

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Jana Maiwaldová

Radionuklidové vyšetření v nefrologii

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Miroslava Budíková, Ph.D.

Olomouc 2020

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce: Jana Maiwaldová

Vedoucí práce: MUDr. Miroslava Budíková, PhD.

Oponent práce: MUDr. Iva Metelková, PhD.

Ústav a vysoká škola: Ústav radiologických metod

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Název práce v ČJ: Radionuklidové vyšetření v radiologii

Název práce v AJ: Radionuclide diagnosis in nephrology

Datum zadání: 22.11.2019

Datum odevzdání: 26.5.2020

Klíčová slova v ČJ: radiofarmaka, statická scintigrafie ledvin, dynamická scintigrafie ledvin, renovaskulární hypertenze, scintigrafie ledvin, ACE inhibitor, transplantace ledvin.

Klíčová slova v AJ: radiopharmaceutical, static scintigraphy of kidneys, dynamic scintigraphy of kidneys, renovascular hypertension, scintigraphy of kidneys, angiotensin-converting-enzyme inhibitor, kidney transplantation.

Abstrakt v ČJ: „Radionuklidové vyšetření v nefrourologii“ je přehledová bakalářská práce objasňující průběh statické a dynamické scintigrafie ledvin a jejich modifikací. Součástí bakalářské práce je také kapitola pojednávající o přípravě pacienta, používaných radiofarmaciích, indikacích a kontraindikacích až po hodnocení vyšetření. Všechny vyhledané informace byly použity na základě rešeršní činnosti dohledaných knih, článků a odborných publikací.

Abstrakt v AJ: „Radionuclide diagnosis in nephrology“ is a review bachelor thesis explaining process of static and dynamic renal scintigraphy and their modifications. Part of the thesis is also a chapter dealing with the preparation of the patient, used radiopharmaceuticals, indications and contraindications to the evaluation of examination. All used information was used on the basis of research activity of available books, articles and professional publications.

Obsah práce: 47 stran

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala sama a použila pouze bibliografické a elektronické zdroje uvedené v seznamu literatury.

V Olomouci dne 26.5.2020

.....

Jana Maiwaldová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucí mé práce MUDr. Miroslavě Budíkové, PhD. za drahocenné rady, připomínky a čas, který mi věnovala při psaní. Také bych chtěla poděkovat Ing., Bc. Petrovi Vybíralovi, DiS. za poskytnutí obrazových materiálů z archivů kliniky nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Olomouci.

Obsah

OBSAH.....	6
1. ÚVOD	8
2. ANATOMIE A FYZIOLOGIE MOČOVÉHO SYSTÉMU	10
3. SCINTIGRAFICKÉ ZOBRAZOVÁNÍ.....	11
3.1.1. Z hlediska časového	11
3.1.2. Z hlediska prostorového	11
3.2. SCINTILAČNÍ KAMERY.....	11
3.2.1. Základní princip scintilační kamery	12
3.3. RADIAČNÍ OCHRANA.....	13
4. RADIOFARMAKA.....	14
4.1. RADIOFARMAKA POUŽÍVANÁ V NEFROUROLOGII.....	15
4.2. CLEARANČNÍ STUDIE	17
4.3. APLIKACE RADIOFARMAK DĚTEM A MLADISTVÝM	17
4.4. VYŠETŘOVÁNÍ PACIENTŮ POKROČILÉHO VĚKU.....	18
5. PŘÍPRAVA PACIENTA NA SCINTIGRAFICKÉ VYŠETŘENÍ LEDVIN.....	19
5.1. PŘÍPRAVA DOSPĚLÉHO PACIENTA	19
5.2. PŘÍPRAVA DĚTSKÉHO PACIENTA	19
6. KONTRAINDIKACE SCINTIGRAFICKÉHO VYŠETŘENÍ LEDVIN.....	20
6.1. LAKTACE	20
6.2. GRAVIDITA.....	20
7. DYNAMICKÁ SCINTIGRAFIE LEDVIN.....	20
7.1. PRŮBĚH VYŠETŘENÍ	21
7.2. HODNOCENÍ VYŠETŘENÍ.....	21
7.2.1. Hodnocení nefrografických křivek	22
7.3. INDIKACE K VYŠETŘENÍ	23
8. MODIFIKACE DYNAMICKÉ SCINTIGRAFIE	23
8.1. DIURETICKÁ NEFROGRAFIE	24
8.1.1. POUŽÍVANÁ RADIOFARMAKA	24
8.1.1.1. Protokol F + 20	24

8.1.1.2.	Protokol F 0	25
8.1.1.3.	Protokol F – 15	25
8.1.2.	HODNOCENÍ VYŠETŘENÍ.....	25
8.2.	DYNAMICKÁ SCINTIGRAFIE S PODÁNÍM ACE INHIBITORŮ	27
8.2.1.	PRŮBĚH VYŠETŘENÍ.....	28
8.2.2.	HODNOCENÍ A INDIKACE K VYŠETŘENÍ	28
8.3.	DYNAMICKÁ SCINTIGRAFIE TRANSPLANTOVANÉ LEDVINY.....	29
8.3.1.	PRŮBĚH VYŠETŘENÍ.....	29
8.3.1.1.	Aplikace radiofarmaka	29
8.3.2.	VYHODNOCENÍ FUNKCE TRANSPLANTOVANÉ LEDVINY	30
9.	RADIONUKLIDOVÁ CYSTOGRAFIE.....	31
9.1.	VESIKOURETRÁLNÍ REFLUX.....	31
9.2.	POUŽÍVANÁ RADIOFARMAKA	32
9.2.1.	PRŮBĚH VYŠETŘENÍ.....	32
9.3.	HODNOCENÍ	32
9.4.	INDIKACE.....	33
10.	STATICÁ SCINTIGRAFIE LEDVIN.....	33
10.1.	PRŮBĚH VYŠETŘENÍ.....	33
10.2.	VYŠETŘENÍ DĚTÍ.....	34
10.3.	HODNOCENÍ VYŠETŘENÍ.....	34
10.4.	INDIKACE.....	34
11.	ZÁVĚR	35
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	37
	SEZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH A ELEKTRONICKÝCH ZDROJŮ	38
	SEZNAM ZKRATEK	41
	SEZNAM PŘÍLOH	42
	PŘÍLOHY	43

1. Úvod

Nukleární medicína je samostatně vyvíjející se medicínský obor s velkou budoucností. Principem vyšetření v nukleární medicíně je aplikace radiofarmaka (intravenózně, perorálně a inhalačně) a následná detekce záření emitovaného z těla pacienta (tzv. emisní snímání). Radiofarmakum se vychytává v místě, kde je zvýšený metabolismus, aniž by na jiných zobrazovacích metodách mohly být patrné strukturální změny. Proto je scintigrafické vyšetření více senzitivní, ale méně specifické. Pro větší přesnost anatomické lokalizace patologického ložiska se používá fúze - zobrazování pomocí SPECT/PET a výpočetní tomografie/magnetické rezonance (dnes velmi často využívané).

I přes velký vývoj vyšetřování pomocí přístroje PET/CT zůstává vzhledem k ekonomické stránce nejvyužívanějším způsobem scintigrafické vyšetření (SPECT-jednofotonová emisní výpočetní tomografie). Při tomto vyšetření je hodnocena patologicky zvýšená, nebo snížená akumulace radiofarmaka ve vyšetřované oblasti (tzv. horké, nebo studené léze). Tyto vlastnosti vyšetření jsou hojně využívány k zjištění např. primárních tumorů, metastatického postižení, lokalizace horečky neznámého původu, nebo označení spádové (tj. sentinelové) uzliny (například u CA prsu, CA penisu nebo u maligního melanomu).

Mezi velmi časté používané metody patří radionuklidová scintigrafie urogenitálního systému. Toto vyšetření podává informaci o funkci ledvin a na ně navazující močové cesty. Tato metoda má nezastupitelné místo při diagnostice vrozených vývojových vad urogenitálního traktu a diferenciální diagnostice hydronefróz. Radiofarmakum se aplikuje intravenózně (u malých dětí do intravenózní kanyly) a scintigrafickou kamerou je detekováno gama záření emitované z těla pacienta.

Při začátku vypracovávání bakalářské práce byly stanoveny tyto cíle:

- provádění rešeršní činnosti po dobu tvorby práce
- stanovit si zkoumané problémy
- konzultace s vedoucím
- zapracování poznámek vedoucího
- kompletizace a editace práce
- vytištění a odevzdání práce.

Jako vstupní literaturu jsem si zvolila tyto tituly:

1. KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
2. TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
3. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-4788-0.
4. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína: [učební text]*. Praha: P3K, c2007. ISBN 978-80-903584-9-2.

K rešeršní činnosti a vyhledávání odborných článků, knih a studií byly používány tyto databáze:

- MEDVIK
- MEADLINE
- EBSCO
- Google Books
- Google Scholar.

K vyhledávání článků byla používána tato klíčová slova:

- radiofarmaka, statická scintigrafie ledvin, dynamická scintigrafie ledvin, renovaskulární hypertenze, scintigrafie ledvin, ACE inhibitor, transplantace ledvin.

Klíčová slova v angličtině:

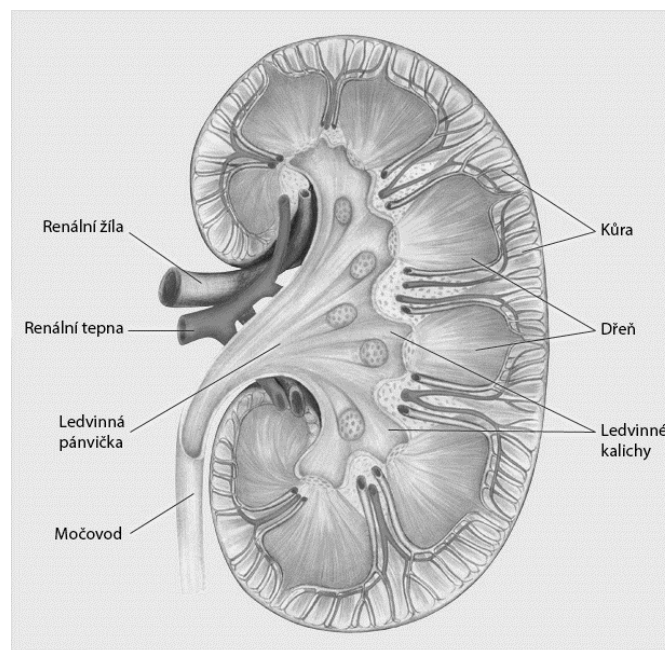
- radiopharmaceutical, static scintigraphy of kidneys, dynamic scintigraphy of kidneys, renovascular hypertension, scintigraphy of kidneys, angiotensin-converting-enzyme inhibitor, kidney transplantation.

Rešeršní činnost byla prováděna od roku 1987 až do současnosti. Pro vypracování této práce bylo použito 21 zdrojů, z toho je 10 zdrojů online. 7 článků a knih bylo v anglickém jazyce. Články byly zpřístupněny online, nebo pomocí vzdáleného přístupu, který nám studentům umožňuje Univerzita Palackého. K získávání odborných informací z knih a skript jsem využívala také knihovnu fakulty zdravotnických věd, knihovnu lékařské fakulty a také vědeckou knihovnu města Olomouc.

Bakalářská práce je napsána v rozsahu 47 stran. Obsahuje 11 kapitol s 51 501 znaky. V textu se nachází 8 obrazových schémat a 4 tabulky. Na konci práce se nachází 5 příloh.

