

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

Daniel Čech

Univerzita Pardubice

Fakulta zdravotnických studií

Radionuklidová vyšetření ledvin – úloha radiologického asistenta

Daniel Čech

Bakalářská práce

2016

Univerzita Pardubice  
Fakulta zdravotnických studií  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel Čech**  
Osobní číslo: **Z13042**  
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**  
Studijní obor: **Radiologický asistent**  
Název tématu: **Radionuklidová vyšetření ledvin - úloha radiologického asistenta**  
Zadávající katedra: **Katedra informatiky, managementu a radiologie**

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

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

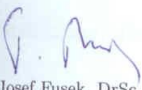
Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 35 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. NAŇKA, Ondřej, a Miloslava ELIŠKOVÁ. Přehled anatomie. 2. vyd. Praha: Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-612-0
2. DOLEŽAL, Jiří. Radionuklidová vyšetření genitourinárního systému. ONM FN Hradec Králové, 2012.
3. KUPKA, Karel, Josef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-809-0358-492
4. MYSLIVEČEK, Miroslav. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-802-4417-233
5. TROJAN, Stanislav. Lékařská fyziologie. 4. vyd. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5

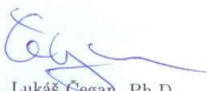
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Kulíř  
Katedra informatiky, managementu a radiologie

Datum zadání bakalářské práce: 1. prosince 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 9. května 2016

  
prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.  
děkan

L.S.

  
Ing. Lukáš Čegan, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. března 2016

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/20

00 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 1.5.2016

Daniel Čech

## Poděkování

Tímto děkuji Ing. Jiřímu Kulířovi, za odborné vedení mé bakalářské práce, za cenné rady, vstřícnost a čas při zpracování této bakalářské práce.

Podstatná část poděkování patří také mé rodině, která mě po celou dobu studia velmi podporovala.

Daniel Čech

## **ANOTACE**

Práce popisuje metody nukleární medicíny v souvislosti s problematikou ledvin a jejich zobrazením. Charakterizuje aktuální vybavení potřebné ke scintigrafii a příslušná radiofarmaka. Dále uvádí nezbytné povinnosti radiologického asistenta.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

radiologický asistent, dynamická a statická scintigrafie, ledviny, nukleární medicína, radiofarmaka, scintilační kamera, radiační zátěž

## **TITLE**

The role of a radiology assistant in examination of kidneys using radionuclides.

## **ANNOTATION**

The work describes nuclear medicine's methods that diagnose problems connected with kidneys and their screening. The study features the contemporary instrumentation and radiopharmaceuticals which are necessary for scintigraphy. It also focuses on activities and education of radiology assistants.

## **KEYWORDS**

a radiology assistant, dynamic and static scintigraphy, kidneys, nuclear medicine, radiopharmaceuticals, scintillation camera, radiation load

## OBSAH

0	Úvod .....	12
1	Teoretická část.....	13
1.1	Anatomie .....	13
1.2	Fyziologie.....	15
1.2.1	Renální cirkulace.....	16
1.2.2	Glomerulus .....	17
1.2.3	Glomerulární filtrace .....	18
1.3	Nukleární medicína .....	19
1.3.1	Scintigrafické vyšetření .....	19
1.4	Interakce ionizujícího záření s hmotou .....	20
1.4.1	Interakce $\beta^-$ .....	21
1.4.2	Interakce gama .....	21
1.5	Radiofarmaka.....	21
1.5.1	Definice a charakteristika .....	21
1.5.2	Historie .....	22
1.6	Radionuklidy .....	23
1.6.1	Mo generátor.....	23
1.7	Detekce záření a scintigrafie .....	25
1.7.1	Scintilační kamera .....	25
1.8	Parametry ovlivňující scintigrafický obraz .....	28
1.9	Emisní tomografie.....	28
1.10	SPECT/CT.....	28
1.11	Nukleární nefrologie .....	29
1.11.1	Dynamická scintigrafie.....	30
1.11.2	Statická scintigrafie .....	33



1.12	Radiační ochrana.....	33
1.12.1	Radiační limity.....	34
1.12.2	Kategorizace pracovišť.....	35
1.12.3	Kontrolované pásmo .....	35
1.12.4	Deterministické účinky.....	36
1.12.5	Stochastické účinky.....	38
1.12.6	Veličiny radiační ochrany.....	38
1.13	Radiologický asistent .....	40
2	Praktická část.....	41
2.1	Dynamická scintigrafie .....	43
2.2	Statická scintigrafie.....	45
3	Diskuse.....	47
4	Závěr .....	48
5	Seznam použité literatury .....	49
6	Přílohy.....	50

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1: Stavba vylučovací soustavy ( <a href="http://www.szskm.cz/soma/19A_mocovy_system.jpg">http://www.szskm.cz/soma/19A_mocovy_system.jpg</a> ).....	13
Obrázek 2: Schéma nefronu (Trojan, 2003, s. 442) .....	16
Obrázek 3: Schéma Mo generátoru (Myslivoček, 2007, s. 23).....	24
Obrázek 4: Schéma scintilační kamery ( <a href="http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm">http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm</a> ) .....	26
Obrázek 5: Kolimátory (autor).....	42
Obrázek 6: Jednohlavá kamera (autor).....	43
Obrázek 7: Uložení pacienta na dynamickou scintigrafii (autor) .....	44
Obrázek 8: Dvouhlavá kamera Infinia (autor) .....	45
Obrázek 9: Ovládání vyšetřovacího lůžka scintilační kamery (autor) .....	46
Obrázek 10: Uložení pacienta během statické scintigrafie (autor) .....	46



## 0 ÚVOD

Jako téma bakalářské práce jsem si zvolil úlohu radiologického asistenta při scintigrafickém vyšetření ledvin. O nukleární medicíně se hovoří jako o samostatném lékařském oboru, jehož principem je podávání radiofarmak v rámci terapie a diagnostiky. Bazálním diagnostickým postupem je scintigrafie, během níž je orgán nebo patologií poškozené ložisko vizualizováno kvůli abnormální funkci. Změna funkce většinou předchází změně strukturní. Nukleárně-medicínská diagnostika je tedy senzitivnější a méně invazivní metodou než ostatní zobrazovací modalita, avšak méně specifická.

Radionuklidové nefrologické vyšetření patří mezi nejčastější scintigrafie v rámci diagnostiky na nukleární medicíně. Informují o funkci ledvin a zahrnují také data o močových cestách. Podávají informace o diagnostice, mohou zobrazit případné poruchy struktury a celkově morfologické údaje. Výsledky pořízené nukleární medicínou se běžně porovnávají společně s radiodiagnostikou a ultrasonografií. Vyšetření probíhá pomocí intravenózní aplikace radioaktivní látky vylučované ledvinami. Díky detektorům scintilační gama kamery se zkoumá akumulace radiofarmaka v dané oblasti z kvantitativního a vizuálního hlediska.

Počet vyšetření ledvin radionuklidy se během devadesátých let výrazně zvýšil. Zásadní podíl na tom mělo specifické stanovení indikačních kritérií a delší praxe se SPECT diagnostikou. Bylo zjištěno, že intravenózní vylučovací urografie, ultrazvuk a zobrazovací metody nukleární medicíny společně nekonkurují, nýbrž kooperují.

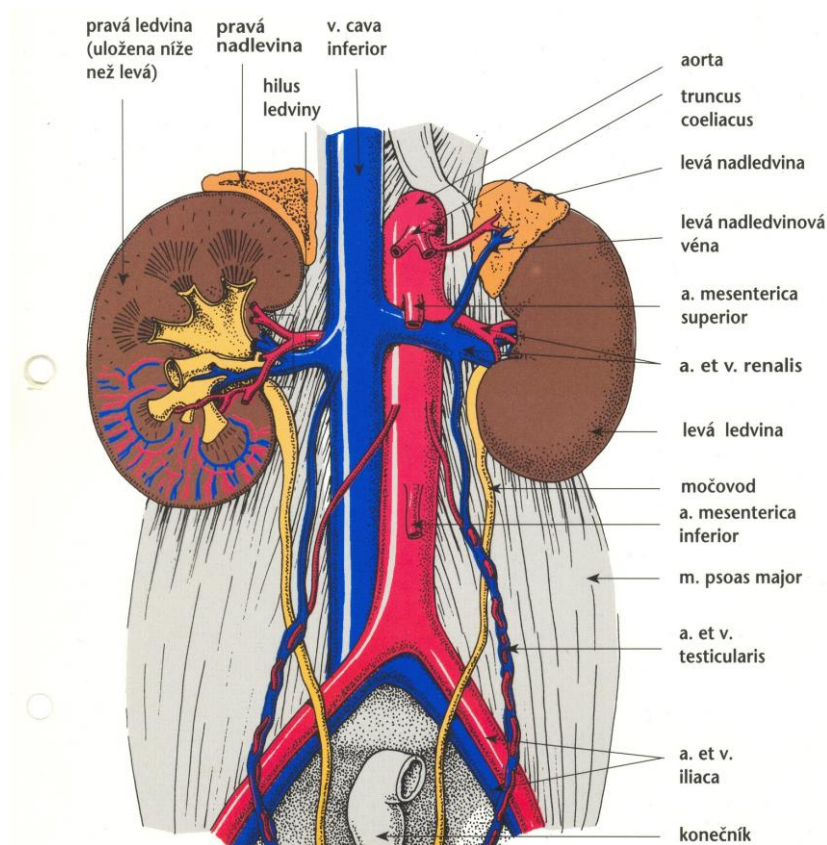
Tento dokument se skládá z teoretické části, ve které se věnuji popisu nukleární medicíny a práce radiologického asistenta. Jelikož radiologický asistent je v kontaktu se zdroji s ionizujícím zářením, charakterizují též radiační ochranu, její veličiny, principy a monitorování. Další součástí teorie je anatomie, fyziologie a patologie ledvin. Samozřejmostí je také popis gama kamer, které s radionuklidovým vyšetřením ledvin úzce souvisí.

Praktická část je určena úloze radiologického asistenta při vyšetření ledvin statickou a dynamickou diuretickou nefrografií ledvin. V této části se nachází informace načerpané z praxe, jež jsou doplněné fotografiemi z celého průběhu scintigrafii.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Anatomie

Ledviny jsou párovým orgánem, průměrně dosahují hmotnosti 120 g, měří 12 x 6 x 3 cm. Tvarově se podobají fazolím, mají červenohnědé zbarvení a pružnou soudržnost. Pravá ledvina je obvykle lokalizována níže než levá. Hilus je situován na mediálním lemu ledvin, přes který probíhají cévy a pánvička ledvinná. Zevnějšek ledviny je chráněn pouzdrmem stvořeným z vaziva. Ledviny jsou bazálně ukryty v retroperitoneu (obrázek č. 1) v úrovni obratlů Th12 až L2. Hilus ledviny je možné nalézt v oblasti obratle L1. M. psoas major se dotýká na mediální lem ledvin, zadní část je v kontaktu s m. quadratus lumborum a n. transversus abdominis. Za ledvinami jsou též nervy z plexus lumbalis.



Obrázek 1: Stavba vylučovací soustavy ([http://www.szskm.cz/soma/19A\\_mocovy\\_system.jpg](http://www.szskm.cz/soma/19A_mocovy_system.jpg))

Okolí ledviny zepředu orientovaného shora dolů obklopují: nadledvina, játra, flexura coli dextra, kličky jejunu, u hilu pars descendent duodeni. Když se vezme v úvahu levý orgán (shora dolů), lze vidět: nadledvinu, žaludek, pankreas, flexuru coli ministru, kličky jejunu a slezinu. Tuk, nitrobršišní tlak, fascium renalis a úpon mesocolon transversum, to jsou veškeré úseky zpevňující ledviny do stálé polohy. Na ledvinách se také rozlišuje po čelním řezu kůra a dřeň. Cortex je světlejší a po obvodu orgánu je tlustý 0,5 cm. Medulla renalis je tmavší,

zhmotněna do kuželovitých forem – pyramid, špičkami orientovanými k hilu. Zakulacený vrchol pyramid se jmenuje papilla renalis, ta je plná otvorů, ústí zde vývody ledvinových kanálků. Vrcholy papil jsou v těsném kontaktu s kalichy ledvin.

Výchozí morfologickou a funkční jednotkou ledvin je nefron. Jeho součástí je Malpighiho tělísko, proximální tubulus, sestupující a vzestupující raménka Henleovy kličky, distální tubulus a sběrací kanálek.

Malpighiho tělísko je složeno z množství kapilár, které se pojmenovává glomerulum. Glomerulum, mající přívodnou a odvodnou cévu vas afferens a efferens, existuje též díky dvoulistu Bowmanova pouzdra. Interní list leží na kapilárách a externí obtahuje kompletní ledvinné tělísko. Za den se stihá přefiltrovat až 150 litrů primární moči, proces probíhá v této lokaci.

Proximálního tubulu se dá všimnout mezi listy, jeho počáteční část je delší, stvořená v kličky a následující část směřuje k dřeni. V proximálním tubulu je resorbována většina glomerulárního filtrátu, klesá tak jeho objem. Vstřebávají se zde aminokyseliny, nízkomolekulární látky a samotná glukóza. V okolí kapilár je přítomné mesangium, buňky s podílem na ovládacích mechanismech průtoku, jejich další funkcí je ovlivňovat fagocyty a pomáhat kontrolovat glomerulární filtr.

Pokračováním je Henleova klička, mající vliv pomocí sestupného a vzestupného raménka (protiproudový systém ledviny) na zpětné vstřebávání vody a sodíku. Tato činnost vede k definitivnímu objemu 1,5 litru moči za den. Poté následuje distální tubulus, jenž umožňuje také resorpci vody. Dále zodpovídá za acidifikaci moči, což je způsobeno kvůli resorpci sodíku, výměně sodíku za draslík a vodík.

Po Henleově kličce se nachází přímý segment distálního tubulu, po něm ztlustělý oddíl nazývaný se macula densa a poté stočený tubulus spadající do sběracího kanálku. Ke klubíčku kapilár je přiložený tubulus jednou stranou, kde má buňky vyšší a těsněji u sebe. Již výše uvedené buňky mesangia a macula densa mají schopnost měnit krevní tlak a sekreci iontů a vody.

Závěrem je sběrací kanálek v kontaktu s 5 – 10 nefrony, zároveň je spojený s dalšími sběracími kanálky a z něho vzniká ductus papillaris, vedoucí k vrcholu pyramidy. Do otvoru ledvinného kalichu ústí v area cribrosa.

