

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Karina Vacková

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií

Úloha radiologického asistenta při perfuzně-ventilační plicní scintigrafii

Karina Vacková

Bakalářská práce

2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karina Vacková**  
Osobní číslo: **Z15114**  
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**  
Studijní obor: **Radiologický asistent**  
Název tématu: **Úloha radiologického asistenta při perfuzně-ventilační plicní scintigrafii**  
Zadávací katedra: **Katedra informatiky, managementu a radiologie**

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

1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**

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

Seznam odborné literatury:

1. KUGE, Yuji. Perspectives on nuclear medicine for molecular diagnosis and integrated therapy. New York, Springer Berlin Heidelberg, 2016. ISBN 978-4-431-55892-7.
2. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 6. vydání. Praha: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-54-8.
3. SLABÝ, Ondřej. Molekulární medicína. Praha: Galén, 2015. ISBN 978-80-7492-121-6.
4. VLČEK, Petr. Praktická cvičení z nukleární medicíny. Praha: Karolinum, 2010. ISBN 978-80-246-1819-7.

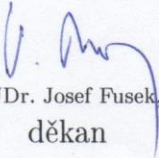
Vedoucí bakalářské práce:

**MUDr. Irena Vyhnánková**

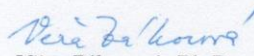
Katedra informatiky, managementu a radiologie

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2018**

  
prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.  
děkan

L.S.

  
Věra Záhorová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2018

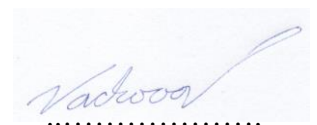
## PROHLÁŠENÍ AUTORA

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

Byl/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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 23. 4. 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Vacková', is written over a horizontal dotted line.

Karina Vacková

## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěla bych poděkovat MUDr. Ireně Vyhnánkové, za poskytnutí cenných rad, ochotu a trpělivý přístup během zpracování bakalářské práce. Dále děkuji zaměstnancům nukleární medicíny Chrudimské nemocnice, NPK s.r.o. za pomoc při sběru informací do praktické části mé práce.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce se zabývá úlohou radiologického asistenta při perfuzně-ventilační scintigrafii plic. Práce je rozdělena na dvě části – teoretickou a praktickou část. Teoretická část obsahuje informace o radiofarmakách využívaných při scintigrafickém vyšetření plic, přístrojovém vybavení, perfuzní scintigrafii, ventilační scintigrafii, klinických aspektech, radiační zátěži a radiační ochraně. Praktická část se zabývá popisem průběhu samotného vyšetření na oddělení nukleární medicíny.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Radiologický asistent, plíce, perfuzně-ventilační scintigrafie plic

## **TITLE**

The role of radiology assistant during perfusion-ventilation scintigraphy of the lung

## **ANNOTATION**

This bachelor thesis deals with the role of the radiological assistant in perfusion-ventilation scintigraphy of lungs. The thesis is divided into two parts - theoretical and practical. The theoretical part contains information about the radiopharmaceuticals used in the lung examination, instrumentation used in this examination, perfusion scintigraphy, ventilation scintigraphy, clinical aspects, radiation dosimetry and radiation protection. The practical part consists of a description of the process of the examination in the Department of Nuclear Medicine.

## **KEYWORDS**

Radiology assistant, lungs, perfusion-ventilation scintigraphy



## OBSAH

0	Úvod.....	14
1	Cíle práce .....	15
2	Teoretická část .....	16
2.1	Radiofarmaka .....	16
2.1.1	$^{99m}\text{Tc}$ -MAA .....	17
2.1.2	$^{81m}\text{Kr}$ .....	17
2.1.3	$^{99m}\text{Tc}$ značené aerosoly .....	17
2.2	Přístrojové vybavení.....	18
2.2.1	Planární gamakamera.....	18
2.2.2	Dvouhlavá gamakamera s možností SPECT .....	21
2.3	Scintigrafické vyšetření plic.....	23
2.3.1	Perfuzní scintigrafie plic .....	23
2.3.2	Ventilační scintigrafie plic .....	25
2.4	Klinické aspekty.....	26
2.4.1	Vaskulární plicní nemoci.....	27
2.4.2	Plicní konsolidace .....	28
2.4.3	Obstrukční onemocnění .....	28
2.4.4	Restrikční procesy.....	28
2.4.5	Pleurální výpotek .....	28
2.4.6	Bronchogenní karcinom.....	29
2.5	Biologické účinky ionizujícího záření .....	29
2.5.1	Deterministické účinky .....	29
2.5.2	Stochastické účinky .....	31
2.6	Radiační ochrana v nukleární medicíně .....	32
2.6.1	Obecné zásady radiační ochrany.....	33

2.6.2	Radiační ochrana pracovníků.....	34
2.6.3	Monitorování .....	34
2.6.4	Radiační ochrana pacienta .....	35
2.7	Radiační zátěž .....	36
3	Praktická část .....	37
3.1.1	Povinnosti RA na oddělení nukleární medicíny .....	37
3.1.2	Objednání pacienta .....	38
3.1.3	Příjem a příprava pacienta .....	39
3.1.4	Příprava radiofarmaka.....	40
3.1.5	Příprava kryptonového generátoru.....	41
3.1.6	Vlastní vyšetření .....	42
3.1.7	Zdroje obrazových chyb při vyšetření .....	48
3.1.8	Výsledky vyšetření .....	48
3.1.9	Nálezy na scintigramu .....	49
4	Diskuze .....	51
5	Závěr .....	53
6	Použitá literatura .....	54
7	Přílohy.....	55

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Přístrojové vybavení.....	18
Obrázek 2 – Schéma fotonásobiče.....	21
Obrázek 3 – Princip SPECT .....	22
Obrázek 4 – Scintigrafický přístroj.....	37
Obrázek 5 – Injekční stříkačka s radiofarmakem .....	40
Obrázek 6 – Generátor v ochranném obalu .....	41
Obrázek 7 – Hermetická plechovka s generátorem .....	41
Obrázek 8 – Kontejner s generátorem, Obrázek 9 – Aplikační jednotka.....	42
Obrázek 12 – Vyšetřovací protokol – nastavení parametrů pro vyšetření.....	43
Obrázek 13 – Vyšetřovací protokol – projekce .....	43
Obrázek 14 – Vyšetřovací protokol .....	44
Obrázek 15 – Dýchací náustek .....	45
Obrázek 16 – Dýchací maska .....	45
Obrázek 17 – Uložení pacienta při P/V scintigrafii plic .....	46
Obrázek 18 – Perfuzní a ventilační scintigrafie plic.....	48
Obrázek 19 – V/P scintigrafie plic – normální nález.....	49
Obrázek 20 – V/P scintigrafie plic – CHOPN .....	49
Obrázek 21 – V/P scintigrafie plic – plicní embolizace .....	50

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Radiační zátěž perfuzní scintigrafie.....	25
Tabulka 2 – Radiační zátěž ventilační scintigrafie .....	26
Tabulka 3 – Hodnoty limitů pro jednotlivé skupiny.....	33
Tabulka 4 – Průměrné hodnoty rizika stochastických účinků .....	36

## SEZNAM ZKRATEK

P/V	perfuzně-ventilační
MAA	makroagregát albuminu
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	krypton
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	technecium
SPECT	jednofotonová emisní tomografie
SOP	standardní operační postupy
DRÚ	diagnostická referenční úroveň
ALARA	akronym z angl. as low as reasonably achievable
RA	radiologický asistent
RF	radiofarmakum
GM počítač	Geiger-Müllerův počítač
CHOPN	Chronická obstrukční plicní nemoc

## 0 ÚVOD

Tématem mé bakalářské práce je úloha radiologického asistenta při perfuzně-ventilační plicní scintigrafii. Jedná se o jedno z často prováděných vyšetření na oddělení nukleární medicíny. Zvolené téma jsem si vybrala proto, že mě zaujalo a chtěla jsem se o dané problematice dozvědět více informací.

K rozvoji radioizotopových vyšetřovacích metod přispěl objev Antoina Henri Becquerela, který v roce 1896 popsal radioaktivitu. Dále se počátkem 20. století podrobným zkoumáním radioaktivity a radioaktivních prvků zabývali manželé Pierre a Marie Curieovi. Teprve až v 50. letech 20. století se radionuklidové vyšetřovací metody začaly uplatňovat v lékařství.

Perfuzně-ventilační scintigrafie plic je radionuklidové vyšetření, které zobrazuje distribuci plicní perfuse (perfuzní sken) a distribuci aerosolu v plicích (ventilační sken). Jedná se o neinvazivní vyšetření prováděné na oddělení nukleární medicíny. Perfuzní sken ukáže místa, která jsou normálně zásobena krví, čímž poukáže na odchylky od běžného zásobení. Ventilační sken zobrazí distribuci vdechovaného plynu či aerosolu v plicích. Porovnáním obrazů obou vyšetření můžeme vyloučit či potvrdit diagnózu plicní embolie. Při vyšetření se aplikují otevřené gama zářiče. Pro zobrazení radiofarmaka jsou používány přístroje, které mají schopnost podanou radioaktivní látku v těle zobrazit. Na provedení obou vyšetření se významnou měrou podílí radiologický asistent.

Má bakalářská práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část obsahuje informace o radiofarmakách, které se využívají při perfuzně-ventilační scintigrafii plic. Zmíněny jsou zde hlavně  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA,  $^{81m}\text{Kr}$  a  $^{99m}\text{Tc}$  značené aerosoly. Následující kapitola popisuje konstrukci a funkci planární gamakamery a dvouhlavé gamakamery s možností SPECT. Dále uvádím informace o perfuzní a ventilační scintigrafii plic. V předposledních dvou kapitolách popisují klinické aspekty a biologické účinky záření. Na závěr je zmíněna radiační ochrana a radiační zátěž. V praktické části popisují úlohu radiologického asistenta při perfuzně-ventilační plicní scintigrafii a postup vyšetření.

# 1 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem mé bakalářské práce je popsat činnost radiologického asistenta při perfuzně-ventilačním scintigrafickém vyšetření plic na základě literatury a vlastních zkušeností získaných během praxe.

Dílčím cílem práce je porovnat radiologické standardy z absolvované praxe s národními radiologickými standardy.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Radiofarmaka

Aby bylo vůbec možné pomocí scintigrafie něco diagnosticky zobrazit, je zapotřebí vpravit do organismu radioaktivní látku či radiofarmakum, jejíž distribuce v různých tkáních a orgánech je poté zobrazena. Využívá se indikátorového principu, jehož podstatou je stejné chemické chování stabilních a radioaktivních nuklidů chemických prvků. Jejich atomy mají stejné elektronové obaly, ale liší se složením a fyzikálními vlastnostmi jádra. Radioaktivní nuklidy v průběhu radioaktivních reakcí emitují záření, díky němuž se stávají "viditelné", což umožňuje jejich sledování v systému pomocí detektorů ionizujícího záření nejen v laboratoři, ale také in vivo (KUPKA, 2015, s. 13–14; KRAFT, 2012, str. 7).

Radiofarmaka jsou speciální diagnostické či terapeutické přípravky, obsahující jeden nebo více radionuklidů, které jsou zdrojem záření. Molekula se skládá ze dvou částí – vazebné části a signální části. Vazebná část je tvořena chemickou sloučeninou, radiofarmakem, která je vázána na určité tkáňové nebo buněčné struktury. Signální část tvoří radionuklid, který se váže na vazebnou část molekuly, signalizuje její polohu a množství v určitém místě. Kromě chemických substancí můžeme pomocí radionuklidu značit i biologické látky, v praxi nejčastěji autologní krevní elementy (KUPKA, 2015, s. 13–14).

V diagnostice se pro lékařské účely využívají zářiče gama s krátkým fyzikálním poločasem rozpadu atomových jader prvku, z důvodu toho, aby radiační zátěž byla co nejnižší při zachování optimální kvality obrazu. Naopak v terapii jsou při aplikaci používány beta zářiče se snahou dosáhnout v cílové tkáni nejvyššího radiačního účinku. Dnes se většina radiofarmak na oddělení nukleární medicíny připravuje individuálně. Nejčastěji je ke značení používáno  $^{99m}\text{Tc}$ . Jedná se o čistý gama zářič s fyzikální poločasem přeměny 6 hodin, energií fotonů 140 keV a fyzikální charakteristikou záření vhodnou pro detekci na scintilačních kamerách. Metastabilní technecium je dceřiný radionuklid vznikající přeměnou mateřského radionuklidu molybdenu v generátoru, odkud jej získáváme vymýváním pomocí fyziologického roztoku (SEIDL, 2012, s. 341).

Radiofarmaka nejsou kontrastní látky. Mezi oběma skupinami je základní rozdíl. Radiofarmaka jsou zdrojem obrazového signálu, naopak kontrastní látky obrazový signál vytvořený rentgenovým zářením, magnetickou resonancí či ultrazvukem pouze modifikují. Radiofarmaka se nejčastěji aplikují přísně nitrožilně, inhalační nebo perorální cestou, ostatní cesty aplikace jsou méně časté. Aplikované množství se řídí podle váhy pacienta.



Radiofarmaka stačí podat malé množství a nemá žádné farmakodynamické účinky, na rozdíl od kontrastní látky, kterou je zapotřebí aplikovat ve větším množství, často způsobuje alergické reakce a působí toxicky. Radiofarmaka nemají žádné absolutní kontraindikace, ale mohou způsobit alergickou reakci při využití značených protilátek. Relativní kontraindikací je těhotenství a laktace (KUPKA, 2015, s. 13–14).

Veškerá individuální příprava radiofarmak podléhá přísným předpisům, nutností přípravy ve sterilní podmínkách v prostředí čistoty A v laminárním boxu a kontrolami kvality před vydáním přípravku k aplikaci (SEIDL, 2012, s. 341).

### **2.1.1 $^{99m}\text{Tc}$ -MAA**

Pro sledování cévního řečiště v plicích neboli perfuzní scintigrafii se využívají mikrosféry nebo makroagregáty  $^{99m}\text{Tc}$ -albuminu. Jedná se o suspenzi denaturovaného albuminu. Částice musí mít dostatečnou velikost od 10 do 50  $\mu\text{m}$  a počet částic by neměl přesáhnout 300 000 až 500 000. Optimální počet částic pro dospělého je 600 000, minimum je cca 75 000, novorozenci 30 000, děti do 8 let do 100 000 částic. Značené částice se podávají nitrožilně, vhodná je aplikace do žil na dorzu nohy, tak můžeme přímo sledovat i případný zdroj trombů (KUPKA, 2015, s. 58).