2. Anatomie a fyziologie močového systému

Základní funkcí močového systému je vylučování nežádoucích metabolitů z těla. K tomu dochází filtrací krve v ledvinách a konečným produktem je definitivní moč. Ledviny (lat. renes) jsou párový orgán nacházející se v retroperitonálním prostoru. Jsou zezadu i zepředu zploštělé a jejich tvar se často přirovnává k fazoli. Filtrací krve a vylučováním nežádoucích látek z těla pomáhají udržovat vnitřní homeostázu. Jejich endokrinní funkce produkuje a do krve uvolňuje renin (ovlivňuje krevní tlak) a erythropoetin (napomáhá tvorbě červených krvinek). Krevní zásobení ledvin zajišťuje arteria renalis, která vystupuje z břišní aorty. Ta se před vstupem do ledvin dělí na dorsální a ventrální větev. V ledvině probíhá tzv. glomerulární filtrace, tubulární sekrece a reabsorpce. Princip glomerulární filtrace spočívá v ultrafiltraci krevní plazmy. Z glomerulu následně odtéká filtrát a dochází k tubulární sekreci a také reabsorpci. Zbytek filtrátu odtéká sběrným kanálkem, kde je následně upraven na definitivní moč. Sběrný kanálek se také významně podílí na tvorbě pH moči. Celkově je v ledvinách vytvořeno 1 - 1,5 l/24hodin. V ledvině se nacházejí kalichy, které sbírají definitivní moč a odvádějí ji do pánvičky. Na kalichopánvičkový systém navazuje močovod (lat. ureter). Močovod je zploštělá svalová trubice, kterou se moč odvádí z pánvičky do močového měchýře. Močový měchýř je dutý orgán uložený v malé pánvi za symfýzou. K mikci dochází při zvýšení tlaku v měchýři, který překoná sílu stažení močové trubice (lat. urethra feminina, maskulina) (Radomír Čihák, 2013, str. 245 - 296) (Stanislav Trojan a kol., 2003, str. 431 – 505).



2.1 Schéma anatomického průřezu ledvinou (Dieta při chronickém onemocnění ledvin, 2015) [online].

3. Scintigrafické zobrazování

Scintigrafie je fyzikálně-elektronická metoda zobrazování akumulace radiofarmaka v lidském těle na základě detekce záření gama. Nejčastější vyšetřovací metodou je diagnostika in vivo. Funguje na principu intravenózní aplikace otevřeného zářiče, tj. radiofarmaka. Scintigrafii lze rozdělit z časového hlediska a prostorového hlediska.

3.1.1. Z hlediska časového

Statická scintigrafie - jedná se o jeden, či více nahaných obrazů vyšetřované oblasti nezávislých na čase. Získáváme nehybný obraz kumulace radiofarmaka.

Dynamická scintigrafie – sledujeme děj (dynamický proces). Zajímá nás průběh radiofarmaka vyšetřovanou oblastí a změna jeho akumulace v čase. Dynamická scintigrafie je série statických snímků, které na sebe plynule navazují.

3.1.2. Z hlediska prostorového

Planární zobrazování – jedná se o projekci snímaného záření gama do dvojrozměrné roviny.

Tomografická scintigrafie – poskytuje nám trojrozměrné zobrazení kumulace radiofarmaka. Existují dva druhy tomografické scintigrafie – SPECT, PET.

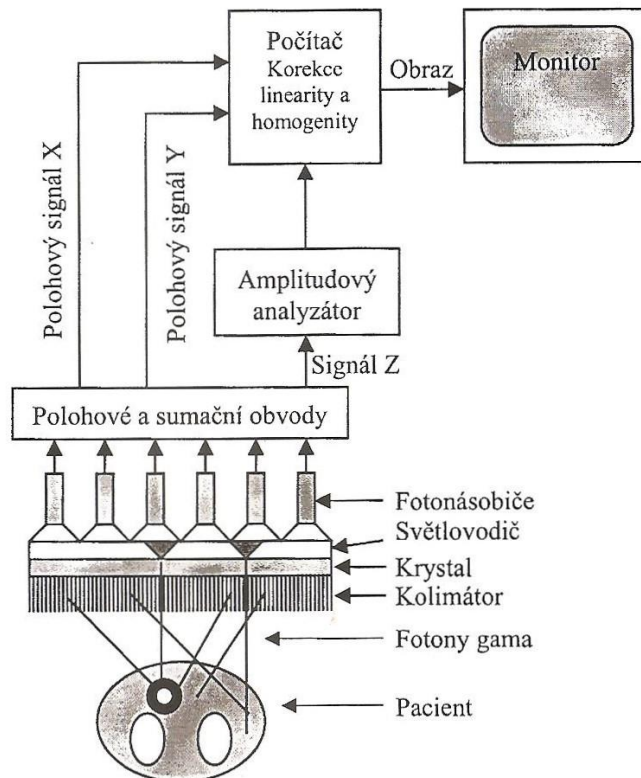
3.2. Scintilační kamery

Scintilační kamera (také gamakamera) je dosud nejdokonalejším zařízením pro detekci kumulace radiofarmaka (HMC) (Ullmann) [on line]. Detektor scintilační kamery se skládá z několika částí:

- scintilační krystal – jodid sodný aktivovaný thaliem, obdélníkový tvar
- světlovodič
- soubor fotonásobičů
- soubor kolimátorů.

3.2.1. Základní princip scintilační kamery

Záření fotonu gama, které je emitované z lidského těla dopadá na scintilační krystal [NaI(Tl)], interaguje s nejbližším elektronem a mění se na foton viditelného světla (záblesky – scintilace). Fotony světla se rozptýlí a šíří se do všech stran. Nejvíce světelných fotonů se dostane do fotonásobiče, který je nejbližší od místa kde došlo ke scintilaci. Foton viditelného světla dopadá na katodu fotonásobiče, kde se začnou emitovat elektrony. Ty v systému dynod za přítomnosti vysokého napětí násobí svůj počet (až desetinásobně). Díky zvýšení počtu elektronů získáme lepší měřitelnost elektrických impulzů. Účelem fotonásobiče je tedy přeměna fotonu viditelného světla na elektrické impulzy. Všechny signály zachycené fotonásobiči se vedou do tzv. sumačního obvodu a na něho napojený amplitudový analyzátor (má nastaveno okénko s fotopíkem aplikovaného radiofarmaka). Na základě vyhodnocení těchto amplitud se v počítačovém obvodu vytvoří tři souřadnice – X, Y a Z. Ty nám určují místo, kde došlo ke scintilaci, tzn. určují nám i místo v těle (vytváří v počítači mapu signálů, kde se akumuluje radiofarmakum) (Miroslav Mysliveček a kol., 2007, str. 33-34).



3.1 Schéma scintilační kamery - přenos informace o šíření a vychytávání radiofarmaka v těle (začínaje emitovaným gama zářením z těla pacienta až po zobrazený obraz v počítači) (Miroslav Mysliveček a kol., 2007, str. 33).

3.3. Radiační ochrana

Radiační zátěž radiologických asistentů a lékařů se snižuje využíváním následujících tří fyzikálních postupů:

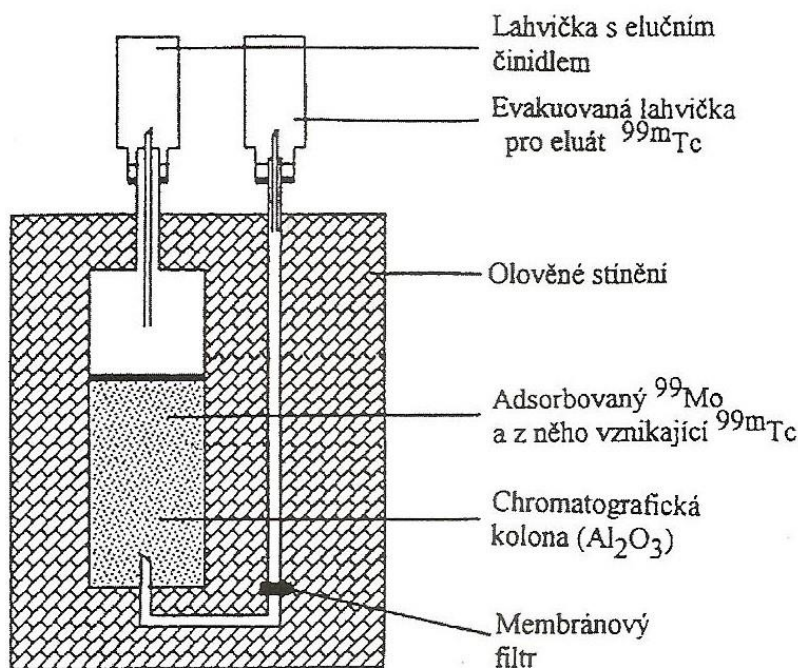
- ochrana časem
- ochrana vzdáleností
- ochrana stíněním.

Ochrana časem se rozumí snižování doby, po kterou je laborant vystaven radioaktivnímu záření (příprava a manipulace s radiofarmakem, čas strávený s pacientem). S časem klesá i aktivita, která byla aplikována pacientovi (poločas přeměny radionuklidu, vylučování radiofarmaka z těla). Do kategorie ochrany časem patří také střídání pracovníků při vykonávání práce, kde je možná větší expozice ionizačnímu záření (např. příprava radiofarmak, lůžkové oddělení). Dalším markantním článkem je ochrana vzdáleností. Při větším odstupu od pacienta absorbuje pracovník nižší aktivitu, než kdyby stál hned vedle (aktivita záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti). Doporučená vzdálenost pracovníka od pacienta je nejméně 1 metr. Jako pomůcky jsou používány např. kleště a pinzety s dlouhou rukojetí. K ochraně stíněním napomáhá stínicí vrstva vhodného (nejčastěji olověného) materiálu, který oslabuje svazek záření. Pro přenos radiofarmak se využívají olověné nádoby a kontejnery. Při aplikaci radiofarmaka je lékař chráněn olověným plíškem (stínicí plíšek), který je nasazen na stříkačku (Miroslav Mysliveček a kol., 2007, str. 62 - 64). Vyšetřovny jsou od ovladoven odděleny stínicí zdí, ve které je pozorovací okénko s příměsí olova. Pomocí pozorovacího okénka lze pozorovat pacienta a průběh vyšetření, aniž by došlo k nutné přítomnosti zdravotnického personálu ve vyšetřovně. Na odděleních nukleární medicíny je také zajištěna ochrana před vnitřní kontaminací (Václav Hušák a kol., 2009, str. 102).