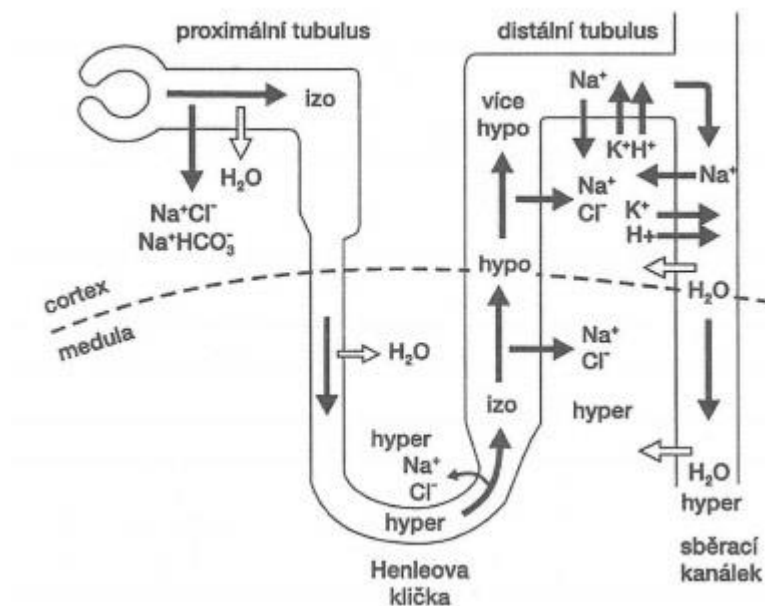
Na papily nasedají přes vazivo kalichy ledvin nálevkovitě zformované, jež jsou schovány v sinus renalis. Pánvička ledvinná je výsledkem styku kalichů, opouští orgán v hilu za renálními cévami. Pokračuje do ureteru. Je vyztužena sliznicí, přechodním epitelem, pod kterým se nachází pavučina pružných a kolagenních vláken a hladká svalovina. (6 s. 195 – 199)

## 1.2 Fyziologie

Aby homeostáza nebyla vyvedena z rovnováhy, musí se pomocí ledvin vyloučit nevyužitelné zplodiny, zbytky metabolismu, případná léčiva, drogy, toxiny, nosiče vylučovaných látek nebo látky paradoxně pro organismus prospěšné, ale při jejich momentálně nadbytečné koncentraci nevhodné. Ledviny se zaslouhují o kardinální regulaci homeostázy extracelulární tekutiny (ECT). Skládají se z funkčního parenchymu – intersticia, nefronu, krve a lymfatických cév. Z vaziva, které má transportní funkci mezi krví a lymfou na první straně, tubulární kapalinou v nefronech na straně druhé, je složeno intersticium. Probíhají tu veškeré fyzikální a chemické děje fungující pomocí nefronu a renálního koloběhu.

Na oddíly kůru (cortex) a dřev (medulla renalis) se dělí tkáň podle interního uskupení ledvinového parenchymu. Medulla renalis se dále specifikuje na zevní a vnitřní. Externí pokračuje rozdělením na externí proužek a interní. V cortexu je izoosmotický charakter prostředí společně s krevní plazmou a ve dřevě se osmolalita navyšuje směrem k papilám.

Nefrony se rozlišují v závislosti na lokaci glomerulu na superficiální (situované v povrchovém sektoru kůry), na intermediární a juxtamedulární (působící v kůře blízko hranice se dřevě). V cortexu jsou proximální tubuly, distální tubuly a cortexové oddíly sběracích kanálků. Do medully renalis náleží Henleovy kličky orientované k papile podle uložení glomerulu nefronu a závěrečná část sběracích kanálků.



Obrázek 2: Schéma nefronu (Trojan, 2003, s. 442)

Další podíl ledvinového parenchymu tvoří krevní řečiště s dvojím typem kapilárních sítí. Kapilární sítě jsou glomerulární a peritubulární, které jsou společně spojené artérií. Do ledvin z aorty vede a. renalis, následně se větví před hilem na dorzální a ventrální úsek. Dále do glomerulů pokračuje jako aa. Interlobares, aa. Arcuatae a aa.interlobulares a vytváří arterioly. Architektura krevního řečiště cortexu a medully renalis se liší a souhlasí hlavně s jinými principy aktivity korových a dřevných složek nefronů. Cévní pleteně v bezprostřední blízkosti tubulů jsou závislé na krevním řečišti renální kůry, naopak cévní soustava dřene se skládá z radiálně uskupených vláseňkových vasa recta, jež opakují stavbu dřevných segmentů nefronu. (7 s. 431 - 433)

### 1.2.1 Renální cirkulace

Krevní proudění má za cíl v ledvinách zaručit přijatelný kontakt parenchymu s extracelulární tekutinou a zaručit okysličení, které by mělo souhlasit energeticky komplexním činnostem tubulární exkrece a zpětné resorpce.

Ledvinami stihne protéci 1/5 – 1/4 hodnoty klidového srdečního minutového výdeje (MV), což odpovídá 1200 – 1300 ml/min, a tento děj představuje renální frakci. Průměrně 90 % teče do kůry a 10 % do dřene. Spotřeba kyslíku závisí na tubulárním transportu, kardinálně sodných iontech. Minutové zpracování kyslíku představuje 6 ml/100 g/min, což dokazuje kvantitativně abnormální zásobení jednoho orgánu.



Důležitý pro exkreční činnost ledvin je průtok extracelulární tekutiny, hlavně tedy krevní plazmy. Zjistit renální průtok plazmy lze díky hodnotě hematokritu, která se pohybuje kolem 700 ml/min. Při průtoku 1200 ml/min krve, což činí 660 ml/min krevní plazmy, dosáhne kompletní extracelulární tekutina průtoku orgánem za 18 – 20 min.

V renálních cévách je přítomný s graduálním poklesem důležitý tlakový gradient ve vas afferens, glomerulárních kapilárách, vas efferens a peritubulárních kapilárách.

Krevní tlak bývá v glomerulárních kapilárách polovina systolického tlaku středních artérií, což odpovídá 60 mmHg. V peritubulárních kapilárách odpovídá krevní tlak dvanácti procentům systolického tlaku středních artérií, tj. zhruba 15 mmHg. Lymfatický druh řečiště v renálním parenchymu se zasluhuje o správný koncentrační a zředovací potenciál ledvin. Při absenci lymfatické drenáže by dřeň nebyla schopna regulovat dostatečně osmolalitu definitivní moči. (7 s. 433 – 435)

### 1.2.2 Glomerulus

Glomerulus je prvním místem styku extracelulární tekutiny s ledvinovým parenchymem a prvním dějem glomerulární filtrace, rozlišuje se na vaskulární část, renální úsek - Bowmannovo pouzdro, mesangium a juxtaglomerulární aparát.

Vaskulární sektor podporuje vznik primitivní moči, tj. glomerulární filtrát. Postupně přes vas afferens, vas efferens, kapilární kličky umožňující průchod krve nízkého (vysoká koncentrace krevní plazmy) a vyššího hematokritu (vysoká hladina erytrocytů). Propustnost stěn kapilár je 50 krát větší nežli kapilární stěna kosterních svalů. Za fakt, že filtrační membrána zabránila erytrocytům a ostatním krevním buňkám projít, je zodpovědný fenestrovaný kapilární endotel, který je také propustný pro rozpuštěné elementy krevní plazmy. Zadržování všech makromolekul po globuliny a fibrinogen zajišťuje bazální membrána. Pokračováním je systém interpedunkulárních otvorů podocyty s volným průtokem pro elementy do průměru 4 nm a zastavením pro částice přesahující velikost 8 nm. Na glomerulární filtrační membráně se záporným nábojem a propustností pro různě nabitě částice se vytváří z krevní plazmy pod filtračním tlakem primitivní moč.

Bowmannovo pouzdro je úvodním oddílem nefronu (obrázek č. 2). Rozlišuje se na zevní a vnitřní list, jenž obsahuje podocyty s počtem pseudopodií pokrývajících nesouvisle základní membránu kapilár. Další částí je mesangium, které vyztučuje stěny kapilár glomerulu, což brání vysokému kapilárnímu krevnímu tlaku. Posledním úsekem se nazývá

juxtaglomerulární aparát, obsahující buňky inervované, macula densa a agranulární krajkovou část buněk. (7 s. 435 – 437)

### 1.2.3 Glomerulární filtrace

Ultrafiltrace krevní plazmy je fyzikálním principem vzniku glomerulárního filtrátu. Následkem toho je, že má glomerulární filtrát shodné fyzikální vlastnosti a chemické složení jako krevní plazma. Liší se nepřítomností proteinů, důsledkem je snížený onkotický tlak filtrátu. Díky látkám vylučujících se z krevní plazmy pouze glomerulární filtrací a zároveň nepodléhajícím tubulární zpětné resorpci a exkreci, lze stanovit velikost glomerulární filtrace. Látkou, která výše zmíněné podmínky splňuje, je inulin. Clearance, úroveň očišťovací potence ledvin, lze vypočítat, když vezmeme v úvahu množství krevní plazmy bez inulinu proteklé za jednotku času ledvinami. Po vynásobení koncentrace inulinu v moči a objemu moči za jednotku času, vydělíme koncentrací inulinu v plazmě a získáme clearance inulinu.

Renální průtok plazmy odpovídá 660 ml/min, ale pouze 128 ml/min se dostaví do glomerulárního filtrátu, což je 20 % ledvinového průtoku. Celý tento proces se pojmenovává filtrační frakce, za 24 hodin stihnou ledviny přefiltrovat 180 l a z toho vyprodukovat 1,5 l definitivní moči.

Podstatný fyziologický vliv na glomerulární filtraci mají sebemenší změny průchodu krevní plazmy, vazomotorické děje vas afferens a efferens, změny filtračního tlaku při zvratu systémového krevního tlaku (TK) nebo míra filtrační plochy. Ovládat velikost plochy může angiotenzin II a jeho antagonisté z oddílu prostaglandinů, které mají vliv na kontrakce mesangiálních buněčných struktur. Schopnost měnit plochu mají potenciál i pseudopodia podocytů. Vychýlení hydrostatického tlaku v Bowmannově pouzdře, nestálost plazmatických proteinů a též porušení permeability očišťovací membrány mají až patologické důsledky pro filtrační aktivitu.

Na regulaci tubulárních dějů se zčásti zasluhuje antidiuretický hormon (ADH), který dokáže vyloučit ledvinami zbytky metabolismu s co nejmenšími ztrátami vody a sodíku. Svoji roli v ledvinách má i aldosteron, jenž pomocí zpětné resorpce sodíku ovládá objem extracelulární tekutiny. Účastní se také renin-angiotenzin systém se schopností mít vliv na sekreci aldosteronu. Dále existují prostaglandiny, mající efekt dilatační na krevní řečiště, též dokáží změnit intenzitu reninu, resorpce vody a exkrece sodíku. Parathormon způsobující Ca zpětnou resorpci a zároveň snižující resorpci Na a bikarbonátu, což vede k okyselování moči. (7 s. 437 - 461)

### 1.3 Nukleární medicína

Obor nukleární medicíny se věnuje diagnostice a terapii. Pacientům, podstupujícím vyšetření na tomto oddělení, se aplikuje do těla otevřený zářič. Na nukleární medicíně převažuje zobrazovací diagnostika, zatímco laboratorní a terapeutická část se využívá méně. Během zobrazovacích vyšetření (scintigrafiích) se používá gama kamera, jež dokáže detekovat obsah distribuovaného radiofarmaka v daném fyzickém úseku. (4 s. 13).

Postupy oboru jsou závislé na indikátorovém principu. *„Jeho podstatou je shodné chemické chování izotopů: radioaktivní izotopy reagují chemicky stejně jako stabilní izotopy téhož prvku. Na rozdíl od stabilních izotopů jsou však radionuklidy „viditelné“ prostřednictvím pronikavého záření, které vzniká při radioaktivních přeměnách jejich atomových jader a je vyzařováno do okolí. Sloučeniny (molekuly nebo jejich části) označené radioaktivními prvky lze proto sledovat a jejich množství měřit detektory záření gama.“* (4 s. 13).

Vhodným výběrem scintigrafie a radiofarmaka jde rozlišit a určit funkci metabolického charakteru či receptorového, enzymového navázání transportní dráhy, posoudit odpověď antigenu na kontakt s protilátkou. Inovativní radiofarmaka se užívají v diagnostice i terapii, jejich výhodou jsou výrazné účinky na příslušné molekuly. (4 s. 13).

Metody nukleární medicíny sledují a vyhodnocují emitované záření z těla vyšetřovaného. Energie fotonů se pohybuje v rámci diagnostiky v okolí 140 keV.

V rámci nukleární medicíny se podává radiofarmakum, které podle daného vyšetření hned nebo posléze detekujeme prostřednictvím scintilační kamery, jež převede obraz a zobrazí mapu distribuovaného indikátoru ve zkoumané tkáni. Získané snímky mají sumační povahu. Scintigrafický obraz promítá sérii 3D snímků do 2D roviny, mnohdy se pro upřesnění diagnostických údajů provádí SPECT vyšetření. (4 s. 36).

#### 1.3.1 Scintigrafické vyšetření

Zjištění funkce je bazální vlastností scintigrafie. Jiné radiologické metody funkci nedokáží zobrazit. Výjimku tvoří alternativní vyšetření s podáním kontrastní látky, funkční vyšetření magnetické rezonance a dopplerovská vizualizace rychlosti průtoku krevního řečiště.

Na kvalitě funkce vyšetřované tkáně je závislá akumulace radiofarmaka, která může sdělit informace týkající se hypoxie, zánětlivých procesů, perfúze, koncentrace receptorů, metamorfózy kostní tkáně, hladiny glykolýzy apod. Scintigrafie je neefektivní při zobrazování neživé tkáně.

Důležité pro zhodnocení výsledných snímků je znát fyzikální, chemické a farmakokinetické chování daného radiofarmaka (RF). Nahromadění indikátoru ve zkoumané tkáni po uplynutí příslušného času od aplikace (statické zobrazení) a akumulace radiofarmaka v průběhu dané doby (dynamické zobrazení) představují základ vyšetřeních nukleární medicíny.

Zásadní výhodou je fakt, že scintigrafickými postupy lze objevit patologické procesy raněji ve srovnání s ostatními zobrazovacími metodami. Příznaky nepravidelné funkce obvykle předznamenají patologie struktury. Míru nahromaděného indikátoru určuje aktivita lokálních metabolických a funkčních dějů. Objevené zvraty ve funkci či struktuře lze lokalizovat i kvantifikovat.

Scintigrafie je senzitivnější nežli rentgenové metody s malým rozlišovacím potenciálem. Množství radiofarmaka je velmi malé a nemá významný vliv na tělo oproti kontrastním látkám. Molekuly radiofarmak jsou složeny z radionuklidu a nosné sloučeniny, která je zaměřena na specifickou tkáň či orgán, které se požadují vyšetřit. (4 s. 13 – 17).