Po intravenózním podání se částice při svém prvním průchodu zaklíní v prekapilárách a kapilárách. Radiofarmakum nezpůsobuje zvýšení tlaku v plicích, protože je emobilizována přibližně každá desetitisící kapilára. Po několika hodinách se částice rozštěpí na menší fragmenty, které odejdou kapilárním řečištěm (KUPKA, 2015, s. 58).

### **2.1.2 $^{81m}\text{Kr}$**

Nejčastější radiofarmakum pro ventilační scintigrafii plic. Je to radioaktivní plyn s krátkým poločasem rozpadu 13,1 sekund, získávaný z  $^{81}\text{Rb}$  generátoru. Emituje záření gama o energii 190,4 keV. Výhodou tohoto plynu je možnost provést současně perfuzní a ventilační scintigrafii plic, neboť jejich fotony  $^{99m}\text{Tc}$  a  $^{81m}\text{Kr}$  mají různou energii. Podstatnou nevýhodou je krátký poločas mateřských radionuklidů a tím potřeba časté obnovy zdroje (generátoru). Způsobuje minimální zátěž pacienta a má absenci radioaktivního odpadu (KUPKA, 2015, s. 59).

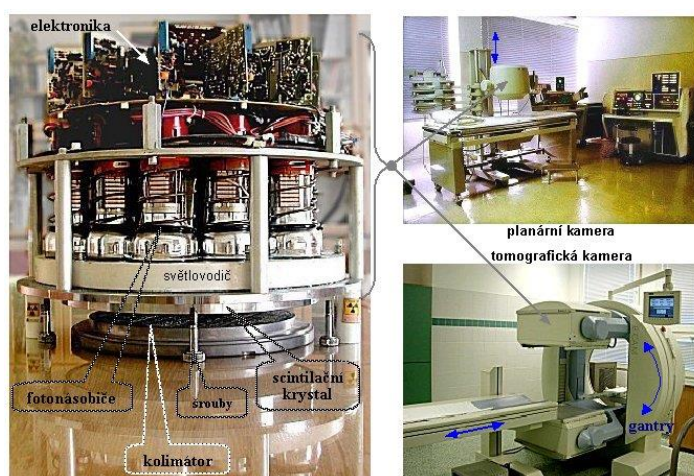
### **2.1.3 $^{99m}\text{Tc}$ značené aerosoly**

Radioaktivní aerosoly pevné a kapalné fáze značené  $^{99m}\text{Tc}$ . Dnes využívány podstatně méně. Jsou alternativou, pokud není k dispozici  $^{81m}\text{Kr}$ . Kapalné fáze značené  $^{99m}\text{Tc}$  se využívají

nejčastěji, vznikají z roztoku  $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA v tryskových nebo ultrazvukových nebulizátorech. Optimální velikost částic je 0,7–1,0  $\mu\text{m}$ . Nevýhodou těchto částic je nízká aktivita v plicích, která prodlužuje dobu snímání. Další velkou nevýhodou jsou arteficiální centrální depozice radioaktivních částic ve velkých bronších, zejména při zvýšené bronchiální rezistenci (KUPKA, 2015, s. 59).

## 2.2 Přístrojové vybavení

Gamakamera je základní zobrazovací přístroj v nukleární medicíně. Využívá se ke scintigrafii, a pokud je její součástí gantry pro SPECT. Scintigrafickým vyšetřením se rozumí zobrazování rozložení radioaktivní látky v těle (KUPKA, 2015, s. 27).



Obrázek 1 – Přístrojové vybavení (Ullmann, dostupné z <http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

### 2.2.1 Planární gamakamera

Gamakamera je velkoplošný obdélníkový nebo kruhový přístroj se scintilačním krystalem uvnitř, využívající scintigrafie. Slouží k detekci záření  $\gamma$  a jeho následnému zviditelnění na obrazovku osciloskopu. Nejdůležitější součástí gamakamery je detekční systém, který slouží k získání planárního obrazu. Detekční systém tvoří:

- *Kolimátor,*
- *Scintilační krystal,*
- *Fotonásobiče,*
- *Zpracující elektronika.*

(KUPKA, 2015, s. 27)

#### **Kolimátor**

Primární součást scintilační kamery, kterou jako první prochází  $\gamma$  záření. Kolimátor je olověná clona, o tloušťce několika milimetrů, s velkým množstvím malých otvorů. Otvory propouštějí

pouze fotony gama dopadající kolmo na detektor. Kolimátor pokrývá celé zorné pole detektoru a jeho úkolem je provést co nejdokonalejší projekci distribuce radioaktivity ve vyšetřovaném objektu pomocí záření  $\gamma$  do roviny velkoplošného scintilačního krystalu (KUPKA, 2015, s 27–28).

Kolimátory dělíme do několika skupin podle energie fotonů použitého radionuklidu a podle poměru mezi polohovou rozlišovací schopností. Nejčastěji se dnes využívá paralelní kolimátor, což je olovená deska s velkým množstvím paralelních otvorů kulatého nebo šestihranného tvaru. Přepážky mezi otvory se nazývají septa. Septa absorbují fotony, které letí z jiných směrů než s osou kolimátoru. Pro perfuzně-ventilační scintigrafii plic se využívá hlavně kolimátor pro  $^{99m}\text{Tc}$  s vysokým rozlišením (VLČEK, 2010, s 35).

Kolimátory mohou být poškozeny dvěma způsoby. První je mechanické poškození, které může být způsobeno při nešetrné manipulaci během výměny kolimátorů. Druhý typ poškození představuje zamoření radioaktivní látkou. Oba druhy poškození způsobují vnesení falešné pozitivy při hodnocení klinických snímků. Proto se na všech pracovištích nukleární medicíny pravidelně provádí kontrola kolimátorů (VLČEK, 2010, s 36).

### **Scintilační krystal**

Scintilační krystal je průhledná deska o tloušťce 1 mm vyrobená z jodidu sodného aktivovaného thaliem  $\text{NaI}(\text{Tl})$ . Aktivátor se v malém množství přidá do krystalu (cca 1–2 %), což způsobuje emisi fotonů při pokojové teplotě. Thallium současně funguje jako posunovač spektra. Vlnová délka čistého  $\text{NaI}$  je 310 nm, zatímco  $\text{NaI}(\text{Tl})$  má vlnovou délku 415 nm, kterou fotonásobič snadněji zpracuje (VLČEK, 2010, s. 36).

Zařízení se využívá pro detekci ionizujícího záření na základě excitace elektronu do vyššího energetického stavu záření, kdy návrat elektronu do základního stavu se projeví jako světelný záblesk. Při detekci se záření převede na viditelné světlo, které se registruje v podobě elektronického signálu. Nevýhodou těchto krystalů je, že jsou křehké a lehce prasknou. Další jejich zápornou vlastností je hygroskopičnost – absorbují vzdušnou vlhkost a rozpouštějí se. Rozpouštění způsobuje vznik barevných oblastí a zhoršuje detekční vlastnosti krystalu, které vedou k poškození krystalu. Musí být tedy bezpečně uzavřeny, většinou v hliníkovém pouzdře, aby se předešlo mechanickému poškození a vlivu světla či vlhka na jeho detekční vlastnosti (KUPKA, 2015, s. 28).

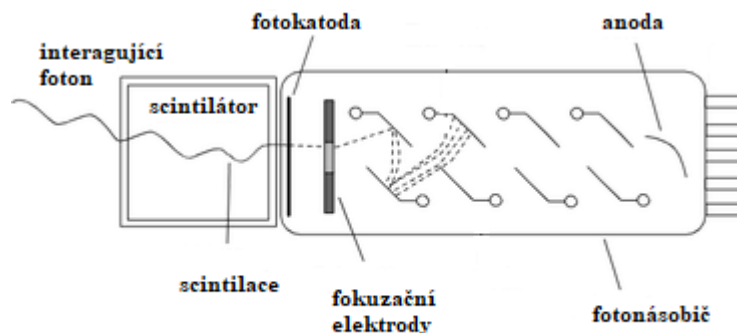
## **Fotonásobiče**

Jedná se o speciální evakuované skleněné trubice s fotokatodou a soustavou diod. Fotokatoda je tenká kovová vrstva o velikosti  $10^{-7}$  cm vyrobená z materiálu s nízkou výstupní prací elektronů pro fotoefekt. Nachází se na vnitřní straně vstupního okénka fotonásobiče. Nejčastěji mají fotonásobiče průměr 5 cm a jsou kruhového nebo šestiúhelníkového průřezu (VLČEK, 2010, s. 38).

Po celé ploše scintilačního krystalu se nachází 80–100 fotonásobičů, sloužící ke konverzi scintilačního světla na elektrický signál a k jeho zesílení pro lepší zpracování. Fotonásobiče jsou ke krystalu připevněny speciálním průhledným gelem – vlnovodem s indexem lomu přibližně stejným jako sklo. Vlnovod usnadňuje přestup světla ze záblesků v krystalu na fotokatodu násobiče a zabraňuje lomu světla na optických rozhraních. Světlovod zvyšuje účinnost sběru scintilačních fotonů. Světlo vytvořené v krystalu při scintilaci fotony gama se šíří všemi směry. Nejvíce světla zachytí fotonásobič, který je umístěn nad místem interakce fotonu s krystalem (KUPKA, 2015, s. 28–29).

Fotony při dopadu na fotokatodu interagují s elektrony materiálu fotokatomy, což způsobí vyzáření elektronů nad povrch katody. Tento děj nazýváme fotoelektrický jev. Následně jsou elektrony postupně urychlovány elektrickým napětím mezi elektrodami. Jakmile elektron dopadne na elektrodu způsobí emisi většího počtu elektronů, jejímž výsledkem je znásobení počtu elektronů, které jsou urychlovány směrem k další elektrodě. Po sérii zesílení proud elektronů dopadne na anodu fotonásobiče zhruba  $10^6$  elektronů, které vytvoří měřitelný napěťový impulz (VLČEK, 2010, s. 38).

Vyšetřovny gamakamer musí být klimatizovány z důvodu vysoké citlivosti fotonásobiče na okolní teplotu. Porucha fotonásobiče je jednou z nejčastějších z příčin zhoršení kvality výsledného obrazu (KUPKA, 2015, s. 28–29).



Obrázek 2 – Schéma fotonásobiče (Vlček a kol. 2010, s 38)

## Zpracující elektronika

Impulz vytvořený ve fotonásobiči je veden do elektronických obvodů. Obvody mají za úkol oddělit jednotlivé nasnímané interakce fotonů gama od sebe a vypočítat co nejpřesnější polohu dané události. Polohu události lze spočítat jako těžiště signálu s přesností na velikost pixelu matice obrazu. Dnes systémy s planárním zobrazením pracují s maticemi 256 x 256 obrazových prvků a polohovým rozlišením 7–12 mm. Získané impulzy jsou zesilovány v zesilovači. Energie fotonu udává velikost impulsu, proto se používají tzv. okna, pomocí nichž můžeme detekovat fotony o energii odpovídající přednastavenému intervalu. Výsledný obraz se vyhodnocuje vizuálně i kvantitativně (KUPKA, 2015, s. 29).

Polohové rozlišení závisí na typu kolimátoru, a také na vzdálenosti pacienta od detektoru. Proto je nutné nastavit detektor kamery co nejbližší k tělu pacienta (KUPKA, 2015, s. 29).

### 2.2.2 Dvuhlavá gamakamera s možností SPECT

SPECT kamera je konstruována jako dvuhlavý systém tvořený pohyblivým lůžkem a otočnými detektory. Základem aparatury je detekční hlava, která je stejná jako u planární gamakamery. Moderní tomografické kamery mají detektory se zornými poli obdélníkového tvaru o rozměrech 40–60 cm na délku a 30–40 cm na šířku. Tloušťka scintilačního krystalu je stejná jako u planárních gamakamer. Většina kolimátorů je také stejná, avšak existují i speciální kolimátory, např. typu fan-beam pro SPECT mozku (MYSLIVEČEK, 2000, s. 44).

Pomocí SPECT kamery kromě tomografie lze také snímat statické, dynamické nebo celotělové akvizice. Výhodou je vyšší citlivost přístroje díky většímu počtu detektorů, což umožňuje zkrátit dobu snímání. Tomografické zobrazení umožňuje lépe detekovat patologické procesy v tkáních, které není možné rozpoznat na planárních skenech, z důvodu

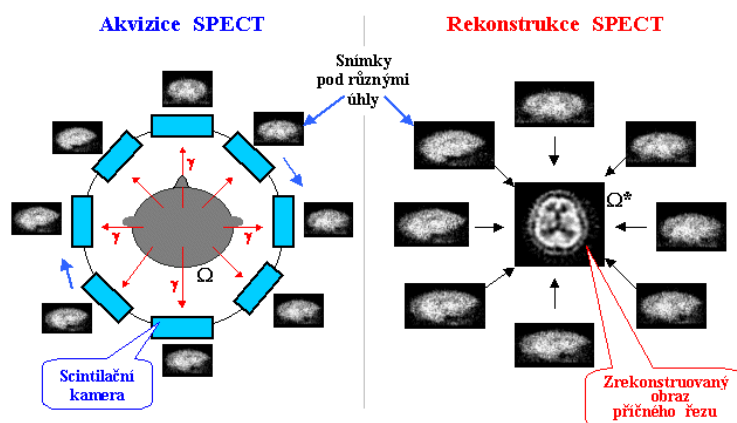
jejich „maskování“ aktivitou radiofarmaka nacházejícího se v neporušené tkáni nad a pod zájmovým ložiskem (Mysliveček, 2000, s. 44–47).

## SPECT

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie je jednou ze dvou základních metod v nukleární medicíně. Slovo „jednofotonová“ označuje, že se provádí pomocí zářičů gama, které se běžně používají pro planární zobrazení pomocí scintilační kamery jako je například  $^{99m}\text{Tc}$  nebo  $^{67}\text{Ga}$ . Slovo „emisní“ znamená, že se během vyšetření zaznamenává záření gama emitované radioaktivní látkou, která se nachází v těle pacienta (KUGE, 2015, s. 23).

