. Příčina onemocnění není známa. Zodpovědné mohou být jednotlivé vyvolávající podněty nebo poruchy obranyschopnosti spuštěné různými vlivy. Důležité mohou být i genetické faktory.

Postižení plic bývá obvykle doprovázeno kašlem a dušností, ale tyto příznaky mohou i chybět nebo být jen minimální. Konečnými následky těžkého plicního postižení je vytvoření jizevnaté tkáně a cyst v plicích, následované přetížením pravé srdeční komory s následným srdečním selháním.

2.11.4. Plicní infekce (TBC, pneumonie, bronchopneumonie) a abscesy

TBC – Tuberkulóza

Příčinou je bakterie zvaná mykobakterium tuberculosis neboli Kochův bacil.

Bakterie nejčastěji vstupuje do našeho těla dýchacími cestami, kdy ji může vykašlávat nemocný člověk. Pro tento způsob přenosu je ovšem nutný dlouhodobější blízký kontakt s nemocným. V plicích bakterie napadnou malý okrsek tkáně (tzv. primární infekt) a pak i jednu plicní lymfatickou uzlinu (primární infekt + napadená uzlina se nazývá primární komplex).

Vznikne klasická forma spojená s kašlem a chrlením krve. Buňky našeho imunitního systému ve snaze bakterii zničit, začnou do okolí vylučovat obranné látky. Tyto toxické sloučeniny pak začnou ničit buňky našich plic.

U jedince s oslabenou imunitou (např. dítě nebo nemocný starý člověk) se mohly bakterie rozšířit po celém těle a postiženého rychle usmrtit.

Pneumonie, bronchopneumonie

Pneumonie neboli zápal plic je akutní zánětlivé onemocnění respiračních bronchiolů, plicních alveolů a plicního intersticia. Nejčastěji ji vyvolává bakterie pneumokok. Onemocnění postihuje celý lalok, nebo celou plíci.

Třídění pneumonií není jednotné. Pneumonie lze klasifikovat podle např. etiologie na infekční (viry, bakterie) a neinfekční (toxiny, záření), průběhu (akutní, chronická), či epidemiologie (komunitní a nozokomiální).

Komunitní pneumonie je pneumonie, která vznikla u nemocných mimo nemocnici. Etiologicky se na ní nejčastěji podílí patogen *Streptococcus pneumoniae*. Nozokomiální pneumonie je pneumonie vzniklá v souvislosti s hospitalizací u již jinak nemocného člověka, většinou se jedná o infekci vzniklou 48 hodin po přijetí do nemocnice.

Plicní absces

Plicní absces je patologická dutina v plicní tkáni ohraničená vlastní stěnou a vyplněná hnisem. Nejčastější příčinou je aspirace patogenního materiálu z dutiny ústní, horních cest dýchacích, ze žaludku, či aspirace potravy při jídle. Může také vzniknout na podkladě nekrózy plicní tkáně při těžkém infekčním zánětlivém postižení plíce. (Mačák, Mačáková, 2004)

2.12. Scintigrafie

Základní charakteristikou scintigrafie je zobrazení tělesných struktur a funkcí pomocí detekce ionizujícího záření vycházejícího z těla pacienta po podání radiofarmaka. Při scintigrafickém vyšetření se zobrazuje nahromadění (akumulace) radiofarmak, které závisí na funkčním stavu vyšetřované tkáně. Scintigrafické vyšetření prokazuje metabolické změny ve tkáních (např. hypoxie, zánět, změna perfuze, koncentrace receptorů, přestavba kosti, intenzita glykolýzy). Oproti ostatním zobrazovacím metodám (RTG, CT, ultrasonografie, MRI) je scintigrafie jedinou metodou, která zobrazuje pouze živou tkáň. Neživou tkáň scintigraficky zobrazit nejde. (Krupka, Kubinyi, Šámal, 2007)

2.12.1. Princip scintigrafie

Základním principem je podání radiofarmaka a následné sledování jeho rozmístění v těle. Intenzita lokální akumulace radiofarmaka závisí na intenzitě místních metabolických funkčních dějů. U případných poruch funkce lze pomocí scintigrafického zobrazení lokalizovat a často i kvantifikovat poruchu funkce. Poruchy funkce v mnoha případech předcházejí změnám struktury. Proto lze patologické děje odhalit scintigrafickým vyšetřením zpravidla dříve než jinými zobrazovacími metodami. V porovnání s nimi jsou scintigrafické metody citlivější, často však méně specifické. Například kostní metastázy karcinomu prostaty, prsu, plic jsou na scintigramu skeletu prokazatelné dříve než na rentgenových snímcích. Nelze je však úplně rozlišit od ložiskových změn způsobených jinými příčinami zvýšení kostní přestavby, např. hojení zlomeniny. Pro řadu patologických dějů, kde specifická nálezu odráží specifická vazba radiofarmaka, jsou scintigrafické nálezy rovněž vysoce specifické (např. pozitivní scintigrafie nádorů, perfuzní scintigrafie myokardu a jiné).

Indikátor se aplikuje v nepatrném množství. Koncentrace těchto indikátorů ve tkáni jsou řádově nano- a piko-molární a prakticky vůbec neovlivňují funkci vyšetřovaného orgánu. Indikátory v nukleární medicíně jsou až na výjimky (některé proteiny) bezpečné a nemají prakticky žádné kontraindikace.

Molekula radiofarmaka se skládá ze dvou složek: z vlastního indikátoru vyšetřované funkce, který zajišťuje zacílení radiofarmaka na cílové struktury, jejichž funkci chceme zobrazit a ze signální části, která zajišťuje indikaci polohy molekuly indikátoru. V nukleární medicíně je signální částí radionuklid, který emisí ionizujícího záření označuje polohu molekul indikátoru v organismu. (Krupka, Kubinyi, Šámal, 2007)

2.12.2. Metody scintigrafie

Z časového hlediska se dělí scintigrafie na statickou a dynamickou.

- **Statická scintigrafie** - je základním druhem, je to jeden či několik scintigrafických obrazů vyšetřované oblasti (bez ohledu na čas). Buď se snímá totéž místo z různých projekcí (přední, zadní, levá boční, pravá boční apod.), nebo několik různých míst organismu. Při statickém zobrazení je možné předvolit celkový počet impulzů, které se mají nasbírat nebo čas, za který se sbírají impulzy. Mezi statická zobrazení patří i celotělové vyšetření, při kterém se s pacientem pohybuje lůžko mezi detektory a snímá se rozložení radiofarmaka v celém těle pacienta.
- **Dynamická scintigrafie** – sledujeme při ní pomocí radiofarmaka děj měnící se s časem a dynamiku. Dynamická scintigrafie je série (statických) snímků vyšetřované oblasti postupně v různých časech. U dynamické scintigrafie můžeme nejen vizuálně sledovat pohyb a časové změny distribuce radiofarmaka v organismu, ale vytvářet příslušné dynamické křivky a matematickou analýzou stanovovat kvantitativní parametry funkce jednotlivých orgánů. (Ullmann, online)

Z prostorového hlediska se dělí na planární a tomografickou scintigrafii (SPECT).

- **Planární scintigrafie** poskytuje dvourozměrný obraz rozložení radiofarmaka v organismu.
- **Prostorové (trojrozměrné) zobrazení** je vytvořeno pomocí SPECT, kdy je při vyšetření nasnímána série planárních obrazů z různých úhlů a počítačový systém vytváří trojrozměrný obraz. (Lang, 1998)

2.12.3. Přístroje pro scintigrafii plic

Zobrazování v nukleární medicíně je založeno na detekci elektromagnetického záření, které vychází z radionuklidu podaného do těla a akumulovaného v příslušném orgánu. Záření absorbované detektorem je využito pro tvorbu digitálního obrazu v počítači. Zobrazovací zařízení se nazývá scintilační kamera nebo gamakamera. K detekci ionizujícího záření se v gamakamerách používá scintilační krystal z NaI (chlorid sodný).

V současnosti jsou základním přístrojem rotační kamery, v praxi nejčastěji dvouhlavé s digitálním záznamem dat a vybavené počítačovým vyhodnocovacím systémem. Pomalým

posunem pacienta mezi velkoplošnými detektory (scintilační krystaly) gamakamera umožňuje zobrazení celotělové distribuce radiofarmaka (planární snímkování).

Rotace detekčních hlav okolo zvolené oblasti dává potřebná data pro zpracování jednofotonové počítačové tomografie - SPECT, umožňuje po vyhodnocení řady obrazů pod určitou souřadnicí zhotovit tomografické řezy. Tyto řezy mohou být zhotoveny ve třech základních rovinách a lze z nich získat trojrozměrnou rekonstrukci patologických procesů akumulujících radiofarmakum či celých orgánů. Jiným moderním přístrojem pro zobrazení distribuce radiofarmaka v nukleární medicíně je kamera pro pozitronovou emisní tomografii PET. Pro tuto zobrazovací metodu se používají speciální radiofarmaka značená zářiči emitujícími pozitrony. PET kamera obsahuje velké množství detektorů, které jsou umístěny v kruhu kolem těla pacienta a registrují fotonů anihilačního záření. Výsledným vyhodnocením jsou tomografické řezy ve třech rovinách a trojrozměrná rekonstrukce. PET má proti SPECT vyšší rozlišovací schopnost. (Vižďa, 2003)

Scintilační kamera – gamakamera

Scintilační kamera je základní přístroj používaný v nukleární medicíně a skládá se z :

- kolimátoru
- scintilačního krystalu
- fotonásobiče
- elektronické aparatury
- počítače

V dnešní době se většinou používá dvouhlavá gamakamera, což znamená, že je opatřena dvěma detektory. Scintilační detektory mají velkou senzitivitu pro gama záření.