## **Analýza vztahů mezi náklady a užítkem**

Složité technické vybavení a radiofarmaka jsou finančně sice poměrně náročné, ale svými inovacemi zajišťují méně invazivních výkonů, rychlejší průběh diagnostiky a absenci mnoha dražších vyšetření. (4 s. 18)

### **1.4 Interakce ionizujícího záření s hmotou**

Ionizující záření se dělí na přímo a nepřímo ionizující. Přímou ionizující formace částic je nositelem příslušného náboje, má potenci vyrazit elektrony z atomových obalů, čímž se uvolňuje ionizovaná energie. Pro příklad lze uvést alfa, beta a protonové typy zdroje záření. Proud nepřímo ionizujícího záření nevlastní náboj. Mají schopnost ovlivnit jaderné prostředí atomů pomocí energie, kterou předají nabitým částicím. Zástupci ionizujícího záření bez náboje jsou gama, rentgenové a neutronové záření.

Další hledisko rozlišení ionizujícího záření je podle přítomnosti částic. Korpuskulární záření představuje alfa, beta a neutrony. Druhým typem je elektromagnetické záření, které zastupuje rentgenové a gama záření.

#### **1.4.1 Interakce $\beta^-$**

Elektron dokáže působit ionizací či excitací, záleží na vlastnostech materiálu, kterým prolétá a na jeho aktuální energii. Jeho dráha není přímočaře uzpůsobená. Může dojít k produkci brzdného záření uplatňující se hlavně u výraznějších elektronových energií.

#### **1.4.2 Interakce gama**

##### **Fotoefekt**

Během tohoto procesu fotonová částice předá veškerou svoji energii elektronu příslušnému okolí, což způsobí deficit v interní vrstvě elektronového obalu, který se automaticky vynahradí elektronem z vyšší polohy. Uvolní se charakteristické záření.

##### **Comptonův rozptyl**

Během Comptonova rozptylu nedojde k předání kompletní fotonové energie elektronu prostředí, nýbrž jen určité části. Nepředaný díl energie dále může podlehnout buď fotoefektu, nebo Comptonovu rozptylu. (4 s. 21).

### **1.5 Radiofarmaka**

#### **1.5.1 Definice a charakteristika**

Radiofarmakem se nazývá léčivý přípravek, který má jeden nebo více radioaktivních izotopů, vhodný pro lékařské využití. Je zásadní dodržovat bezpečnostní pravidla radiační ochrany při práci s výše uvedenými léčivy. Je nutné, aby osoby manipulující se zdroji ionizujícího záření a léky byly dostatečně kompetentní, podstupovaly pravidelně ze zákona dané testy radiační způsobilosti, kladly důraz na čistotu při výrobě farmak. Radioaktivní izotopy jsou specifické především díky jejich poločas rozpadu, což je čas, za který klesne aktivita na 50 %. Dalšími faktory jsou konkrétní druh energie ionizujícího záření a množství udávané aktivitou v jednotkách becquerel (Bq).

Radiofarmaka se podávají formou injekce, plynů, aerodisperzí, roztoků a tobolek. Radionuklidy s delším poločasem rozpadu se produkují hromadně v cyklotronech nebo jaderných reaktorech. Typy s krátkým poločasem rozpadu v řádu hodin, minut, sekund, se

klinicky využívají mnohem častěji. V závislosti na jejich krátkém čase použitelnosti je nutné je připravovat v nemocnicích. (4 s. 31, 5 s. 98).

### 1.5.2 Historie

*„První radionuklidové studie funkce ledvin provedli v roce 1952 Oeser a Billion měřením radioaktivity moče po i.v. podání jódu  $^{131}\text{I}$  – idoxolu. V roce 1956 Taplin a spol. zavedli do klinické praxe radionuklidovou renografii (měření časového průběhu radioaktivity kolimovanými sondami nad jednotlivými ledvinami), která byla následně dlouhé roky využívána v diagnostice onemocnění ledvin. K jejímu rozšíření došlo hlavně po roce 1960, kdy Tubis označil a Winter do klinické praxe zavedl orto-jodhipuran (OIH), značený  $^{131}\text{I}$ . Počátkem šedesátých let se též podařilo zobrazit funkční parenchym ledvin pomocí gamagrafu a rtuťových diuretik, značených  $^{203}\text{Hg}$ . Současné zobrazení parenchymu a sledování distribuce radiofarmaka v čase (dynamickou scintigrafií) dokázaly gamakamery, které se do medicínské praxe dostaly od roku 1964. Plné uplatnění gamakamer v diagnostice onemocnění ledvin však umožnilo až matematické zpracování získaných dat, které bylo dostupné koncem šedesátých let, zpočátku pomocí mnohokanálových analyzátorů, později pomocí počítačů.“* (10 s. 5).

*„Velký význam měl objev medicínskému použití technecia –  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , popsany Harperem a spol. v roce 1962 a pozdější výroba generátorů pro jeho přípravu. Velice výhodné fyzikální i chemické vlastnosti tohoto radioizotopu jej předurčily pro široké použití v diagnostice chorob ledvin a močových cest. V následujících letech se k zobrazení parenchymu ledvin začaly užívat techneciem značený železito-askorbový komplex, glukonát, glukuheptonát a nakonec dimerkaptosukcinát (DMSA).“*

(10 s. 5).

*„Významné zdokonalení diagnostiky uropoetického systému přineslo zavedení nových radiofarmak pro funkční zobrazení. Byl to zejména techneciem značený merkaptacetlytri glycin  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - MAG3, syntetizovaný v roce 1986 Fritzbergem a spol. Toto radiofarmakum nahradilo  $^{131}\text{I}$ , téměř po třiceti letech jeho používání při renografii a později dynamické scintigrafii ledvin.“* (10 s. 5).

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

*„Glukoheptonová kyselina patří chemicky mezi cukry. Toto starší radiofarmakum se k zobrazení parenchymu ledvin používá v Evropě nyní již zřídka.“* (10 s. 5).

## **<sup>99m</sup>Tc-EC – Ethylendicystein**

„Od roku 1990 se začíná v některých zemích používat nové radiofarmakum. Má nižší vazbu na plazmatické bílkoviny (30 – 38 %), a proto vyšší hodnoty clearance než <sup>99m</sup>Tc-MAG3. Clearance <sup>99m</sup>Tc-EC dosahuje hodnot 71 – 75 % OIH clearance, což odpovídá spíše stanovení ERPF než TER.“ (10 s. 5).

## **OIH – Orto-jodhipuran**

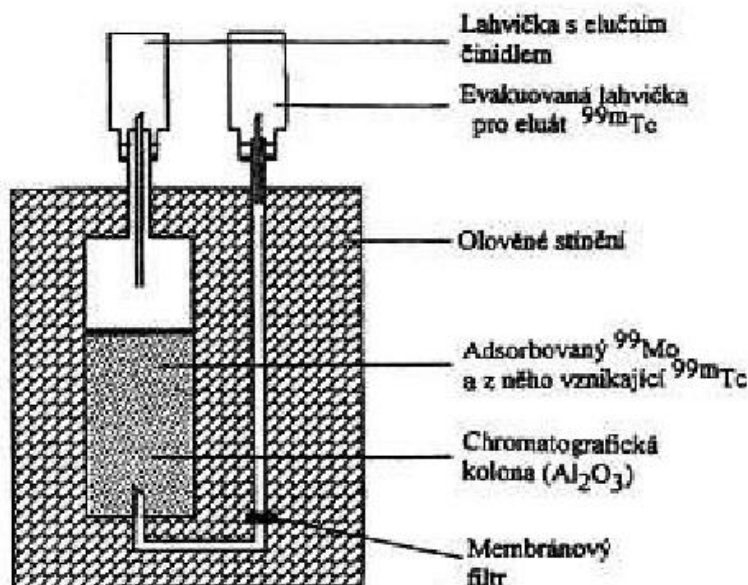
„Klasickým radiofarmakem pro funkční vyšetření ledvin je OIH (chemická látka odvozená z paraaminohipurové kyseliny – PAH), který lze označit izotopy jódu <sup>123</sup>I, <sup>125</sup>I a <sup>131</sup>I. Z důvodu nižší radiační zátěže a výhodnější energie záření gama je dnes doporučován <sup>123</sup>I-OIH.“ (10 s. 6).

## **1.6 Radionuklidy**

Pro lékařské využití se vyrábí radiofarmaka pouze z umělých radionuklidů. Nestabilní nuklidy figurující ve složení radioaktivních přípravků pochází z cyklotronů, jaderných reaktorů či z generátorů s funkcí vyprodukovat dceřiné radionuklidy. Molybdenový (Mo) generátor (obrázek č. 4), který produkuje technecium (Tc), se získá ze štěpných výrobků z uranu (<sup>235</sup>U) ozařováním neutrony. (4 s. 31).

### **1.6.1 Mo generátor**

„Základem zařízení je kolona obsahující vysoce čistý oxid hlinitý s adsorbovaným mateřským radionuklidem <sup>99</sup>Mo umístěná v olověném stínění. Molybden ve formě molybdenanu <sup>99</sup>Mo amonného se zakotví při výrobě generátoru na koloně, kde se přeměňuje s poločasem 66 hod. na technecium <sup>99m</sup>Tc. Technecium se z kolony generátoru vymývá elucí sterilním izotonickým roztokem chloridu sodného do stíněné sterilní evakuované lahvičky. Slabě vázané technecium se z kolony vymyje (ve formě technecistanu sodného), molybdenan pevně vázaný na Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zůstává v koloně a poskytuje přeměnou další <sup>99m</sup>Tc. Generátor je použitelný dva týdny.“ (4 s. 32).



Obrázek 3: Schéma Mo generátoru (Myslivoček, 2007, s. 23)

### Příprava značených sloučenin

„Ke značení sloučenin slouží metody radiochemické. Nejrozšířenější jsou:

- Izotopové výměnné reakce, kdy je ve sloučenině stabilní izotop (jeho jeden, nebo více atomů) nahrazen radioizotopem téhož prvku. Proto má značená látka prakticky stejně chemické a biologické vlastnosti. Patří sem např. značení *o*-jodhippurové kyseliny, *m*-jodbenzylguanidinu a jiných sloučenin radionuklidy jódu.
- Chemická syntéza umožňuje jedno a vícestupňové reakce probíhající při různých fyzikálně chemických podmínkách, které určují typ a výtěžek reakce. Cíleným, ověřeným postupem lze dosáhnout umístění radioaktivních atomů v molekule v požadované poloze a získat selektivně značené sloučeniny s požadovanými vlastnostmi. Chemické syntézy se užívá jak při značení uhlíkem  $^{14}\text{C}$ , tak pozitronovými zářiči  $^{11}\text{C}$  a  $^{18}\text{F}$ .

Značící radionuklid je navázán na molekule o známém biologickém chování kovalentní nebo koordinačně kovalentní vazbou, často je připojen na molekule pomocí tzv. bifunkčních chelátů (EDTA, DTPA, DOTA, deferoxamin aj.), které jsou jednou částí vázány na značenou molekulu a jejich druhá část váže radionuklid ve formě chelátu. Lze tak připravit sloučeniny značené  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , indiem nebo galliem, případně pro terapii yttriem.“ (4 s. 33).



Vybrané látky, které se na pracovišti označí radionuklidy, se dopravují také na nukleární pracoviště ve formě kitů. Kity jsou zásobní soupravy, které nejsou radioaktivní. Nejčastěji se aplikuje technecium díky jeho vhodnému krátkému poločasu rozpadu (6 h). Tc nevyzařuje více typů ionizujícího záření, nýbrž samotné gama záření. (4 s. 33).

## **1.7 Detekce záření a scintigrafie**

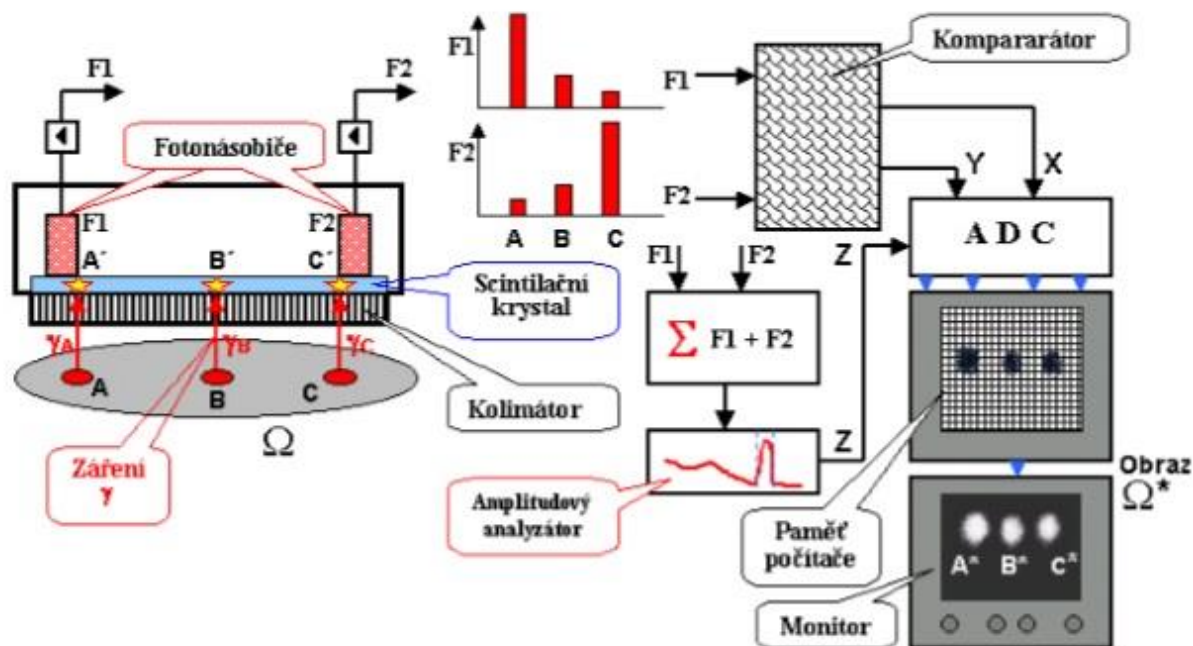
V souvislosti se scintigrafiemi se používají hlavně scintilační detektory, méně ionizační komory, GM detektory a proporcionální detektory. Před samotnými vyšetřeními jsou radiofarmaka před aplikací pacientům kontrolována. Konkrétně jejich aktivita je měřena prostřednictvím měřičů, ve kterých se nachází ionizační komora.

Principem výše zmíněných plynových detektorů (ionizační komory, GM a proporcionální detektory) jsou ionizujícím zářením ovlivněné neutrální atomy nebo molekuly plynu, které se rozčlení na kladný ion a elektron. Citlivost měření záření těchto detektorů v rámci emise gama záření z těla nebo ze vzorků tělních tekutin je velmi neefektivní.