### Princip

Při vyšetření se soustava detektorů otáčí kolem těla pacienta. Princip SPECT je založen na snímání velkého množství planárních projekcí z mnoha úhlů. Zaznamenává se 120 projekcí na rotaci  $360^\circ$ . Výsledné obrazy jsou uloženy do paměti počítače, kde se následně rekonstruuje trojrozměrný obraz distribuce radioaktivní látky ve vyšetřované oblasti. Z trojrozměrného obrazu lze získat pomocí filtrované zpětné projekce transaxiální řezy. Metoda filtrované zpětné projekce je ze všech rekonstrukčních postupů nejjednodušší, naopak od metody interaktivní rekonstrukce, která je výpočetně náročnější. Existují dva druhy zpětné projekce – jednoduchá a filtrovaná. Během jednoduché zpětné projekce jeden pixel každého obrazu obsahuje informaci, která je přenesena do všech pixelů v paměti počítače nacházející se v přímce kolmé k rovině detektoru. Výsledek je zobrazen jako hvězdičkovitý obraz léze, jehož lokalizace je správná, ale obraz je rozmazaný. Filtrovaná zpětná projekce se používá u současných SPECT aparatur nejčastěji, protože odstraní hvězdičkovitý artefakt, díky čemuž se obraz více přiblíží skutečnosti (KORANDA, 2014, s. 29–30).



Obrázek 3 – Princip SPECT (KUPKA, 2015, s. 32)

## 2.3 Scintigrafické vyšetření plic

Scintigrafie neboli zkráceně „scinti“ je jedním ze základních vyšetření v nukleární medicíně. Radionuklidová vyšetření respiračního traktu pomáhají především v hodnocení plicních funkcí a parametrů. Scintigrafie ukazuje průtok krve plicemi (perfuzní sken) a distribuci vzduchu v plicích (ventilační sken). K vyšetření respiračního traktu nedílně patří nukleární metody pro vyhledávání a sledování zánětlivých a maligních procesů v hrudníku. Metody scintigrafie plic lze rozdělit podle sledovaného parametru na (KUPKA, 2015, s. 58; FOGELMAN, 2014, s. 1075–1174):

- *vyšetření ventilace,*
- *vyšetření perfuze plicního řečiště,*
- *vyšetření permeability alveolokapilární membrány,*
- *vyhledávání nádorů a zánětů,*
- *vyšetření funkce řasinkového epitelu.*

(KUPKA, 2015, s. 58)

Hlavní funkcí plic je výměna plynů mezi vzduchem a krví. Transport kyslíku probíhá na základě čtyř mechanismů: ventilace plic, difuze plynů přes alveolokapilární membránu, perfuze plic a vhodného poměru mezi perfuzí a ventilací. Poskytují tedy také informace o rozložení plicní perfuze a ventilace (KUPKA, 2015, s. 58).

Vyšetření se používá v případě ověření funkce plic (ventilace a perfuze) a v případě podezření na plicní embolii. Pomocí této metody lze diagnostikovat aktivní zánětlivé procesy typu sarkoidózy a některých atypických pneumonií, které mohou být standartními postupy špatně diagnostikovatelné. Metoda může také napomáhat při diferenciální diagnostice maligní a benigních tumorů plic a při stážování maligních plicních tumorů (KORANDA, 2014, s. 84; FOGELMAN, 2014, s. 1075–1174).

### 2.3.1 Perfuzní scintigrafie plic

Při perfuzní scintigrafii plic se využívají dva druhy radiofarmak <sup>99m</sup>Tc-značený makroagregát albuminu nebo albuminové mikrosféry o aktivitě 200 MBq. Radiofarmakum je pacientovi podáno intravenózně do cévního řečiště a cíleně se zachytává v plicích. Snímání probíhá pomocí dvouhlavé scintilační kamery s možností SPECT. Vyšetření slouží k zobrazení perfundovaného plicního parenchymu. Po aplikaci dojde k embolizaci cca 0,1 % plicních kapilár rovnoměrně v obou plicích s výjimkou povodí za embolizovanou cévou. Tak lze

zobrazit defekt perfuze plic. Defektní perfuze však sama o sobě není specifická pro plicní embolii a může být způsobena i jinými příčinami. Při podezření na embolizaci plic je vhodné provést vyšetření co nejdříve (pokud možná ještě před nasazením antikoagulační léčby), později dochází k rekanalizaci a tím i zmenšování nálezu při scintigrafii. Vyšetření trvá cca 10–15 minut (KUPKA, 2015, s. 58; MÍKOVÁ, 2018).

## **Indikace**

Hlavní indikace:

- *Podezření na plicní embolizaci,*
- *Pomoc při rozlišení různých forem plicní hypertenze.*

Méně časté indikace:

- *Posouzení plicní funkce, například před transplantací;*
- *Prokázání pravo-levého zkratu u vrozených srdečních vad při plicní hypertenzi.*

(KUPKA, 2015, s. 59)

## **Kontraindikace**

Přecitlivělost pacienta na určitou složku radiofarmaka. Při diagnostice embolizace do plic absolutní kontraindikace pro toto vyšetření neexistují. Relativními kontraindikacemi jsou laktace a gravidita. V tomto případě se vyšetření provádí jen z vitální indikace, kdy aktivita aplikovaného radiofarmaka dosahuje minimálních hodnot. Při laktaci je nezbytné kojení dítěte přerušit po dobu 12 hodin (VLČEK, 2010, s. 88).

V případě pacienta s plicní hypertenzí, s těžkou poruchou plicní cirkulace, s pravolevým srdečním zkratem, nebo se status astmatics je nutná zvláštní opatrnost – při aplikaci redukovat počet MAA (VLČEK, 2010, s. 88).

## **Provedení**

Radiofarmakum se pacientovi aplikuje vleže. Během podání indikátoru pacient leží klidně a zhluboka dýchá. Vyšetření probíhá ve stoje nebo v sedě, z důvodu lepšího rozvinutí plic pro lepší zobrazení lézí. Vyšetřujeme ve 4-6 základních projekcích (zadní, přední, obě zadní šikmé a případně boční). Pokud je potřeba lze k zobrazení doplnit i SPECT pro lepší rozlišení subsegmentální léze, která nemusí být na planárním vyšetření viditelná (KUPKA, 2015, s. 58).



## Radiační zátěž pacienta

Tabulka 1 – Radiační zátěž perfuzní scintigrafie (vlastník ONM Chrudim)

Perfuzní scintigrafie plic <sup>99m</sup> Tc-MAA		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,066 plíce	0,011
Děti 5 let	0,2 plíce	0,034

### 2.3.2 Ventilační scintigrafie plic

Pro ventilační scintigrafii plic se využívají radiofarmaka, která lze rozdělit do dvou skupin – aerosoly a radioaktivní plyny. Z radioaktivních plynů je nejvíce využíván <sup>81m</sup>Kr a ze skupiny aerosolů se nejčastěji používá <sup>99m</sup>Tc-DTPA (diethylentriaminpentaoctové kyseliny). Příprava pacienta na vyšetření není nutná, klient musí být schopen spolupráce při ventilaci plynu. Pacient inhaluje radiofarmakum s velmi krátkým poločasem rozpadu přímo pod kamerou. Snímáme pomocí dvouhlavé gamakamery s konfiguracemi detektorů 180 stupňů. Vyšetření slouží k zobrazení ventilovaného plicního parenchymu. Většinou se provádí jako součást kombinované perfuzně-ventilační scintigrafie plic. Vyšetření trvá cca 10 minut (KORANDA., 2014, s. 84–85; MÍKOVÁ, 2018).

### Indikace

Hlavní indikace:

- *Součást diagnostiky embolizace plic do a. pulmonalis,*
- *Indikace příčiny perfuzních defektů.*

Méně časté indikace:

- *Posouzení rozsahu ventilovaného plicního parenchymu,*
- *Posouzení plicní funkce, například před transplantací*

(KUPKA, 2015, s. 59)

### Kontraindikace

Přecitlivělost pacienta na určitou složku radiofarmaka. Absolutní kontraindikace při diagnostice embolizace do plic neexistují. Relativní kontraindikací je gravidita a laktace.

U gravidity se vyšetření doporučuje jen z vitální indikace při minimalizaci aplikované radioaktivity radiofarmaka. U laktace je vhodné kojení přerušit po dobu 12 h, odsáté mléko se znehodnotí (VLČEK, 2010, s. 94).

### **Provedení statické ventilační scintigrafie plic – $^{81m}\text{Kr}$**

Pacient vleže inhaluje radioaktivní plyn z generátoru po celou dobu snímání. Vyšetřujeme ve 4-6 základních projekcích (zadní, přední, levá a pravá zadní šikmá, případně obě bočné). Vyšetření trvá několik minut. Výsledné obrazy jsou bez artefaktů, centrálních depozic nebo kontaminace radioaktivními slinami. Radiační zátěž pacienti i personálu je nízká. Vyšetření ventilace i perfuze se provádí v jedné pozici pacienta (KUPKA, 2015, s 59-60).

### **Provedení statické ventilační scintigrafie plic aerosolové**

Pacient v sedě inhaluje radioaktivní aerosol po dobu cca 5 min. Částice radiofarmaka sedimentují a ulpívají v plicních alveolách. Snímání obrazu distribuce v alveolární ventilace se provádí bezprostředně po ukončení inhalace ve 4-6 základních projekcích. Aerosolový sken je z velké části stejný jako sken pomocí  $^{81m}\text{Kr}$ , avšak dochází zde k manifestaci arteficiální aktivity, která utkvěla na sliznici velkých dýchacích cest, nebo pronikla do jícnu a žaludku, což může zhoršovat vyhodnocení nálezu (KUPKA, 2015, s 60).

Vyšetření pomocí aerosolů je sice snadno dostupné, avšak má hodně nevýhod, a proto se od něho postupně upouští, aerosol je nahrazen radioaktivním plynem (KUPKA, 2015, s 60).

### **Radiační zátěž pacienta**

**Tabulka 2** – Radiační zátěž ventilační scintigrafie (vlastník ONM Chrudim)

Ventilační scintigrafie plic $^{81m}\text{Kr}$		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,00021 plíce	0,000027
Děti do 5 let	0,00068 plíce	0,000088

## **2.4 Klinické aspekty**

Patologické procesy, které ovlivňují funkci plic, lze shrnout do několika hlavních skupin. Všechny tyto typy postižení jsou spojeny s narušením ventilace nebo perfuze, které lze scintigraficky objektivizovat (KUPKA, 2015, s. 61).

### **2.4.1 Vaskulární plicní nemoci**

Do této kategorie patří především plicní embolizace, nádorová cévní komprese a vaskulitida. Jsou to procesy, které nechávají alveoly strukturálně neporušené, proto je ventilace v místech cévního uzávěru zachovalá (KUPKA, 2015, s. 61).

#### **Plicní embolizace**

Podezření na plicní embolizaci do a. pulmonalis je nejčastější indikací perfuzně-ventilační plicní scintigrafie, a to zejména při přítomnosti rizikových faktorů (např. poúrazová embolizace, gravidita, pacienti dlouhodobě připoutaní na lůžko a další) a při zvýšené hodnotě D-dimerů v séru. V současné době je možné embolii do a. pulmonalis detekovat i pomocí CT plicní angiografie. Bylo prokázáno, že diagnostická přesnost obou metod je podobná. Scintigrafie ve srovnání s CT angiografií vykazuje vyšší senzitivitu při relativně nižší specifitě. Výhodou scintigrafie je především to, že se při vyšetření nepoužívají kontrastní látky. Předností scintigrafického vyšetření je i malá radiační zátěž prsních žláz u gravidních pacientek (KORANDA, 2014, s. 86–87).

Zdroji vmetků jsou nejčastěji hluboké žíly dolních končetin (46 %), pravá síň (23 %), dolní dutá žíla (19 %) a žíly pánevní (16 %). Toto onemocnění může být podle velikosti příčinou subsegmentálního, segmentálního nebo lobárního perfuzního defektu. U malých embolů bývají patrné periferní defekty, zatímco velké emboly kompletně blokují periferní perfuzi v několika segmentech, v laloku nebo v celé plíci. Perfuzní defekty jsou obvykle mnohočetné a oboustranné. Je nutno mít na zřeteli, že samotný nález perfuzního defektu není pro embolizaci zcela specifický. Perfuzní defekty mohou vznikat i v důsledku řady jiných primárně plicních onemocnění, protože hypoventilovaná část plíce je v důsledku „alveolokapilárního refluxu“ také hypoperfundovaná. Tento jev zabraňuje, aby plícemi protékala krev, aniž by byla okysličená (KUPKA, 2015, s. 61–62; SLABÝ, 2015).

Typickým nálezem při embolizaci do a. pulmonalis je perfuzní defekt segmentálního charakteru bez současné poruchy ventilace v oblasti perfuzního defektu (KORANDA, 2014, s. 86).

#### **Plicní hypertenze**

Nemocní s primární plicní hypertenzí mají většinou perfuzní sken bez charakteristických defektů, na rozdíl od pacientů se sekundární plicní hypertenzí, u kterých je možné pozorovat i vícečetné defekty perfuze (KUPKA, 2015, s. 62).

## **Vrozené srdeční vady**

Kongenitální srdeční vady spojené s pravolevými zkraty při plicní hypertenzi jsou hlavní příčinou průniku značeného makroagregát do mozku a ledvin. Při určení podílu aktivity nad plicemi a ostatními orgány je možné přibližně určit zkrat (KUPKA, 2015, s. 62).

V případě pravolevého srdečního zkratu obtéká část krve plicní řečiště. Dochází k tomu, že část makroagregátu obteče plíce a je vychytávána ve velkém oběhu, hlavně ve více prokrvených orgánech – v ledvinách a v mozku (KORANDA, 2014, s. 88).

### **2.4.2 Plicní konsolidace**

Toto onemocnění může být vyvolané plicní insuficiencí nebo embolickou infarzací. Dochází k narušení plicní ventilace a současně i kapilární perfuze s odrazem v scintigrafických obrazech. Zhruba 10 % embolizací bývají příčinou plicní konsolidace, kdy chybí nesoulad mezi zachovanou ventilací a chybějící perfuzí. Akutní zánětlivá onemocnění plic způsobují nesegmentální snížení perfuze v povodí a. pulmonalis v oblastech, které jsou postiženy zánětem (KUPKA, 2015, s. 62).

### **2.4.3 Obstrukční onemocnění**

Chronické obstrukční plicní onemocnění zahrnuje emfyzém, specifickou chronickou bronchitidu, bronchiektázie a exacerbace astmatu. Tyto nemoci bývají spojeny s redukcí alveolární ventilace a v pokročilých stádiích s perfuzními abnormalitami v důsledku zániku části kapilárního řečiště plic nebo hypoxické vazokonstrikce (KUPKA, 2015, s. 62).

### **2.4.4 Restrikční procesy**

Fibróza a chronický zánět mohou obvykle vést k obliteraci alveolů a k narušení perfuze plic. Sarkoidóza často způsobuje velké kuželovité defekty perfuze v plicích. Plicní fibróza může být příčinou nehomogenní distribuce perfuze nebo absencí v postižených oblastech v závislosti na fázi onemocnění (KUPKA, 2015, s. 62).