Kolimátor je první část gamakamery, kudy prochází ionizující záření a do určité míry ovlivňuje obraz. Je to deska s velkým počtem otvorů různé velikosti, tvaru a směrů. Je vyrobena z olova, popřípadě wolframu. Kolimátor definuje orientaci dopadajících fotonů na scintilační krystal. Fotony letící jiným směrem než je otvor kolimátoru jsou zachytávány v přepážkách mezi otvory. Podle typu zvoleného kolimátoru se ovlivňuje rozlišení a citlivost získaného obrazu. Rozdělují se podle konfigurace otvorů, podle energie záření gama a podle rozlišení a citlivosti.

Rozdělení kolimátorů podle otvorů:

- **Paralelní kolimátory**, které se u planární gamakamery používají nejvíce, mají otvory kolmé k čelu kolimátoru a navzájem rovnoběžné. Rozlišení paralelního kolimátoru se zhoršuje s rostoucí vzdáleností zdroje záření od čela kolimátoru. Proto je třeba provádět záznam dat s minimální vzdáleností detektoru od povrchu těla pacienta.
- **Divergentní kolimátory** mají rozbíhavé otvory směrem od krystalu detektoru. Používají se pro zobrazování velkých orgánů pomocí pojízdných gamakamer s malým scintilačním krystalem — např. pro scintigrafii plic na jednotkách intenzivní péče.
- **Konvergentní kolimátory** mají otvory sbíhavé směrem od krystalu detektoru. Používají se pro zobrazování malých orgánů gamakamerami s velkým zorným polem. v dnešní době se nejvíce uplatňují při tomografii mozku.
- **Pinhole kolimátor** je kuželovitého tvaru s jedním otvorem. Používá se pro zobrazování malých, povrchově uložených orgánů, nejčastěji k zobrazení štítné žlázy.

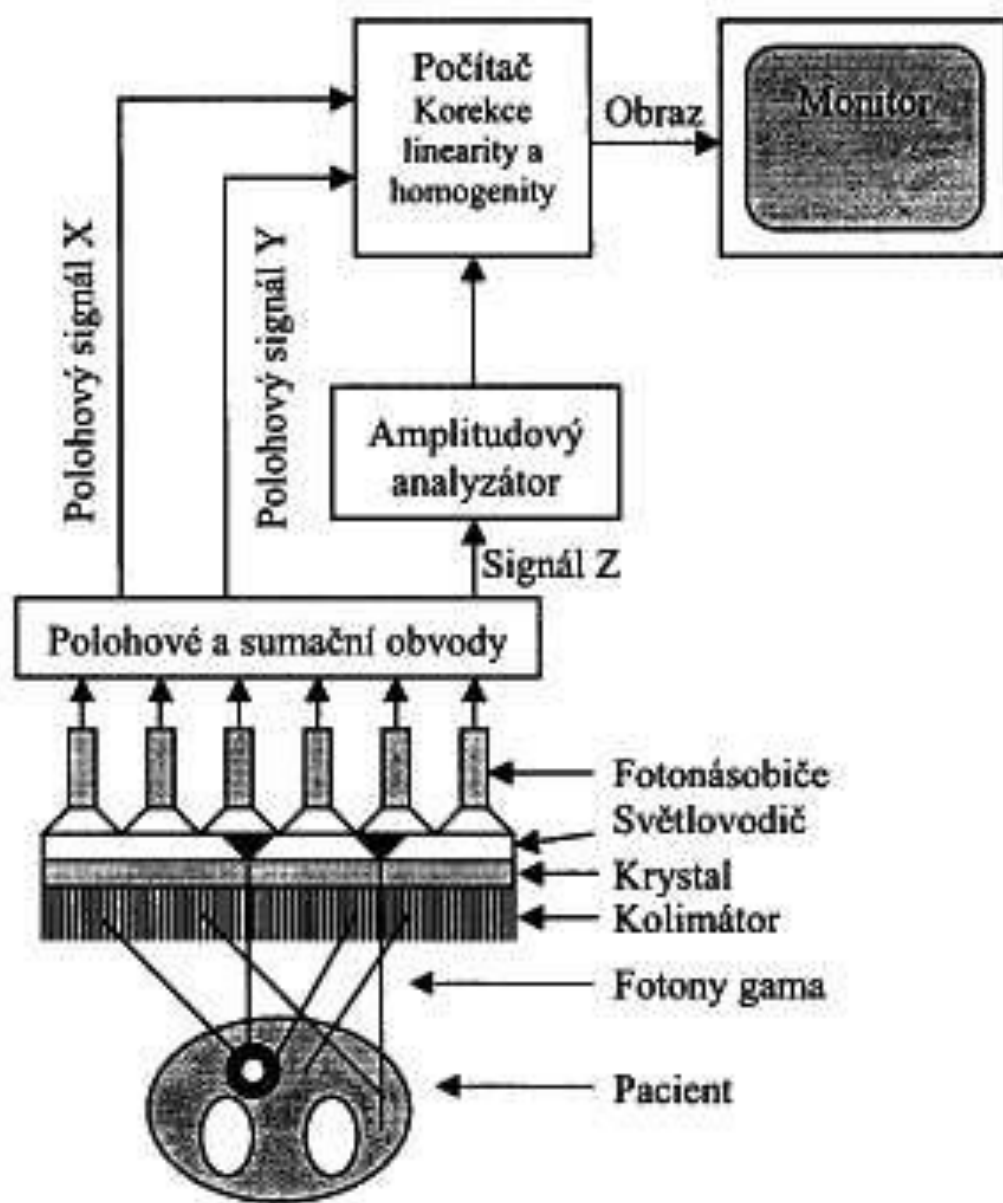
Podle záření gama se kolimátory dělí na:

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

Nízkoenergetické kolimátory jsou dále rozděleny podle rozlišení a citlivosti:

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

(Ullmann, online; Kupka, Kubinyi, Šámal, 2007)



Obrázek 4 Schéma gama kamery (Myslivoček, 2007, s. 33)

Emisní počítačová tomografie (SPECT, PET)

Podle toho, jaký při tomografickém záznamu dat použijeme radionuklid, rozlišujeme dva druhy emisní tomografie. Použijeme-li zdroj gama záření, jde o jednofotonovou emisní tomografii (SPECT), použijeme-li zdroj pozitronového záření, jde o pozitronovou emisní tomografii (PET)

SPECT je v dnešní době nejužívanější způsob tomografického zobrazování v nukleární medicíně.

Tomografické gamakamery mají detektor fungující na stejném principu jako planární kamery, avšak konstrukce gantry umožňuje pohyb detektoru kolem těla pacienta. Kamery obíhají okolo pacienta ve 180 - 360 stupních a snímají velký počet obrazů. Kamery obsahují zařízení, které automaticky udržuje vhodnou vzdálenost detektoru od povrchu těla pacienta (body contouring).

Nasnímaná data jsou uchována v paměti počítače pro další zpracování a rekonstrukci obrazů ve třech základních, vzájemně kolmých, rovinách: transversální, frontální a sagitální. Tomografické kamery mohou mít jeden, dva nebo tři detektory.

Obvyklá doba záznamu jednoho vyšetření je 20–30 minut. Musíme předvolit úhel rotace, úhlový posun při pohybu detektoru a dobu trvání záznamu jednoho obrazu v závislosti na registrované četnosti.

Pro rekonstrukci obrazů ze zaznamenaných dat existuje několik matematických algoritmů. v současné době je nejčastěji užíván algoritmus zvaný filtrovaná zpětná projekce.

PET je založena na principu detekce dvou anihilačních fotonů, vzniklých ve tkáni při interakci pozitronu s elektronem. Tyto dva fotony, které vznikají ve stejný okamžik, mají stejnou energii 511 keV a jsou emitovány v prostorovém úhlu 180 stupňů, jsou detekovány dvojicí protilehlých detektorů. Nastřádaná data jsou pak použita pro tvorbu obrazů.

V současných PET systémech je velké množství detektorů (stovky až tisíce), uspořádaných do prstenců. Počet prstenců je až šestnáct a jsou uspořádány v řadách. Každý detektor je spojen s protilehlým ve stejném prstenci koincidenčním obvodem. PET nepotřebuje žádný kolimátor. Rekonstrukce obrazů je prováděna stejným způsobem jako u metody SPECT.

Jako radiofarmakum se u PET vyšetření podává fluorodeoxyglukóza (FDG) s vhodným poločasem rozpadu radionuklidu ^{18}F 109 minut. (Krupka, Kubinyi, Šámal, 2007)

2.13. Scintigrafická vyšetření plic

K ventilační a perfúzní scintigrafii plic je nejčastější indikace kvůli podezření na plicní embolii.