4. Radiofarmaka

Ledviny mají různé funkce, z nichž nejdůležitější je funkce vylučovací, kdy se metodami glomerulární filtrace, tubulární sekrece a tubulární exkrece vylučují nežádoucí metabolity z organismu. V metodách nukleární medicíny se používají nejčastěji techneciem značené radiofarmaka - ^{99m}Tc Technecium (JHA, P. K., & KHER, V., Manual of nephrology, 2016). Radiofarmakum se skládá ze dvou částí, radionuklidu (technecium) a na něj navázané organické či anorganické chemické sloučeniny. Důležité je, aby byl radionuklid pro klinické použití bezpečný a pro lidské tělo minimálně toxický. Při jejich přípravě a používání, na rozdíl od jiných léčiv, je nutno dodržovat souhrn pravidel a požadavků uvedených v lékopise. Hlavní úlohou při výrobě radiofarmak je samotná výroba radionuklidu a následná úprava do požadované formy. Jedním z hlavních požadavků je dostupnost – ekonomická stránka (cena výroby radiofarmaka) a vzdálenost místa výroby od místa kde bude radiofarmakum aplikováno. Dalším velmi důležitým faktorem je při výrobě radiofarmak poločas rozpadu a vhodná aktivita radionuklidu (Vlk, Suchánková, Kozempel, 2019, str. 42 - 51). Při výrobě se také kontroluje jakost – zaměřeno na vstupní materiály, meziprodukty, nerozplněné produkty a hotové radiofarmaka. Izotop technecia, který se používá ke značení substancí je vyráběn v radionuklidovém generátoru. Vzniká radioaktivní přeměnou z mateřského radionuklidu (^{99}Mo Molybden), který má delší poločas přeměny a rozpadá se na dceřiný radionuklid s kratším poločasem přeměny. ^{99}Mo Molybden se nejčastěji získává separací od štěpných produktů ^{235}U Uranu (k tomu dochází v jaderných reaktorech). Jaderný reaktor je přístroj, ve kterém dochází k řízené řetězové reakci jaderného paliva (tj. štěpný materiál), které je nejčastěji obohaceno o ^{235}U Uran. Generátory existují trojího typu:

- chromatografické
- extrakční
- sublimační (Kupka, Kubinyi a Šámal a spol., 2015, str. 31 - 32).



4.1 Průřez ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátorem (Miroslav Mysliveček a kol., Nukleární medicína, 2007, str. 23).

Generátory jsou přístroje obsahující dva geneticky blízké radionuklidy. Nejrozšířenějším generátorem je $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Jedná se o generátor chromatografického typu. Hlavní součástí tohoto generátoru je skleněná kolona, ve které se nachází mateřský molybdenan amonný a oxid hlinitý (Pavel Koranda a kol., 2014, str. 18). ^{99}Mo s poločasem rozpadu 67 hodin se přeměňuje na dceřiný $^{99\text{m}}\text{Tc}$ s poločasem rozpadu 6,03 hodin, který se z kolony vymyje elucí, tj. promývání sloupce fyziologickým roztokem. Elucí sloupce získáváme do stíněné lahvičky $^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ (tj. technecistan sodný). Tento generátor lze používat dva týdny, poté se musí nahradit novým generátorem (Kupka, Kubinyi a Šámal a kol., 2015, str. 32-33).

4.1. Radiofarmaka používaná v nefrourologii

Radiofarmaka, které používáme v nefrourologii jsou značené $^{99\text{m}}$ Technéciem. Standardně se používají tři druhy radiofarmak a to $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$, $^{99\text{m}}\text{T-DTPA}$ a $^{99\text{m}}\text{T-DMSA}$.

Dynamická scintigrafie	Statická scintigrafie
$^{99\text{m}}\text{Tc-MAG}_3$, $^{99\text{m}}\text{T-DTPA}$	$^{99\text{m}}\text{T-DMSA}$

Tabulka 1. Tabulka s rozdělením radiofarmak podle typu vyšetření.

Pro dynamickou scintigrafii ledvin se používají dva typy radiofarmak, a to techneciem značený *merkaptocetyltriglycin* ($^{99m}\text{Tc-MAG3}$) a techneciem značená kyselina *diethylenetriaminpentaoctová* ($^{99m}\text{T-DTPA}$).

Tubulární sekrecí je vylučováno radiofarmakum $^{99m}\text{Tc-MAG3}$. Podíl glomerulární filtrace na exkreci této sloučeniny je nevýznamný, protože až 90 % je v plazmě vázáno na transportní bílkoviny. Až 50 % z množství radiofarmaka je vychytáno ledvinami při prvním průtoku plazmy, která přitéká renální artérií. $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ nejčastěji aplikujeme o aktivitě 75-250 MBq. Nedostatečně vyvinuté glomeruly u dětí nám znemožňuje použít radiofarmakum, které se vylučuje glomerulární filtrací. Proto u dětí při dynamické scintigrafii ledvin aplikujeme $^{99m}\text{T-MAG3}$.

Glomerulární filtrací je vylučován $^{99m}\text{T-DTPA}$. Až 20 % je do moči vyloučeno při jednom průtoku ledvinou (Pavel Koranda a kol., 2014, str.90 - 91) $^{99m}\text{T-DTPA}$ aplikujeme nejčastěji o aktivitě 100-250 MBq (věstník č.9/2011, str. 153).

Srovnáním obou radiofarmak zjistíme, že vylučování $^{99m}\text{T-DTPA}$ je pomalejší než vylučování $^{99m}\text{Tc-MAG3}$, přičemž je i koncentrace radiofarmaka $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ v moči i ledvinách vyšší. Tím dosáhneme vyššího kontrastu mezi přilehlými tkáněmi a vyšetřovanými strukturami. Tato výhoda nám pomáhá získávat kvalitnější scintigrafické obrazy.

Pro statickou scintigrafii ledvin se používá radiofarmakum $^{99m}\text{Tc-DMSA}$, které se vychytává v buňkách proximálních renálních tubulů. Malá část aplikovaného radiofarmaka přechází v glomerulech do primární moči, se kterou je vylučováno. Jelikož se toto radiofarmakum kumuluje v ledvinách až z 60 % podaného množství, je výsledkem kontrastní zobrazení ledvin.

Všechna radiofarmaka používaná v nefrourologii aplikujeme intravenózně (Pavel Koranda a kol., 2014, str 90 - 91).

4.2. Clearanční studie

Tato vyšetření hodnotí celkovou funkci ledvin. Je vhodné použít jiná radiofarmaka s jiným radionuklidovým značením než je ^{99m}Tc Technécium. Je zapotřebí radiofarmakum, které se zároveň vylučuje tubulární sekrecí i glomerulární filtrací. Příkladem takového radiofarmaka může být například ^{123}I -, nebo ^{131}I -OIH. Samostatné vyšetření se však v praxi často neprovádí. Clearanční studii, hodnotící celkovou funkci ledvin, hodnotíme jako součást dynamické scintigrafie ledvin, proto používáme už zmíněné radiofarmaka značené techneciem (Miroslav Mysliveček a kol., 2007, str. 99 - 100).

4.3. Aplikace radiofarmak dětem a mladistvým

Při aplikaci radiofarmak musíme mít na paměti, že organismus dítěte a mladistvého je mnohem více senzitivní nežli organismus dospělého jedince. Při vyšetřeních se snažíme co nejvíce snížit dávku radioaktivního záření. K výpočtu aplikované aktivity se používá přepočít pro tělesnou hmotnost, nebo pro povrch těla. K usnadnění výpočtu slouží tabulka na základě přepočtu pro tělesnou hmotnost – EANM (European Association of Nuclear Medicine). U novorozenců by mohla být vypočtená aktivita radiofarmaka příliš nízká a zobrazení by nebylo kvalitní a dobře hodnotitelné. EANM proto navrhla doporučené minimální aplikované aktivity, pro dobře hodnotitelné a kvalitní výsledky zobrazení. Radiofarmaka jsou obecně rozdělena do 3 tříd – A, B a C. Radiofarmaka používaná v nefrourologii se řadí do skupiny A. Každé radiofarmakum má stanovenou základní aktivitu, která je použita pro výpočet aplikované aktivity (viz. tabulka). Vynásobením těchto základních aktivit násobitelem, který je přiřazen ke každé třídě a hmotnosti zvláště získáme výslednou hodnotu aplikované aktivity (Kupka, Kubinyi a Šámal a spol., 2015, str. 168).

Radiofarmakum	Třída	Základní aktivita pro výpočet (MBq)	Minimální doporučená aktivita (MBq)
^{99m}Tc -MAG3	A	11,9	15
^{99m}Tc -DTPA	A	34,0	20
^{99m}Tc -DMSA	A	17,0	15

Tabulka 2. Tabulka s minimální doporučenou aktivitou a základními hodnotami pro výpočet aktivity podle EANM (Kupka, Kubinyi a Šámal a spol., 2015, str. 168-169).

Hmotnost v kilogramech	Hodnota násobitele pro třídu A	Hmotnost v kilogramech	Hodnota násobitele pro třídu A
3	1,00	32	3,77
4	1,14	34	3,88
6	1,47	36	4,00
8	1,71	38	4,18
10	1,94	40	4,29
12	2,18	42	4,41
14	2,35	44	4,53
16	2,53	46	4,65
18	2,71	48	4,77
20	2,88	50	4,88
22	3,06	52 – 54	5,00
24	3,18	56 – 58	5,24
26	3,35	60 – 62	5,47
28	3,47	64 – 66	5,65
30	3,65	68	5,77

Tabulka 3. Hmotnostní tabulka s hodnotami násobitelů pro třídu A (Kupka, Kubinyi a Šámal a spol., 2015, str. 168).

4.4. Vyšetřování pacientů pokročilého věku

Při stárnutí dochází k úbytku množství funkčního parenchymu všech orgánů (každý orgán degeneruje jinou rychlostí a v jiném čase – pro každého jednotlivce je toto individuální). Z toho důvodu je nezbytné znát diagnózu (osobní i rodinnou) a anamnestické informace vyšetřovaného pacienta a umět tak rozlišit proces stárnutí a progres onemocnění (např. snížená funkce glomerulární filtrace) (Kupka, Kubinyi a Šámal a spol., 2015, str. 170).

5. Příprava pacienta na scintigrafické vyšetření ledvin

5.1. Příprava dospělého pacienta

Ke správnému a kvalitnímu provedení vyšetření potřebujeme, aby byl pacient dobře zavodněn. Toho docílíme vypitím aspoň půl litru tekutin minimálně třicet minut před vyšetřením. U tohoto typu vyšetření nemusí být pacient na lačno. V případě, že pacient není schopen přijmout tekutinu perorálně, je nutno použít intravenózní infuzi. Díky velkému příjmu tekutin nedojde k hromadění koncentrované moči v kalichopánvičkovém systému. Velký důraz se klade na vymočení pacienta před samotným vyšetřením, protože dilatace močového měchýře může odtok moči z kalichopánvičkového systému zpomalit, nebo i zastavit (Pavel Koranda a kol., 2014, str. 92-93).

5.2. Příprava dětského pacienta

Jako u dospělých je důležité zavodnění dítěte. U dětí se upravuje objem podané tekutiny podle jejich hmotnosti. Značná pozornost je věnována přípravě malých dětí, kdy je zapotřebí zajistit stabilní polohu pacienta po dobu celého vyšetření (30, nebo 45 minut), aby nedocházelo k motorickým pohybům. Při neklidu pacienta by nebylo možné použít standardní protokoly pro vyhodnocení a bylo by nutné posoudit vyšetření pouze s pomocí náhradních programů s omezenou přesností klasifikace (Miroslav Mysliveček a kol., 2007, str. 100 - 102). Z toho můžeme vyvodit, že velmi důležitým předpokladem pro správnost provedení vyšetření je spolupráce dětských pacientů, popřípadě i jejich rodičů. Proto přichází s dítětem na vyšetření rodiče, nebo ošetřující personál. Mezi hlavní bolestivé podněty patří intravenózní zavádění kanyly. V dnešní době se velmi osvědčil trend zavedení kanyly i. v. již na dětském oddělení před přesunem dítěte na oddělení nukleární medicíny. V případě vyšetření velmi malých dětí (kojenců), u nichž není možné zajistit po celou dobu vyšetření motorický klid, se využívá medikamentózní zklidnění dítěte (Pavel Koranda a spol., 2005). Podávání sedativ ve větších dávkách se však příliš nedoporučuje, protože by mohlo dojít k ovlivnění motility ureterů a tím i odtoku moči z ledvin (Miroslav Mysliveček a kol., 2007, str. 100 - 102).