### **2.4.5 Pleurální výpotek**

Pleurální výpotek je doprovázen redukcí nebo dokonce absencí perfuze i ventilace v částech plic, které odpovídají velikosti výpotku a případně i poloze pacienta při aplikaci radiofarmaka (KUPKA, 2015, s. 62).

### **2.4.6 Bronchogenní karcinom**

Abnormální scintigrafický obraz u bronchogenního karcinomu může být způsoben obstrukcí dýchacích cest nebo zevní cévní kompresí nádorovou masou. Malé bronchiální karcinomy nezpůsobují významnější scintigrafické změny. Centrálně lokalizovaný bronchogenní karcinom může vést ke kompletní absenci perfuze v segmentu, laloku nebo celé plíci. Periferní plicní karcinom může být příčinou ložiskové redukce perfuze nesegmentálního nebo subsegmentálního charakteru. Metastaticky postižené mediastinální uzliny mohou útlakem cévního řečiště vést k aperfuzi v celé plíci (KUPKA, 2015, s. 62).

## **2.5 Biologické účinky ionizujícího záření**

Účinky ionizujícího záření na živou hmotu dělíme podle působení na přímé a nepřímé. Dále se ionizující účinky dělí z hlediska radiační ochrany na deterministické a stochastické účinky. (KUPKA, 2015, s. 20).

Při přímém účinku ionizujícího záření dochází k absorpci energie uvnitř buňky. Pro ionizující záření je typické, že vyvolává zlomy molekul DNA. Může způsobovat zlomy jednoho z řetězců dvojvlákna nebo ke zlomům obou vláken (Kupka, Kubinyi, Šámal a kol., 2015, s. 20).

Nepřímý účinek zahrnuje radiolýzu vody, při níž dochází ke vzniku volných radikálů  $H^*$  a  $OH^*$ . Tyto radikály se jednak spojují a vytvářejí  $O_2$ ,  $H_2$  a  $H_2O_2$ , které interagují s buněčnými strukturami, jednak působí na vazby v molekulách a narušují jejich prostorovou strukturu, což vede k poškození jejich biologické funkce (KUPKA, 2015, s. 20).

### **2.5.1 Deterministické účinky**

Deterministické účinky počínají v buňkách a ovlivňují tkáň. Vznikají až po překročení prahové dávky, která je u jednotlivých tkání rozdílná. S rostoucí nad prahovou dávkou stoupá také závažnost poškození. Účinek se projevuje krátce po ozáření a má specifický klinický obraz. Mezi deterministické účinky patří akutní nemoc z ozáření, lokální poškození organismu, sterilita a zákal oční čočky (KORANDA, 2014, s. 40–41).

#### **Akutní nemoc z ozáření**

Vzniká po jednorázovém ozáření celého těla nebo jeho převážné části dávkou 1 Gy a vyšší. Dávka může být způsobena vnějším zdrojem nebo vnitřní kontaminací. Mívá fázi časných příznaků, fázi latence, fázi rozvinutých příznaků, a pokud nenastane smrt fázi

rekonvalescence. Podle velikosti absorbované dávky rozlišujeme tři formy akutní nemoci z ozáření (KORANDA, 2014, s. 41–42).

Dřeňová forma vzniká při celotělovém ozáření dávkou 3–4 Gy. V prvních dnech se projevují nespecifické příznaky jako nechutenství, nauzea, zvracení, bolesti hlavy, apatie a průjmy. Poté následuje několik dní bez příznaků, které přechází do období plného rozvoje nemoci – horečka, krvácení do sliznic a kůže, projevy sepse v důsledku přidružené infekce. V krevním obraze se z důvodu poškození kostní dřeně projeví výrazný pokles počtu bílých krvinek, červených krvinek, lymfocytů a krevních destiček. Pokud dávka není velká, nastupuje po 6 až 8 týdnech fáze zlepšení (KORANDA, 2014, s. 41–42).

Gastrointestinální forma se projevuje po ozáření dávkou 6–10 Gy těžkými gastrointestinálními příznaky (krvavé průjmy spojené se ztrátou tekutin, elektrolytů a narušením acidobazické rovnováhy). Po 7–10 dnech, přežije-li nemocný, se projeví příznaky poškození krvevorných orgánů (KUPKA, 2015, s. 21).

Poslední formy akutní nemoci ozáření jsou kardiovaskulární forma (od dávky 20 Gy) a neuropsychická forma (od 50 Gy), které jsou absolutně neslučitelné s přežitím a v běžné praxi se nevyskytují (KUPKA, 2015, s. 21).

### **Sterilita**

Sterilita v důsledku ozáření zárodečného epitelu se liší pro muže a ženy. Muži jsou citlivější než ženy. Přechodná sterilita u mužů byla zjištěna pro dávky 0,5–2 Gy. V průběhu 1–3 let nastane regenerace. Trvalou sterilitu u mužů způsobují dávky 3 Gy a vyšší. U žen je trvalá sterilita způsobena dávkami v rozmezí 2,5–8 Gy (KUPKA, 2015, s. 21).

### **Zákal oční čočky**

Katarakta postihuje útvar, který nemá přímou výživu a vlastní buněčný substrát. Proto je doba od ozáření k vytvoření změn dlouhá (přibližně 6 měsíců a více). Ke vzniku katarakty může dojít již po jednorázovém ozáření dávkou 1,5 Gy (KORANDA, 2014, s. 42).

### **Akutní lokální poškození**

K akutnímu lokálnímu poškození může dojít například při radiačních nehodách se zdrojem ionizujícího záření. Radiační dermatitida je projevem překročení prahové dávky 3 Gy a její závažnost závisí na absorbované dávce. Při dávkách 3–4 Gy se objevuje po několika hodinách

až dnech erytém. Ke vzniku bul a puchýřů dochází po ozáření dávkou 12–20 Gy. Při dávkách vyšší než 20 Gy tkáň odumírá a tvoří se vřed (KUPKA, 2015, s. 21).

### **Poškození plodu či embrya**

U poškození plodu či embrya závisí závažnost poškození nejen na absorbované dávce plodu, ale i na době, která uplynula mezi oplodněním a ozářením. V prvních dvou týdnech reaguje zárodek na ozáření podle takzvaného principu „vše nebo nic“ – buď zárodek zanikne, nebo přežije bez následků. V období organogeneze od 3. do 8. týdne při překročení dávkového prahu 0,1 Gy hrozí vysoké riziko vzniku malformací. V období od 2. do 6. měsíce při překročení dávky 0,2 Gy vzniká riziko vývojových vad a mentálního postižení. Pokud dojde k ozáření plodu in utero zvýší se riziko vzniku zhoubných nádorů a leukemie v dětství i v dospělosti (KORANDA, 2014, s. 42–43).

### **2.5.2 Stochastické účinky**

Stochastické účinky jsou charakterizované tím, že jejich pravděpodobnost se zvyšuje s rostoucí dávkou. Účinek má dlouhou dobu latence. Stochastické účinky jsou bezprahové – se stoupající dávkou neroste závažnost poškození, ale pravděpodobnost jeho výskytu. Buněčným podkladem stochastických účinků jsou mutace a maligní transformace jedné nebo několika buněk. Stochastické účinky nemají charakteristický klinický obraz (KUPKA, 2015, s. 21–22).

### **Zhoubné nádory**

Zhoubné nádory jsou nejzávažnější stochastické účinky ionizujícího záření. Jednou složkou je existence buněk, nesoucích modifikovanou (mutovanou) informaci a přenášejících tuto atypii na své potomstvo. Druhou složkou vzniku nádoru je soubor podmínek, které působí proti tendenci eliminovat atypické buňky nebo potlačit jejich růst. Ve druhé fázi se uplatňují zejména změny v produkci hormonů nebo oslabení imunitní obrany organismu. Ionizující záření může podle současných poznatků působit na různých stupních procesu vývoje rakoviny (KUPKA, 2015, s. 21–22).

### **Genetické změny**

Genetické změny vznikají v důsledku poškození DNA šroubovice. Podkladem genetických změn jsou mutace, tj. změna v genetické informaci buňky. Za dědičné účinky je odpovědná tzv. gametická mutace, což je mutace v jádře zárodečných buněk pohlavních žláz. Genetický účinek záření spočívá ve zvýšené frekvenci mutací v porovnání s mutacemi vznikajícími

spontánně. Mutovaný gen je schopen reprodukce při dělení buňky, a tak se mutace předá do dalších generací. Základ budoucího jedince, vzniklý splynutím mužské a ženské zárodečné buňky, může v důsledku své nepříznivé genetické skladby velmi časně zaniknout. Tento typ poškození se projeví jako neúspěšné oplození. V jiném případě dojde k vývoji zárodku, ale těhotenství končí potratem, předčasným porodem, úmrtím novorozence brzy po porodu nebo porodem dítěte s hrubou vrozenou vadou. Jiným příkladem následků jsou geneticky podmíněné vývojové vady jako je např. Downova nemoc, genetický podklad může mít i změna poměru pohlaví v populaci apod. (KUPKA, 2015, s. 21–22).

## **2.6 Radiační ochrana v nukleární medicíně**

Pracoviště nukleární medicíny se řídí podobně jako jiná pracoviště se zdroji ionizujícího záření, „Atomovým zákonem“ a vyhláškami Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB).

Cílem radiační ochrany je zcela vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a stochastické účinky omezit na rozumnou mez přijatelnou pro jednotlivce a společnost (KORANDA, 2014, s. 46).

V nukleární medicíně se běžně používají otevřené zářiče. Podle vykonávaných činností jsou pracoviště s otevřenými radionuklidovými zářiči rozdělena do čtyř základních kategorií (kategorie I. až IV.). Převážná většina oddělení nukleární medicíny bývají zařazena jako pracoviště II. kategorie. Na všech pracovištích nukleární medicíny, kde dochází k manipulaci se zdroji ionizujícího záření je vymezeno sledované pásmo a kontrolované pásmo (KUPKA, 2015, s. 25–26).

Kontrolované pásmo se vymezuje tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv za rok. Pracovat zde mohou pouze radiační pracovníci, kteří jsou odborně způsobilí, poučení o možném riziku při práci s radioaktivními látkami a vybavení osobními dozimetry (KUPKA, 2015, s. 25–26).

Sledované pásmo se vymezuje tam, kde očekáváme, že za běžného provozu nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu by ozáření pracovníků mohlo překročit obecné limity. Požadavky na sledované pásmo nejsou tak přísné jako požadavky na kontrolované pásmo (KUPKA, 2015, s. 25–26).

Na pracovištích s ionizujícím zářením mohou pracovat radiační pracovníci, kteří spadají do kategorie A, nebo kategorie B podle výše radiační zátěže. Pracovníci na oddělení nukleární medicíny patří obvykle do kategorie A (KUPKA, 2015, s. 25–26).



### 2.6.1 Obecné zásady radiační ochrany

Cílem radiační ochrany je vyloučit deterministické účinky záření a co nejvíce snížit výskyt stochastických účinků na rozumně dosažitelnou úroveň. K tomuto cíli vedou tři základní principy – zdůvodnění činnosti, optimalizace a limity dávek (KUPKA, 2015, s. 23–24).

#### Způsob odůvodnění

Radiační ochrana pacientů vychází ze základního etického požadavku, aby riziko poškození ionizujícím zářením při diagnostických výkonech bylo nižší, než očekávaný zdravotní přínos pacienta (KUPKA, 2015, s. 24–25).

#### Optimalizace

Optimalizací se rozumí dodržení takové úrovně radiační ochrany, aby riziko poškození škodlivých účinků ionizujícího záření bylo optimálně nízké, jak jen lze rozumně z ekonomického a technického hlediska dosáhnout. Tento princip se označuje ALARA (KUPKA, 2015, s. 24–25).

#### Limity dávek

Limitem se označuje hodnota dávky, jejíž překročení není ve stanovených případech přípustné. Limity jsou rozděleny do čtyřech základních skupin – obecné limity pro obyvatele, limity pro studenty (16–18 let, pro osoby mladší platí obecné limity, pro osoby starší platí limity pro radiační pracovníky), limity pro radiační pracovníky, limity pro zvláštní případy (osoby, které doma pečují o pacienty po aplikaci radionuklidu, nebo osoby, které s nimi přicházejí do kontaktu). Do limitů dávek nespadá lékařské ozáření, ozáření z přírodních zdrojů a ozáření při likvidaci jaderných havárií (KUPKA, 2015, s. 24–25).

**Tabulka 3** – Hodnoty limitů pro jednotlivé skupiny (Vyhláška č. 422/2016 Sb. SÚJB o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje)

Efektivní dávka		Ekvivalentní dávka	
		Oční čočka	1cm <sup>2</sup> kůže
Obecné limity	1 mSv / 1 rok	15 mSv	50 mSv
Radiační pracovníci	20 mSv / 1 rok	50 mSv	500 mSv
Limity pro studenta	6 mSv / 1 rok	15 mSv	150 mSv

### **2.6.2 Radiační ochrana pracovníků**

Radiologický asistent z důvodu dodržení limitů ozáření využívá třech způsobů radiační ochrany před ionizujícím zářením (ochrana časem, ochrana vzdáleností, ochrana stíněním).

Ochrana časem je založena na skutečnosti, že dávka roste s dobou, po kterou radiologický asistent pobývá v blízkosti zdroje záření. Do této skupiny ochrany taky spadá střídání pracovníků provádějící úkony, při nichž je vyšší expozice ionizujícího záření (KUPKA, 2015, s. 24–25)

Ochrana vzdáleností je založena na poklesu dávkového příkonu a záření gama s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje záření. Radiologický asistent by tedy měl při práci dodržovat co největší možnou vzdálenost od zdroje záření (KUPKA, 2015, s. 24–25).

Při ochraně stíněním se používá stínící vrstva vhodného materiálu, který výrazně zeslabuje svazek záření. V oblasti nukleární medicíny sem patří to, že radiologický asistent po uložení pacienta odchází z vyšetřovny do ovládací místnosti, kde zůstane po dobu vyšetření (KUPKA, 2015, s. 24–25).

Na pracovištích nukleární medicíny může dojít při práci s otevřenými zářiči k vnitřnímu ozáření. Radionuklid může určitým způsobem vstoupit do metabolismu a podle své chemické povahy se hromadit v určitých orgánech, které jsou pak vystaveny účinkům ionizujícího záření. Ochrana před vnitřní kontaminací radioaktivní látkou spočívá v dodržování ochranných opatření – použití ochranných pomůcek (gumové rukavice, brýle, ochranný oděv), činnosti, při kterých může dojít k úniku radioaktivní látky vykonávat v uzavřených prostorách (v digestoři, hermetickém boxu) nepožívat žádné tekutiny nebo potraviny v kontrolovaném pásmu (KUPKA, 2015, s. 24–25).