2.13.1. Ventilační plicní scintigrafie

Používá se k zobrazení distribuce alveolární ventilace plicního parenchymu, odhalení regionálních defektů ventilace pro poruchu průchodnosti periferních dýchacích cest. Radioaktivní plyn se při normálním dýchání homogenně rozptýlí v plicních sklípcích a zobrazuje distribuci alveolární ventilace. Může také sloužit pro posouzení podílu funkce jednotlivých částí plic na celkové dýchací funkci (při rozhodování o operačním výkonu).

Pacient v průběhu vyšetření dýchá z uzavřeného systému radioaktivní plyn, nebo aerosol. Provede se planární scintigrafie v přední projekci, zadní projekci a zadních šikmých bočních projekcích. Při normální ventilaci prokazuje scintigrafie homogenní distribuci radioaktivního kryptonu v obou plicích, v případě poruchy ventilace se příslušná část plic nezobrazuje (fotopenické ložisko).

Indikace k vyšetření jsou:

- podezření na plicní embolii (společné vyšetření ventilace/perfuze)
- posouzení stavu plicní ventilace u bronchopulmonálních chorob
- podíl jednotlivých částí plic na celkové ventilaci před operačním výkonem

Radionuklidy pro ventilační scintigrafii plic

Pro ventilační scintigrafii se v současné době používá radioaktivní plyn $^{81\text{m}}\text{Kr}$, nebo radioaktivní aerosoly značené pomocí $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$.

$^{81\text{m}}\text{Kr}$ – Vzácný plyn krypton vzniká v generátoru rozpadem mateřského radionuklidu ^{81}Rb . Krypton je z generátoru vymýván proudem vzduchu, který pacient vdechuje pomocí masky přímo u kamery a hned při vdechování se snímá obraz. Díky krátkému poločasu přeměny $^{81\text{m}}\text{Kr}$ (13 sekund) se vydechovaný vzduch nemusí zachytávat jako radioaktivní odpad. Energie emitujícího gama záření toho radionuklidu je 190 keV.

Výhodou tohoto plynu je možnost současného provedení ventilační a perfúzní scintigrafie plic pomocí $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (rozdíl energie fotonů $^{99\text{m}}\text{Tc}$ a $^{81\text{m}}\text{Kr}$ je dostatečný, aby bylo možné je rozlišit a současně snímat scintilační kamerou). Jeho nevýhodou je krátká

použitelnost generátoru, poločas přeměny ^{81}Rb je 4,6 hodin a poměrně vysoká cena vyšetření při nižším počtu pacientů.

$^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ - Radioaktivní aerosoly pevné a kapalné fáze značené $^{99\text{m}}\text{Tc}$ se využívají, pokud není k dispozici radioaktivní plyn. Nejčastější jsou aerosoly kapalné fáze vznikající z $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ v tryskových, nebo ultrazvukových nebulizátorech.

Ultrazvukové nebulizátory vytvářejí částice o velikosti 0,7-1,0 μm , což stačí pro zachycení v alveolech. Nevýhodou bývá často nízká aktivita v plicích, která velmi prodlužuje dobu snímání, protože jen 1-2 % částic jsou v plicních sklípcích zachycena. Pacient musí vdechovat i vydechovat pouze do inhalátoru pomocí náustku. Inhalace trvá 5 – 10 minut, poté je provedeno snímání.

Tryskový systém vytváří suchý aerosol o průměru částic 0,3-0,4 μm . Suchý vzduch je pod tlakem smíšen s $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ suspendovanou v alkoholu. Jeho výhodou je menší velikost aerosolových částic, a tím lepší pronikání do alveolů.

2.13.2. Perfúzní plicní scintigrafie

Slouží k zobrazení distribuce kapilární perfúze v plicním parenchymu, odhalení regionálních perfúzních defektů v důsledku embolizace nebo jiných postižení plicního arteriálního řečiště (útlaku zánětlivým či nádorovým ložiskem, pleurálním výpotkem).

Jako radiofarmakum se pro perfúzní scintigrafii používá **$^{99\text{m}}\text{Tc}$ značený MAA**, je to suspenze makroagregátu lidského albuminu značeného techneciem ^{99}Tc . Takto denaturovaný albumin vytvoří částičky o velikosti 10-30 μm , které se zachytávají v plicních kapilárách. V plicích přetrvávají několik hodin. Po nárazech erytrocytů jsou rozbity na menší části, které již plicními kapilárami projdou. Z krve jsou odstraněny fagocytujícími buňkami retikuloendotelového systému.

Aplikace radiofarmaka se provádí intravenózně do periferní žíly. Pacient musí při aplikaci ležet, aby nedošlo k ovlivnění distribuce perfúze plic v důsledku odlišného hydrostatického tlaku v různých částech plic. Ve vzpřímené poloze je v bazálních oblastech plic krevní řečiště více dilatováno, a proto jsou tyto oblasti prokrvené více než apikální části plic.

Po aplikaci se provádí snímání plic, které by mělo být provedeno vsedě, aby byly plíce co nejvíce rozvinuty, protože vleže se zvyšuje poloha bránice. Snímají se tyto projekce: zadní, přední, zadní šikmá pravá a zadní šikmá levá.

Při normální perfuzi prokazuje scintigrafie homogenní distribuci makroagregátů v obou plicích, v případě embolizace se neprokrvovaná část plic nezobrazuje (fotopenické ložisko).

Indikace k vyšetření:

- diagnóza plicní embolizace
- stav po plicní embolizaci pro posouzení reperfuze po terapii
- posouzení stavu plicní perfuze u bronchopulmonálních chorob
- podíl jednotlivých částí plic na celkové perfuzi před operačním výkonem
- po flebografii dolních končetin, jako doplňující vyšetření (při flebografii je jako radiofarmakum také podáváno intravenózně $^{99m}\text{Tc-MAA}$, které se zachytává v plicních kapilárách)

2.13.3. Scintigrafie s Ga-citrátem

Tato metoda má význam v diagnostice a kontrole léčby sarkoidózy.

Jako radionuklid se v této metodě využívá ^{67}Ga .

^{67}Ga - **Galium** je produkováno v cyklotronu, rozpadá se elektronovým záchytem a emituje gama záření o energii 93keV (41%), 185keV (23%), 300keV (18%) a 394keV (4%). Fyzikální poločas rozpadu je 78 hodin.

$^{67}\text{Ga-citrát}$ se v krvi chová jako analog iontů železa, váže se na transferin a je transportován k buněčným receptorům. V místě zánětu se váže na laktoferin uvolněný z aktivovaných leukocytů, k laktoferinu má $^{67}\text{Ga-citrát}$ vyšší afinitu než k transferinu.

Aplikovaná aktivita je 170MBq intravenózně. Celotělová scintigrafie a SPECT dutiny hrudní je prováděna za 48 hodin po aplikaci. Patologicky zvýšená akumulace radiofarmaka je přítomna v místech zánětu. Fyziologicky se zachytává v játrech, ve slinných a slzných žlázách, slezině a aktivní kostní dřeni. Je vylučován také mateřským mlékem, proto je nutné v případě laktace přerušit kojení na 3 týdny.

2.13.4. Scintigrafie se značenými leukocyty

Scintigrafie s radioaktivně značenými autologními leukocyty se používá k detekci plicních infekcí (TBC, pneumonie, bronchopneumonie) a abscesů.

Pacientovi se odebere 50 ml krve a jeho vlastní leukocyty jsou v laboratoři in vitro označeny pomocí $^{99m}\text{Tc-HMPAO}$ (hexamethylpropylenaminoxim). Poté se takto značené leukocyty

aplikují pacientovi i.v. Aplikovaná aktivita je 700MBq. Za půl a 2-3 hodiny po aplikaci se provádí celotělová scintigrafie a SPECT dutiny hrudní.

Akutní bakteriální infekce a absces se zobrazí jako ložisko intenzivní akumulace značených leukocytů.

2.13.5. Vyšetření plic pomocí PET

Vyšetření plic pomocí PET se používá hlavně k diagnostice a kontrole léčby sarkoidózy a k diagnostice nádorů. Zobrazuje zvýšený metabolismus glukózy v místě zánětu či nádoru.

Radiofarmakem pro PET vyšetření plic je **¹⁸F-FDG** (18- fluordeoxyglukóza). ¹⁸F je pozitronový zářič s poločasem přeměny 109 minut. FDG se vychytává v buňkách se zvýšeným metabolismem glukózy, jako jsou nádorové a zánětlivé buňky.

(Myslivoček, Kamínek, Koranda, Hušák, 2007; Krupka, Kubinyi, Šámal, 2007; Doležal, online; Praktická radiologie)

3. Praktická část

Praktickou částí mé bakalářské práce je popis průběhu radionuklidového vyšetření plic a činností radiologického asistenta při vyšetření. Vyšetření, které je zde popsáno a zdokumentováno fotografiemi, bylo prováděno 7.4.2014 na oddělení nukleární medicíny v Městské nemocnici Jilemnice. Pacient souhlasil se zveřejněním fotografií.