Scintilační detektor se však vyznačuje výbornou senzitivitou k emitovanému gama záření z těla. Výhodou je též, že má dobrou funkci snímat rentgenové a fotonové záření. Je základem pro vybavení oddělení nukleární medicíny. (4 s. 36)

### **1.7.1 Scintilační kamera**

Známá je též pod názvem gama kamera (obrázek č. 5), jejíž detektor se skládá z kolimátoru, scintilačního krystalu, fotonásobiče a elektronické vyhodnocovací soupravy.



Obrázek 4: Schéma scintilační kamery (<http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

#### Kolimátor

Kolimátor má funkci bránit detekci fotonového záření z míst, která jsou nasycená radiofarmakem a zároveň jsou mimo zorné pole kolimovacího zařízení. Kolimátor se nastaví, aby se zorné pole orientovalo nad vyšetřovanou část.

#### Scintilační krystal

Ve scintilačním krystalu jsou obvykle detekčním preparátem scintilátory anorganické povahy, thallium (Tl) aktivuje jodid sodný (NaI). Na principu Comptonova rozptylu a fotoefektu se děje interakce fotonů. Excitace, kterou zapříčiní uvolněné elektrony, vyvolá z atomů detekční látky viditelné světlo v podobě záblesků (scintilací). Předností je vysoká hustota a protonové číslo ( $Z = 53$ ). Tyto aspekty způsobují, že se gama záření v NaI(Tl) velmi dobře absorbuje. Intenzita impulzů na výstupu fotonásobiče a hladina fotonů v jedné scintilaci ve scintilátoru jsou závislé na energii fotonu, která se ztratila v materiálu detektorového zařízení. Přes světlovodič se spojuje scintilační krystal s fotonásobičem. Krystal je obdélníkového tvaru o délce 40 – 50 cm a tlustý většinou 12,7 mm u starších kamer či 9,5 mm u aktuálních typů.

## Fotonásobič

Fotoelektron vzniká v rámci společné reakce fotonu pocházejícího ze scintilátoru s fotokatodou fotonásobiče. Fotoelektron dopadne na dynodu, tím se docílí sekundární emise elektronů. Poté jednotlivě na dalších dynodách dochází k znásobení počtu elektronů. V závěru dopadá na anodu 10 000 000 elektronů vyprodukujících napěťový či proudový impuls.

Svůj podstatný podíl na vhodném rozložení napětí mezi dynody, anodu a fotokatodu má zdroj vysokého napětí. Rozdílné napětí na dynodách zapříčiňuje urychlení elektronů a kvalitní energii vhodnou k sekundární emisi elektronů.

Fotonásobičů je obvykle 60 – 90, jsou ukotvené nad krystalem. Ke krystalu je poji světlovodič, jehož funkcí je zlepšovat přenos světelných fotonů ze scintilací v krystalu.

Částice gama záření způsobí scintilaci v krystalu, dále letí do všech směrů a dostávají se na fotonásobičové fotokatody. Nejvíce fotonů čítá fotonásobič, který je nejbližší lokalizaci, kde proběhl záblesk, na jehož výstupu se vytvoří impuls s amplitudou mnohem výraznější, než je amplituda ze vzdálených fotonásobičů. Během průběhu počítačového procesu se stanoví signály vystupující ze všech fotonásobičů, vzniklý impuls se označí písmenem Z. Poté se určí příslušné souřadnice X a Y, ve kterých nastala scintilace.

Fotonásobič obsahuje též počítačovou aparaturu zasluhující se o adekvátní analogově-digitální převod.

## Elektronická vyhodnocovací souprava

V elektronické vyhodnocovací soupravě se elektrické impulzy jdoucí z výstupu fotonásobiče zpracují. V zesilovači se zvýší jejich amplituda, poté impulzy pokračují do amplitudového analyzátoru, kde se rozčlení podle jejich výšek.

*„V nukleární medicíně se využívají přednostně takové impulzy, jejichž výška spadá do vhodně zvoleného „okna“ analyzátoru tvořeného dolní a horní diskriminační hladinou (napětím).“ (4 s. 36).*

Než se vždy provede měření radioaktivní látky, je nezbytné zjistit pozadí scintilačního detektoru. Pozadí přístroje je počet impulzů za příslušný čas, které detektorový systém registruje, ovšem nesmí zde být zdroj záření. Tyto impulzy vznikly z kosmického záření a přírodní radioaktivity z materiálů v okolí detektoru. Aby se pozadí zredukovalo, využívají se olověné stínící kryty pro detektory. (4 s. 36 – 39).

## 1.8 Parametry ovlivňující scintigrafický obraz

Vizualizovaný úsek tkáně, jeho poloha a uložení patologie společně s biologickou povahou radiofarmaka a akumulace v lézi určují výsledný kontrast. Kontrast obrazu dále může být snížen zobrazovacím přístrojem, vyhodnocením dat v počítačovém systému a korekcí snímku, absorpcí či rozptylem záření v těle. Nízké míry hustoty impulzů dokáží způsobit negativní statistický rozptyl. Další chybou může být negativní funkce detektoru, jehož špatné nastavení analyzátoru na fotopík dokáže prostřednictvím rozptýleného záření ve scintilačním spojitém spektru „rozmazat“ snímek. (4 s. 39 – 40).

## 1.9 Emisní tomografie

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT) umožňuje zobrazit akumulaci radiofarmaka ve vyšetřované tkáni. SPECT má prostorové rozlišení 5 – 20 mm. Samotné vyšetření bývá dlouhé desítky minut v závislosti na zkoumaném úseku těla. SPECT rozeznává funkci daných struktur, umožňuje oproti 2D zobrazení vyšší kontrast. Po procesu nastřádání dat projekcí do počítače bývá pravidlem využití algoritmičtých zpětných projekcí. Vyšetření bývají častěji statická, jejichž nepříliš rychle se měnící distribuce radiofarmaka umožní efektivně obraz rekonstruovat. V rámci vyšetření jednofotonovou emisní tomografií se aplikují shodná radiofarmaka jako při planárních scintigrafiích a postupuje se obdobně. Poruchu kvality obrazu způsobuje absorpce Comptonova rozptylu a fotoefektu, která zeslabuje záření. De facto jsou to fotonové částice, jejichž energie byla absorbována již v tkáni. Fotony prolétly otvory kolimátoru na detektor, se kterým interagovaly. Tímto způsobem vznikají snímky nespolehlivě znázorňující akumulaci preparátu z důsledku nenastavené korekce a zeslabení rozptýleného záření. Efektivním postupem korigování atenuace obrazu je zapojení geometrických průměrů projekcí na sebe protilehlých nebo pestrým stylem dané fyzické obrysy přímo určené pro rekonstrukci. V rámci metody je uděláno homogenní pole zeslabené stejně v celém objemu zkoumané lokalizace. Tato metoda nejefektivněji působí v souvislosti se SPECT hlavy, naopak co se týče hrudní oblasti, využívá se spíše transmisního měření.

## 1.10 SPECT/CT

Transmisní měření emisní tomografie spolupracuje s analogovým zařízením v podobě CT. CT s nepatrným zdrojem gama záření zaštiťující aktivitu ve formě radionuklidu s jinou energií, nežli je již radiofarmakum připravené na emisní měření. Kamera analyzuje transmisní

a emisní impulzy pomocí jednoho či více detektorů (záleží na konkrétním přístroji). Zeslabovací koeficienty se získají z transmisního měření, jehož podoba se blíží CT snímkům. Z transmisního znázornění se odečtou hodnoty a společně s emisními čísly se použijí pro výpočet četnosti impulzů, která není ovlivněna atenuací záření. Místo zmíněného zdroje gama záření se používá též CT umístěné do hybridního příslušenství manipulujícího se sníženou hladinou rentgenového záření.

Analyzátor kamery kooperující s amplitudou nepropustí v důsledku nedosažení dolního prahu energetického okna nízkoenergetické fotony rozptylového charakteru. Analyzátor může pohltit málo rozptýlené fotony, které se objeví ve fotopíku. Toto negativum lze napravit detekcí najednou několika energetickými okny a pomocí rozlišení četností v každém okně se provede odhad podílu fotonů na kompletní impulzní četnosti v oblasti fotopíku. (4 s. 49 – 53).

### **1.11 Nukleární nefrologie**

Scintigrafie ledvin umožňuje posoudit funkční faktory a zobrazit případný progres poruchy vývodných cest močových. Při diagnostice výše zmíněných alterací se informace kombinují s výsledky z radiodiagnostických vyšetření a sonografie. Miniinvazivita nefrologických vyšetření na oddělení nukleární medicíny a poměrně nízká radiační zátěž jsou výhodou. Často se vyšetření podrobují pacienti pediatrie. Statická scintigrafie dokáže věrně stanovit poměr aktivity i při ektopické lokalizaci ledvin, je velmi praktická, lze díky ní verifikovat aplazii ledviny. Dokáže detekovat akutní pyelonefritické léze.

#### **Příprava k vyšetření**

Podstatou přípravy na scintigrafické záznamy ledvin je kvalitní hydratace pacientů. Je zaručena požitím nejméně půl litru vody půl hodiny před vyšetřením. Pitný režim zabraňuje radioaktivním následkům, které by mohly nastat v kalichopánvičkovém systému, a nepříznivému průběhu zobrazování. Dilatace močového měchýře má tendenci zastavit nebo omezit odchod moči kalichopánvičkovým systémem. Je tedy pacienty před dynamickým vyšetřením nutné poslat vyprázdnit močový měchýř. Výrazně se zlepší faktory, díky kterým se zlepší posouzení pacientů s problémy močového měchýře a s vezikoureterálním refluxem (VUR).

### 1.11.1 Dynamická scintigrafie

V rámci vyšetření probíhá třicetiminutový scintigrafický záznam za spolupráce scintilační kamery a počítače, do kterého se načítá série scintigramů po deseti vteřinách. Znázorňuje se akumulace radiofarmaka Tc-DTPA nebo Tc-MAG3 (merkaptocetyltriglycin). Jen glomerulární filtrací mizí Tc-DTPA, 20 % z přitékajícího chelátu do ledvin se vyloučí do moči. Naopak tubulární sekrecí je vylučován Tc-MAG3. Vzhledem k faktu, že je drtivá většina jeho sloučeniny vázána v plazmě na transportní proteiny, má glomerulární filtrace vliv na jeho exkreci velice nepatrný. Při použití Tc-MAG3 se dosáhne výraznějšího kontrastu mezi znázorňujícími oblastmi. Během hodnocení drenáže duté části ledvin je žádoucí, aby koncentrace v ledvinném parenchymu byla nízká, aplikuje se tedy radiofarmakum s vlastností rychle se vylučovat, čímž Tc-MAG3 je. Záznam je spuštěný v momentu aplikace do žíly. Rozlišují se chronologicky perfúzní, parenchymová a exkreční fáze, podle kterých se tvoří nefrografické křivky, pomocí nichž lze reflektovat, kolik se indikátoru vychytalo v ledvinném parenchymu, jak rychle odtekl s močí kalichopánvičkovým systémem. Ukazuje se intenzita aktivity v ledvinách během celého vyšetření. U intenzivní jednoduché neobstrukční dilatace kalichopánvičkového systému, obstrukce močových cest, akutní tubulární nekrózy nebo tubulointersticiální nefritidy nastává obvykle podstatný zvrát třetí fáze nefrografické křivky. Dynamická scintigrafie má potenciál informovat o funkci parenchymu, kalichopánvičkových struktur a močovodů. Lze rozeznat poruchy jednotlivých ledvinných oddílů a referovat o odtoku radiofarmaka močovými cestami. Patologická funkce ledviny se projeví též redukcí křivky parenchymové fáze.

Co se týče určení poměru funkce ledvin, sleduje se záznam progresu rychlosti aktivity radiofarmaka v II. fázi. Bazálním postupem je porovnání strmosti vzestupné fáze křivky obou ledvin při odčítání aktivity indikátoru v cévním sektoru. Druhá možnost stanovení funkčního renálního poměru souvisí s principem radiofarmачní akumulace, jež je přímo úměrná ledvinné aktivitě během parenchymové fáze. Zásadou je kontrola a výpočet poměru radiofarmaka přijatého ledvinami v druhé minutě od aplikace Tc-MAG3 či při podání Tc-DTPA v druhé – třetí minutě. Indikátorové množství zachycené ledvinami se uvede podílem z kompletní aktivity přijatého pacientem. Za použití speciální rovnice se zjištěný podíl přepočítá na GFR hodnotu. Pravidlem je, že čím více z celého preparátu bude vychytáváno v příslušném čase ledvinami, tím se prokazuje správná činnost ledvin. Důležité je konstatovat, že se může objevit rozdílné hloubkové uložení ledvin. To částečně manévruje s naměřenými hodnotami z pravé a levé ledviny v rámci posouzení funkce prostřednictvím dynamické scintigrafie.

Odlišnou dávkou zeslabení záření pocházejícího z ledvin má na svědomí jiná šířka vrstvy tkání mezi ledvinou a povrchem zad. Ledvina situovaná více uvnitř se vizualizuje hůře nežli standardně umístěná. K dispozici jsou vzorce k odhadnutí hloubky uložení ledvin v závislosti na výšce a hmotnosti pacienta. Avšak při extrémní asymetrii tyto vzorce nelze využít. Pánevní renální dystopie se nedá pomocí dynamické scintigrafie vyšetřit dokonale. Postupy s absencí odběrů, které byly zmíněny, jsou technicky prosté a bez zátěže. Nejsou sice podobně kvalitní jako vzorkové alternativy, ale i tak přináší praktické informace a provádí se často.

Speciální jsou dynamické scintigrafie s aplikací ACE inhibitorů při snímání renovaskulární hypertenze a scintigrafie ledviny po transplantaci a diuretická nefrografie.

#### Dynamická scintigrafie transplantované ledviny

Kromě stavu funkce, drenáže ledvin je nutné v souvislosti s dynamickou scintigrafií transplantátu posoudit i její perfúzi. Porucha perfúze znamená odmítnutí ledviny tělem nebo děje akutní tubulární nekrózy, které vznikají nejčastěji od doby vyjmutí ledviny do chvíle zavedení do těla a čekání, zdali bude orgán akceptovaný a prokrví se. Když funkční porucha dominuje nad perfúzní fází, značí to akutní tubulární nekrózu. V případě odmítnutí (rejekce) se uvede perfúzní převaha nad parenchymovou. V rámci hyperakutní rejekce probíhá patologie funkce současně se sníženým průtokem renálního řečiště. Detektor gama kamery je orientovaný na transplantovanou ledvinu, ilické arterie a močový měchýř. Pacienti se vyšetřují v přední projekci. Radiofarmakum je aplikováno intravenózně jako bolus, poté se kontrolují jednovteřinové scintigramy, po první minutě se znázorňuje průtok indikátoru ilickou artérií a renálním parenchymem. Dále se hodnotí, za jak dlouhý čas se radiofarmakum vstřebá do ledvin a poté odtok moči do močového měchýře.