### **2.6.3 Monitorování**

Systém monitorování slouží ke kontrole kontaminace osob (vnější a vnitřní) a pracovního prostředí (KUPKA, 2015, s. 25).

#### **Monitorování pracovníků**

Osobní monitorování je založeno na principu dozimetrů. Osobní dozimetr je nošen na předním levé straně pracovního oděvu v oblasti hrudníku. Každý měsíc se dozimetry zasílá na vyhodnocení do akreditované firmy. Osobní dozimetr měří osobní dávkový ekvivalent, ze

kterého se odvozuje efektivní dávka. Prstové dozimetry nosí navíc pracovníci, jejichž ruce jsou vystaveny zvýšenému ozáření (KORANDA, 2014, s. 48–49).

### **Monitorování pracoviště**

Monitorování pracovního prostředí se provádí měřením dávkového příkonu záření gama nebo měřením plošné aktivity na stanovených pracovních místech při kontaminaci radionuklidy v kontrolovaném pásmu i mimo něj. Pro tato měření se používají přístroje vybavené GM počítači nebo proporcionalními detektory (KORANDA, 2014, s. 48–49).

### **2.6.4 Radiační ochrana pacienta**

V radiační ochraně pracovníků se uplatňují dva principy – princip optimalizace a princip zdůvodnění (KUPKA, 2015, s. 24-25).

#### **Optimalizace**

Radiační ochrana pacientů v nukleární medicíně spočívá především ve správné volbě optimalizované aktivity radiofarmaka, která zaručuje dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnižší radiační zátěži nemocného. Optimální aktivita látky se určuje podle diagnostické referenční úrovně (KUPKA, 2015, s. 24–25).

DRÚ jsou hodnoty aplikované aktivity radiofarmaka používané při diagnostických postupech, jejichž překročení se při použití standardních postupů a správné praxe při vyšetření dospělého pacienta o hmotnosti 70 kg neočekává. DRÚ není nepřekročitelným limitem, aplikace vyšší aktivity je možná u pacientů, jejichž hmotnost je vyšší než 70 kg a v ojedinělých případech, které jsou zdůvodněny stavem pacienta například jiné onemocnění, komplikace apod. (KUPKA, 2015, s. 24-25).

Mezi další možnosti optimalizace patří například kontrola kvality a aktivity radiofarmaka před jeho aplikací, kontrola kvality zobrazovací techniky a ovlivnění kinetiky radiofarmak – toho lze dosáhnout v momentě, kdy se radiofarmaka akumulují v jiných orgánech, než které jsou vyšetřovány (KUPKA, 2015, s. 24–25).

#### **Zdůvodnění lékařského ozáření**

Při vyšetření pomocí ionizujícího záření se musí brát v potaz účinek ionizujícího záření a zvážit možnosti a rizika jiných vyšetřovacích metod nevyužívajících ionizující záření (např. Ultrazvuk, magnetická resonance). V případě použití ionizujícího záření musí diagnostický přínos převyšovat radiační riziko. Radiační riziko nesmí být naopak přeceňováno, neboť

neprovedení odůvodněného vyšetření může vést k poškození zdraví pacienta (KUPKA, 2015, s. 24–25).

U žen v reprodukčním věku je nutno pokaždé ověřit možné těhotenství nebo kojení a tyto údaje zaznamenat do zdravotnické dokumentace pacienta. Těhotné ženy by měly být vyšetřeny ionizujícím zářením jen v neodkladných případech a je nutné zvolit techniku, která zajistí maximální ochranu plodu (KUPKA, 2015, s. 24–25).

## 2.7 Radiační zátěž

Při diagnostice v nukleární medicíně je potřeba aplikovat takové nezbytně nutné množství radioaktivní látky (požadované kvality a čistoty), které zaručuje dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnižší radiační zátěži pacienta. Radiační zátěž pacientů při radiodiagnostickém a radionuklidovém vyšetření je přibližně stejná. (KUPKA, 2015, s. 15)

Radiační zátěž pacienta z radiofarmak se vyjadřuje souborem ekvivalentních dávek  $H_T$  (mSv) v jednotlivých tkáních a orgánech výpočtem na základě příslušných středních absorbovaných dávek  $D_T$  (mGy) a efektivní dávkou  $E$  (mSv). Ekvivalentní dávka je vypočtena na základě středních efektivní dávky v jednotlivých orgánech. Při ozáření v nukleární medicíně s použitím radionuklidů vykazujících  $\beta$  nebo  $\gamma$  přeměnu je možné nahradit ekvivalentní dávku střední absorbovanou dávkou. Radiační váhový faktor je totiž pro  $\beta$  a  $\gamma$  záření roven jedné (KORANDA, 2014. s. 84–85).

Vyšetřování pacientů v nukleární medicíně pomocí ionizujícího záření je spojeno s radiačním rizikem vzniku stochastických účinků (nádorových a genetických změn). Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu udává průměrné hodnoty celoživotního rizika stochastických účinků vztaženého na 1 Sv efektivní dávky. Jedná se o průměrné hodnoty pro celou populaci bez ohledu na pohlaví a věk pacienta (KORANDA, 2014. s. 84–85).

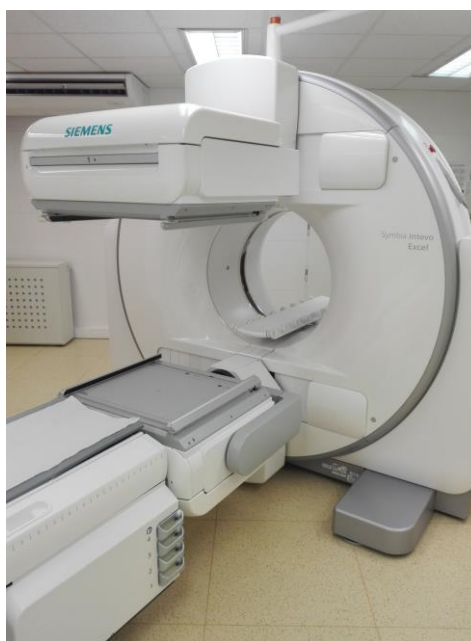
**Tabulka 4** – Průměrné hodnoty rizika stochastických účinků (KORANDA, 2014)

Fatální zhoubné nádory	$5 \cdot 10^2 \text{ Sv}^{-1}$	vztaženo na 1 : 20 000
Nefatální zhoubné nádory	$1 \cdot 10^2 \text{ Sv}^{-1}$	vztaženo na 1 : 100 000
Závažné genetické účinky	$1,3 \cdot 10^2 \text{ Sv}^{-1}$	vztaženo na 1 : 77 000

### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část mé bakalářské práce je zaměřena na úlohu radiologického asistenta při perfuzně-ventilační scintigrafii plic. Popisuji zde celý průběh radionuklidového vyšetření plic. Veškeré materiály a fotografie, které v praktické části uvádím, jsem získala během praxe v únoru 2018 na oddělení nukleární medicíny ve zdravotnickém zařízení DIMED s.r.o. Práce neobsahuje žádné důvěrné informace pacientů a pacient se zveřejněním fotografií souhlasil.

Na tomto oddělení se vyšetřuje pomocí dvouhlavé scintilační SPECT kamery Siemens Symbia Intevo Excel s kolimátory LEHR nebo na kameře Philips Brightview. Vyšetření, které v praktické části popisuji, bylo provedeno na dvouhlavé scintilační kameře Siemens. Rekonstrukce obrazů a zobrazení jsou provedeny pomocí softwaru Syngo Siemens nebo vyhodnocovacím softwarem fy Philips. K inhalaci radiofarmaka při perfuzně-ventilační scintigrafii se na tom to oddělení používá  $^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$  generátor. Některá oddělení nukleární medicíny místo generátoru používají nebulizátor.



Obrázek 4 – Scintigrafický přístroj (autor)

#### 3.1.1 Povinnosti RA na oddělení nukleární medicíny

Pracovní povinnosti radiologického asistenta na oddělení nukleární medicíny nezahrnují pouze plnění stále stejné úlohy. Z důvodů radiační ochrany časem se zaměstnanci na pracovních úsecích oddělení pravidelně střídají. Radiologický asistent může pracovat v kartotéce, aplikační místnosti a na vyšetřovně.

Jednou z hlavních úloh radiologického asistenta je edukace pacienta před vyšetřením. Edukace by měla zahrnovat popis vyšetření, důvod vyšetření, poučení o možných rizicích a komplikacích, popřípadě očekávaný přínos vyšetření. Jakmile radiologický asistent sdělí klientovi všechny důležité informace, předá pacientovi k podepsání Informovaný souhlas s vyšetřením (viz příloha A), který si může důkladně pročíst a s případnými dotazy se obrátit na lékaře. V případě nezletilé osoby potvrzuje informovaný souhlas zákonný zástupce.

Další povinnosti radiologického asistenta zahrnují správnou identifikaci pacienta, kontrolu osobních dat, zadání pacienta do systému, výběr vyšetřovacího protokolu, nastavení přístroje pro dané vyšetření, uložení pacienta do správné vyšetřovací polohy a vlastní vyšetření.

V případě ženy ve fertilním věku je povinností radiologického asistenta se dotázat, zda pacientka není těhotná, pokud ano provede záznam do dokumentace. Podané radiofarmakum se může vylučovat mateřským mlékem, proto by bylo vhodné konzultovat s lékařem po jakou dobu má kojící pacientka přerušit kojení.

Před vyšetřením je zapotřebí připravit radiofarmakum do injekční stříkačky, vložit ji do oloveného krytu a ochranného kontejneru, nachystat stůl pro aplikaci radiofarmaka a připravit kryptonový generátor k provozu. Dále se musí připravit vyšetřovací lůžko pro pacienta – dezinfikovat stůl, připravit papírovou podložku, polštářek pod hlavu, popřípadě polohovací pomůcky. Radiologický asistent během aplikace radiofarmaka asistuje lékaři – nachystá pomůcky k intravenózní aplikaci (rukavice, škrtidlo, dezinfekci, buničinu, injekční stříkačku s radiofarmakem, jehlu, náplast). Během vyšetření neustále sleduje pacienta, jestli je vše v pořádku. Radiologický asistent se snaží být v blízkosti pacienta, který je zdrojem ionizujícího záření, co nejkratší dobu.

### **3.1.2 Objednání pacienta**

Lékař indikující vyšetření nebo sám pacient provede telefonické objednání na daném oddělení nukleární medicíny. Podle počtu pacientů a druhu požadovaného vyšetření je pacient zařazen do harmonogramu výkonů. Radiologický asistent klientovi sdělí konkrétní datum a čas, v kterém se na vyšetření dostaví. Pokud pacient nemůže z určitých důvodů na domluvený termín dorazit, je nutné, aby se odhlásil minimálně 1 den předem před vyšetřením, jedná se totiž o drahé preparáty. U perfuzně-ventilační scintigrafie plic, na rozdíl od jiných radionuklidových vyšetření, není žádná speciální příprava nutná. Pacient nemusí být nalačno, může bez problému jíst a pít. Doporučuje se zvýšený příjem tekutin pro snazší vyloučení radiofarmaka močí. Není nutné vynechat žádné léky, jako tomu je například u scintigrafie

štítné žlázy nebo scintigrafie srdce. Dále pracovníci pacienta poučí, aby si před vyšetřením odložil všechny kovové předměty. Jakýkoliv ponechaný kov může způsobit na výsledném obrazu artefakty.

### **3.1.3 Příjem a příprava pacienta**

Jakmile pacient dorazí na oddělení, oznámí svůj příchod v kartotéce, kde předá radiologickému asistentovi žádanku na vyšetření a dokumentaci. Aby mohl být klient úspěšně zaregistrován do databáze, musí radiologický asistent zjistit od dotyčného data potřebná pro výpočet dávky radiofarmaka a správný průběh vyšetření – identifikační údaje, váhu a výšku. Dále se od pacienta musí zjistit možné alergie a u žen v reprodukčním věku se dotázat, zda není těhotná. Když jsou data pacienta úspěšně uložena v databázi, ujme se radiologický asistent edukace pacienta o daném vyšetření.

Edukace pacienta by měla obsahovat – popis vyšetření, důvod vyšetření, poučení o možných rizicích a komplikacích, popřípadě očekávaný přínos vyšetření. Radiologický asistent si ověří, zda pacient všechny informace správně pochopil a nemá další dotazy. S případnými dotazy se klient obrátí na lékaře. Po skončení edukace pacient obdrží vytištěný Informovaný souhlas s lékařským vyšetřením (viz příloha A) a Potvrzení o aplikaci zářiče (viz příloha B). Oba formuláře si podrobně přečte, vyplní potřebné údaje a podepíše. V případě nezletilých osob souhlas podepíše zákonný zástupce. Podepsaný informovaný souhlas je vložen do desek pacienta. Dále radiologický asistent upozorní klienta, aby zvýšil pitný režim během dne, pro snazší vyloučení radiofarmaka z těla. Doporučuje se také omezit přímý kontakt s malými dětmi a těhotnými ženami.

Pacient se usadí v čekárně, kde počká, až bude radiologickým asistentem zavolán. Nemocní s pozitivním nálezem musí mít s sebou doprovod. V případě, že klient bude cestovat, obdrží Potvrzení o užití radiofarmaka (viz příloha C).

Na některých odděleních nukleární medicíny se pacienti zhruba 5 min před začátkem vyšetření posílají na toaletu, z toho důvodu, aby pacient vydržel ležet po celou dobu vyšetření a výkon se nemusel přerušovat. Není tomu tak na všech odděleních.

Radiologický asistent zavolá pacienta a odvede ho do vyšetřovací místnosti, kde si na židli odloží své věci – boty, veškeré kovové předměty (např. šperky, mince, mobil atd.) a oblečení, na kterém jsou kovové doplňky. Ponechané kovové předměty by mohly vytvářet případné artefakty obrazu. Vyndat se musí i epitézy.

### 3.1.4 Příprava radiofarmaka

Farmaceutický pracovník ráno připraví radiofarmakum potřebné pro dané vyšetření ve speciální laboratoři umožňující přípravu radiofarmak. Radiofarmakum se připravuje v digestoři, jež je vyrobena ze stínícího olověného materiálu, který nepropustí nebezpečné ionizující záření. Zepředu boxu je umístěno okénko, aby bylo vidět dovnitř a dva otvory na ruce pro snazší manipulaci s radioaktivní látkou. Uvnitř digestoře se nachází ionizační komora a nádoba na radiační odpad.