Na tomto oddělení se vyšetřuje pomocí jednohlavé gama kamery Nucline a dvouhlavé gama kamery Simbia Siemens. Při této scintigrafii plic byl pacient snímán pomocí dvouhlavé gama kamery Simbia Siemens. K inhalaci radiofarmaka při ventilační scintigrafii se zde používá ultrazvukový nebulizátor.



Obrázek 5 Odd. nukleární medicíny MMN Jilemnice (autor)

3.1. Příprava pacienta

Před scintografií plic, jak ventilační, tak i perfuzní se u pacientů neprovádí žádná příprava. U tohoto vyšetření není nutné být nalačno, dodržovat speciální dietu nebo mít vyprázdněný močový měchýř. Pacienti pouze musejí být na vyšetření předem objednáni.

V den vyšetření přichází pacient na oddělení nukleární medicíny v hodinu, kdy je objednan a hlásí se v kartotéce, kde jsou zkontrolovány jeho osobní údaje na žádance a podepíše zde informovaný souhlas o podání radiofarmaka. Je zde ještě vyplněna ambulantní karta, kde jsou údaje o edukaci pacienta, o podávaném radiofarmaku, o přístrojích použitých k vyšetření a o použitých lécích či zavedení flexily.



Obrázek 6 Příjem pacientů, kartotéka (autor)



Masarykova městská nemocnice v Jilemnici
Metysova 465, 514 01 Jilemnice

AMBULANTNÍ KARTA
oddělení nukleární medicíny

Vyšetření požaduje: *INT. NÚZ. JIL.*

EDUKAČNÍ ZÁZNAM				
Edukace koho	Téma edukace	Použité metody	Reakce pacienta	Edukační/podpis
pacienta	informace o vyšetření	ústně	rozumí	<i>Katková Jana</i> 
zák. zástupce		ústně	nerozumí	
doprovodu			odmítá, proč:	

RADIOFARMAKA							
Datum	Hmotnost/výška	Radiofarmakum	MBq/ml	Připravil/vydal	Čas aplikace	Aplikoval/podpis	Poznámka
-7-04-2016	83 / 172	<i>20PA, MARIACE</i>	<i>1490/6</i>	<i>Mgr. Carmina Lencová</i>			
-7-04-2016		<i>20PA, MARIACE</i>	<i>260/1,4</i>	<i>Mgr. Carmina Lencová</i>	<i>11:45</i>	<i>1018 Olga</i>	<i>V + 3</i>

ZDRAVOTNICKÉ PŘÍSTROJE							
Číslo přístroje	Název přístroje	Typ	Výrobní číslo	Datum vyšetření	Provedl/podpis	Datum vyšetření	Provedl/podpis
1.	GAMA KAMERA	SYMBIA S	1571	-7-04-2016	<i>Mgr. Carmina Lencová</i>		
2.	GAMA KAMERA	NUCLINE	81011, 304101-CO				
3.	DEFIBRILÁTOR	BPD 13	TM437				
4.	ZVLHČOVAČ	MZ 103F	280/06				

FLEXILA					
Datum	Čas zavedení	Zavedl/podpis	Čas ukončení l. v. expozice	Podpis	Poznámka

LÉKY						
Datum	Léčivý přípravek	Způsob podání	Naordinoval/podpis	Čas podání	Podal/podpis	Poznámka

Obrázek 7 Ambulantní karta (autor)

Radiologický asistent informuje pacienta o průběhu vyšetření a podání kontrastní látky a poučí ho, že by měl dostatečně pít, kvůli nižší radiační zátěži, protože radiofarmakum se z těla vylučuje močí. Protože je pacient po podání radiofarmaka zdrojem ionizujícího záření, neměl by být po dobu šesti hodin (poločas rozpadu ^{99m}Tc) v kontaktu s dětmi a těhotnými ženami.

Dále zjišťuje, zda nemá pacient nějaké alergie a u žen v reprodukčním věku se ptá, zda není těhotná. Pokud jde na vyšetření žena, která kojí, měla by po podání radiofarmaka kojení přerušit na několik týdnů.

Pacient je informován, že před samotným snímáním pod gama kamerou je zapotřebí sundat kovové věci, aby nám nevytvářely případné artefakty. Také je potřeba sundat epitézy (prsí náhrady).

3.2. Vlastní vyšetření

Pacient: Muž, 62 let

Diagnóza: Podezření na plicní embolii

Radiofarmakum::

- ^{99m}Tc -DTPA pro ventilační scintigrafii
- ^{99m}Tc -MAA pro perfuzní scintigrafii

Aplikovaná aktivita:

- 1490 MBq (ventilační scintigrafie)
- 260 MBq (perfuzní scintigrafie)

Aplikace radiofarmaka:

- ^{99m}Tc -DTPA inhalací
- ^{99m}Tc -MAA intravenózně



Obrázek 8 Kity DTPA a MAA (autor)

Vyšetřovaný pacient byl starší muž s dýchacími potížemi a podezřením na plicní embolii. Byla mu provedena ventilační i perfuzní scintigrafie plic.

Po zkontrolování osobních údajů, poučení a podepsání písemného souhlasu o podání radiofarmaka přichází pacient do místnosti s ultrazvukovým nebulizátorem, který je naplněn vodou a je do něho vložen inhalační systém s radiofarmakem ^{99m}Tc -DTPA, inhalační systém je jednorázový, pro každého pacienta je použit nový. Radiofarmakum připravuje farmaceut v digestoři, poté ho natáhne do olovem stíněné stříkačky v požadovaném množství. Takto připravené radiofarmakum vstříkne radiologický asistent do inhalačního systému nasazeného na nebulizátor. Při tomto vyšetření bylo použito 6 ml ^{99m}Tc -DTPA o aktivitě 1490 MBq.



Obrázek 9 Ultrazvukový nebulizátor s inhalačním systémem (autor)

Pacientovi oblečeme zástěru (aby se nepotřísnil radiofarmakem) a posadíme ho na židli k nebulizátoru. Zapneme přístroj a pacient si vezme hadici od inhalačního systému do úst. Poté vdechuje ústy radioaktivní aerosol a vydechuje ho ústy zpět do hadice, do nebulizátoru. Pro znemožnění dýchání nosem můžeme dát pacientovi na nos kolíček. Pacient inhaluje asi 4 minuty. Poté je položen na stůl a snímán dvěma protilehlými detektory v šesti projekcích (přední, zadní, přední šikmá pravá, přední šikmá levá, zadní šikmá pravá a zadní šikmá levá).



Obrázek 10 Pacient při inhalaci ^{99m}Tc -DTPA (autor)

Mezitím, kdy pacient inhaluje, si ho zadáme do počítače, kde vyplníme jméno a rodné číslo, zvolíme typ vyšetření (nejprve ventilační scintigrafii) a zapíšeme aktivitu podaného radiofarmaka ^{99m}Tc -DTPA.

Po skončení inhalace si pacient sundá boty a kovové předměty (spona na opasku, knoflíky, různé věci v kapsách, epitézy...) a položíme ho na stůl. Během vyšetření leží na zádech s rukama za hlavou a nehýbe se. Radiologický asistent srovná detektory gama kamery do základní pozice (1. detektor je nahoře, 2. je dole) a zaveze pacienta hrudníkem mezi ně, tak aby byly zachyceny celé plíce. Po správném uložení pacienta spustíme snímání šesti projekcí, které trvá asi 10 minut.



Obrázek 11 Uložení pacienta (autor)



Obrázek 12 Snímání gama kamerou, levá zadní šikmá a pravá před. š. projekce (autor)

Po skončení ventilační scintigrafie si v počítači zvolíme jiný typ vyšetření, perfuzní scintigrafii. S pacientem vyjedeme ven, tak aby byl dostatečný přístup k žilám na rukách pro intravenózní aplikaci radiofarmaka ^{99m}Tc -MAA. Radiofarmakum připraví do olovem stíněné stříkačky farmaceut v digestoři. Radiologický asistent asistuje lékaři, který radiofarmakum aplikuje. Pacientovi je podáno 1,4 ml radiofarmaka ^{99m}Tc -MAA o aktivitě 260 MBq.



Obrázek 13 Farmaceut při přípravě radiofarmaka (autor)



Obrázek 14 Radiofarmakum připravené k i.v. aplikaci (autor)



Obrázek 15 I.v. aplikace radiofarmaka (autor)

Když je radiofarmakum aplikováno, zavezeme pacienta zpět mezi detektory a spustíme snímání perfuze plic. Pacient stále nehybně leží na zádech s rukama za hlavou. Snímání, během kterého je opět provedeno šest projekcí trvá 4 minuty.



Obrázek 16 Snímání gama kamerou, pravá zadní šikmá a levá před.í š. projekce (autor)

Po skončení snímání zapíšeme pacienta do provozního deníku gama kamery, kde vyplníme datum, jméno pacienta, indikujícího lékaře, druh vyšetření a osoba provádějící vyšetření se zde podepíše a dá razítko.

Pacienta vyvezeme z přístroje ven, obleče se a může odejít. Ještě jednou mu připomeneme, aby měl dostatečný příjem tekutin, a že je během následujících šesti hodin zdrojem ionizujícího záření, tak aby se vyhýbal kontaktu s dětmi a těhotnými ženami.