#### Diuretická nefrografie

Toto nukleárně-medicínské vyšetření se zaslouhuje o rozlišení dilatace kalichopánvičkového systému od obstrukce močových cest, která zapříčiňuje hydronefrózu. Hodnocení efektu diuretického farmaka na odtok moči přítomné v roztaženém kalichopánvičkovém systému je principem vyšetření.

Aplikuje se Tc-MAG3, které je vyhovující kvůli schopnosti se rychle vyloučit do močového měchýře. U dětí do 2 let nebo pacientům s renální dysfunkcí je například Tc-DTPA nevhodné podávat. Zásadou je poučit pacienty o dostatečném pitném režimu před konáním scintigrafie a aby během vyšetření leželi stabilně a nehýbali se. Obvyklým zvykem

je aplikace furosemidu ve dvacáté minutě vyšetření, čímž lze zhodnotit stav drenáže za fyziologických podmínek a během diuretického působení. Negativním faktorem je dvojitá i.v. aplikace, což u malých dětí znamená zajistit periferní žilní katétr či podání sedativ. Diuretikum lze podat také ihned po radiofarmaku. Po 10. minutě nastává absolutní efekt furosemidu, radiofarmakum bývá odplaveno z ledvin časněji. Efektivní charakteristika drenáže v době maximálního účinku diuretika je možná pouze při aplikaci 15 minut před začátkem dynamického scintigrafického zobrazení.

Diuretická účinnost je popisována pomocí výsledků nefrografických křivek, průběhu efektu furosemidu a furosemidové reakce, která je stanovena číselnými parametry. Pokud je v závěru dynamické studie přítomné radiofarmakum v kalichopánvičkovém systému, je podmínkou uskutečnění scintigrafie po vzpřímení a mikci pacienta, tím se ověří případný nesprávný kladný výsledek scintigramu kvůli distenzi vlivu gravitace a distenzi močového měchýře. Obstrukční potíže se vyznačují pomalým odtokem moči z kalichopánvičkového systému i po aplikaci diuretika.

#### Diagnostika renovaskulární hypertenze

Provádí se dynamickou scintigrafií s aplikací ACE inhibitorů. Renovaskulární hypertenze se projevuje při ledvinné hypoperfúzi aktivací renin-angiotenzinovým systémem v důsledku ucpání renální arterie.

ACE inhibitory docílí redukcí filtračního tlaku v glomerulech a následně sníží glomerulární filtraci. Dalším jejich důsledkem je zpomalení průchodu radiofarmaka ledvinnými tubuly. Při použití Tc-DTPA je nezbytné všimnout si snížení distribuce radiofarmaka v ledvině v parenchymové fázi, což souhlasí s redukcí glomerulární filtrace zapříčiněné stenózou ledvinné arterie způsobené ACE inhibitory.

V případě Tc-MAG3 se objeví obraz parenchymové retence radiofarmaka. ACE inhibitory na rychlost akumulace preparátu nemají vliv ve vyšetřované ledvině, omezí však průtok parenchymem. Důkaz pravého postižení je nutné ověřit scintigrafií bez aplikace inhibitorů a posléze obě vyšetření porovnat. Podstatné je provést obě vyšetření za stejných podmínek. Nesmí se zapomenout naříditi pacientovi vysadit ACE inhibitory, pokud je pravidelně zvyklý je brát v rámci terapie. Důsledkem nevysazení by mohla nastat hypotenze způsobující nefunkčnost obou ledvin a samotné vyšetření by bylo neefektivní.



*„Hypertenze do 30 let, diastolický krevní tlak vyšší než 130 torr, náhlý vznik nebo exacerbace hypertenze, hypertenze rezistentní na terapii, hypertenzní retinopatie III. – IV. stupně, systolicko-diastolický šelest nad epigastriem, vznik diastolické hypertenze ve věku vyšším než 55 let, pokles ledvinné funkce u pacienta léčeného ACE inhibitory.“ (4 s. 111).*

To všechno je hlavní indikací k diagnostice renovaskulární hypertenze podáním ACE inhibitory.

Mezi pozitivní aspekty vyšetření patří neinvazivita. V porovnání se sonografií se považuje vyšetření za lehce přesnější s nižší senzitivitou a vyšší specificitou postupu. Může se provést i po sonografickém vyšetření, které zjistilo stenózu renální arterie, avšak je potřebné doplnit informace týkající se hemodynamické povahy.

### **1.11.2 Statická scintigrafie**

Uskutečňuje se podáním Tc-DMSA (dimerkaptojantarová kyselina) vychytávajícím se ledvinnými tubuly. Zanedbatelná část radiofarmaka je primární močí pomocí glomerulu vyloučena. Cílem je situace, kdy poměr distribuce radiofarmaka v obou ledvinách je úměrný poměru tubulární aktivity pravého i levého orgánu. Během trvání scintigrafie je v cortexu ledviny nakupeno téměř 60 % z aplikovaného množství.

Stanovení plazmatické clearance vzorkovými radionuklidovými metodami

Pozitivním aspektem je, že nejsou potřeba vzorky moči. Clearance plazmatická je stejná s renální v případě manipulace s látkami vylučovanými výhradně jen ledvinami a charakterizujícími nemetabolizováním v organismu. Kladnou funkci ledvin poznáme pomocí nižší plazmatické koncentrace v daném čase po aplikaci radiofarmaka. Díky Tc-DTPA lze zjistit hodnotu glomerulární filtrace. Změření celkové funkce ledvin je možné stanovit i prostřednictvím dynamické scintigrafie i.v. aplikací radiofarmaka a následným odběrem plazmy. (4 s. 106 - 113).

### **1.12 Radiační ochrana**

Oddělení nukleární medicíny musí dodržovat režim radiační ochrany v rámci znění zákona č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů a vyhlášky č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů. (3).

Kardinálním úkolem je kontrolovat ozáření pacientů i personálu, aby se u nich neobjevily deterministické účinky ionizujícího záření a měli minimální šanci tolerovanou pro

jedince a celou společnost na výskyt stochastických následků. Uplatňují se zde princip zdůvodnění, optimalizace a nepřekročení limitů.

Radiolog či jiná osoba vykonávající činnost spojenou se zdroji ionizujícího záření musí zvážit, zdali je vyšetření nezbytné pro daného pacienta a zdali bude přínosné a nebude příliš riskantního charakteru. Další zásadou je efektně využívat funkci záření v přijatelném ekonomickém a sociálním hledisku. Působící dávky záření na klienty musí být tak nízké, jak je rozumně možné dosáhnout. Je důležité dodržovat bezpečnostní předpisy radiační ochrany nejen kvůli zdraví pacientů, nýbrž brát ohled i na životní prostředí.

Radiační ochrana stanovuje expozice pro pracovníky, kde bere v úvahu veškeré ozáření během pracovní činnosti včetně možných důsledků práce.

Dalším rozlišením je lékařská expozice, do které spadá ozáření pacientů během diagnostických a terapeutických postupů, osob pomáhajících pacientům při ozáření (matky držící dítě) a jedinců v rámci výzkumu lékařského charakteru ionizujícího záření. Lékařské ozáření neuplatňuje limity na rozdíl od ostatních typů expozic, aby se docílilo kvalitní diagnostiky či terapie a nemusel se brát ohled, který by způsobil nedostatek informací, a tedy zbytečně naplánované vyšetření.

Třetí, poslední expozice, souvisí s obyvateli. S nukleární medicínou souvisí hlavně otevřené zářiče, které nesplňují podmínky definice uzavřených zářičů. Mohou se aplikovat ve formě kapaliny, plynu či želatiny ( $^{131}\text{I}$ ). U uzavřeného zářiče je zásadní provádět pravidelně zkoušky těsnosti, zdali radioaktivní látka neuniká ze zdroje do okolí. Uzavřený zářič se používá například v brachyterapii a radionuklidových ozařovačích.

### **1.12.1 Radiační limity**

Do radiačních limitů nespádají expozice z přírodních zdrojů. Do limitů se počítají dávky způsobené diagnostickými i terapeutickými přístroji, formou otevřeného i uzavřeného zářiče.

Obecné limity se zaobírají expozicemi obyvatelstva. Roční efektivní dávka nesmí přesáhnout 1 mSv, roční ekvivalentní zátěž oční čočky nesmí být vyšší než-li 15 mSv a roční průměrná ekvivalentní dávka na plochu  $1\text{ cm}^2$  kůže těla nesmí překročit hranici 50 mSv.

Expozice pracovníků nesmí překročit roční dávku efektivní 20 mSv, ekvivalentní určenou pro oční čočku 150 mSv a průměrnou ekvivalentní na končetinách a kůži.

Limitními dávkami pro učně a studenty, kteří přichází na pracoviště se zdroji ionizujícího záření, je efektivní dávka 6 mSv, dále ekvivalentní dávka týkající se oční čočky 50 mSv a 150 mSv průměrná ekvivalentní dávka na končetiny a kůži.

### **1.12.2 Kategorizace pracovišť**

Nukleárně medicínské pracoviště využívající radionuklidové generátory ( $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{67}\text{Ga}$  a jiné), pracuje s jednoduchými zdroji ionizujícího záření, patří do II. kategorie. Oddělení nukleární medicíny, ve kterém se provádí radioterapie patologií štítné žlázy pomocí  $^{131}\text{I}$ , se zařazuje do III. kategorie. Sektory laboratorní, kde se přichází do kontaktu s  $^{125}\text{I}$  s nízkými aktivitami, se řadí do I. kategorie. Probíhají zde radioimunoanalytické postupy.

### **1.12.3 Kontrolované pásmo**

Prostředí, kde je možné obdržet roční ekvivalentní dávky vyšší než tři desetiny limitu oční čočky, končetiny a kůže a efektivní dávky vyšší nežli 6 mSv, se nazývá kontrolované pásmo. Jako příklad lze uvést vymírací místnost, kde se nacházejí nepotřebné materiály obsahující radionuklidy. Tyto radionuklidy jsou přítomny ve vymíracím úseku do doby, kdy projdou čtyřmi a více radioaktivními rozpady na požadovanou nízkou aktivitu, která není nebezpečná pro okolí. Takto neaktivní radionuklidy se již standardně mohou zlikvidovat. Na pracovištích nukleární medicíny je podstatné zajistit kvůli využívání otevřených zářičů příslušné prostředí pro převlékání a hygienu zaměstnanců. Pracují zde pracovníci kategorie A, kteří jsou povinni nosit filmové dozimetry na levé straně hrudníku. Celostátní služba osobní dozimetrie vyhodnotí po měsíčním dozimetrickém monitorování nastřádané beta nebo gama záření, přepočítá na efektivní dávku a provede záznam do dokumentace. Jestliže se zjistí překročení limitů efektivní dávky 20 mSv, ekvivalentní dávky 500 mSv na ruce, musí se zjistit příčina vysoké expozice. Provede se tedy prošetření příslušnou kompetentní osobou.

Každé pracoviště má stanovené hladiny dávkového příkonu, povrchové kontaminace, objemové aktivity odpadní vody. Aby tyto hodnoty nepřekročily normu, jsou monitorovány pomocí Geiger - Mülleroва detektoru (GM). Probíhá měření gama záření, zjišťuje se případná přítomnost radioaktivních směsí v kontrolovaném pásmu i dalších oddílech pracoviště. Kontroluje se výpustí a odpadní část odvádějící radionuklidy do městské kanalizace.

Pracovníci nukleární medicíny v rámci ochrany před radiací dodržují zásady trávit s pacienty jen nezbytný čas potřebný k zdárnému provedení vyšetření. S osobami, které mají ve svém těle aplikované radiofarmakum, jsou pracovníci v jedné místnosti co nejkratší čas, pacienti můžou kontrolovat z ovladovny. Dále se chrání dostatečnou vzdáleností od zdroje,

s jejíž druhou mocninou klesá dávkový příkon ionizujícího záření. Zaměstnanci se snaží vyvarovat zbytečných dávek záření používáním pomůcek, díky kterým nepřijdou se zářením do styku. Lze se chránit olověnými vestami, kontejnery, do kterých se zdroje radioaktivity dávají v případě přenosu na jiné místo. Existují též ochranné kryty na injekční jehly nebo další ochranné pomůcky, které jsou nejen z uvedeného olova, ale i z wolframu, který svazek záření má díky vysoké hustotě potenciál efektivně odstínit.

Podle zákona jsou nařízené pro pracovníky kategorie A lékařské prohlídky. Přehled o zdraví se zjišťuje prostřednictvím vstupní prohlídky. Poté pravidelně jednou ročně, dále po mimořádné události, kdy došlo k převýšení limitů nebo zdravotnímu zvratu zaměstnance. Součástí je taktéž i výstupní prohlídka, kterou provádí oprávněný lékař.

#### **1.12.4 Deterministické účinky**

Deterministické účinky představuje akutní nemoc z ozáření, akutní místní ozáření, katarakta, porucha krvetvorby a další. Pro tento druh účinků je typické, že čím vyšší je obdržená dávka, tím je poškození zhoubnější. Každá tkáň má podle své struktury buněk jinou radiosenzitivitu, tím pádem i odlišný dávkový práh. Efekt expozice se projevuje již nedlouhou dobu od ozáření (řádově během dnů až týdnů mimo kataraktu). Úvodní nevýrazné postihnutí má potenciál v průběhu poměrně krátkého času se efektivně zreparovat, nicméně intenzivní dávky dokáží vyvolat poruchu tak pokročilého rázu, že se nedokáže dát do pořádku.

Akutní forma nemoci z ozáření vzniká obdržením velmi vysoké jednorázové dávky, která postihla rozsáhlou část těla. Zdroj může být charakterizován vnitřní kontaminací nebo vnější expozicí.

Dřeňová forma hematologické povahy nemoci z ozáření je progresivní po jednorázovém celotělovém ozáření dávkou vyšší nežli 3 – 4 Gy, ovšem nepatrné známky se mohou ukázat po dávce 1 Gy. Následujících 24 hodin po expozici se objevují prodromální nespecifické projevy typu bolesti hlavy, skleslosti, nauzey, zvracení a průjmů. Po těchto příznacích může vzniknout dehydratace a hypertermie. Pokračováním je latentní období, které trvá několik dnů v závislosti na tom, jak výraznou dávku daný člověk obdržel. Po zmíněném čase bez projevů nemoci se nemoc ozývá v plné síle, zdravotní stav se začne horšit, je přítomná horečka, člověk je septický kvůli infekci, trpí krvácením do kožních a slizničních lokací. Imunita je razantně porušena, společně s ní i krvetvorba. Dochází k nedostatečnosti lymfocytů, trombocytů a v pozdější fázi i granulocytů. Poté se vyskytuje krvácení, zředovatění na povrchu sliznice ústní dutiny a hltanu. Může se objevit orofaryngeální

syndrom díky hlubokým nekrotázám. Dále se může vytvořit radiační pneumonitis postihující plicní orgán. Při nízké dávce se celkový stav a hematologické orgány zlepší po 6 – 8 týdnech pomocí darovaných krvetvorných buněk.