Výroba aplikační formy radiofarmaka probíhá za stejných podmínek jako při výrobě jiných léků s tím, že musí být dodrženy všechny předpisy a požadavky pro manipulaci s radioaktivními látkami. Za septických podmínek se do lahvičky neaktivního kitu s makroagregátem albuminu přidá požadované množství technecianu-sodného v objemu 1 až 10 ml. Připravené radiofarmakum je nataženo do stříkačky a vloženo do studnové komory pro přeměření správné aktivity. Nakonec je na stříkačku připevněn olověný kryt, na kónus umístěno sterilní krytí a stříkačka se vloží do olověného stínění. Kontrola aktivity radiofarmaka se provádí dle příslušného SOP pro přípravu radiofarmaka.



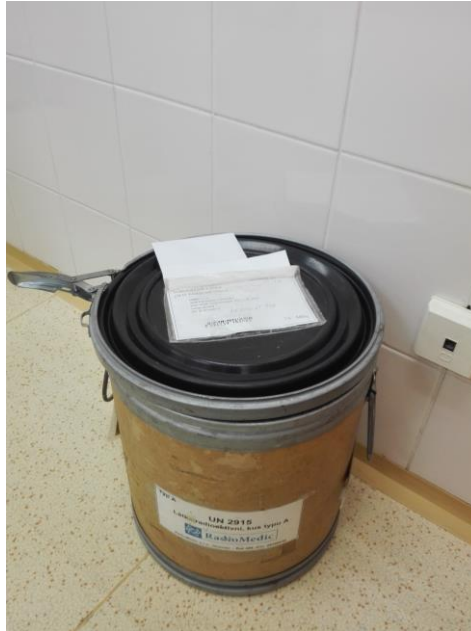
**Obrázek 5** – Injekční stříkačka s radiofarmakem (autor)

Pro dané vyšetření se využívají registrované  $^{99m}\text{Tc}$ -makroagregáty albuminu (MAA) o aktivitě 200 MBq. Diagnostická referenční úroveň při planárním způsobu vyšetření SPECT je 300 MBq. Vyšší aktivitu lze podat pouze ve zvláštních případech (např. vysoká váha pacienta nebo potřeba dosáhnout vysoké kvality zobrazení). Pokud hmotnost pacienta přesahuje 70 kg, spočítá se optimální aktivita radiofarmaka podle tabulky místních radiologických standardů (viz tabulka č. 1, tabulka č. 2).



### 3.1.5 Příprava kryptonového generátoru

Výrobce dodá generátor na oddělení nukleární medicíny v den, kdy je scintigrafické vyšetření plic prováděno. Vzhledem k fyzikálním vlastnostem plynu je generátor dodáván pouze jeden den v týdnu. Vzhledem k ceně generátoru je toto vyšetření prováděno při minimálním počtu 3 pacientů. Této skutečnosti je zapotřebí přizpůsobit objednávání pacientů.



**Obrázek 6** – Generátor v ochranném obalu (autor)



**Obrázek 7** – Hermetická plechovka s generátorem (autor)

Hermetická plechovka s generátorem se vyjme z přepravního obalu a víko plechovky se odtrhne. Generátor i s plechovkou je umístěn do stínícího kontejneru aplikační jednotky

připravené k provozu. Jakmile je generátor umístěn v kontejneru rozpojí se zkratované hadičky generátoru, které je nutné připojit na protikusy aplikační jednotky v kontejneru. Nakonec se víko kontejneru uzavře. Aplikační jednotka se umístí na vhodné místo poblíž gama kamery. Silikonová hadice vstupu se připojí na výstupní ústí jednotky, které je umístěno na zadní straně stínícího kontejneru a následně se hadice výstupu zavede do vymírací nádoby nebo do aktivní vzduchotechniky. Při relativní vlhkosti okolí nižší než 45 % se na vzduchový vstup aplikační jednotky, který je umístěný na spodní straně ovládací skříně, připojí zvlhčovací nádobka. Na střední rameno směšovacího ventilu se připojí mikrobiální filtr a na jeho výstup desinfikovaná obličejová maska nebo náustek vhodné velikosti. Jednotka se připojí do elektrické zásuvky a zapne se hlavní spínač na ovládacím panelu. Další ovládání je možné ručně nebo pomocí dálkového voliče.



**Obrázek 8** – Kontejner s generátorem (autor)



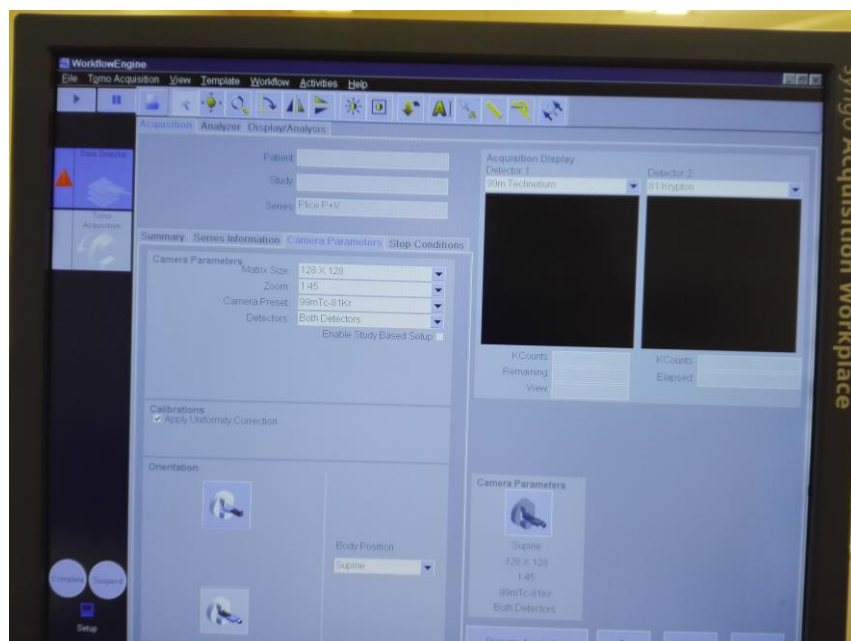
**Obrázek 9** – Aplikační jednotka (autor)

### 3.1.6 Vlastní vyšetření

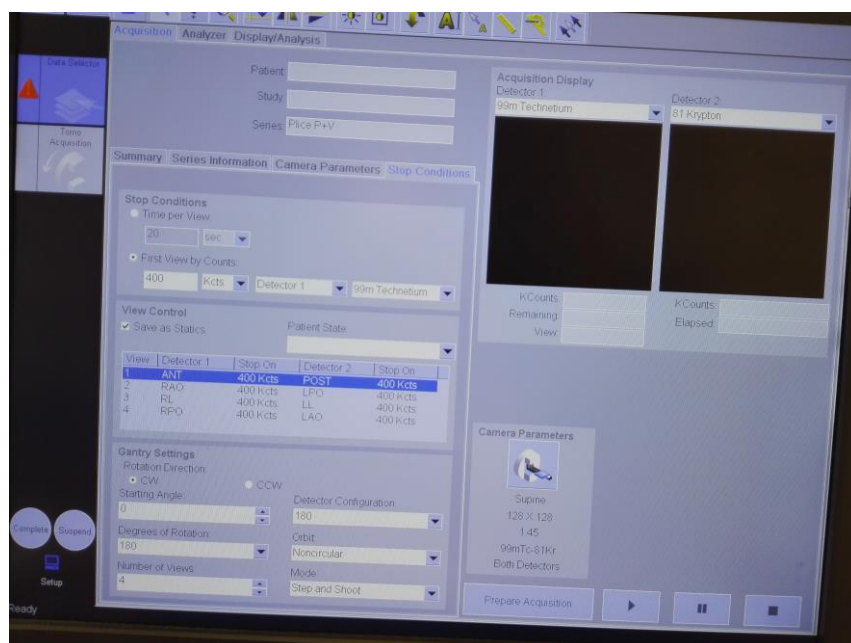
Radiologický asistent do systému zadá vyšetřovací údaje pacienta – jméno, příjmení, rodné číslo, výšku, váhu, jméno lékaře, jméno laboranta provádějící vyšetření, diagnózu, radiofarmakum a druh vyšetření. Dále si ověří osobní a zdravotní údaje pacienta na žádance o vyšetření.

Radiologický asistent v ovládací místnosti nastaví akvizici perfuzního skenu – okénko analyzátoru na fotopík 190 keV a zadá potřebné matice statického scintigramu 128 x 128, zoom 1,45. Dále se také nastaví akvizice ventilačního skenu energetické okno na fotopík

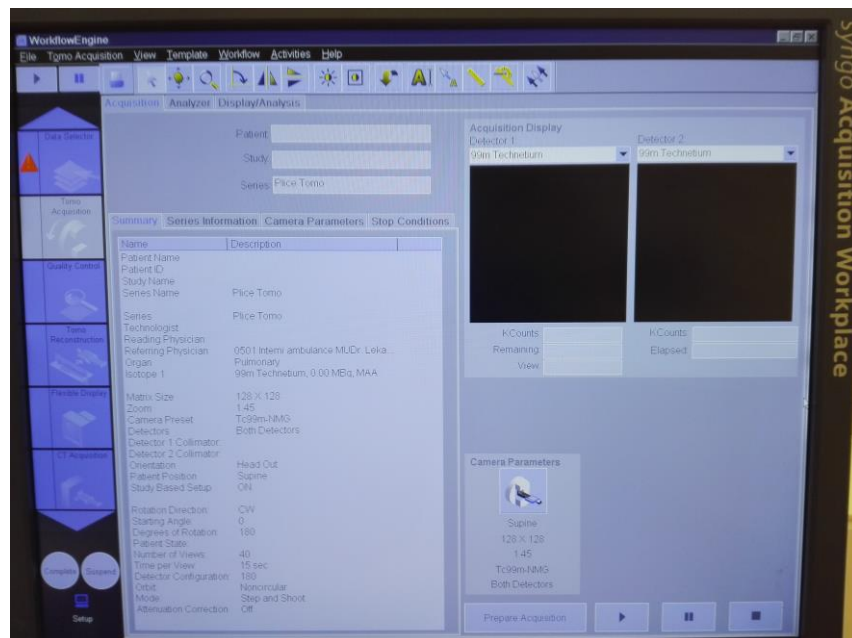
140 keV, matice statického scintigramu 128 x 128, zoom 1,45. Počet impulsů je 400 000. Zhotoví se statická planární scintigrafie plic v přední, zadní, bočných a šikmých projekcích. Při ventilačním testu vdechuje pacient radioaktivní plyn po dobu několika minut. Radiofarmakum svým rozvrstvením ukáže, které části plic jsou vzdušné, a které nedýchají. Pro perfuzní sken se radiofarmakum aplikuje do žíly, díky kterému můžeme na snímcích sledovat prokrvení plic. Snímání obou izotopů probíhá současně.



**Obrázek 10** – Vyšetřovací protokol – nastavení parametrů pro vyšetření (autor)



**Obrázek 11** – Vyšetřovací protokol – projekce (autor)



**Obrázek 12** – Vyšetřovací protokol (autor)

Radiologický asistent vyzve pacienta čekajícího v čekárně, aby vstoupil do vyšetřovny. Na židli si odloží své věci a všechny kovové předměty. Radiologický asistent znovu ověří jméno pacienta a datum narození. Gamakamera se připraví k provozu s použitím vhodného kolimátoru. Jakmile je pacient připraven, čeká na vyzvání radiologického asistenta, aby mohl vstoupit do vyšetřovací místnosti. Ve vyšetřovně se podle pokynů položí na vyšetřovací stůl. Pacient leží na zádech, hlavu má položenou na polštářku směrem ven z gamakamery a ruce pokrčené za hlavou.

Po uložení pacienta do vyšetřovací polohy následuje aplikace radiofarmaka. Radiologický asistent asistuje lékaři při aplikaci. Zaškrtní pacientovi paži pomocí škrtdla a dezinfikuje místo aplikace. Pacient několikrát zatne pěst pro snazší zobrazení žil. Lékař, popřípadě pověřená sestra aplikuje pacientovi intravenózně radiofarmakum  $^{99m}\text{Tc}$  MAA (140 keV) pro zobrazení plicní perfuze. Po aplikaci se radiofarmakum dostane do plicního arteriálního řečiště, kde se zastaví na úrovni plicních kapilár a dochází k jejich mikroembolizaci. Velikost částic je volena tak, aby prošly arterioulou, ale neprošly kapilárou. Částice MAA zůstávají v kapilárách několik hodin. Nejčastěji se látka aplikuje do hřbetu ruky, ale vhodným místem pro aplikaci je i paže. Radiologický asistent nasadí pacientovi dýchací masku, skrz kterou bude vdechovat z uzavřeného systému radioaktivní plyn (191 keV) po dobu několika minut pro zobrazení plicní ventilace. Masku může být nahrazena náustkem, jestliže je pro pacienta vhodnější. Na ovládacím panelu aplikační jednotky kryptonového generátoru se nastaví vhodná hodnota průtoku primárního vzduchu (doporučuje se 1–2 litry za minutu). Radiologický asistent

pomocí ovladače zaveze pacienta do přístroje tak, aby bylo snímáno vyšetřované pole zájmu, tedy aby byly na monitoru vidět celé plíce. Přiblíží hlavy kamery co nejblíže k tělu pacienta, spustí vyšetření a odchází do ovládací místnosti. Provede se perfuzní a ventilační sken.



**Obrázek 13** – Dýchací náustek (autor)



**Obrázek 14** – Dýchací maska (autor)



**Obrázek 15** – Uložení pacienta při P/V scintigrafii plic (autor)

Obraz objektu se přímo vytváří pomocí maticového způsobu záznamu obrazových dat. Impulzy získané z kamery jsou ukládány do obrazových prvků díky předem zvolené obrazové matici. Záznam se ukončí po zvolené době snímání. Pokud je potřeba zhotoví se po domluvě s lékařem k perfuznímu a ventilačnímu skenu ještě SPECT plic.

Jakmile vyšetření skončí, radiologický asistent vyjede s pacientem zpod gamakamery a uvolní ho z vyšetřovacího lůžka. Oznámí pacientovi, že je vyšetření u konce a že se může pomalu posadit, jakmile stůl zastaví. Dále se zeptá, zda se pacientovi netočí hlava. Pokud je vše v pořádku pacient může odejít, na výsledky nemusí čekat, budou poslány elektronicky indikujícímu lékaři. Na závěr jsou pacientovi sděleny pokyny, které by měl ten den dodržovat – hodně pít pro rychlejší vyloučení radioaktivní látky a pokud to bude možné vyhýbat se kontaktu s malými dětmi a těhotnými ženami. Poučený pacient odchází z vyšetření.