6. Kontraindikace scintigrafického vyšetření ledvin.

6.1.Laktace

Při scintigrafickém radionuklidovém vyšetření u žen, patří mezi jednu z relativních kontraindikací laktace. Má-li být toto vyšetření provedeno v době laktace, mělo by se zvážit odložení na dobu, kdy žena přestane kojit (Vížďa, Lepej et al., 2002, str. 8). Tato kontraindikace je pouze relativní a toto vyšetření se běžně provádí i u kojících žen při nezbytných indikacích. Kojící žena je poučena o vhodném intervalu mezi koncem vyšetření a opětovným zahájením kojení (roční efektivní dávka pro kojence nesmí překročit hranici 1mSv).

6.2.Gravidita

Při graviditě ženy, je radionuklidové vyšetření absolutní kontraindikací. Při indikaci vyšetření ženy v reprodukčním věku je vždy nutné zvážit možnost těhotenství. Je povinností, dotázat se a nechat ženu podepsat prohlášení o tom, že není gravidní (Václav Hušák a kol., 2009, str. 102).

7. Dynamická scintigrafie ledvin

Jedná se o vyšetření, které nám poskytne vizuální informaci o morfologii ledvin a o jejich funkci. Při dynamické scintigrafii ledvin sledujeme přítok radiofarmaka renální artérií do parenchymu ledvin a jeho následné vylučování vývodnými močovými cestami do močového měchýře. V okamžiku i.v. aplikace radiofarmaka spustíme akvizici dat. Tato data se ukládají do paměti počítače jako série scintigramů (kdy jedna série/10 - 20s). Celková doba záznamu je předvolená na 30 nebo 45 minut. Tato metoda může současně poskytnout kvalitativní hodnocení celkové funkce ledvin, poměr funkce levá pravá strana a hodnocení stavu průchodnosti močových cest. Toto vyšetření rozdělujeme do tří fází:

1. Perfuzní fáze, představující průtok krve do ledvin (první minuta).
2. Parenchymová fáze, představující vychytávání radiofarmaka ledvinovým parenchymem.
3. Vylučovací fáze, představující odtok moči, spolu s radiofarmakem, močovými cestami do močového měchýře (Pavel Koranda a kol., 2014, str. 93).

7.1. Průběh vyšetření

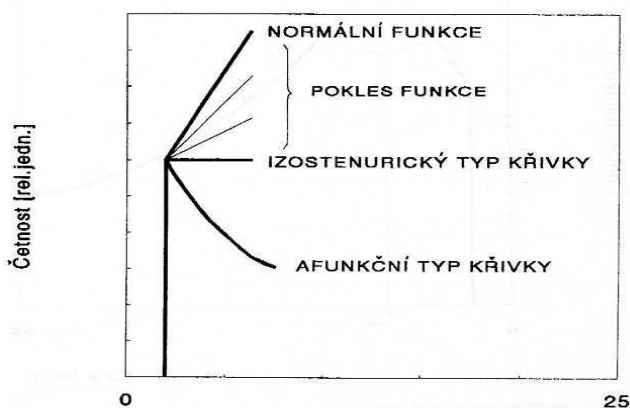
Velmi důležitou informací je zkontrolování totožnosti pacienta, aby nedošlo k záměně pacienta, nebo záměně radiofarmaka. Před vlastním zahájením vyšetření je třeba získat informovaný souhlas pacienta a poučit ho o průběhu vyšetření. Nápomocné je také zjištění osobní anamnézy jako jsou nemoci a úrazy, aby nedošlo ke zkreslení výsledků. (věstník č.9/2011 str. 153) Pacient je po přípravě, položen do stabilní polohy na zádech. Méně často se používá poloha vsedě. Vyšetření se provádí v zadní projekci a zorné pole kamery je zaměřeno na oblast ledvin a močového měchýře. Toto rozmezí se udává od baze srdeční až po močový měchýř (Kupka, Kubinyi, Šámal a spol., 2015, str. 108 - 109). Vyšetření je zahájeno intravenózním podáním radiofarmaka. Nahrává se po desetisekundových sériích do počítače (věstník č.9/2011 s. 153).

7.2. Hodnocení vyšetření

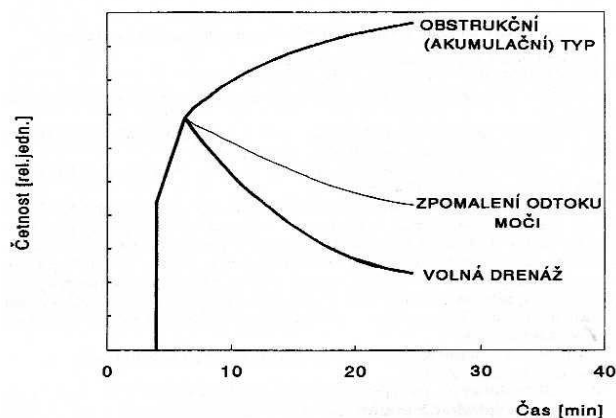
Při dynamické scintigrafii ledvin se provádí jednak vizuální zhodnocení scintigramů z jednotlivých fází vyšetření, stanovení poměru funkce ledvin, dále stanovení parametrů funkce ledvin a posouzení drenáže močových cest – tedy přítok radiofarmaka do parenchymu ledvin, akumulace radiofarmaka v ledvinách a poté odtok vývodnými močovými cestami do močového měchýře. Kromě vizuálního hodnocení vyšetření můžeme hodnotit taky kvantitativně. (Ullman a Slanina, 2015) [online]. Poměr funkce ledvin se stanoví srovnáním poměrů aktivit pravé a levé ledviny ve 2. minutě vyšetření (tj. v parenchymové fázi). Norma poměru funkce ledvin je 50% pro pravou i levou ledvinu (dohromady vždy 100%), fyziologické jsou také hodnoty $\pm 5\%$. K nejjednoduššímu a nejčastějšímu hodnocení tohoto vyšetření slouží nefrografické křivky – histogramy, které zachycují časový průběh vychytávání radiofarmaka v parenchymu ledvin a jeho následný odtok.

7.2.1. Hodnocení nefrografických křivek

Fyziologická křivka má tři části. První část je perfuzní, znázorňující přítok radiofarmaka renální artérií do ledvin. Rychlejší přítok radiofarmaka do ledvin je známkou dobrého proudění krve do ledvin. V první fázi můžeme pozorovat menší strmost křivky, což souvisí s poruchou funkce ledvin. Druhá fáze zaznamenává vychytávání radiofarmaka parenchymem ledvin. Čím je křivka v této fázi strmější, tím je ledvina funkčně zdatnější. V 5. minutě dochází k maximu akumulace radiofarmaka v parenchymu ledvin a poté dochází ke konkávnímu plynulému poklesu křivky. Pokles strmosti křivky v této fázi je známkou poruchy funkce ledviny. V druhé fázi se může objevit opožděný nástup drenáže. V poslední exkrecní, můžeme říct také vylučovací fázi, pozorujeme volnou drenáž (fyziologický jev), pozvolné klesání křivky (zpomalení odtoku moči), nebo ke klesání křivky vůbec nedochází (tzv. obstrukční typ křivky). V této fázi odtéká radiofarmakum pryč z kalichopánvičkového systému do močového měchýře, kde je následně vyloučeno močí. Při poruše ledvin vidíme odchylku od standardního tvaru ledvin. Pokles křivky v této fázi může být více, či méně zpomalený, nebo křivka nevykazuje pokles, nebo naopak stoupá (obstrukční typ křivky). Tyto případy mohou být způsobeny zpomaleným transportem aktivní moči vývodným močovým systémem při tzv. prosté dilataci kalichopánvičkového systému, nebo mohou být způsobeny částečnou nebo úplnou obstrukcí ve vývodných močových cestách (Pavel Koranda a kol., 2014, str. 93 - 97).



7.1. Nefrografické křivky při různé míře funkčního postižení ve 25. minutě (Pavel Koranda a spol., Nukleární medicína 2014, str. 95).



7.2. Nefrografické křivky při různé míře funkčního postižení ve 40 minutě (Pavel Koranda a spol., Nukleární medicína 2014, str. 95).

Souhrnnějším hodnocením vyšetření v čase je dekonvoluční analýza. Jako závěr této analýzy vznikne křivka. Tvar této křivky odpovídá situaci, ve které by se všechno aplikované radiofarmakum vylučovalo pouze močovými vývodnými cestami, jiným způsobem by nebylo metabolizováno v organismu a nedocházelo by k recirkulaci krve (Kupka, Kubinyi, Šámal a spol., 2015, str. 108 - 109).

7.3. Indikace k vyšetření

Nejčastější indikací dynamické scintigrafie ledvin je zhodnocení poměru funkce ledvin a drenážní poměry vývodných močových cest.

Obecné indikace:

- Potřeba posouzení poměru funkce ledvin.
- Hodnocení průběhu drenáže a určení místa eventuální obstrukce.

Speciální indikace:

- Diferenciální diagnostika hydronefrózy, tedy odlišení obstrukce močových cest od prosté dilatace kalichopanvičkového systému. (tato metodika provedení se nazývá dynamická scintigrafie s furosemidovým testem)
- Detekce renovaskulární hypertenze (dynamická scintigrafie ledvin s podáním ACE inhibitoru)
- Dynamická scintigrafie transplantované ledviny (věstník č.9/2011 str. 153).

8. Modifikace dynamické scintigrafie

Mezi dynamické scintigrafické vyšetření ledvin patří i její speciální modifikace.

1. Diuretická nefrografie.
2. Dynamická scintigrafie s podáním ACE inhibitorů.
3. Dynamická scintigrafie transplantované ledviny (Kupka, Kubinyi, Šámal a spol., 2015, str. 108 – 120).

8.1. Diuretická nefrografie

Diuretická nefrografie je vyšetření, které je potřebné k diferenciální diagnostice hydronefrózy nebo ureterohydronefrózy. V našem případě se může jednat o tzv. hydronefrózu na základě prosté dilatace kalichopánvičkového systému, nebo se může jednat o hydronefrózu na základě obstrukce močových cest. Po intravenózním podání diuretika, v našem případě je to Furosemid. Dospělým, mladistvým a obézním dětem se aplikuje dávka 20 miligramů diuretika intravenózně. U dětí je to pak 1 miligram na jeden kilogram váhy. Jednu až dvě minuty po intravenózní aplikaci diuretika se začíná projevovat jeho efekt (Daniela Chroustová, 2010). Toto vyšetření se využívá k odlišení močové stázy způsobené prostou dilatací kalichopánvičkového systému (např. vrozená dilatace) od dilatace způsobené mechanickou alterací drenáže. Tyto rozdílné diagnózy jsou zvláště důležité u pacientů s dilatací močových cest (hydronefróza, nebo ureterohydronefróza), v případě přítomnosti patologické překážky má ledvina tendenci ztrácet svou funkci a může dojít k porušení její funkce (Volterrani et al., Nuclear Medicine Textbook 2019, str. 795 - 797).