V případě obdržené dávky 6 – 10 Gy mají rané projevy intenzivnější potenciál, tudíž se progresivní problémy vyskytnou po ozáření už 4. – 7. den. De facto se hovoří o průjmech, ve kterých je přítomná krev. Člověk trpí anemií, nefunguje kvalitně vodní, minerální a acidobazický metabolismus. Mizí plazmatické proteiny v důsledku razantního krvácení do střev. Běžně začínají být přítomny příznaky ileu a perforace střeva. Poté často dojde k oběhovému selhání, nahromadění toxinů v krvi kvůli infekci a progres septického šoku. Díky nekrotickým buňkám krypt střeva se manifestuje gastrointestinální podoba akutní nemoci z ozáření. Patologie krvetvorných struktur a její příznaky se dostaví, zdali pacient vydrží naživu 7 – 10 dnů.

Kardiovaskulární formu zmiňujeme v souvislosti s ozářením 20 Gy, kdy velice časně přestane fungovat metabolismus, nastane srdeční selhání, maligní arytmie, kardiogenní šok a kóma. Lidé postihnutí dávkou vyšší než 50 Gy trpí dezorientací, hypotenzí, nastává dysfunkce dechu, insuficience oběhu, křeče a bezvědomí. Dotyčný je usmrcen na následky neuropsychické formy nemoci z ozáření.

V souvislosti s radiačními nehodami, které byly způsobeny vnějšími zdroji ionizujícího záření, se uvádí akutní lokální poškození. Jestliže byl člověk během radiační nehody přítomen ve velmi těsné blízkosti u zdroje či v přímém spojení s ním, kůže je poznamenána výraznou expozicí dávky. Objevuje se radiační dermatitis, jenž má tři úrovně. První stupeň začne probíhat erytémem po dávce 2 – 4 Gy. Poté následuje latentní doba 2 – 4 týdny, zánětlivý proces v korigiu způsobí zarudnutí kůže. Po dávce 3 Gy nastane za 3 týdny epilace na přechodnou dobu. Druhý stupeň erymatózní dermatitidy je charakteristický deskvamací, která se projevuje po obdržení dávky 20 Gy. Po dávce 50 Gy se ukazuje třetí stupeň, jenž má nekrotickou povahu, jsou poznamenány hlubší úseky pokožky. Vzniká infekce, následně se objevují vředy, které se nehojí lehce kvůli poškozeným cévám. Jejich poškození může mít vliv na funkci svalů a kostí. Byť se vředy zreparují, objeví se kvůli degenerativním zvrátům druhotný vřed, který se nezbytně musí odstranit operací.

### 1.12.5 Stochastické účinky

V rámci stochastických následků se neuvádí žádný limit expozice záření, s narůstající dávkou mohou nastat pouze s větší pravděpodobností. Spadají pod ně genetické změny a zhoubné karcinomy (leukémie, sarkomy aj.).

Úroveň nádorové malignity není závislá na obdržené dávce záření, ale frekvence výskytu ano. Je racionální předpovídat objev nádorů u ozářených osob, ovšem individuálně u každého jedince nemůžeme doložit, zdali se karcinomy zrodily kvůli ozáření. Stochastické účinky se neliší od patologií stejně charakteristických spontánně vzniknutých u osob, které se nepodrobily ozařování. (4 s. 26 – 30).

### 1.12.6 Veličiny radiační ochrany

Aby se komplexnost radiační ochrany kompletně pochopila, jsou definovány ekvivalentní a efektivní dávka.

#### **Ekvivalentní dávka**

Součinem střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni a radiačního váhového faktoru se vypočte ekvivalentní dávka. Radiační váhový faktor má hodnotu 1 pro beta a gama záření, hodnotu 20 pro alfa a neutronové záření. Jednotkou dávkového ekvivalentu je Sievert.

#### **Efektivní dávka**

V souvislosti s efektivní dávkou se bere v úvahu fakt, že jedinec přijme expozici záření fyzicky nerovnoměrně. Je možné ji vypočítat součtem součinů ekvivalentních dávek a tkáňových váhových faktorů, které reflektují odlišnou radiosenzitivitu orgánových struktur a tkání vzhledem k pravděpodobnosti počátku stochastických následků. Na kompletním množství stochastických poruch během celotělového ozáření se určuje podíl poznamenaných jednotlivých orgánů a tkání. V souvislosti s touto dávkou se zmiňuje jednotka Sievert (J.kg.<sup>-1</sup>). (4 s. 25).

#### **Absorbovaná dávka**

*„Je energie ionizujícího záření absorbovaná v daném místě ozařované látky na jednotku hmotnosti. Je tedy dána poměrem  $D = DE / Dm$ , kde  $DE$  je střední energie ionizujícího záření absorbovaná v objemovém elementu látky a  $Dm$  je hmotnost tohoto objemového elementu. Jednotkou absorbované dávky je  $1 \text{ J} / 1\text{kg}$ , která se nazývá **1Gray [Gy]**.*

## Lineární přenos energie (LET)

Představuje střední energii lokálně předanou látce prolétající částicí, vztaženou na jednotkovou dráhu částice:  $L = DE / Dx$ , kde  $DE$  je energie odevzdaná elektronům a iontům nabitou částicí při jejím průchodu po dráze  $Dx$ . Základní jednotkou lineárního přenosu energie by sice byl  $1J/1m [J.m^{-1}]$ , v praxi se však používá  $keV/mm$  ( $1 keVmm^{-1} = 1,602 \cdot 10^{-10} J.m^{-1}$ ). Má-li záření krátký dosah (záření alfa), je absorbovaná energie rozložena podél krátké dráhy, lineární přenos energie je vysoký, takže ionty jsou podél dráhy částice rozloženy velmi hustě.

## Expozice

Je definována jako poměr absolutní hodnoty  $DQ$  celkového elektrického náboje iontů jednoho znaménka, které byly uvolněny při interakci fotonů ( $X$  nebo gama) v hmotnostním elementu vzduchu o hmotnosti  $Dm$ , při úplném zabrzdění všech vzniklých elektronů a pozitronů:  $DQ/Dm$ , vztažený na jednotku hmotnosti tohoto vzduchu. Jednotkou expozice v soustavě SI je coulomb na kilogram. Do tohoto celkového elektrického náboje  $DQ$  se přitom započítává pouze náboj iontů uvolněný interakcí primárních fotonů a interakcí sekundárních elektronů uvolněných z atomů vzduchu, nezapočítává se další náboj, který může vzniknout absorpcí brzděného záření emitovaného elektrony (popř. charakteristického  $X$ -záření). Pro vysoké energie fotonů  $g$  (vyšší než  $2-3MeV$ ), kdy dodatečnou ionizaci způsobenou brzděným zářením nelze zanedbat, již veličina expozice nezachycuje objektivně účinek takového záření.

## Dávkový ekvivalent

V uvažované tkáni je dán součinem absorbované dávky  $D$  v daném místě a jakostního faktoru  $Q$ :  $H = Q \cdot D$ . Jednotkou dávkového ekvivalentu je  $1$  Sievert [ $Sv$ ] \*). Dávka  $1 Sv$  jakéhokoli záření má stejné biologické účinky jako dávka  $1 Gy$  rentgenového nebo gama záření (pro které je jakostní faktor stanoven  $1$ ). Dávkový ekvivalent je biofyzikální dozimetrická veličina, která kombinuje fyzikální veličinu radiační dávka s daným druhem záření a mírou jeho vlivu na živou tkáň - v porovnání s fotonovým zářením.

## Dávkový příkon

Je dávka obdržaná v daném místě ozařovanou látkou za jednotku času, tedy poměr přírůstku dávky  $DD$  za časový interval  $Dt$ :  $D' = DD / Dt$ . Jednotka je Gray za sekundu [ $Gy.s^{-1}$ ], v praxi se častěji používají jednotky [ $Gy/min.$ ] nebo [ $mGy/hod.$ ]. “ (8 [online])

### 1.13 Radiologický asistent

Radiační pracovník se zaslouhuje o správný epidemiologicko-hygienický systém, je povinný vést příslušnou dokumentaci týkající se zdravotnictví, je ve spojení s informačním systémem daného zdravotnického zařízení. Radiologický asistent komunikuje s pacienty v rámci své odborné způsobilosti, předává rady a doporučení lékaře. Může být zapojen do tvorby standardů.

Nehledě na přítomnost či svolení odborníka a mimo indikace má kompetenci pracovník podílet se ve všech zdravotnických radiologických odděleních na činnosti a klasifikaci zkoušek provozní stálosti daného příslušenství, které souvisí s ionizujícím zářením. Radiologický asistent má dále zodpovědnost aktivně nakládat s přístrojovým zařízením tak, aby správně zajistil dosažení jakosti, vhodného ozáření pacienta dle pravidel optimalizace a radiační ochrany. Výkony na radiologických pracovištích radiologický asistent podporuje ošetrovatelskou péčí. Radiologický asistent by měl mít přehled o léčivech, zdravotnických potřebách, zjišťovat periodicky jejich aktuální stav. Pokud se jedná o zdravotnické instrumenty, měl by zajistit jejich sterilizaci. (2 s. 483).

*„Radiologický asistent vykonává činnosti podle § 3 odst. 2 vyhlášky č. 146/1997 Sb., kterou se stanoví činnosti, které mají bezprostřední vliv na jadernou bezpečnost, a činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, požadavky na kvalifikaci a odbornou přípravu, způsob ověřování zvláštní odborné způsobilosti a udělování oprávnění vybraným pracovníkům a způsob provedení schvalované dokumentace pro povolení k přípravě vybraných pracovníků, ve znění vyhlášky č. 315/2002 Sb.“ (2 s. 487).*

Pracovník může mít úlohu činit jednotlivé lékařské ozáření za absence odborně dohlížející osoby tehdy, když odborně způsobilý lékař svolí. De facto zaměstnanec je privilegován aktivně mít podíl na nukleárně medicínských zobrazovacích i nezobrazovacích metodách. Dále může pacientům podkožní, nitrosvalovou nebo kožní formou aplikovat léčivé přípravky podle zákona č. 378/2007 Sb., o léčivech a o změnách souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Má právo vykonávat terapeutické a zobrazovací postupy, které nesouvisejí s ionizujícím zářením, nýbrž mají odlišné fyzikální aspekty s podmínkou, že za ně klinicky bude odpovídat. Intravenózně aplikovat léčiva pacientům má možnost radiologický asistent pouze za přítomnosti lékaře. (1, 2 s. 484).



## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

Radiologičtí asistenti na nukleární medicíně mají různé úlohy v rámci práce. Periodicky a v rámci prevence spojené s radiační ochranou (ochrana časem) podléhají střídání s ostatními kolegy na příslušných úsecích pracoviště. Příchozí pacient přijde do styku s radiologickými asistenty v kartotéce, aplikační místnosti a následně ve vyšetřovně.

Pacienti, kteří přicházejí na oddělení, se musí nahlásit na pracovišti kartotéky. Radiologický pracovník je povinen pacienty seznámit s průběhem vyšetření, kterému se podrobí. Upozorní pacienty, že by měli dostatečně pít před vyšetřením i po jeho závěru a že je po nich vyžadováno, aby měli prázdný močový měchýř před scintigrafií. Pracovníci mají v náplni své pozice také zjistit pacientovu výšku a hmotnost a provést záznam těchto údajů do karty pacienta. Na některých pracovištích se pacientům poskytují tyto informace, jak se efektivně připravit na dané vyšetření také prostřednictvím napsaných stručných dokumentů.

Pracovník edukuje klienty o vyšetření a dává jim podepsat informovaný souhlas, který si mohou důkladně a v klidu prostudovat v čekárně před samotným vyšetřením. Pacienti mohou směřovat své případné dotazy na lékaře, který je bude vyšetřovat. U nezletilých potvrzuje informovaný souhlas jejich zákonný zástupce.

U pacientek v případě nejistoty těhotenství může lékař indikovat statim laboratorní test gravidity. Ženy ve fertilním věku na většině odděleních sice nemusí podepisovat prohlášení, že nejsou těhotné, ale pracovníci mají povinnost se jich ptát a provést o tom záznam do dokumentace.

Dalšími úkoly radiologického asistenta jsou: zadávání údajů pacienta (jméno, příjmení, rodné číslo, hmotnost a výška) do počítače, kontrola adekvátního nastavení přístroje a výběr vyšetřovacího protokolu. V některých případech lékař přednastavené parametry doporučí změnit. Podle radiofarmaka, které je aplikováno pacientovi, se musí připravit ke gamakameře vhodný kolimátor, aby byl průběh vyšetření a z něho vzniklý scintigrafický obraz kvalitní a pro lékaře, který provádí diagnostiku, čitelný.



**Obrázek 5: Kolimátory (autor)**

Dále radiologický asistent po každém vyšetření uklízí použité papírové podložky ze stolu a připravuje nové pro příchozí pacienty. Průběžně lůžko dezinfikuje, v případě dekontaminace tělními tekutinami využívá ochranné pomůcky a likviduje podle standardů o nakládání s radioaktivními odpady. Aktivní identifikace probíhá na každém oddělení nukleární medicíny. Osoby, které ji provádějí, jsou specifikovány pokyny vydanými daným oddělením.

Radiologický asistent má kompetence provádět rozplňování radiofarmak. Aktivitu stanovuje dle hmotnosti pacienta a objemové aktivity uvedené v průvodním listu radiofarmaka. Do sterilní stříkačky pracovník v digestoři natahuje radiofarmakum. Stříkačka s RF se posléze vloží do papírového obalu, aby se nekontaminovala studnová ionizační komora, a uloží se do studnového detektoru, kde probíhá měření aktivity. Předtím než se změří aktivita radiofarmaka, se musí zkontrolovat nastavení. Údaje spojené s aktivitou lze vidět na monitoru detektoru. Pokud je aktivita správná, asistent stříkačku dá do olověného obalu a stínícího kontejneru.