Vyšetřovací protokol se automaticky odesílá do vyhodnocovacího počítače, kde výsledky zhodnotí lékař. Jakmile jsou výsledky a zpráva kompletní odesílají se ošetřujícímu lékaři, který vyšetření indikoval. Dle výsledku případně lékař oddělení nukleární medicíny odesílá pacienta na urgentní příjem.

### **Radiační ochrana pracovníků**

Radiologický asistent musí během výkonu své práce dodržovat základní principy radiační ochrany. Snaží se tedy co nejméně pobývat v blízkosti pacienta, který je zdrojem ionizujícího

záření. To bývá obvykle obtížné, protože si pacienti často neuvědomují, že jsou zdroji záření, přestože jsou o tom opakovaně informováni. Dále se snaží pracovat co nejrychleji, aby zůstal co nejkratší dobu ve vyšetřovací místnosti. Během vyšetření radiologický asistent zůstává v ovládací místnosti, kde je chráněn před ionizujícím zářením.

### **Radiační ochrana pacienta**

V první řadě se musí zvážit, zda je vyšetření pro pacienta přínosné nebo nikoli a popřípadě zvolit alternativní vyšetřovací metodu bez ionizujícího záření. Radiační ochrana pacienta spočívá hlavně ve správné volbě optimální aktivity radiofarmaka dle DRÚ. Dále se provádí u všech radiofarmak před podáním kontrola správné aktivity. Radiační zátěž pacienta můžeme snížit ovlivnění kinetiky radiofarmaka. Toho můžeme docílit zrychlením vylučování radiofarmaka z organismu (zvýšený pitný režim).

### **Radiační zátěž pacienta**

Radiační zátěž pacientů při vyšetření je řádově v jednotkách mSv. Dávka, kterou pacienta dostane, přibližně odpovídá průměrné roční dávce z přírodního pozadí. Zátěž je srovnatelná s klasickým rentgenovým snímkováním. Pomocí stanovení diagnostické referenční úrovně můžeme posoudit riziko nežádoucích účinků ionizujícího záření na pacienta.

Aktivita aplikovaného radiofarmaka musí být volena tak, aby zaručila dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnižší radiační zátěži pacienta. V případě dospělého člověka se respektuje hodnota aktivity platná pro pacienta o hmotnosti 70 kg, která by v běžné klinické praxi neměla být překročena. Výjimkou jsou pouze pacienti s hmotností větší než 70 kg a ojedinele v případech zdůvodněných stavem pacienta (jiná onemocnění ovlivňující metabolismus pacienta, komplikace apod.) a očekávaným diagnostickým přínosem. Pro dětské pacienty v nukleární medicíně DRÚ zatím stanovena není, ale volba aktivity radiofarmaka aplikovaná dětem je založena na systému základních aktivit radiofarmak. Cílem tohoto postupu je dosáhnout, aby dávky v orgánech a efektivní dávky u dětí byly přibližně stejné jako u dospělých. U těhotných žen se provádí radiodiagnostické úkony spojené s ozářením jen v nezbytně nutných případech, přičemž se volí co nejšetrnější metody s ohledem na ochranu plodu.

Aktivita každé radioaktivní látky, která je aplikovaná pacientovi, musí být změřena na vhodném kalibrovém a metrologicky ověřeném měřiči aktivity. Hodnota aplikované aktivity musí být zapsána v dokumentaci pacienta.

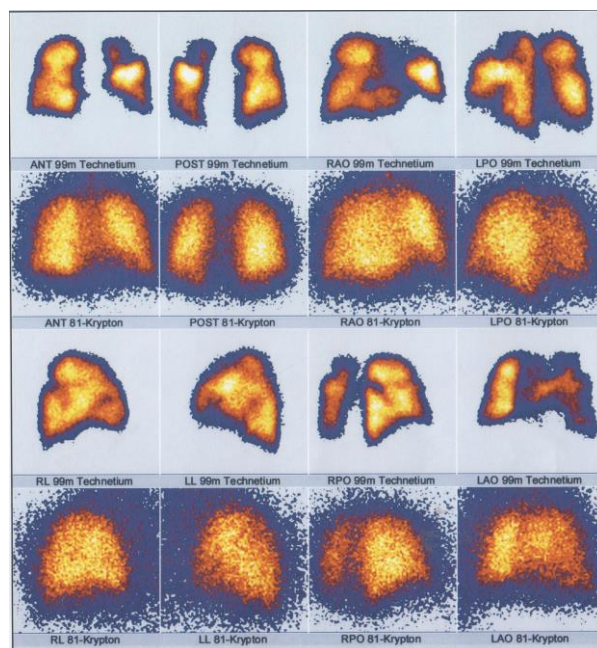
### 3.1.7 Zdroje obrazových chyb při vyšetření

Během vyšetření může dojít k řadě chyb, kterým by se měl radiologický asistent vyvarovat. Jeden z těchto problémů může nastat v momentě, kdy dojde ke špatnému poučení pacienta o tom, že si před vyšetřením musí sundat všechny kovové předměty. Ponechaný kov způsobí artefakty obrazu v podobě výpadku záření. Další chyba může nastat při aplikaci radiofarmaka, pokud dojde ke kontaminaci oblečení radioaktivní látkou. V tomto případě se chyba zobrazí jako místo akumulace radiofarmaka. Pacient by měl během vyšetření ležet v klidu. Pokud je pacient během vyšetření neklidný mohou se objevit pohybové artefakty obrazu. Jestliže jsou hlavy gamakamery nedostatečně přiblížené, bude ovlivněna kvalita výsledného obrazu.

### 3.1.8 Výsledky vyšetření

Během radionuklidové perfuzně-ventilační scintigrafie plic nám vznikne pomocí dvouhlavé gamakamery celkem šestnáct snímků plic, osm snímků z perfuzní scintigrafie a osm snímků z ventilační scintigrafie plic. Po skončení vyšetření snímky uložíme a odešleme lékaři, který snímky vyhodnotí.

Prezentuji obrázky pacientky, kde při hodnocení scintigrafických obrazů perfuze plic pozorujeme segmentální výpadky perfuze v pravé i levé plíci. Ventilační scintigramy jsou v obou plicích bez patologického nálezu, bez ventilačních defektů. Nález odpovídá diagnóze embolizace do obou plicních křídel.

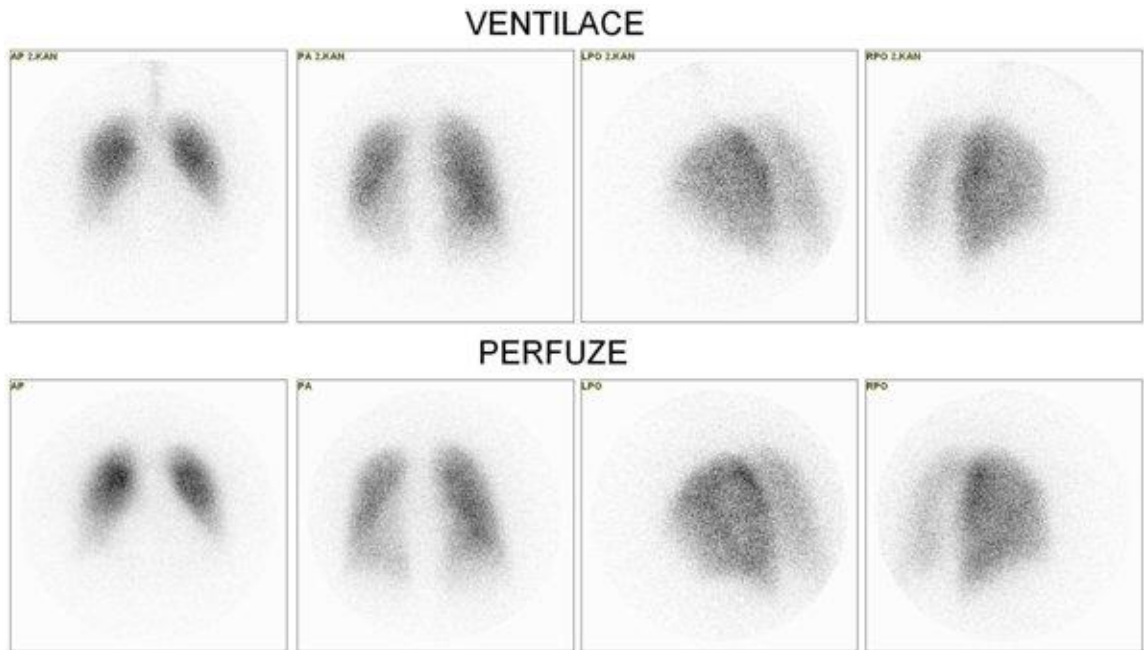


Obrázek 16 – Perfuzní a ventilační scintigrafie plic (vlastník ONM Chrudim)



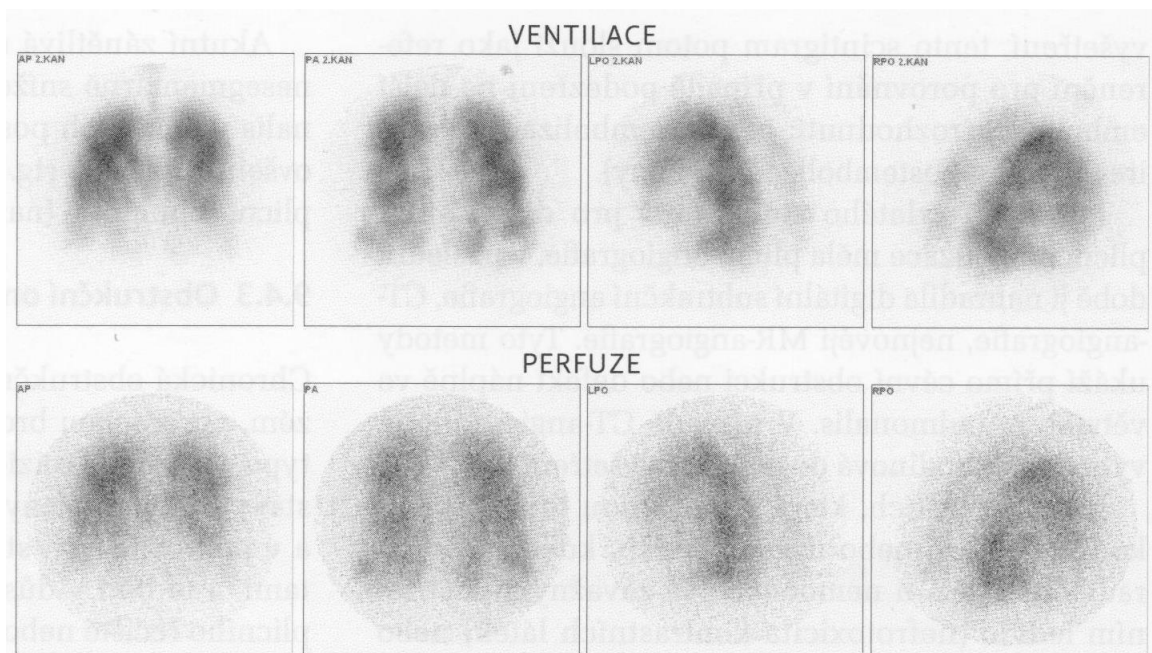
### 3.1.9 Nález na scintigramu

Normální scintigrafický nález perfuze i ventilace prokazuje homogenní distribuci radiofarmaka v obou plicích bez jakéhokoliv výpadku nebo fotogenického ložiska.



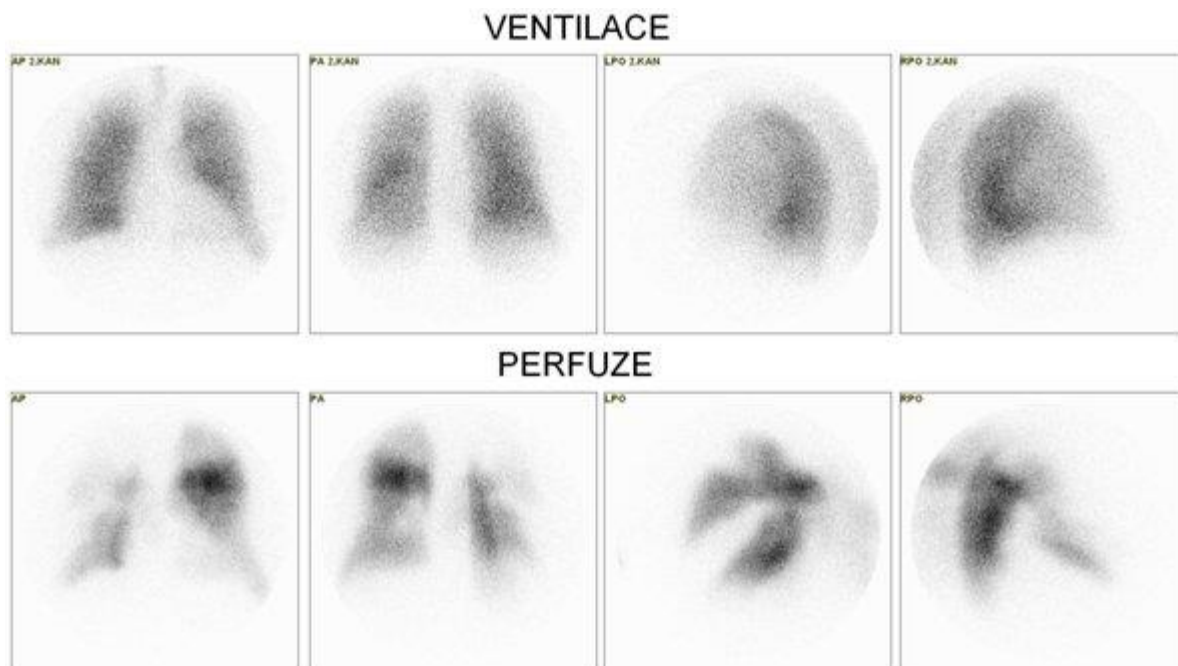
Obrázek 17 – V/P scintigrafie plic – normální nález (KUPKA, 2015, s. 60)

Pro chronickou obstrukční chorobu bronchopulmonální je typická přítomnost fotogenických ložisek na perfuzním scintigramu plic a korespondující fotogenická ložiska na ventilačním scintigramu plic.