8.1.1. Používaná radiofarmaka

Při dynamické scintigrafii ledvin se používá ^{99m}Tc -MAG3 a ^{99m}Tc -DTPA. Z hlediska vylučování radiofarmak je vhodnější použít ^{99m}Tc -MAG3, které se vylučuje rychleji, vylučuje se tubulární sekrecí a proto je toto radiofarmakum metodou první volby při vyšetření dětí. Při použití ^{99m}Tc -DTPA by u malých dětí mohly být zhoršeny podmínky vyšetření z důvodu dosud nevyvinutých glomerulárních funkcí (Kupka, Kubinyi, Šámal a spol., 2015, str. 109 – 110).

8.1.1.1. Protokol F + 20

Nejčastěji využívaným protokolem je ten, kdy se furosemid aplikuje ve 20. minutě (vyšetření F + 20). Největší výhodou tohoto vyšetření je možnost zhodnotit jak samotnou drenáž močových cest za fyziologických podmínek a následovně i s vlivem diuretika. Abychom se vyhnuli dvojí intravenózní aplikaci radiofarmaka a diuretika standardně u dětských i dospělých pacientů zavádíme kanylu do periferní žíly. Při tomto protokolu se často vyskytuje Homseyovo znamení – tj. opětovný nárůst křivky.

8.1.1.2. Protokol F 0

Mezi další protokoly se řadí F 0, jinými slovy podání diuretika ihned poté, co je aplikováno radiofarmakum, tzv. v 0. minutě vyšetření. Maximální diuretický efekt nastává v ledvinách až po dvacáté minutě od podání furosemidu, proto nevýhodou tohoto vyšetření je možnost předčasného odplavení radiofarmaka z kalichopánvičkového systému (Pavel Koranda a kol., 2014, str 96 - 97).

8.1.1.3. Protokol F – 15

Poslední z používaných protokolů je F -15. Při aplikaci diuretika 15 minut před aplikací radiofarmaka můžeme zhodnotit vyšetření v době maximálního diuretického efektu (maximální močový load). Při neurčitých nálezech při F + 20 se doporučuje podat diuretikum v čase F – 15 (Daniela Chroustová, 2010).

8.1.2. Hodnocení vyšetření

Pro hodnocení efektu diuretika na vyšetření se využívají nefrografické křivky. Faktor T1/2 udává čas, za který klesne aktivita původního podaného množství na polovinu.

Hodnota T1/2	Výsledné hodnocení
$T1/2 \leq 10$ minut	vyklučují obstrukci
T1/2 mezi 10.-20. minutou	neurčitý nález
$T1/2 \geq 20$ minut	vypovídají o obstrukci

Tabulka 4. Tabulka s hodnocením vyšetření v závislosti na hodnotě času T1/2 (Daniela Chroustová, Česko-Slovenská pediatrie č.12, 2010, str. 383).

Rychlost poklesu křivky v exkreční fázi můžeme rozdělit na patologický a fyziologický. Při normálním poklesu křivky dochází k drenáži ledvin a poklesu křivky do 5 minut od podání diuretika (může se vyskytovat prostá dilatace). Patologická rychlost poklesu křivky a drenáže ledvin trvá více jak 15 minut (dochází jen k chabé reakci) po podání diuretika (může existovat překážka - nejčastěji mezi přechodem z ledvinné pánvičky do ureteru, nebo z ureteru do močového měchýře).

Při hodnocení posuzuje lékař hned několik faktorů:

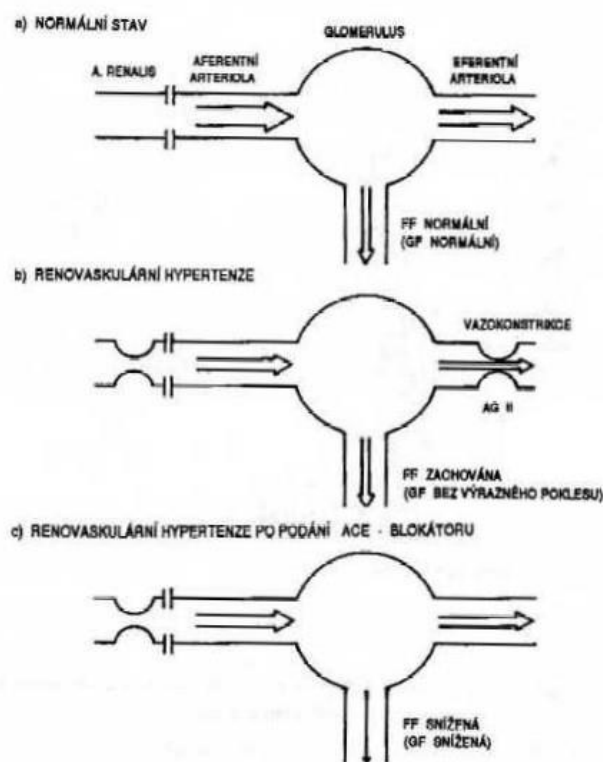
- poměr funkce levá a pravá ledvina
- rychlost drenáže radiofarmaka vývodnými močovými cestami
- akumulaci radiofarmaka, která zůstává v kalichopánvičkovém systému na konci vyšetření a po vymočení
- srovnání s minulými vyšetřeními (Pavel Koranda a kol., 2014, str. 100 - 101).

Na vyšetření působí mnoho faktorů, které jej mohou ovlivnit (věk pacienta, výběr radiofarmaka). Lékař musí mít zkušenosti a patofyziologické znalosti, protože hodnocení může být komplikované. Při nedodržení standardní přípravy pacienta, nebo porušení vyšetřovacího protokolu může dojít ke značnému zkreslení vyšetření:

- při nedostatečné hydrataci pacienta se může projevit zhoršená funkce ledvin (to je dáno delším časem, kdy se radiofarmakum akumuluje v parenchymu ledvin, nebo také prodloužením exkrece fáze)
- naplnění močového měchýře
- při předčasné intravenózní aplikaci diuretika
- při dlouhodobé renální obstrukci se prodlužuje doba, kdy se radiofarmakum akumuluje v postižené ledvině, tím je obtížnější hodnocení fáze exkrece
- pohyb a neklid vyšetřovaného - vyhodnocovací programy s tímto už počítají a jsou vybaveny nástrojem na korekci pohybu (Daniela Chroustová, Česko-Slovenská pediatrie č.12, 2010, str 282 - 293).

8.2. Dynamická scintigrafie s podáním ACE inhibitorů

Renovaskulární hypertenze je způsobena renální hypoperfuzí, kvůli stenóze renální tepny (nebo jejich hlavních intrarenálních větví) a aktivací renin-angiotenzinového systému. Ne všechny stenózy jsou hemodynamicky významné, tudíž nezpůsobují renální hypertenzi. Scintigrafický test s podáním ACE inhibitoru zkoumá funkční a specifický aspekt renovaskulární hypertenze spojený s renální hypoperfuzí, k níž přispívá angiotensin II. Ten reguluje glomerulární filtraci v případě nízké hladiny tlaku renální perfuze způsobené stenózou renální tepny. Na základě toho patofyziologické zdůvodnění, byl vyvinut test kaptoprilu pro diagnostiku renovaskulární hypertenze. Tento test využívá podání ACE inhibitoru k odstranění působení angiotenzinu II, díky čemu se sníží tlak v glomerulech a glomerulární filtrace. Lékařské rozhodnutí léčit stenózu tepny závisí na posouzení příčinného vztahu mezi stenózou a arteriální hypertenzí a o pravděpodobnosti klinického přínosu očekávaného od revaskularizace (Miroslav Mysliveček a spol., 2007, str. 105 – 107).



8.2.1 Schéma ledvinného glomerulu: a) za normálního stavu, b) při renovaskulární hypertenzi, c) při renovaskulární hypertenzi po podání ACE inhibitorů.

FF – filtrační frakce

GF - glomerulární filtrace

(Pavel Koranda a spol., Nukleární medicína 2014, str. 99)

8.2.1. Průběh vyšetření

Pacient je po přípravě. Pacient musí být dostatečně hydratován. Hodinu před vyšetřením se podává pacientovi per os cca 50g Tenziominu. Po celou hodinu se měří tlak a tepová frekvence a poté se zahajuje vyšetření formou dynamické scintigrafie. Před zahájením testu, musí být přerušena terapie s ACE inhibitory na několik dní (dva až sedm dní - podle biologického poločasu používaného léčiva) a diuretika by měla být vysazena po dobu nejméně jednoho týdne. (Volterrani et al., Nuclear Medicine Textbook 2019)

Pro toto vyšetření test je vhodné použít ^{99m}Tc -DTPA i ^{99m}Tc -MAG3 bez ohledu na jejich způsob vylučování. Při podání ^{99m}Tc -DTPA dojde ke sníženému vychytávání radiofarmaka v ledvině v parenchymové fázi. Při aplikaci ^{99m}Tc -MAG3 s ACE inhibitory se v postižené ledvině nezmění rychlost jeho vychytávání, ale zpomalí se kumulace v parenchymu ledvin a vytvoří se obraz tzv. parenchymové retence ^{99m}Tc -MAG3 (Pavel Koranda a spol., 2014, str. 98-100).

8.2.2. Hodnocení a indikace k vyšetření

Pro zhodnocení vyšetření se používá metoda porovnávání. Lékař hodnotí dynamickou scintigrafii bez užití ACE inhibitorů (tzv. bazální studie) s vyšetřením kdy byl podán ACE inhibitor. Scintigramy jsou hodnoceny vizuálně, hodnotí se poměr funkce ledvin a také se srovnává průběh funkce nefrogramů.

Nejčastější indikace k provedení vyšetření s podáním ACE inhibitorů:

- hypertenze ve věku do 30 let
- vysoký diastolický tlak
- náhlý vznik nebo zhoršení hypertenze
- farmakorezistentní hypertenze
- systolicko-diastolický šelest nad epigastriem
- vznik zvýšeného diastolického tlaku ve věku nad 55 let (Miroslav Mysliveček a spol., 2007, str. 105-107).

8.3. Dynamická scintigrafie transplantované ledviny

Transplantace ledvin je prováděná u pacientů s chronickým selháváním ledvin, kteří jsou dlouhodobě dialyzováni a jsou zařazeni do tzv. čekací listiny (ang. waiting list). Na rozdíl od dialyzační metody lze považovat transplantaci za metodu, která zvýší kvalitu a také délku života. (Viklický, Janoušek a spol., 2008). První transplantace byla provedena v roce 1953, v České Republice byla provedena v Hradci Králové v roce 1961, bohužel neúspěšně. První úspěšná transplantace se uskutečnila v roce 1966 v Praze (Urologie pro praxi, 2004, č. 3, str. 101).

Dynamická scintigrafie transplantované ledviny nám poskytuje kvantitativní a kvalitativní informace. Posuzujeme ledvinou perfuzi, funkci, drenážní poměry ledviny, pohyb a funkci horních močových cest (Ullman) [online]. Díky těmto zjištěným informacím můžeme stanovit diagnózu akutní tubulární nekrózy nebo chronickou ejekci transplantované ledviny. Při transplantaci ledviny může vzniknout nejčastěji akutní tubulární nekróza, je to většinou stav reversibilní. Při této nekróze převažuje poškození funkce ledviny nad ledvinou perfuzí (tento stav je většinou ireversibilní) (Kupka, Kubinyi, Šámal a spol., 2015, str. 111).