Radiologický pracovník asistuje lékaři při podání radiofarmaka pacientovi. Připraví pomůcky k intravenózní aplikaci (jehlu, stříkačku, čtverce buničiny, náplast, škrtidlo, rukavice, dezinfekci). Aby se dosáhlo úspěšného průběhu vyšetření, rodiče nebo pracovníci jsou přítomni u dětí a uklidňují je. Scintigrafické studie se většinou kvůli neklidným dětem zkracují. Sedativa se aplikují dětským pacientům velmi zřídka. Radiologičtí asistenti by měli lpět též na své ochraně před radioaktivitou. S pacienty, kteří jsou zdrojem záření, se snaží být krátkou dobu a zachovávají si odstup. Své pracovní úkony v blízkosti pacienta se snaží provádět rychle, využívají ovládání ovladače z delší vzdálenosti a nosí ochranné pomůcky. Radiologický asistent během vyšetření pozoruje pacienta a kontroluje jeho stav.

## 2.1 Dynamická scintigrafie

Radiologičtí asistenti doporučují pacientům, aby se dostatečně zhydratovali, vypili alespoň půl litru vody před scintigrafií. Většinou pět minut před začátkem vyšetření vyhledá asistent v čekárně pacienta. Upozorní ho, že proběhne brzy vyšetření a že má jít na toaletu. Tím se docílí adekvátní přípravy. Na scintigramu by neměla ze začátku být přítomná radioaktivní moč v močovém měchýři.



**Obrázek 6: Jednohlavá kamera (autor)**

Dynamický typ scintigrafie ledvin se preferuje provádět na jednohlavé gama kameře (obrázek č. 6) v zadní projekci, pacient leží tedy nad detektorem. Na dvouhlavou kameru se indikují vyšetření transplantovaných a dystopicky uložených ledvin z přední a zadní projekce. Vyšetřovací protokol začíná minutovou scintigrafií s frekvencí 1 obrázek za sekundu. Následuje scintigrafie, která trvá 29 minut s frekvencí 1 obrázek za 10 sekund. Je nezbytné,

aby měl pracovník zadané údaje pacienta v softwaru a příslušný vyšetřovací protokol. Současně s aplikací musí okamžitě spustit studii.



**Obrázek 7: Uložení pacienta na dynamickou scintigrafii (autor)**

K tomuto vyšetření se využívá nízkoenergetický, paralelní kolimátor s vysokým rozlišením a maticí 64x64. Pracovník zavolá klienta z čekárny, zkontroluje potvrzení informovaného souhlasu, provede aktivní identifikaci. Ujistí se, zda pacient dostatečně pil a byl na toaletě před vyšetřením. Oznámí pacientovi, ať si odloží kovové předměty z oblasti břicha, které by mohly znepráhlednit výsledek vyšetření. Pacienti se většinou na vyšetření ledvin nemusí svlékat, pouze si vyhrnou tričko nahoru nebo kalhoty částečně sundají. Asistent stručně pacientovi zopakuje průběh vyšetření, uloží ho na stůl (obrázek č. 7), pomocí ovladače s ním zajede nad kolimátor. Dále zmíní, že je podstatné, aby ležel nehybně (hlavně v břišní oblasti) a v klidu si dýchal. Správné orientaci může docílit pomocí vyhmátnutí si lopaty kosti kyčelní na těle pacienta. K určení polohy se používá stříkačka s RF, která se přikládá ke crista iliaca a nad močový měchýř. Sleduje se zvýšená aktivita RF a její umístění na monitoru gama kamery. Sdělí také půl hodinový interval trvání scintigrafie a začátek vyšetření, kdy proběhne aplikace RF. Podá informaci o případné další i.v. aplikaci, pokud se lékař rozhodne použít diuretikum.

Radiologický asistent je k dispozici lékaři při podání radiofarmaka (nejčastěji  $^{99m}\text{Tc}$  MAG3 o aktivitě 185 MBq – u dospělého 70kg člověka). Do protokolu vyšetření se musí zaznamenat čas a místo aplikace, které svým podpisem potvrdí i lékař. Pracovník během vyšetření tráví většinu času v ovladovně (dbá na dodržování radiační ochrany) a sleduje pacienta.

Po 15ti minutách vyšetření upozorní lékaře, který rozhodne o případném podání diuretika – furosemidu v 20. minutě. Zopakuje se opět záznam do dokumentace pacienta, napíše se místo, čas aplikace a podané množství furosemidu a lékař se podepíše. Asistent pokračuje v monitorování pacienta. Po závěru studie odešle výsledná data podle zvyklostí na daném oddělení lékaři, který je zpracuje a popíše. Radiologický asistent propustí pacienta, naposledy ho poučí, aby hodně pil, nepřibližoval se k malým dětem a těhotným ženám.

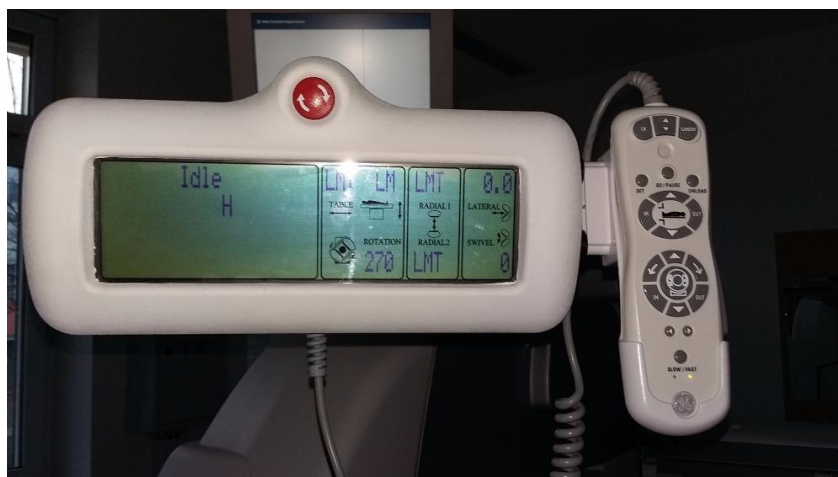
## 2.2 Statická scintigrafie

Pacient nemusí být nalačno, hodně pije a před vyšetřením se musí vymočit. V rámci statické studie se podává RF zhruba dvě hodiny před vyšetřením. Používá se  $^{99m}\text{Tc}$  – DMSA o aktivitě 185 MBq. Aplikaci většinou provádí lékař, ale radiologičtí asistenti nebo zdravotní sestry jsou k tomu též kompetentní. Jak bylo zmíněno již výše, musí se zapsat do dokumentace čas a místo vpichu radiofarmaka. Pacient musí podepsat, že souhlasí s výkonem, který mu bude proveden.



**Obrázek 8: Dvouhlavá kamera Infinia (autor)**

Statická scintigrafie probíhá na dvouhlavé gama kameře se SPECT zobrazením. Protokol určený k vyšetření se skládá z planární scintigrafie z přední a zadní projekce. Používá se matice 256x256, studie skončí zhruba do 10 minut automaticky po průběhu 500 000 impulzů na každém detektoru. Ke statické scintigrafii se používá kolimátor nízkenergetický, paralelní s vysokým rozlišením. Po planární scintigrafii začne SPECT vyšetření, které probíhá s maticí 128x128. Pacient leží na zádech.



**Obrázek 9: Ovládání vyšetřovacího lůžka scintilační kamery (autor)**

Radiologický asistent nastavuje pacienta, aby se ledviny nacházely ve středu zorného pole gama kamery. U dětských pacientů lze korekcí upravit zoom individuálně. Asistent upozorní před spuštěním SPECT studie pacienta, aby si dal ruce za hlavu, vydržel se nadále nehýbat a že se kolem něho bude přístroj otáčet.



**Obrázek 10: Uložení pacienta během statické scintigrafie (autor)**

Na závěr po uplynutí scintigrafie pracovník zmíní, aby pacient dodržoval pitný režim. Radioaktivní látka, která mu byla podána se vylučuje močí. Čím více bude pít, tím rychleji ji z těla vyloučí a sníží si radiační zátěž na močový měchýř. Dále klade důraz na informaci, aby pacient omezil blízký kontakt s těhotnými a malými dětmi.

### 3 DISKUSE

Radiologický asistent se věnuje práci v oboru, který souvisí velmi s technickým vybavením. Vědomosti určité části problematiky načerpané během studia se mohou využívat dočasně. Technika se postupem let rozvíjí a zlepšuje, tudíž se požaduje po radiologických pracovnících průběžné vzdělávání, aby adekvátně zvládali pracovat s počítači a s dalším ovládáním přístrojů a neohrozili bezpečnost pacientů.

Náplní práce radiologických asistentů mimo již zmíněné přístroje, je také komunikace s pacienty. Pracovníci jsou denně v kontaktu s dospělými, dětmi, seniory, ale mohou se setkat s lidmi psychicky labilními, neslyšícími, slepými nebo s lidmi, kterým medicína už nedokáže pomoci. Je tedy důležité dbát na korektní chování. Pracovník, který s těmito lidmi přichází do styku, by se měl naučit dostatečně do těchto lidí vcítit a vhodně s nimi jednat.

V rámci praxe na oddělení nukleární medicíny jsem přišel do styku s pacienty, kteří většinou měli z vyšetření strach kvůli radioaktivní látce, která se jim aplikuje. Podstatné je tedy pacienty efektivně informovat a ubezpečit je, že je radiační zátěž mnohem nižší než třeba na CT vyšetření, které klienti znají mnohem více. Pacientům by se mělo vysvětlit, proč by měli více dodržovat pitný režim po vyšetření. Díky tomu rychleji vyloučí látku močí z těla a tím zabezpečí nižší dávkový příkon na močový měchýř a kalichopánvičkový systém ledvin. Zmínit lze i další opatření, které se týká vzdálenosti od pacientů čekajících na vyšetření v čekárně, kteří jsou zdrojem záření též.

Studium radiologického asistenta se změnilo postupně zákony. Původně se obor dal vystudovat na střední škole, poté na vyšší odborné škole a aktuálně přes bakalářské vysokoškolské vzdělávání, které trvá tři roky.

I přes jisté výhody ultrazvuku a magnetické rezonance, které neprodukují ionizující záření a progres v souvislosti s CT, je scintigrafie přínosem a často indikována.

## 4 ZÁVĚR

Cílem tohoto dokumentu bylo popsat aktivity radiologického asistenta v rámci radionuklidových vyšetření ledvin. Úspěšné provedení a kvalita vyšetření závisí velmi na pracovnících, na jejich zkušenostech a odborných vědomostech. Role těchto zaměstnanců je podstatná, jsou ve styku s přicházejícím klientem, pracují s radiofarmaky a ovládají nastavení přístrojové techniky. Poté přebírá zodpovědnost přítomný lékař na oddělení. Bakalářská práce byla koncipována do teoretické a praktické části. V teoretické části se práce věnuje významu oboru nukleární medicína, radiologických pracovníků, radiační ochrany, stavbě a funkci ledvin a nefrografickým radionuklidovým postupům a přístrojovému vybavení. Informace byly čerpány z přednášek od vyučujících a z odborné literatury. Jednou ze zásad této práce bylo srozumitelně charakterizovat principy všech druhů radionuklidových vyšetření zabývajících se ledvinami – statické a dynamické scintigrafie ledvin. Cílem bylo též obě metody porovnat, v jakých případech jsou doporučována a jaké výhodné možnosti přinášejí.

Praktická část zahrnuje popis a fotografie statické a dynamické scintigrafie ledvin. Uvedena je i činnost radiologických asistentů během vyšetření.

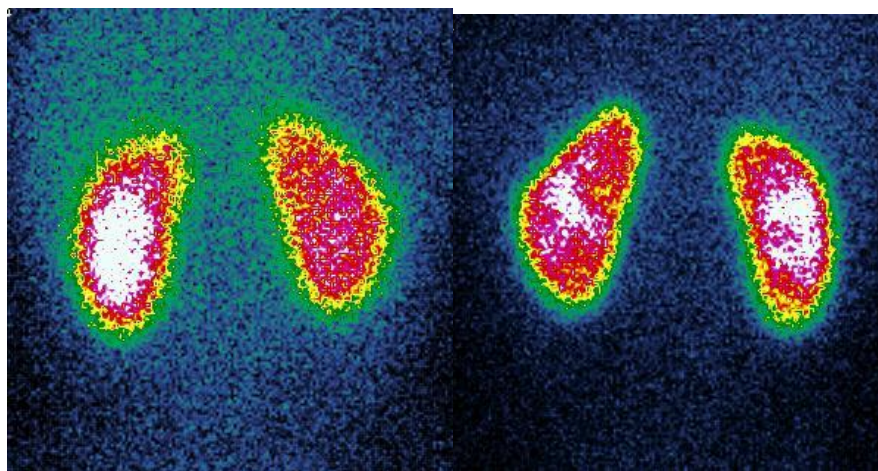


## 5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ČESKO Předpis č. 378/2007 Zákon o léčivech a o změnách některých souvisejících zákonů
2. ČESKO Vyhláška č. 55 ze dne 14. března 2011 Vyhláška o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků In: Sbírnka zákonů České republiky. 2011, částka 20, s. 482–543.
3. ČESKO Vyhláška č. 307 ze dne 13. června 2002 Vyhláška o radiační ochraně.
4. KUPKA, Karel., Josef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-809-0358-492
5. MYSLIVEČEK, Miroslav. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-802-4417-233.
6. NAŇKA, Ondřej., ELIŠKOVÁ, Miloslava. Přehled anatomie. 1.vyd. Praha: Univerzita Karlova v Praze, 2007. ISBN 978-80-246-1216-4
7. TROJAN, Stanislav. Lékařská fyziologie. 4. vyd. přepr. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
8. ULLMANN, Vojtěch, AstroNuklFyzika [online].  
<http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm> [citace 2016-11-04]
9. Věstník Ministerstva zdravotnictví. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2011, částka 9.
10. VIŽĎA, Jaroslav. Atlas of renal scintigraphy: Atlas scintigrafie ledvin. 1. vyd. Praha: Agentura Pankrác, 2002. ISBN 80-902-8736-0.