Obrázek 18 – V/P scintigrafie plic – CHOPN (KUPKA, 2015, s. 61)

V případě plicní embolie budou na perfuzním scintigramu typické segmentální výpadky, ale na ventilačním skenu bude ventilace bez výpadku.



**Obrázek 19** – V/P scintigrafie plic – plicní embolizace (KUPKA, 2015, s. 60)

## 4 DISKUZE

Má bakalářská práce je zaměřena na úlohu radiologického asistenta při perfuzně-ventilační plicní scintigrafii. Dokument se dělí na dvě části – teoretickou a praktickou část. Hlavním cílem práce bylo popsat činnost radiologického asistenta při perfuzně-ventilačním scintigrafickém vyšetření plic. Dílčím cílem bylo porovnat radiologické standardy z absolvované praxe s národními radiologickými standardy.

Teoretická část obsahuje informace, které jsem čerpala z odborné literatury. První kapitola se zaměřuje na radiofarmaka používaná při perfuzně-ventilační scintigrafii plic. Dále popisují přístrojové vybavení používané při vyšetření. Následující kapitola je zaměřena na scintigrafické vyšetření plic. Uvádím zde i klinické aspekty, kvůli kterým se vyšetření provádí. Předposlední kapitola obsahuje informace o biologických účincích ionizujícího záření. V závěru zmiňuji radiační ochranu a radiační zátěž.

Praktická část je zaměřena na úlohu radiologického asistenta při perfuzně-ventilační plicní scintigrafii. Průběh vyšetření řídí lékař. Radiologický asistent připravuje pacienta a provádí vyšetření, u kterého zodpovídá za správné provedení. Úloha radiologického asistenta je tedy velmi důležitá. V této části práce líčím celkový průběh vyšetření počínaje přijetím pacienta na vyšetření, až po propuštění pacienta a odeslání výsledků vyšetření indikujícímu lékaři. V jednotlivých kapitolách popisují objednání pacienta, příjem a přípravu pacienta na vyšetření, přípravu radiofarmaka, přípravu kryptonového generátoru, vlastní vyšetření, zdroje možných obrazových chyb, výsledky vyšetření, nálezy na scintigramu.

Provedená vyšetření by měla odpovídat národním radiologickým standardům. Během studia mi bylo umožněno podstoupit praxi na dvou odděleních nukleární medicíny. V obou případech se radiologické standardy oddělení shodovaly nebo se jen nepatrně lišily od národních radiologických standardů. Potup vyšetření, který jsem ve své práci zpracovala, jim také odpovídá.

Nukleární medicína je jedním z lékařských oborů, který se neustále zdokonaluje a rozvíjí. Bývá využívána nejen k diagnostice, ale také i k léčbě. Diagnostické metody nám umožňují sledovat funkční stav orgánů, jejich metabolickou aktivitu i na molekulární úrovni, zobrazovat různé patologické léze (včetně nádorů), zobrazovat distribuci nádorových antigenů, hormonálních receptorů, neuroreceptorů, aktivity zánětu atd. Pomocí terapeutických metod můžeme úspěšně léčit některá nádorová i nenádorová onemocnění. Výhodou současných metod nukleární medicíny je neinvazivost, absence nežádoucích účinků, a hlavně

nízká radiační zátěž. Nevýhodou bývá větší vystavení zdravotnických pracovníků ionizujícímu záření. Proto je velmi důležité, aby pracovníci dodržovali principy radiační ochrany.

Využívají se tři základní principy ochrany před ionizujícím zářením – ochrana vzdáleností, časem a stíněním. Radiologický asistent by měl být co nejkratší dobu v blízkosti pacienta, který je zdrojem ionizujícího záření. Dále musí pracovat rychle a efektivně, aby trávil co nejkratší čas ve vyšetřovací místnosti. Ochrana stíněním se na oddělení nukleární medicíny využívá v podobě ochranných pomůcek – olověné kryty na stříkačky, kontejnery na přenos radiofarmak, olovem stíněné boxy na radioaktivní odpad, olovem stíněný laminární box atd. Po dobu vyšetření je radiologický asistent chráněn před ionizujícím zářením v ovládací místnosti kde skrze okénko stíněné olovem sleduje pacienta.

Za výkon povolání radiologického asistenta se považuje zejména provádění radiologických zobrazovacích i kvantitativních postupů, dále léčebné aplikace ionizujícího záření a specifické ošetrovatelské péče poskytované v souvislosti s radiologickými výkony. Následně provádí také činnosti související s radiační ochranou a ve spolupráci s lékařem se podílí na diagnostické a léčebné péči. Jak sem již zmiňovala, úloha radiologického asistenta je velmi důležitá a společně s ní na sebe přebírá i velkou zodpovědnost.

## 5 ZÁVĚR

Scintigrafie plic je často akutně prováděným vyšetřením. Vyšetření nemá téměř žádné vedlejší účinky, není limitováno věkem, hmotností, pohyblivostí ani přítomností kovových náhrad. Výhodou metody je nízká radiační zátěž a žádné použití kontrastní látky, která bývá často zdrojem alergické reakce nebo jiných nežádoucích účinků. Vyšetření se používá pro ověření správné funkce plic. Nejčastěji bývá prováděno při podezření na plicní embolii.

Téma mé bakalářské práce je úloha radiologického asistenta při perfuzně-ventilační plicní scintigrafii. Cílem dokumentu bylo přiblížit budoucím studentům, popřípadě veřejnosti, jaké má povinnosti radiologický asistent při práci na oddělení nukleární medicíny a za co všechno zodpovídá. Dílčí cíl se zaměřuje na porovnání místních radiologických standardů, dle kterých je praktická část napsána, s národními radiologickými standardy.

Teoretická část obsahuje informace o dané problematice získané z odborné literatury. V úvodní kapitole jsou uvedena radiofarmaka využívaná při perfuzně-ventilační scintigrafii plic. Pro toto vyšetření se nejčastěji používají dva druhy radiofarmak. Prvním z nich je  $^{99m}\text{Tc}$  MAA, které můžeme vidět na perfuzním skenu. Jako druhé radiofarmakum se používá radioaktivní krypton, který získáváme z  $^{81}\text{Rb}$ - $^{81m}\text{Kr}$  generátoru pro ventilační sken. Dále v práci popisuji přístrojové vybavení využívané v nukleární medicíně. V této části se zaměřuji na konstrukci dvouhlavé a planární gamakamery. Následující kapitola obsahuje informace o scintigrafickém vyšetření plic. Vyšetření hodnotí průtok krve plícemi (perfuzi) a distribuci vzduchu v plicích (ventilaci). Dále jsou zde vypsány nejčastější klinické aspekty, kvůli kterým se vyšetření provádí. V předposlední kapitole popisuji biologické účinky ionizujícího záření. Poslední kapitola se zaměřuje na radiační ochranu pracovníků, radiační ochranou pacientů a radiační zátěž, které jsou nemocní vystaveni.

Praktická část je zaměřena na úlohu radiologického asistenta při perfuzně-ventilační plicní scintigrafii. V této kapitole popisuji celkový průběh vyšetření pacienta a náplň práce radiologického asistenta na oddělení nukleární medicíny. Snažila jsem se zaznamenat vše podstatné pro mou práci.

Práce se mi vytvářela velmi dobře, zdroje odborné literatury byly obsáhlé a snadno dostupné. Vybrané téma splnilo má očekávání a při tvoření práce jsem získala zkušenosti a vědomosti, které v budoucí praxi a životě určitě využiji.

## 6 POUŽITÁ LITERATURA

1. FOGELMAN, Ignac. *An atlas of clinical nuclear medicine*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, c2014. ISBN 9781841846538.
2. KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
3. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. *Radiofarmaka*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012. ISBN 978-80-7464-183-1.
4. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-54-8.
5. KUGE, Yuji. *Perspectives on nuclear medicine for molecular diagnosis and integrated therapy*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2016. ISBN 978-4-431-55892-7.
6. MÍKOVÁ, Vlasta, Pořadatelka. *Nukleární medicína: průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína*. Praha: Galén, 2008, 118 s. ISBN 978-80-7262-533-8.
7. MYSLIVEČEK, Miroslav, Václav HUŠÁK a Pavel KORANDA. *Nukleární medicína*. 2. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 2000. ISBN 80-244-0081-2.
8. SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.
9. SLABÝ, Ondřej. *Molekulární medicína*. Praha: Galén, c2015. ISBN 978-80-7492-121-6.
10. VLČEK, Petr. *Praktická cvičení z nukleární medicíny*. Praha: Karolinum, 2010. ISBN 978-80-246-1819-7.

### Internetové zdroje:

11. 422/2016 Sb. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © [cit. 20.04.2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>
12. ULLMANN, Vojtěch. Radioizotopová scintigrafie. *Jaderná fyzika a ionizující záření* [online]. Ostrava: Ostravská univerzita, 2009 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

## **7 PŘÍLOHY**

Příloha A Informovaný souhlas .....	56
Příloha B Informovaný souhlas - zadní strana.....	57
Příloha C Potvrzení o aplikaci záříče.....	58

## Příloha A Informovaný souhlas



DIMED, s.r.o.  
sídlím Kyjevská 44, Pardubice, 532 03  
IČ: 27229947  
zapsaná v obchodním rejstříku vedeném Městským soudem v Praze v oddíle C, vložka 06166  
Pracoviště zobrazovacích metod Chrudim, Oddělení nukleární medicíny  
Václavská 570, 537 27 Chrudim

### Informovaný souhlas s lékařským vyšetřením

Jméno a příjmení pacienta/pacientky: .....

Rodné číslo: .....

#### **Název vyšetření: scintigrafické vyšetření s aplikací radiofarmaka**

Podle druhu požadovaného vyšetření Vám připravíme radiofarmakum, což je radioaktivním prvkem označená účinná látka, která se v některém orgánu či tkáni přirozeně vychytává či metabolizuje a tím nám umožňuje provést "funkční" vyšetření některého orgánu nebo posoudit povahu tkáně.

Při aplikaci zdroje radioaktivního záření existují obecná rizika vycházející z fyzikálních a biologických účinků ionizačního záření. Použité množství radioizotopu, kterým je většinou  $^{99m}\text{Tc}$ , event.  $^{123}\text{I}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{111}\text{In}$  a  $^{67}\text{Ga}$ , patří do kategorie nízké až střední radiační zátěže, která je v průměru stejná či nižší než při běžném rentgenovém vyšetření. Lékař Vám může upřesnit použitý druh zářiče a jeho dávku. Látka označená zářičem se podává zpravidla do žíly, méně často do podkoží, eventuálně se vdechuje či polyká. Při aplikaci do žíly může dojít u citlivějších jedinců ke kolapsu či nevolnosti jako při běžné injekci, případně může dojít k prasknutí žíly s následným krevním výronem (modřinou). Zájmem lékaře je Vám pomoci, vysvětlí Vám podstatu lékařského vyšetření, můžete mu položit doplňující otázky. Ke scintigrafickému vyšetření zpravidla není alternativa, s dalším možným diagnostickým vyšetřením (RTG, CT, MR, ultrazvuk) není v konkurenčním vztahu, navzájem se doplňují. Dle rozhodnutí lékaře Vám může být doplněno nízkodávkové CT na úzce vymezenou oblast, o čemž Vás budeme informovat předem. Míra radiační zátěže se eviduje.

#### **Vyplní pacient / zákonný zástupce pacienta:**

##### Právo odmítnout navrhované vyšetření:

Máte právo nesouhlasit s navrhovaným vyšetřením. Pokud souhlas nebude dán, lékař Vám vysvětlí možné následky odmítnutí a učiní záznam, který oba vlastnoručně podepíšete.

##### Souhlas pacienta:

Prohlašuji a svým dále uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že lékař, který mi poskytl poučení, mi vysvětlil vše, co je obsahem tohoto písemného informovaného souhlasu a měl jsem možnost klást mu otázky, na které mi řádně odpověděl. Prohlašuji, že jsem výše uvedenému poučení plně porozuměl a výslovně souhlasím s provedením zdravotního výkonu: scintigrafické vyšetření s aplikací radiofarmaka. 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, pokud to moje následující léčení vyžaduje, s předáním nálezu a údajů dalším lékařům, zdravotnickým zařízením, zdravotním pojišťovnám v rozsahu, který povoluje zákon o zdravotních službách a zákon o ochraně osobních údajů.

**Souhlasím s přítomností studentů při vyšetření ANO NE**

**V Chrudimi dne.....**

**Vlastnoruční podpis pacienta /zákonného zástupce.....**

*Podpis svědků, pokud pacient není schopen se vlastnoručně podepsat:*

*Jméno a příjmení 1. svědka.....*

*Jméno a příjmení 2. svědka.....*



## Příloha B Informovaný souhlas – zadní strana

### Vyplní lékař:

Prohlašuji, že jsem vysvětlil podstatu lékařského vyšetření pacientovi/zákonnému zástupci pacienta způsobem, který byl pro něj podle mého soudu srozumitelný. Rovněž jsem ho/ji seznámil s možnými komplikacemi, zejména s následujícími riziky: nepříjemné pocity, event. nevolnost spojená s odběrem krve a injekční aplikací obecně, vzácně paravenózní aplikace při ruptuře žíly.

Datum: .....

Jméno a podpis lékaře: .....

### Aplikace radiofarmaka

Radiofarmakum: ..... aplikováno v .....hod.

Aplikace: i.v.    s.c.    i.v. kanyla    jiné:.....

	P	L
kubita	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
předloktí	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
zápěstí	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
dorsum ruky	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
dorsum nohy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
jiné .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lékař, který aplikaci schválil - jméno a podpis: .....

Aplikaci provedl - jméno a podpis: .....

Vyšetření prakticky provedl: .....

### Farmakum podané z povahy vyšetření během vyšetření:

Furosemid    i.v.    v dávce .....mg    ve..... min. vyšetření  
Capoten    p.o.    v dávce.....mg    v hod.....  
jiné .....    .....    v hod.....

Farmakum podal - jméno a podpis: .....

## Příloha C Potvrzení o aplikaci zářiče

### Potvrzení o aplikaci zářiče

Dne ..... jsme panu/paní .....

nar. ....

bydlištěm.....

intravenózně aplikovali radiofarmakum značené  $^{99m}\text{Tc}$  o aktivitě .....

V Chrudimí dne.....

62	<b>DIMED s.r.o.</b>
	Pracoviště Chrudim
413	537 01 Chrudim, Václavská 570
	odd. nukleární medicíny
001	<b>MUDr. Irena Vyhnaníková</b>
	ambulance, tel.: 469 653 368