8.3.1. Průběh vyšetření

Vyšetření provádíme v přední projekci. Pacient je po standardní přípravě a leží v poloze na zádech. Detektor přikládáme nejčastěji na levý, nebo pravý podbřišek, protože transplantovaná ledviny bývá nejčastěji uloženy v těchto oblastech. Radiofarmakum se aplikuje intravenózně ve formě bolu (Ullman) [online]. V první minutě je pomocí jednovteřinových scintigramů sledován průtok radiofarmaka ledvinou artérií a celou ledvinou. Zbytek vyšetření probíhá jako standardní dynamická scintigrafie ledvin (Mysliveček a spol., 2007, str. 107-108). Doba akvizice dat je 30 minut. Při rychlém průtoku radiofarmaka ledvinou a močovým systémem do močového měchýře se může ukončit vyšetření např. už ve 20. minutě. Při suspekci na urinom (patologický útvar vzniklý hromaděním moči mimo vývodné močové cesty), lze provést statický snímek za zhruba 90 minut od aplikace radiofarmaka (Ullman) [online].

8.3.1.1. Aplikace radiofarmaka

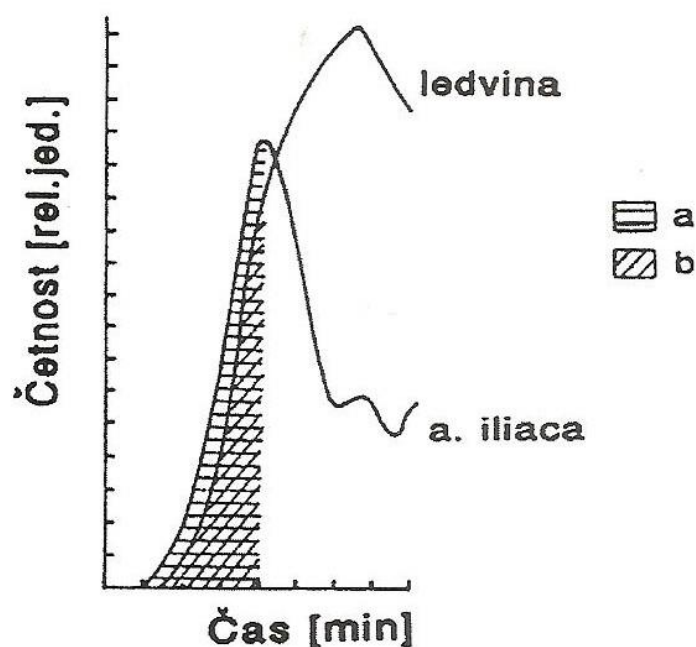
Pro toto vyšetření se nejčastěji využívá ^{99m}Tc -DTPA. Radiofarmakum se aplikuje ve formě bolu nejlépe po zavedení intravenózní kanyly s trojcestným ventilem. Fyziologickým roztokem propláchneme kanylu, jestli je průchodná a poté pod velkým tlakem aplikujeme radiofarmakum, po kterém opět propláchneme pod velkým tlakem fyziologickým roztokem.

8.3.2. Vyhodnocení funkce transplantované ledviny

Transplantované ledviny jsou umístěny do pravé nebo levé iliakální jámy. Ve srovnání s původními ledvinami jsou uloženy relativně povrchně (dobře přístupné k vyšetření pomocí sonografie). Výsledná studie je složena z části perfuzní (hodnocení jak kvantitativní, tak vizuální), funkční a exkretční. Kvantitativní hodnocení perfuzní fáze vychází z četnostní křivky, která charakterizuje první přítok a průtok radiofarmaka ledvinou a ilickou artérií (v této fázi rozhodujeme o rejekci ledviny). V tomto případě se vypočítává Hilsonův index. Ten je určen poměrem integrálů četnostních křivek (plochy pod křivkami) z oblasti ilické artérie a z oblasti ledviny v době od prvního přítoku radiofarmaka až po dosažení maximálního vrcholu aktivity v ilické artérii (Miroslav Mysliveček a spol., 2007, str. 107 - 108).

$$HI = \frac{a}{b} \cdot 100$$

8.3.1 Vzorec pro výpočet Hilsonova indexu (Miroslav Mysliveček a kol., Nukleární medicína, 2007, str. 108).



8.3.2 Graf znázorňující četnostní křivky průtoku radiofarmaka ilickou artérií a ledvinou (Miroslav Mysliveček a kol., Nukleární medicína, 2007, str. 108).

Při hodnocení funkce ledviny dále hodnotíme:

- vizuální hodnocení kumulace radiofarmaka v ledvině v různých fázích vyšetření
- kvantitativní zhodnocení křivek při prvním průtoku radiofarmaka ledvinou a stanovení perfuzních indexů
- zpracovávání a hodnocení nefrografických křivek
- hodnocení křivky nárůstu radioaktivity v močovém měchýři
- stanovení funkce ledviny
- stanovení časů průchodu radiofarmaka ledvinou v jejích částech
- vývoj perfuzních a funkčních parametrů od transplantace (Ullman) [online].

9. Radionuklidová cystografie

Vyšetření slouží k diagnostice vesikoureterálních refluxů (reflux do kraniální části ureteru, nebo také až do ledvinné pánvičky). (Miroslav Mysliveček a spol., str. 110).

9.1. Vesikouretrální reflux

Vesikouretrální reflux je zpětný tok moči z močového měchýře do močovodu nebo do ledvin. To lze pozorovat u asi 1–2% běžné populace, a to i při absenci typických příznaků. U dětí je primární vesikouretrální reflux způsoben vrozenou vývojovou vadou, poruchou mechanické funkce, nebo také poškozením spojení močového měchýře s močovodem (krátký nebo úplně chybějící močovod). Další příčiny mohou být absence adekvátní funkce detrusoru, boční umístění ureterálního otvoru, nebo také abnormální uretrální otvor. Sekundární vesikouretrální reflux je způsoben některou z obstrukčních nemocí močového měchýře, které mohou vytvářet příliš vysoké plnicí a vyprazdňovací tlaky. Kromě anatomické obstrukci existují neurofunkční příčiny vysokého intravezikálního tlaku (Volterrani et al., Nuclear Medicine Textbook 2019, str. 802 – 804).

9.2. Používaná radiofarmaka

Běžně se používá ^{99m}Tc -DTPA (nejčastější), ^{99m}Tc -MAG3 nebo také ^{99m}Tc -koloid, přičemž všechna taková radiofarmaka jsou neabsorbovatelná sliznicí močového měchýře. Radiofarmakum aplikujeme při nízké aktivitě (Volterrani et al., Nuclear Medicine Textbook 2019, str. 802 – 804).

9.2.1. Průběh vyšetření

Pacient je po standardní přípravě. Před vyšetřením je transuretrální katétr vhodné velikosti zaveden do močového měchýře (nepoužívá se balónkový, ten by mohl uzavřít ústí ureteru do močového měchýře). Do močového měchýře je povolna napouštěno radiofarmakum až do té doby, než je močový měchýř naplněn do zvyklého objemu. U dětí tento objem stanoví tento výpočet (objem vypočítáme v ml):

$$V = [\text{věk} + 1] \times 30.$$

Akvizice dat je zahájena spolu se začátkem plnění močového měchýře radiofarmakem. Nahrávání dat je v režimu dynamické scintigrafie (Miroslav Mysliveček a spol., 2007, str. 110). Infuze radiofarmaka končí, když pacient vyjádří potřebu močit, při naplnění močového měchýře do maximálního zvyklého objemu, nebo se při extravazaci objeví moč kolem katétru. V tomto bodě je transuretrální katétr odstraněn z důvodu získání fyziologického vyprázdnění močového měchýře. Začíná vylučovací studie, vyprazdňování může být provedeno s větším počtem serií scintigramů (snímky po 1-2 vteřinách) a je často dosaženo během několika minut (Volterrani et al., Nuclear Medicine Textbook 2019, str. 802 – 804). Výhoda tohoto vyšetření spočívá ve velmi malé radiační zátěži (farmakum je pomocí katétru krátkodobě aplikováno do močového měchýře, aktivita radiofarmaka je nízká). Nevýhodou je chabé rozlišení anatomických detailů.

9.3. Hodnocení

Jelikož je radiofarmakum aplikováno lokálně pomocí katétru, ozáření okolní tkáně je téměř nulové a citlivost detekce je vysoká. Mezi hlavní atributy patří vizuální zhodnocení vyšetření. Na jednotlivých scintigramech kontrolujeme, zda nedochází k zpětnému toku radiofarmaka do ureteru, nebo pánvičky. Při plnění močového měchýře můžeme pozorovat pasivní reflux a při vyprazdňování aktivní reflux (Pavel Koranda a kol., 2014, str. 102).

9.4. Indikace

Toto vyšetření je indikováno k prokázání přítomnosti vesikoureterálního refluxu. Jelikož je anatomická detailnost chabá, není možné vyšetření indikovat k rozlišení III.-IV. stádia refluxu. Protože je při vyšetření pravidelně sledováno plnění močového měchýře, je vyšetření indikováno také k detekci pasivního refluxu (Miroslav Mysliveček a spol., 2007, str. 110).

10. Statická scintigrafie ledvin

Statická scintigrafie ledvin je neinvazivní metoda, která je indikována při potřebě zjistit funkci parenchymu ledvin. Jako radiofarmakum aplikujeme ^{99m}Tc -DMSA, které je vychytáváno v proximálních buňkách ledvinných tubulů.

10.1. Průběh vyšetření

Zkontrolujeme totožnost pacienta, aby nedošlo k záměně radiofarmaka. Pacient je poučen o průběhu vyšetření a má podepsaný informovaný souhlas. (věštník) [on line] Po standardní přípravě je položen na záda na vyšetřovací stůl. Velká část radiofarmaka je znovu absorbována a ponechána v proximálním tubulu buňky (tedy na úrovni ledvinové kůry), což umožňuje získat vysoké rozlišení a vysoce kontrastní zobrazování. Zahájení akvizice dat začíná dvě, až tři hodiny po intravenózním podání radiofarmaka, tento časový interval je nutný k získání dostatečné kortikální akumulace radiofarmaka a nízké aktivity na pozadí. ^{99m}Tc -DMSA je podáno intravenózně o aktivitě 37–110 MBq pro dospělého jednotlivce. Dobrá hydratace během tohoto časového intervalu usnadňuje vylučování části radiofarmaka, která se nahromadí v renální kůře. aktivitě (Volterrani et al., Nuclear Medicine Textbook 2019, str. 800 - 802). Scintigramy se nahrávají v zadních, šikmých a předních projekcích. Přední projekce a zadní jsou potřebné ke zhodnocení poměru funkce pravé a levé ledviny, protože tím získáme přesnější poměr funkce ledvin s ohledem na hloubku korekce uložení. Ve všech projekcích posuzujeme velikost, tvar a uložení ledvin (Pavel Koranda a kol., 2014, str. 100 - 101).

10.2. Vyšetření dětí

Aktivita, která je aplikovaná dětem je určena tabulkou EANM (zmíněno výše). Začátek akvizice dat je jako u dospělých jedinců dvě, až čtyři hodiny po intravenózní aplikaci radiofarmaka, kdy je v parenchymu ledvin naakumulováno asi 40-50% aktivity z podaného radiofarmaka. Dětský pacient je položen na záda. Snímání a projekce jsou stejné jako u dospělých jedinců (Táborská, Česká radiologie 2013, str. 291-295).