## 6 PŘÍLOHY

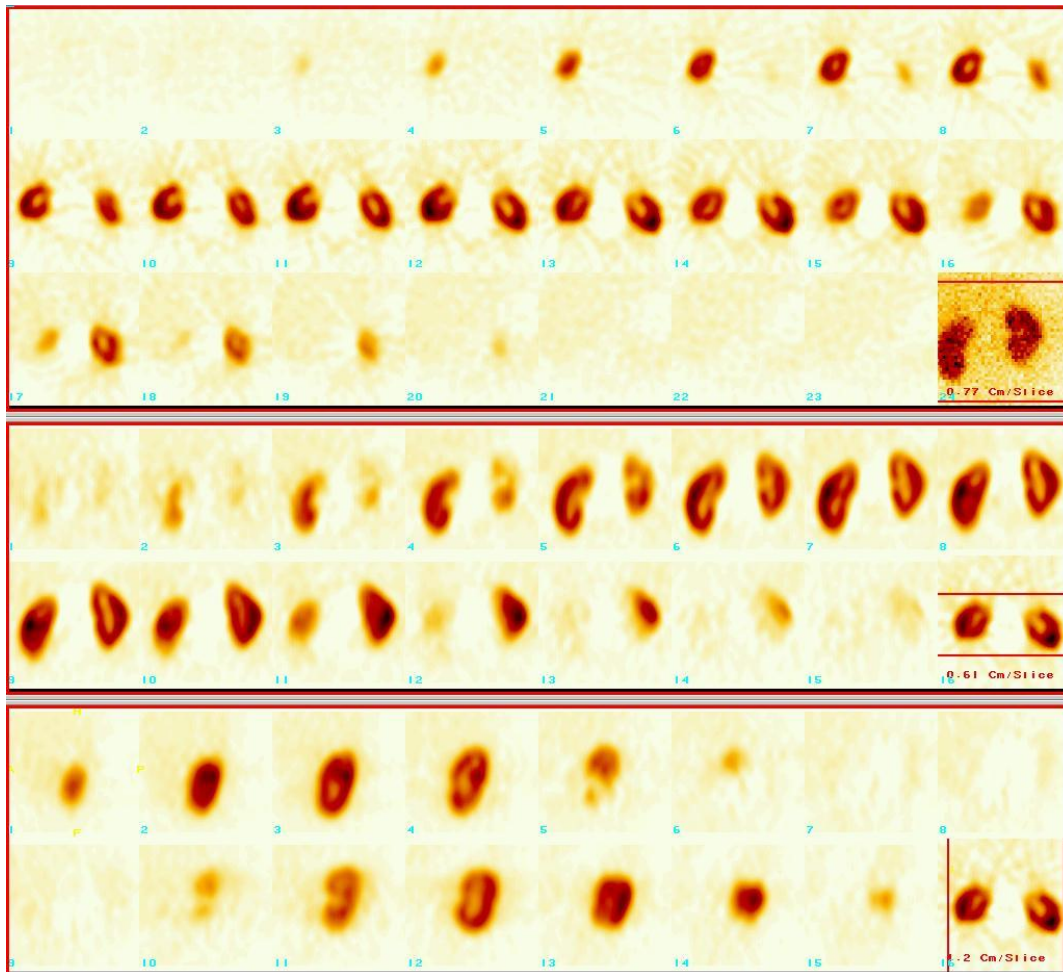
1. Statická scintigrafie ledvin Tc - DMSA – normální nález, přední a zadní projekce (Doležal, 2014, 27 s.)



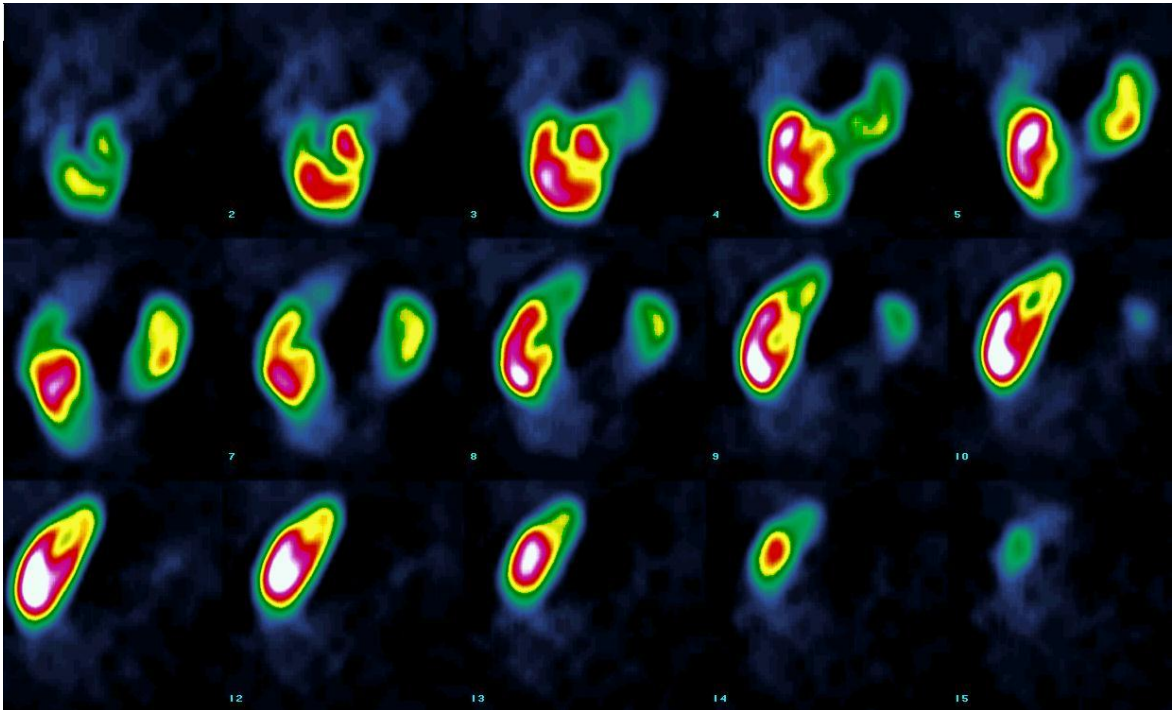
2. Statická scintigrafie ledvin Tc - DMSA – ren triplex, přední a zadní projekce (Doležal, 2014, 30 s.)



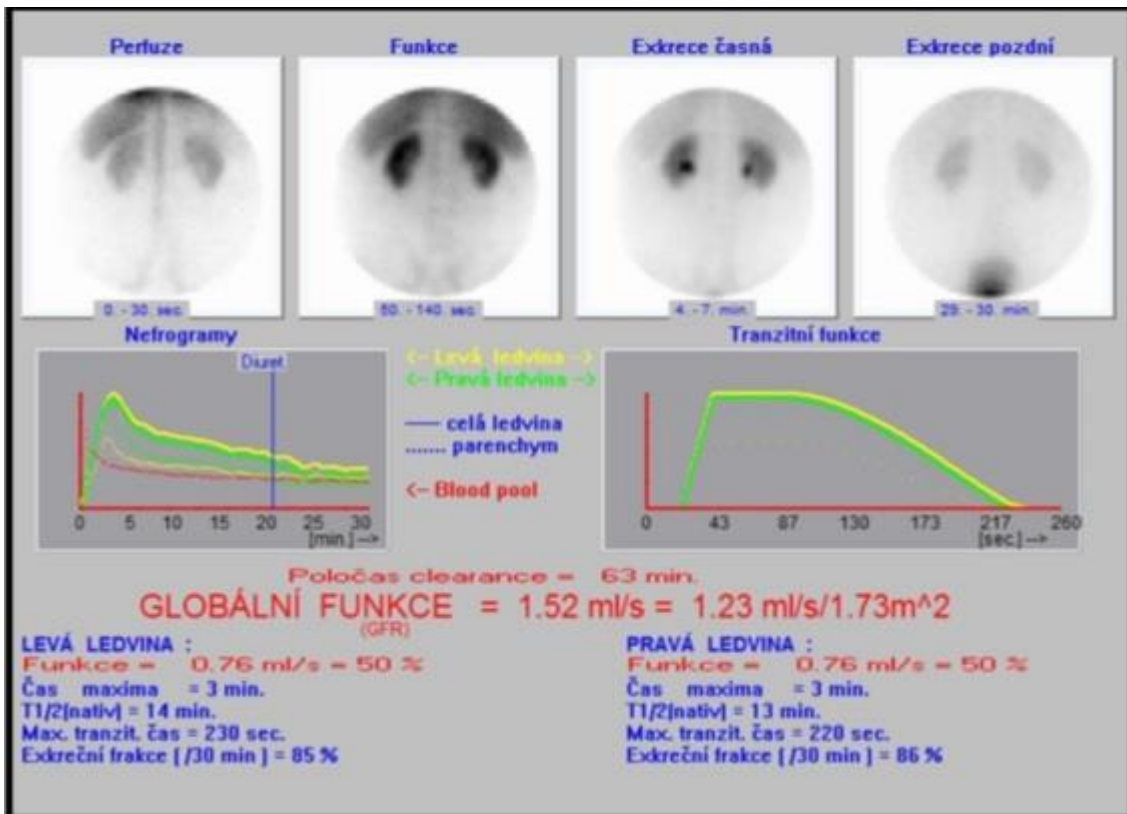
3. Statická scintigrafie ledvin Tc - DMSA – SPECT – normální nález (Doležal, 2014, s. 29)



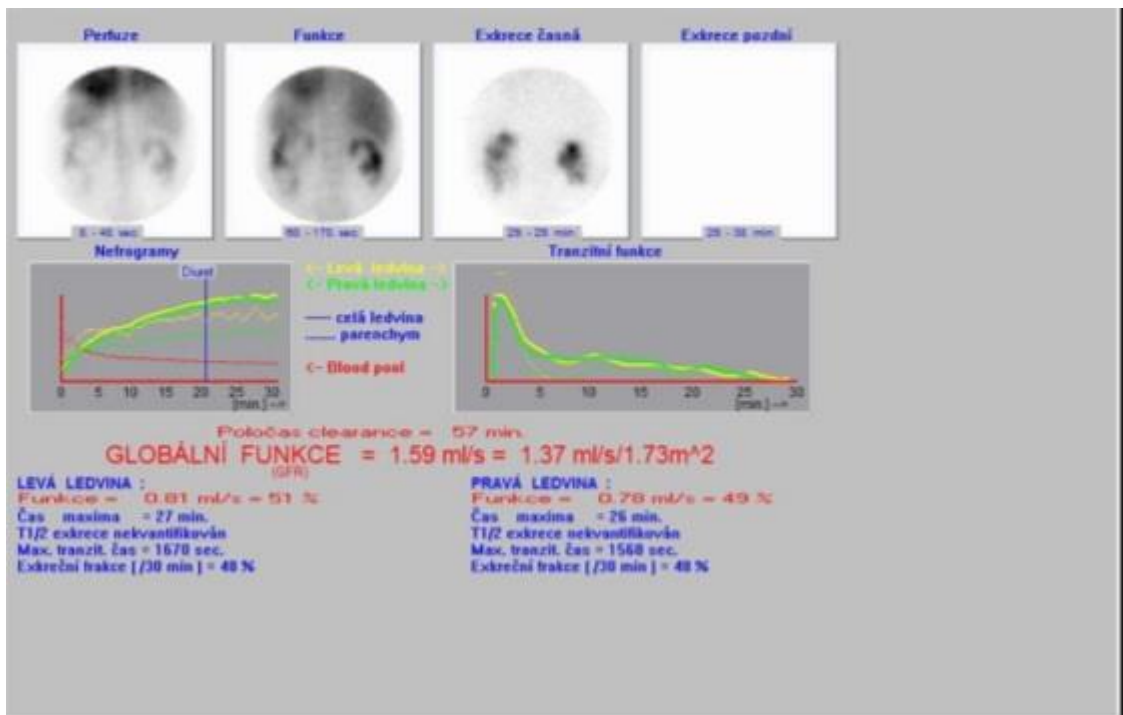
4. Statická scintigrafie ledvin (Tc – DMSA) - SPECT – ren triplex (Doležal, 2014, 31 s.)



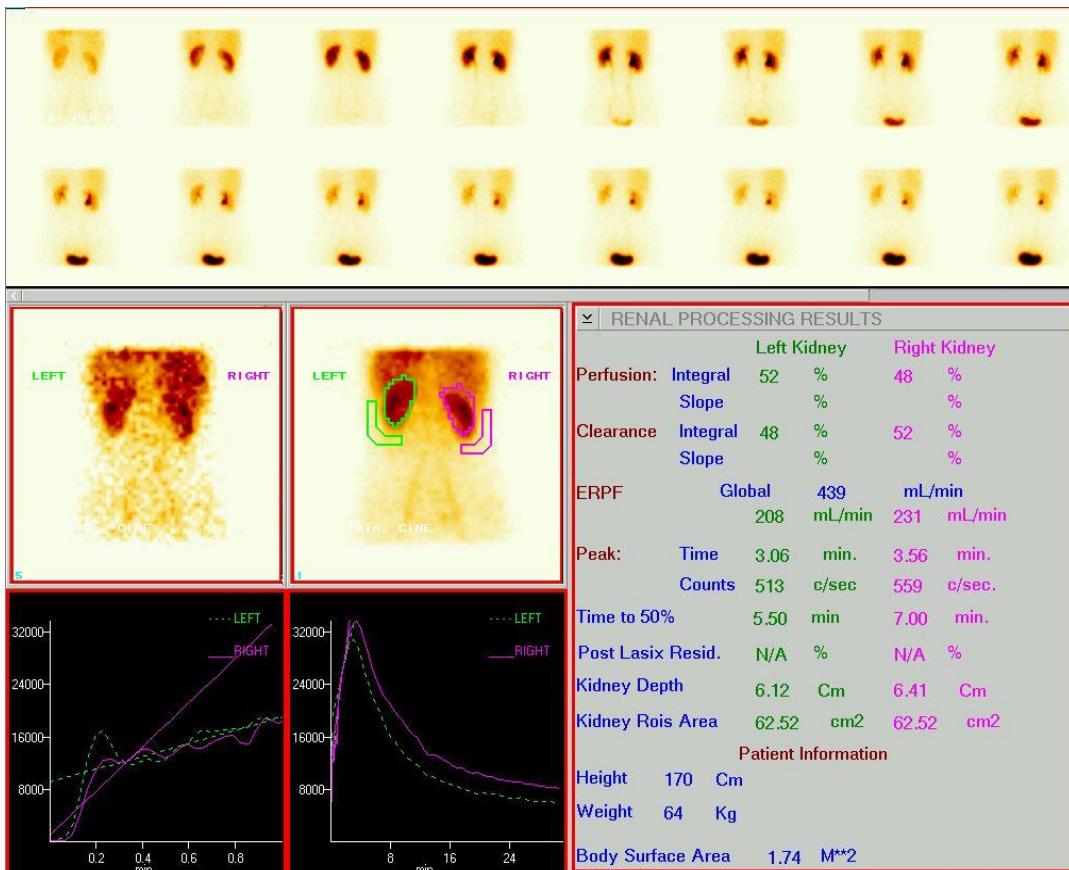
5. Dynamická scintigrafie (Tc – DTPA) – normální nález (archiv ONM Chrudim)



## 6. Dynamická scintigrafie (Tc – DTPA) – obstrukce (archiv ONM Chrudim)



## 7. Dynamická scintigrafie (Tc - MAG3) – normální nález (Doležal, 2014, s. 17)



**8. Dynamická scintigrafie (Tc - MAG3) – stagnace moče v dilatované pánvičce obou ledvin s velmi pomalým odtokem moči po diuretiku (Doležal, 2014, 18 s.)**