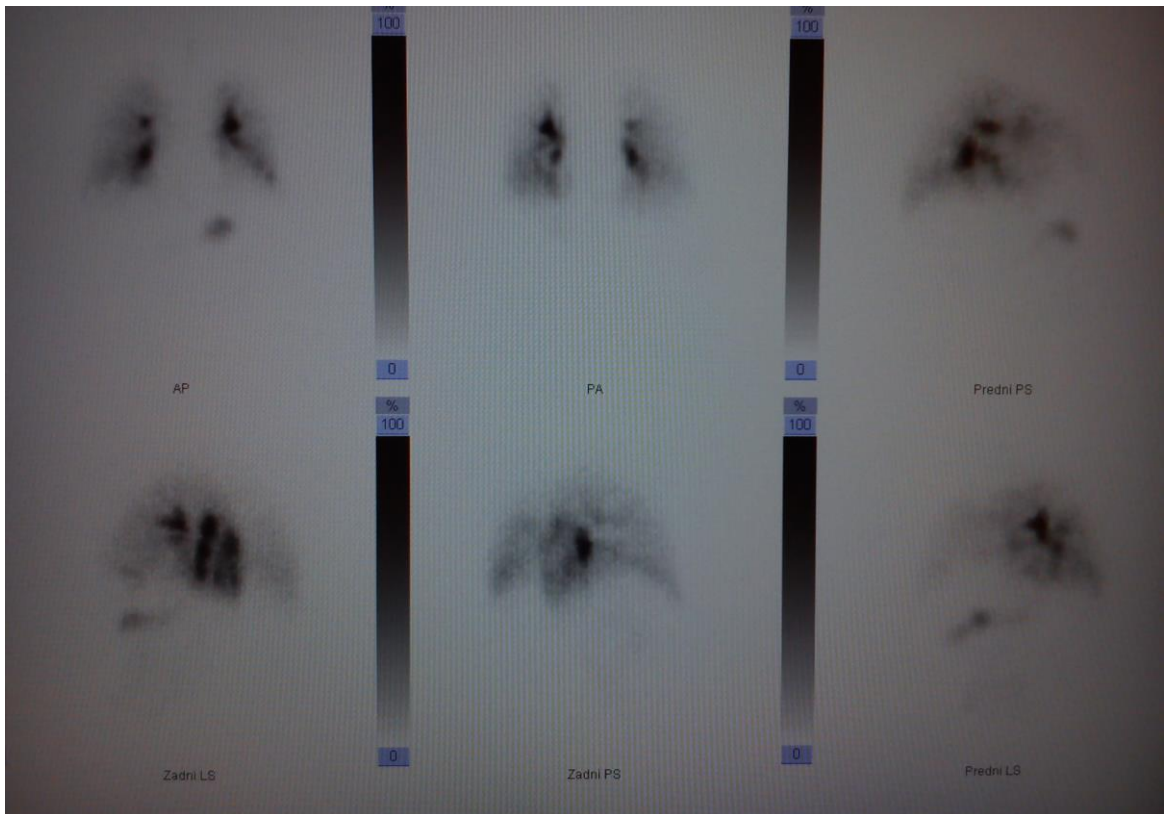
Během snímání pacienta je radiologický asistent v ovladovně a přes okno pacienta kontroluje. Před ionizujícím zářením, které vychází z těla pacientů, se chráníme hlavně časem a vzdáleností (v kontaktu s pacienty jsme co nejkratší dobu a pokud je to možné, držíme se od nich dále).

3.3. Výsledky vyšetření

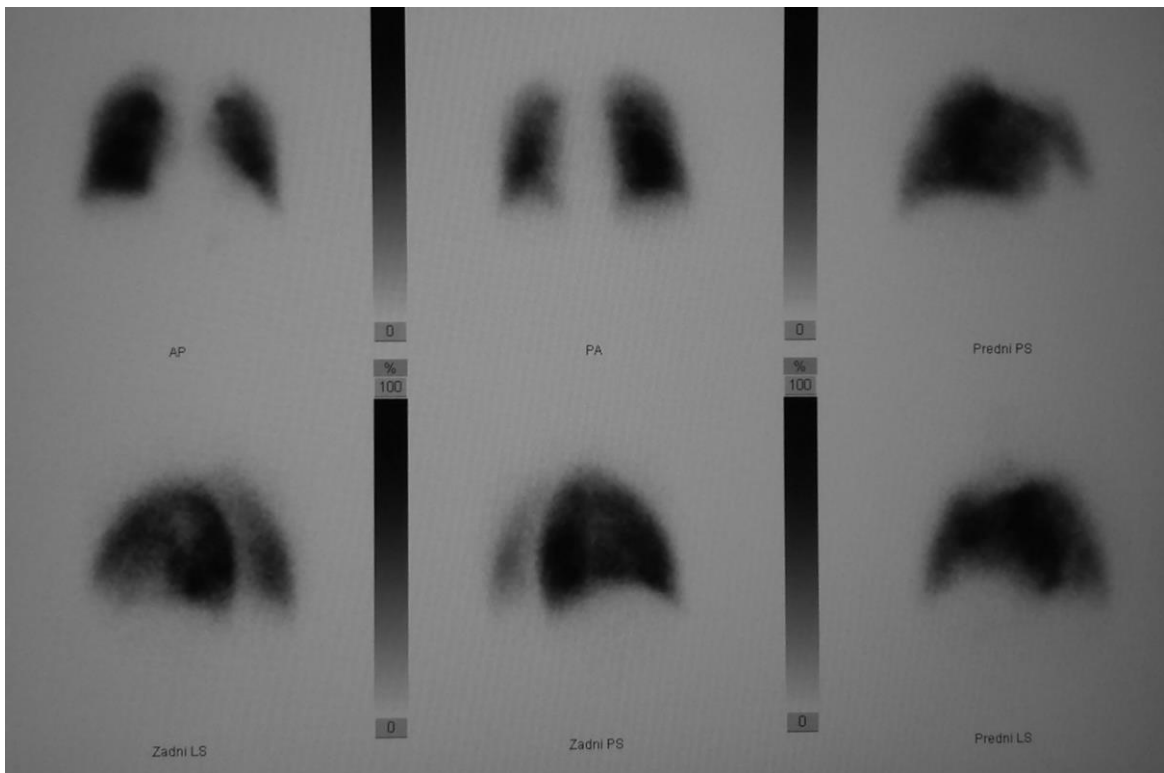
Během radionuklidového vyšetření plic nám vznikne celkem dvanáct snímků plic, šest snímků z ventilační scintigrafie a šest snímků z perfuzní scintigrafie. U obou scintigrafií to jsou snímky pření, zadní, přední šikmé pravé, pření šikmé levé, zadní šikmé pravé a zadní šikmé levé.

Po skončení vyšetření si snímky prohlédneme, abychom se ujistili, zda byl správně zachycen celý orgán. Nakonec snímky uložíme a odešleme lékaři, který je vyhodnotí.

Při tomto vyšetření bylo na ventilačním i perfuzním scintigramu homogenní rozložení radiofarmaka v obou plicích. Byla prokázána nepřítomnost embolie, neporušenost prokrvení plic a normální plicní ventilace.



Obrázek 17 Výsledek vyšetření plicní ventilace (autor)



Obrázek 18 Výsledek vyšetření plicní perfuze (autor)