10.3. Hodnocení vyšetření

Při hodnocení morfologie ledviny je výhodnější ultrazvuk. Statická scintigrafie ledvin nám ve srovnání s dynamickou scintigrafií ledvin přesněji hodnotí funkční zdatnost parenchymu ledvin.

10.4. Indikace

Statickou scintigrafii ledvin pomocí ^{99m}Tc -DMSA lze považovat jako referenční metodu pro detekci parenchymového poškození. Hlavní indikace statické scintigrafie ledvin lze shrnout takto:

- poměr funkce ledvin přesnější určení relativního podílu ledvin na celkové funkci – korekce na hloubku uložení
- průkaz korové léze u akutní a chronické pyelonefritidy
- průkaz funkčního rezidua svráštělé ledviny
- potvrzení vrozených vývojových vad ledvin (ageneze, hypoplázie, dystopie, ektopie, ren migrans, ren arcuatus) (Pavel Koranda a kol., 2014, str. 100 - 101).

11. Závěr

V úvodu mé práce jsem si stanovila cíle, které bych za dobu psaní mé bakalářské práce chtěla splnit. Také jsem si položila základní otázky, které bych chtěla v mé práci objasnit. Chtěla jsem popsat princip scintilačního snímání. Charakterizovat radiofarmaka, které se používají při scintigrafických vyšetřeních v nefrourologii a srovnat je. Popsat standardní přípravu pacienta (odlišit přípravu dětí a dospělých). Diferencovat od sebe statickou a dynamickou scintigrafii ledvin. U dynamické scintigrafie ledvin rozebrat její možné varianty. Všechny otázky byly v bakalářské práci obsáhnuty.

V první části bakalářské práce jsem se nastínila základní anatomii a fyziologii ledvin a vývodných močových cest (což je problematika, kterou bychom měli pro pochopení této práce znát). Popsala jsem, z jakých částí se skládají ledviny a vývodné močové cesty a na jakém principu fungují. V dalším kroku jsem objasnila technické stránky vyšetření (detekce gama záření pomocí scintilační kamery). Pro lepší pochopení konstrukce scintilačního detektoru jsem přiložila jednoduché schéma. Popsala jsem základní principy radiační ochrany, které se běžně dodržují na pracovištích nukleární medicíny. Druhou otázkou pro mě byla radiofarmaka. Na začátku jsem se zabývala jejich výrobou v generátoru $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. V této kapitole jsem se také zabývala rozdílem použití radiofarmak u dětí a dospělých. U dospělých pacientů lze použít $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG3}$ i $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$. U dětí se aplikuje k dynamické scintigrafii pouze $^{99\text{m}}\text{Tc-MAG3}$, protože nemají dostatečně vyvrálé glomeruly. Glomeruly u dětí vyvrávají až do 2 let věku. Nastínila jsem, jak se postupuje při počítání aplikované aktivity pro novorozence a malé děti (tabulka EANM). Zhotovila jsem také dvě tabulky. První se základními a minimálními hodnotami aplikované aktivity. Druhá tabulka obsahuje násobitele přiřazené podle hmotnosti, snadno se tak spočítá aktivita, která má být aplikována dětem a mladistvým. Upozornila jsem také na problematiku hodnocení vyšetření seniorů, starších a také pacientů s chronickým onemocněním ledvin. V další části práce jsem se zabývala přípravou dospělého a dětského pacienta. Příprava u obou je poměrně stejná. U obou skupin pacientů je důležité dostatečné zavodnění před zahájením vyšetření. U dítěte se doporučuje použít medikamentózní zklidnění dítěte a fixaci, aby nedocházelo k motorickým pohybům během vyšetření. Z tohoto důvodu může být příprava dětského pacienta delší.

Ve čtvrté otázce jsem rozebírala dynamickou a statickou scintigrafii ledvin. Hlavní rozdíl je v použití odlišných radiofarmak ($^{99m}\text{Tc-MAG3}$, $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ – dynamická, $^{99m}\text{Tc-DMSA}$ – statická). Rozdíl je také v zahájení akvizice dat. Při dynamické scintigrafii je zahájeno nahrávání dat ve stejném okamžiku, jako je aplikováno radiofarmakum. Při statické scintigrafii je akvizice dat zahájena za 2 až 3 hodiny po intravenózní aplikaci radiofarmaka). Při statické scintigrafii můžeme přesněji určit funkci ledvin. Díky aktivizaci dat v přední a zadní projekci můžeme provést korekci na uložení ledvin. Na rozdíl od statické scintigrafie se můžeme u dynamické scintigrafie vyjádřit k drenážním poměrům funkce ledvin. Poslední otázkou pro mě, byly modifikace dynamické scintigrafie ledvin. Vybrala jsem si tři nejčastější vyšetření: diuretickou nefrografii, dynamickou scintigrafii s použitím ACE inhibitorů a dynamickou scintigrafii transplantované ledviny. Diuretická nefrografie (vyšetření s použitím furosemidového testu, diuterika) se na základě zjištěných poznatků používá téměř u každého vyšetření dynamickou scintigrafii. V této kapitole jsem rozvinula možné protokoly a časy, kdy je možno diuretikum aplikovat (F0, F+20, F-15). Z dohledaných informací je nejčastěji používaný protokol F+20. Dalším vyšetřením je kaptoprilový test, který se využívá k detekci stenózy renální artérie. Tato stenóza se může projevit snížením glomerulární filtrace. Posledním speciálním vyšetřením je dynamická scintigrafie transplantované ledviny. V této kapitole jsem se zabývala popisem diagnostiky funkce a drenáže ledviny. Díky tomuto vyšetření lze diagnostikovat akutní pooperační stavy (akutní tubulární nekróza, nebo rejeckce ledviny). V 9. kapitole mé práce jsem se zabývala radionuklidovou přímou cystografií. Toto vyšetření slouží k diagnostice vesikoureterálních refluxů. K tomuto vyšetření nelze použít radiofarmakum, které by se vstřebávalo sliznicí močových cest a močového měchýře (lze použít $^{99m}\text{Tc-DMSA}$, $^{99m}\text{Tc-MAG3}$, $^{99m}\text{Tc-koloid}$). Ze zjištěných poznatků lze vyvodit, že se jedná o jediné vyšetření, kde není radiofarmakum aplikováno intravenózně, ale radiofarmakum je pomocí katétru napouštěno do močového měchýře. Diagnostika tohoto onemocnění metodami nukleární medicíny je ojedinělá, častěji se v praxi využívá cystografie a také uroflowmetrie (měření průtoku moče – neinvazivní metoda).

Pomocí rešeršní činnosti jsem dohledala množství informací a faktů, abych mohla na otázky položené v úvodu odpovědět. Díky odbornému vedení a pomoci MUDr. Miroslavy Budíkové, PhD., jsem byla schopna dohledané informace správně pochopit a modulovat je do správné formy bakalářské práce. Na závěr lze shrnout, že nefrourologické vyšetření v oboru nukleární medicíny je nezastupitelnou metodou pro neinvazivní diagnostiku onemocnění ledvin jak u dětí, tak u dospělých.

Seznam obrázků a tabulek

2.1 Schéma anatomického průřezu ledvinou (Dieta při chronickém onemocnění ledvin, 2015)

Dostupné z : <https://www.nizkobilkovinnadieta.cz/chronicke-onemocneni-ledvin/ledviny/anatomie-ledvin-a-mocoveho-systemu.html> [online].

3.1 Schéma scintilační kamery - přenos informace o šíření a vychytávání radiofarmaka v těle (začínaje emitovaným gama zářením z těla pacienta až po zobrazený obraz v počítači) (Miroslav Mysliveček a kol., 2007, str. 33).

4.1 Průřez ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátorem (Miroslav Mysliveček a kol., Nukleární medicína, 2007, str. 23).

7.1. Nefrografické křivky při různé míře funkčního postižení ve 40 minutě (Pavel Koranda a spol., Nukleární medicína 2014, str. 95).

7.2. Nefrografické křivky při různé míře funkčního postižení ve 25. minutě (Pavel Koranda a spol., Nukleární medicína 2014, str. 95).

8.2.1 Schéma ledvinného glomerulu: a) za normálního stavu, b) při renovaskulární hypertenzi, c) při renovaskulární hypertenze po podání ACE inhibitorů. (Pavel Koranda a spol., Nukleární medicína 2014, str. 99)

8.3.1 Graf znázorňující četnostní křivky průtoku radiofarmaka illickou artérií a ledvinou (Miroslav Mysliveček a kol., Nukleární medicína, 2007, str. 108).

8.3.2 Vzorec pro výpočet Hilsonova indexu (Miroslav Mysliveček a kol., Nukleární medicína, 2007, str. 108).

Tabulka 5. Tabulka s rozdělením radiofarmak podle typu vyšetření.

Tabulka 6. Tabulka s minimální doporučenou aktivitou a základními hodnotami pro výpočet aktivity podle EANM (Kupka, Kubinyi a Šámal a spol., 2015, str. 168-169).

Tabulka 7. Hmotnostní tabulka s hodnotami násobitelů pro třídu A (Kupka, Kubinyi a Šámal a spol., 2015, str. 168).

Tabulka 8. Tabulka s hodnocením vyšetření v závislosti na hodnotě času $T_{1/2}$ (Daniela Chroustová, Česko-Slovenská pediatrie č.12, 2010, str. 383).

Seznam bibliografických a elektronických zdrojů

1. BOSS, A, P MARTIROSIAN, J FUCHS, F OBERMAYER, I TSIFLIKAS, F SCHICK a J F SCHÄFER. Dynamic MR urography in children with uropathic disease with a combined 2D and 3D acquisition protocol—comparison with MAG3 scintigraphy. *The British Journal of Radiology* [online]. 2014, 2015, **87**(1044), 853-856 [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1259/bjr.20140426. ISSN 0007-1285. Dostupné z: <http://www.birpublications.org/doi/10.1259/bjr.20140426>
2. ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. Třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-4788-0.
3. DURAND, Emmanuel, Philippe CHAUMET-RIFFAUD a Nicolas GRENIER. Functional Renal Imaging: New Trends in Radiology and Nuclear Medicine. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. 2011, **41**(1), 61-72 [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2010.08.003. ISSN 00012998. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0001299810000760>
4. EASTY, Marina a Isky GORDON. Nuclear Medicine. *Pediatric Urogenital Radiology* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2018, 2018-07-13, , 93-111 [cit. 2020-03-17]. Medical Radiology. DOI: 10.1007/978-3-319-39202-8_3. ISBN 978-3-319-39200-4. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-39202-8_3
5. FOMMEI, E, S GHIONE, L PALLA, et al. Renal scintigraphic captopril test in the diagnosis of renovascular hypertension. *Hypertension* [online]. Cham: Springer International Publishing, 1987, 2018-07-13, **10**(2), 212-220 [cit. 2020-03-17]. Medical Radiology. DOI: 10.1161/01.HYP.10.2.212. ISBN 978-3-319-39200-4. ISSN 0194-911X. Dostupné z: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/01.HYP.10.2.212>
6. CHROUSTOVÁ, D., D. PALYZOVÁ, J. LANGER a I. URBANOVÁ. Současné postavení dynamické scintigrafie ledvin s aplikací diuretika v dětském věku. *Česko-slovenská pediatrie* [online]. 2010, **2010**(12.), 682–693 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/286180427_Current_role_of_diuretic_renal_scintigraphy_in_childhood_Review