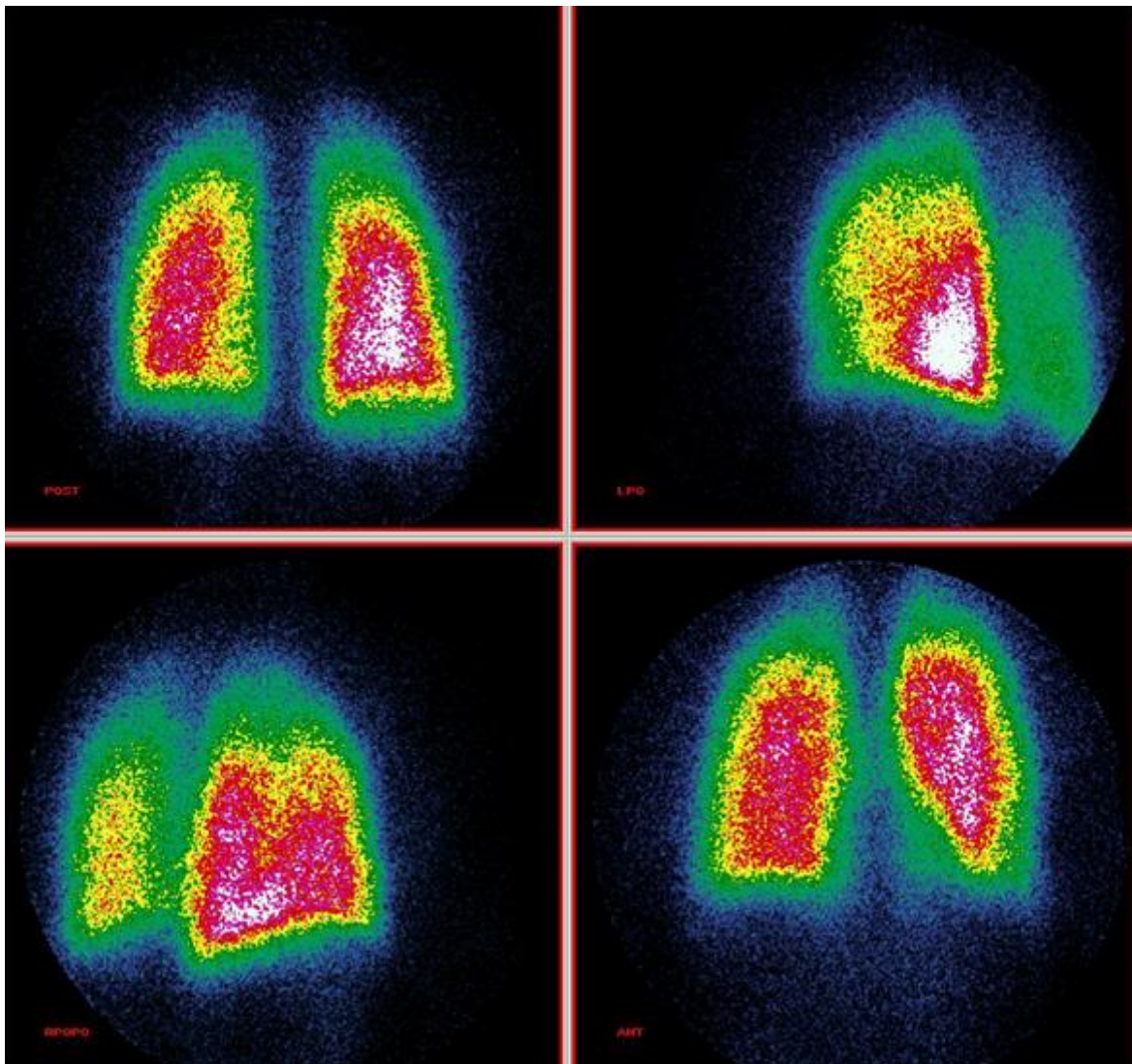
3.4. Nález na scintigramech plic

Na normálním scintigramu se perfuze i ventilace zobrazuje jako homogenní rozložení radiofarmaka v obou plicích bez fotopenických ložisek.

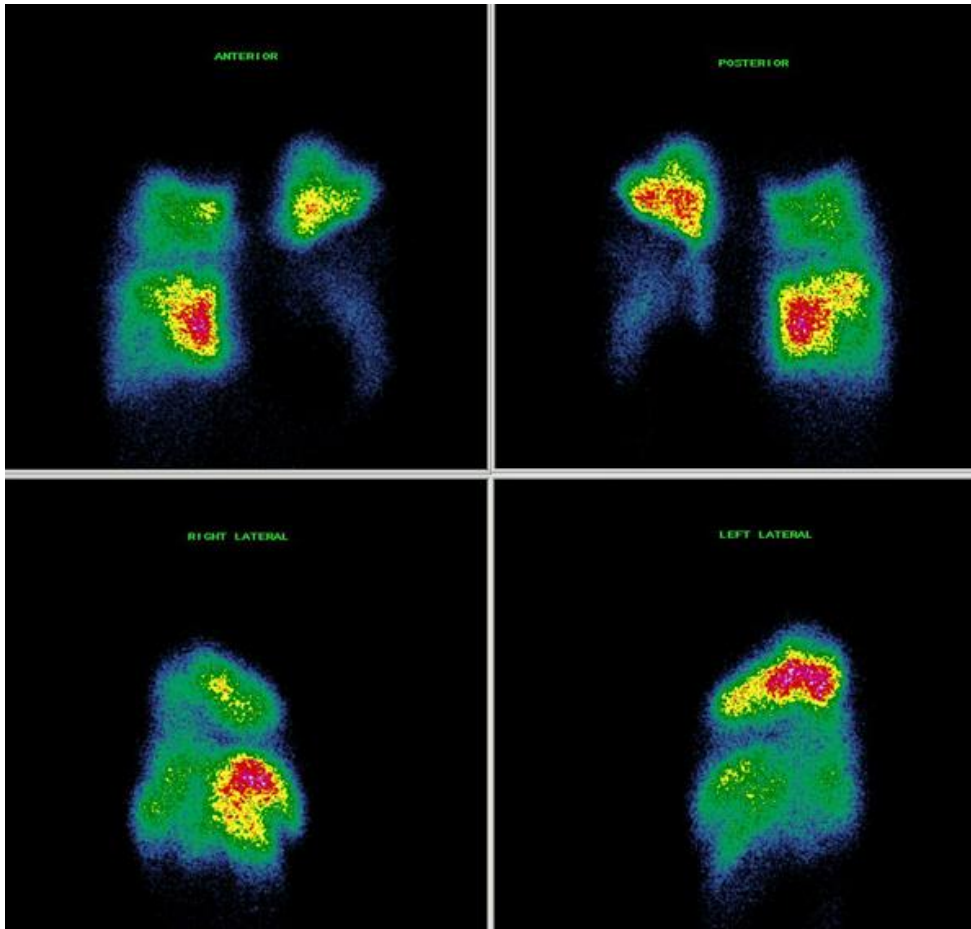
Při plicní embolii je typická přítomnost fotopenických ložisek na perfuzním scintigramu, ale normální ventilace na ventilačním scintigramu.

Fotopenická ložiska na obou scintigramech jsou typická pro chronickou obstrukční chorobu bronchopulmonální.

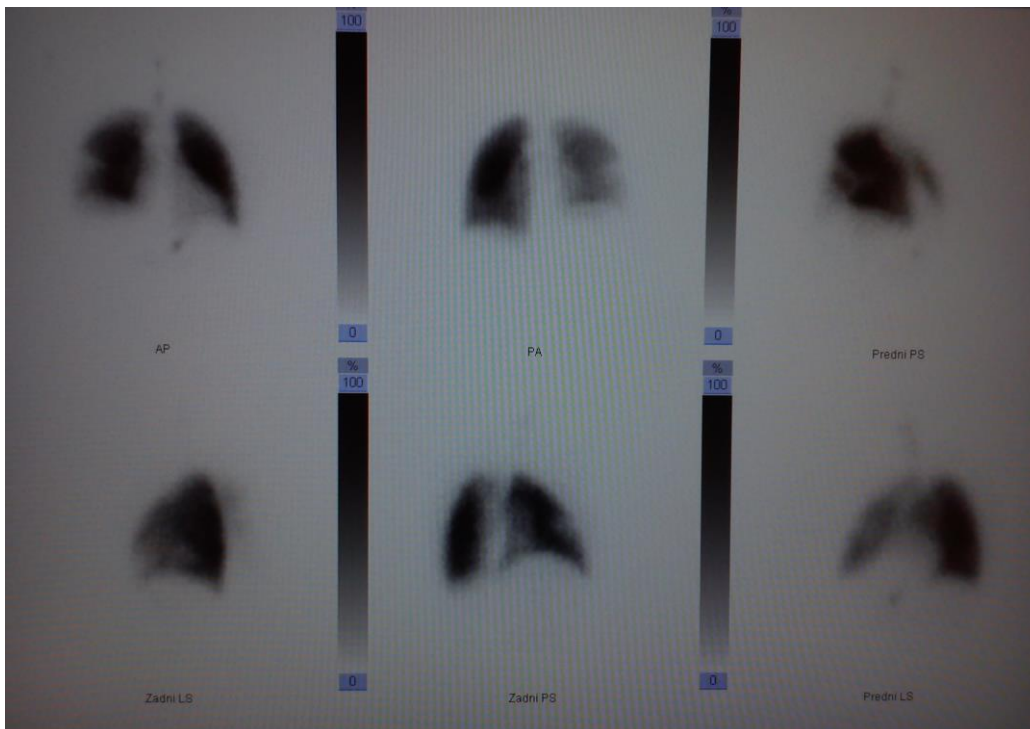
U zánětlivých procesů vyšetřovaných pomocí Ga-citrátu se zánětlivá ložiska zobrazují jako místa zvýšené akumulace radiofarmaka.



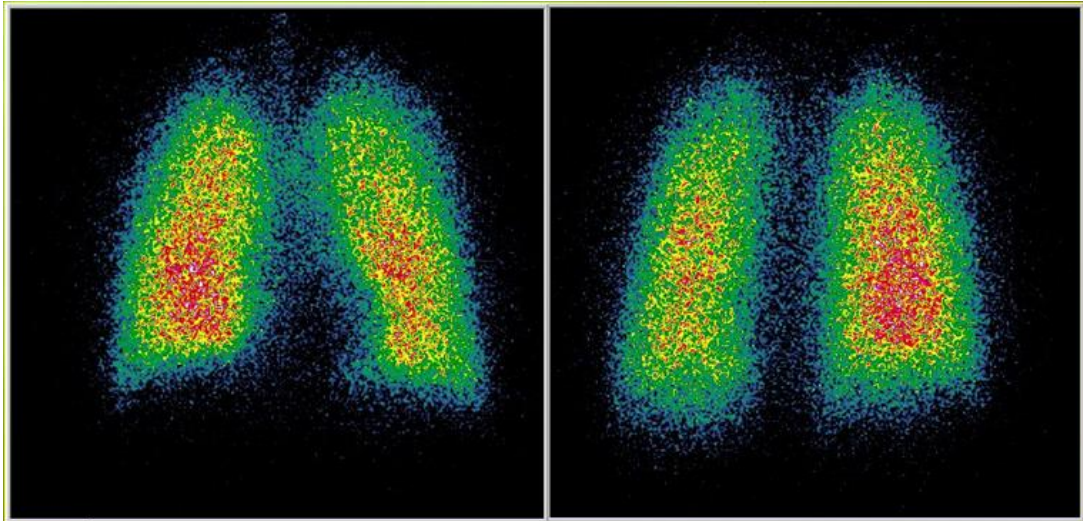
Obrázek 19 Perfuzní scintigrafie plic, normální nález (Doležal)



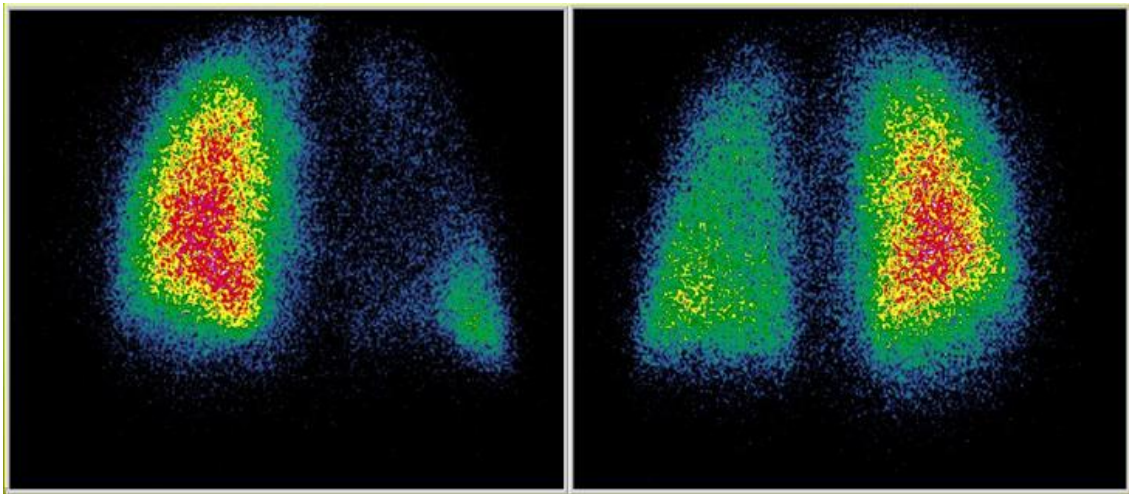
Obrázek 20 Perfuzní scintigrafie plic, plicní embolie (Doležal)



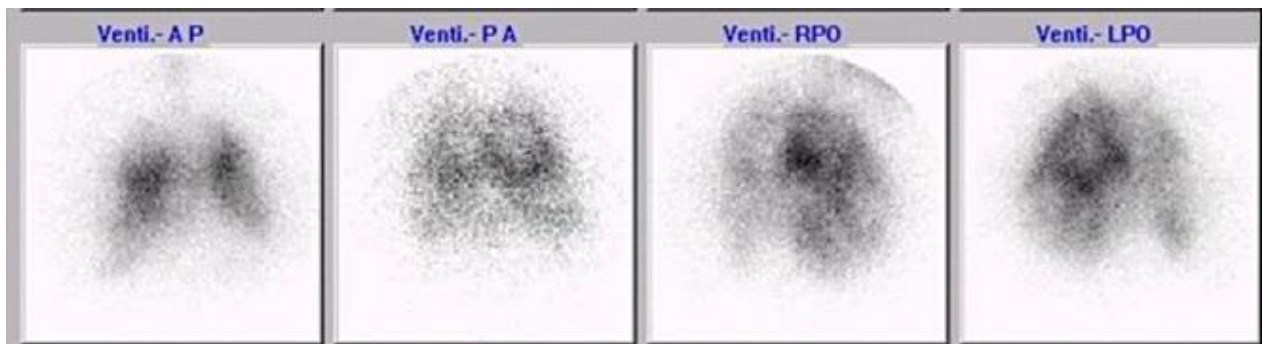
Obrázek 21 Perfuzní scintigrafie plic, plicní embolie (autor)



Obrázek 22 Ventilační scintigram plic, normální nález (Doležal)

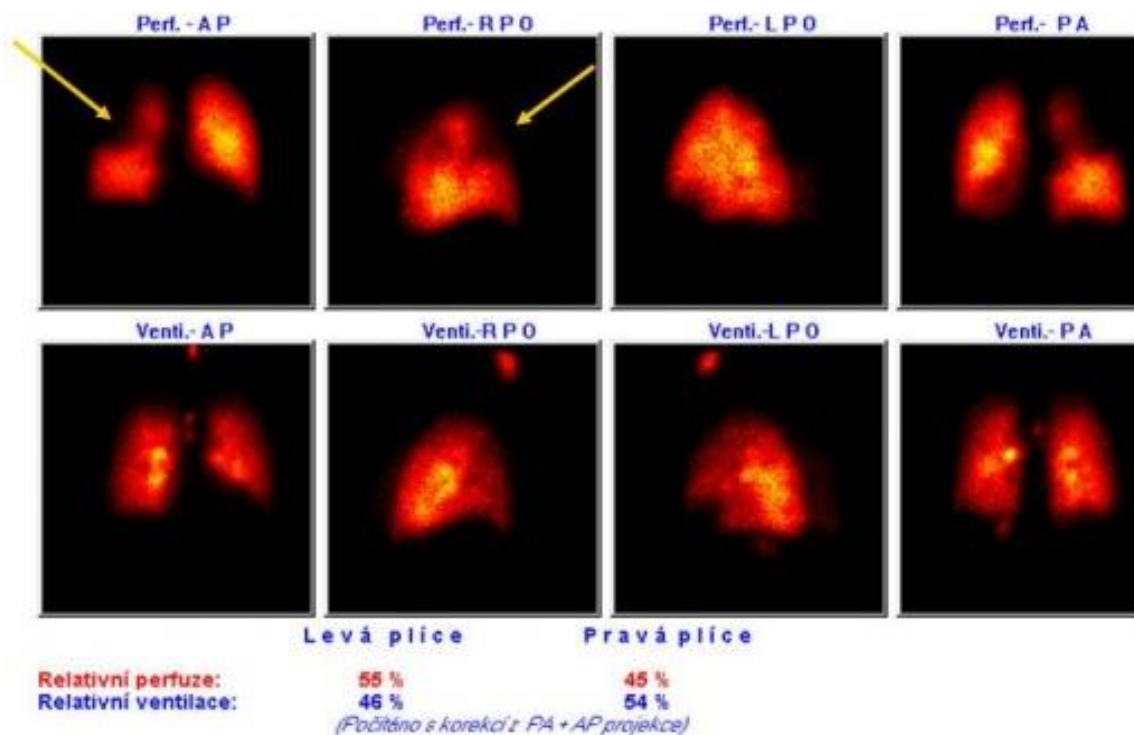


Obrázek 23 Ventilační scintigram plic, hypoventilace l. plíce, obstrukce bronchů karcinomem (Doležal)



Obrázek 24 Ventilační scintigram plic, porucha ventilace (akut. bronchitida) (www.kcsolid.cz)

Počítačové zpracování statické scintigrafie perfuze + ventilace plic



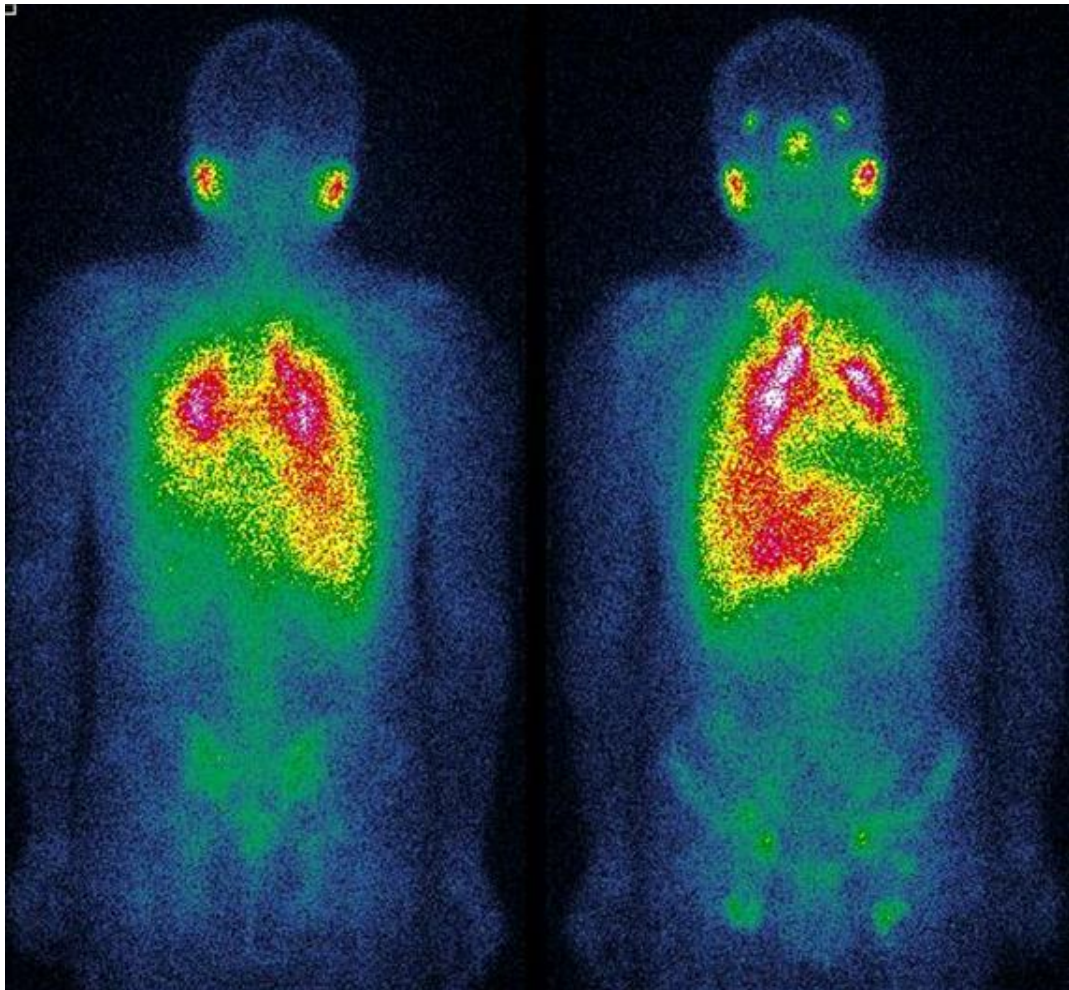
Scintigrafie plic - masivní embolizace do pravé plíce

horní řada:obrazy perfúze (prokrvení) plicní tkáně

dolní řada:obrazy ventilace (provzdušnění) plicní tkáně

Akumulace perfúzní vyšetřovací látky je výrazně omezená v horním laloku pravé plíce, ventilace je tu normální.

Obrázek 25 Perfúzní scintigrafie plic, embolizace v pravé plíci (www.nemjil.cz)



Obrázek 26 Celotělová scintigrafie s ^{67}Ga -citrát, sarkoidóza plic (Doležal)

4. Diskuze

Radiologický asistent pracuje v oboru, využívající techniku, která se postupem času stále mění a zdokonaluje. Vyššími nároky na ovládání moderní přístrojové techniky a čím dále častější prací s počítači se mění i náplň práce radiologických asistentů. Kvůli rychlému technickému pokroku jsou některé informace a vědomosti získané během studia používány jen dočasně, a proto je nutné stálé vzdělávání v oboru. Vzdělání radiologických asistentů je v této době zajištěno pomocí tříletého bakalářského studia na vysokých školách. Postupnými legislativními změnami se vzdělání radiologických asistentů posunulo z původně středních škol, přes vyšší odborné až na vysokoškolské.

Práce radiologického asistenta nezahrnuje jen práci s přístrojovou technikou, ale především práci s pacienty. Na radiologických pracovištích se setkává se všemi skupinami lidí, s dospělými, s dětmi, se seniory, s lidmi se sluchovými a zrakovými vadami, s postiženými a také s vážně, či smrtelně nemocnými lidmi. Zejména na radiodiagnostickém oddělení se radiologický asistent setkává s lidmi po úrazech, kteří bývají často v šoku, nebo také s lidmi, kteří jsou pod vlivem alkoholu. Proto radiologický asistent musí kromě znalostí ovládání přístrojů také výborně zvládat zacházení s pacienty, dobře komunikovat a umět se přiměřeně vcítit do situace pacientů.

I přes stálé technické pokroky v diagnostice jako je počítačová tomografie, nebo zobrazování bez radiační zátěže, pomocí ultrazvuku či magnetické rezonance, je scintigrafie ve vyšetření plic stále velmi důležitá. Vedle CT-angiografie je ventilačně-perfuzní sken důležitou metodou v průkazu plicní embolie. Vdechováním radioaktivních plynů nebo aerosolů se na scintigramech zobrazí průchodnost dolních dýchacích cest a intravenózní aplikací radiofarmaka se zobrazí kapilární prokrvení plic. Plicní embolie je charakteristická výpadkem plicní perfuze při zachované ventilaci.

V praxi jsem se často setkala s obavami pacientů z tohoto vyšetření, především z vpravení radioaktivní látky do krevního oběhu. Proto je nutné všechny pacienty poučit a vše jim dobře a srozumitelně vysvětlit. Radiační zátěž při vyšetření plic v nukleární medicíně není příliš vysoká, ale pacienti by měli vědět, že si radiační zátěž často zvyšují sami, když jsou v bližším kontaktu s ostatními naaplikovanými pacienty v čekárně, nebo když dostatečně nepijí a radiofarmaka vylučující se z těla močí se odstraňují pomaleji, zůstávají v těle déle a vyšší koncentrací v moči zatěžují ledviny a močový měchýř.

5. Závěr

Úkolem mé bakalářské práce bylo popsat činnosti radiologického asistenta při scintigrafickém vyšetření plic. Práci jsem rozdělila na teoretickou část a praktickou část. V teoretické části popisuji nukleární medicínu, radiologického asistenta, radiační ochranu, stavbu a funkci plic a scintigrafická vyšetření plic a přístrojovou techniku. Tyto informace jsem čerpala z odborné literatury a znalostí z přednášek od vyučujících.

V praktické části jsem popsala a zdokumentovala scintigrafické vyšetření plic a úlohu radiologického asistenta při tomto vyšetření. Scintigrafické vyšetření plic je prováděno hlavně k prokázání plicní embolie a patří k častým a běžně prováděným vyšetřením na odděleních nukleární medicíny. U tohoto vyšetření není vyžadována žádná speciální příprava předem, a proto se provádí i jako statimové (neodkladné) vyšetření bez objednání pacienta, s čímž jsem se během praxe také setkala.

Vyšetření, které v mé práci popisuji, bylo prováděno na oddělení nukleární medicíny v Masarykově městské nemocnici v Jilemnici. Scintigrafii plic, ventilační i perfuzní, jsem prováděla s pomocí zkušeného radiologického asistenta. Na závěr bych chtěla poděkovat pracovníkům nukleární medicíny MMN Jilemnice za ochotu a poskytnuté informace a budu ráda, když má práce poslouží jako dobrý zdroj informací pro další studenty v oboru radiologický asistent.

6. Seznam použité literatury

1. BLAŽEK, Oskar et al. Radiologie a nukleární medicína. Praha: Avicenum, 1989.
2. ČIHÁK, Radomír. Anatomie 1. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2001, 516 s. ISBN 80-7169-970-5
3. DIENSBIER, Zdeněk a Jindřich BROUSIL. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988, 217 s.
4. DYLEVSKÝ, Ivan. Funkční anatomie. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 532 s. ISBN 978-80-247-3240-4
5. HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138s. ISBN 978-80-244-2350-0.
6. KLENER, Vladislav a kol. Principy a praxe radiační ochrany. Praha: Azin CZ, 2000. 615 s. ISBN 80-238-3703-6
7. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: P3K, 2007, 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2
8. LANG, Otto. Nukleární medicína 1. Základní znalosti. 1.vyd. Praha: Univerzita Karlova, 1998, ISBN 80-7184-721-6.
9. MERKUNOVÁ, Alena a Miroslav OREL. Anatomie a fyziologie člověka. 1.vyd. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-1521-6
10. MÍKOVÁ, Vlasta. Nukleární medicína – průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicíny, Galén, 2008, 118 s. ISBN 978-80-7262-533-8
11. MYSLIVEČEK, Miroslav, Milan Kamínek, Pavel Koranda, Václav Hušák. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc, 2007, 131 s. ISBN 978-80-244-1723-3

12. NAŇKA, Ondřej, Miloslava Elišková. Přehled anatomie. 2. vyd. Praha: Galén: Karolinum, 2009, 416 s. ISBN 978-80-246-1717-6
13. SPOLEČNOST RADIOLOGICKÝCH ASISTENTŮ ČR. Praktická radiologie, č.1/2009. ISSN 1211-5053
14. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST, Radiační ochrana, NUKLIN, 1999, 33 s. ISBN 80-7073-076-5

Internetové zdroje:

1. ČESKO. Vyhláška č. 307 ze dne 13. června 2002 Vyhláška o radiační ochraně. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307_po_novele.pdf
2. DOLEŽAL, Jiří. Plíce [online]. 2012, 16. 10. 2012 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/moje-studium/materialy.html>
3. ULLMAN, Vojtěch. Jaderná a radiační fyzika: Radioaktivita. AstroNuklFyzika [online].[cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>
4. Věstník MZČR. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, roč. 2011, číslo 9. [online] [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: http://www.mzcr.cz/Legislativa/Soubor.ashx?souborID=12893&typ=application/pdf&nazev=ZDRAVOTNICTVI_09-11.pdf