7. JHA, Pranah Kumar a Vijay KHER, ed. *Manual of nephrology* [online]. New Dehli: Jaypee Brothers Medical Publishers (P), 2016 [cit. 2020-03-17]. ISBN 978-93-5250-163-5. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=xsWfCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA95&dq=radionuclide+imaging+in+nephrology&ots=BklGLxhYjw&sig=wqPyCrd63-uJHEkSkJ5VHSg9NTQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
8. Koranda, P., Kabíčková, E., Bělohávek, O., Mysliveček, M., Ptáček, J., & Kamínek, M. (2005). Vyšetřovací metody nukleární medicíny v pediatrii. *Pediatr. praxi*, 6(6), 310-313.
9. KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
10. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína: [učební text]*. Praha: P3K, c2007. ISBN 978-80-903584-9-2.
11. MYSLIVEČEK, Miroslav. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007-. ISBN 978-80-244-1723-3.
12. PACOVSKÝ, MUDr. Jaroslav, MUDr. Pavel NAVRÁTIL CSC, MUDr. Khaled BAKER a Malgorzata GROFOVÁ. Transplantace ledvin od žijících dárců. *Urologie pro praxi* [online]. 2004, 2004, **2004**(3), 101-104 [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: https://www.urologiepropraxi.cz/artkey/uro-200403-0002_Transplantace_ledvin_od_zijicich_darcu.php
13. Řez ledvinou. In: *Dieta při chronickém onemocnění ledvin* [online]. Praha 4: Fresenius Kabi, 2015 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.nizkobilkovinnadieta.cz/chronicke-onemocneni-ledvin/ledviny/anatomie-ledvin-a-mocoveho-systemu.html>
14. SEBASTIAN, Arun a Paul TAIT. Renal imaging. *Medicine* [online]. 2019, **47**(8), 498-504 [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1016/j.mpmed.2019.05.009. ISSN 13573039. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1357303919301379>
15. TÁBORSKÁ, Kateřina. SOUČASNÉ TRENDY V PROVEDENÍ STATICKE SCINTIGRAFIE LEDVIN U DĚTÍ S AKUTNÍ PYELONEFRITIDOU. *Česká Radiologie* [online]. 2013, **2013**(4.), 291-295 [cit. 2020-03-04]. ISSN 1210-7883. Dostupné z: <http://www.cesradiol.cz/detail.php?stat=430>
16. THOMPSON, A. a D.C.S. GOUGH. The use of renal scintigraphy in assessing the potential for recovery in the obstructed renal tract in children. *BJU International* [online]. 2001, 2015, **87**(9), 853-856 [cit. 2020-03-17]. DOI: 10.1046/j.1464-410x.2001.02213.x. ISSN 14644096. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1464-410x.2001.02213.x>

17. TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 4., přeprac. a dopl. Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0512-5.
18. ULLMAN, Vojtěch. *Jaderná fyzika, Ionizující záření, Radiologie: Scintigrafie. Astro Nukl Fyzika* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>
19. ULLMAN, Vojtěch. *Komplexní vyhodnocování dynamické scintigrafie transpantované ledviny: Scintigrafie. Astro Nukl Fyzika* [online]. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>
20. Věstník Ministerstva Zdravotnictví České republiky, 2011, roč. 2011, č.9 Dostupné z: http://www.mzcr.cz/Legislativa/dokumenty/vestnik-c9/2011_5340_2162_11.html
21. VLK Martin, SUCHÁNKOVÁ Petra, KOZEMPEL Ján, *Nukleární medicína: Medicinální radionuklidové generátory – mateřské radionuklidy, principy funkce a kontrola kvality eluátu*. 2019, 2019(3.). ISSN 1805-1146.
22. VOLTERRANI, Duccio, Paola Anna ERBA, Ignasi CARRIÓ, H. William STRAUSS a Giuliano MARIANI, ed. *Nuclear Medicine Textbook: Methodology and Clinical Applications*. Switzeland: Springer Nature Switzerland AG 2019, 2019. ISBN 978-3-319-95563-6.

Seznam zkratek

ACE – angiotenzin konvertující enzym

Bq – jednotka becquerel

DMSA - kyselina dimerkaptojantarová

DTPA – diethylentriaminopentaoctová kyselina

EANM – European Association of Nuclear Medicine S

i.v. – intravenózní

KPS – kalichopánvičkový systém

MAG – merkaptoacetyltriglycin

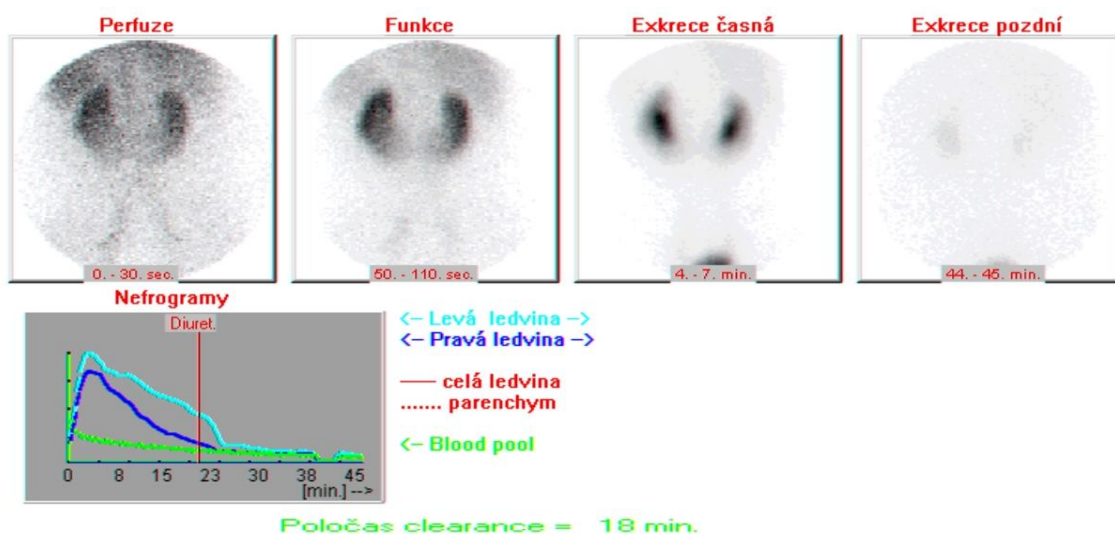
SPECT – Jednofotonová emisní výpočetní tomografie

VUR – vezikoureterální reflux

Seznam příloh

1. Příloha č. 1 Dynamická scintigrafie ledvin s použitím furosemidu F+20 - normální nález.
2. Příloha č. 2 Dynamická scintigrafie s použitím furosemidu F+20 – patologický nález.
3. Příloha č. 3 Statická scintigrafie ledvin – normální nález.
4. Příloha č. 4 Statická scintigrafie ledvin – patologický nález.
5. Příloha č. 6 Maďarská kamera používaná k vyšetřování ledvin statickou a dynamickou scintigrafií na klinice nukleární medicíny v Olomoucké fakultní nemocnici.

Přílohy



LEVÁ LEDVINA :
Podíl funkce = 55 %
Čas maxima = 4 min.
T1/2(nativ) = 24 min. T1/2(diuret) = 2 min.

PRAVÁ LEDVINA :
Podíl funkce = 45 %
Čas maxima = 4 min.
T1/2(nativ) = 9 min. T1/2(diuret) = 4 min.

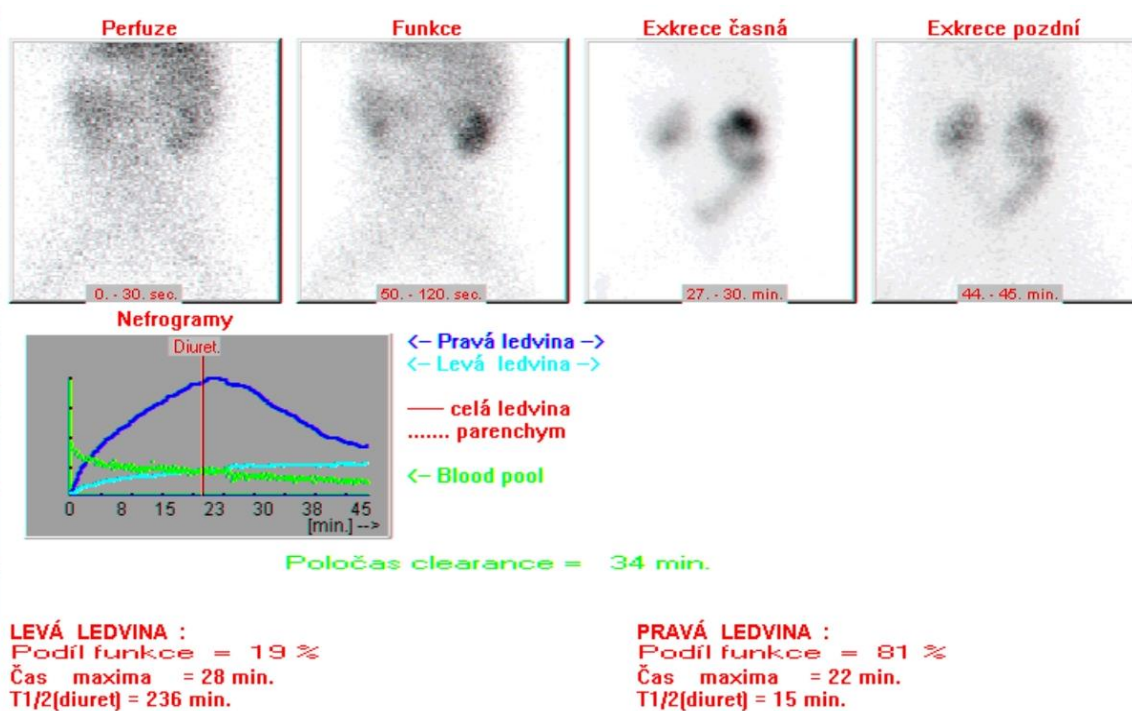
Příloha č. 1 Dynamická scintigrafie ledvin s použitím furosemidu F+20 - normální nález.

Nález: V parenchymové fázi se zobrazují obě ledviny spojené v oblasti kaudálních částí - ren arcuatus s relativně lehce větší velikostí levé ledviny. prakticky symetricky bez výraznějšího negativního zobrazení kalichopánvičkových systémů (KPS) ledvin. Následně se v KPS obou ledvin ledviny objevuje akumulace radiofarmaka - výrazněji vlevo, po Furosemidu došlo k rychlému odtoku radiofarmaka z obou KPS. V závěru vyšetření došlo k mikci - bez vlivu na průběh drenáže.

Nefrogramy: Vpravo - křivka v mezích normy, vlevo - dobrá strmost funkčního segmentu, T max. v normě, pokles ve III. fázi pozvolný (směrnice poklesu T1/2 24 min.), pokles po nástupu efektu diuretika rychlý (směrnice poklesu T1/2 4 min.). Poměr funkce ledvin dle poměru počtu impulzů kumulovaných ledvinami ve 2.minutě vyšetření : vlevo 55%, vpravo 45%.

Závěr: Ren arcuatus s mírnou asymetrií mezi levou a pravou ledvinou - levá ledvina je relativně lehce větší. Poměr funkce ledvin odpovídá poměru jejich velikosti, ledviny bez rozsáhlejších funkčních defektů. Mírně prostornější pánvičky obou ledvin - zřetelněji zvětšena pánvička vlevo. Podle průběhu drenáže při vyšetření vleže nález t.č. nesvědčí pro obstrukci močových cest.

Zdroj: FNOL

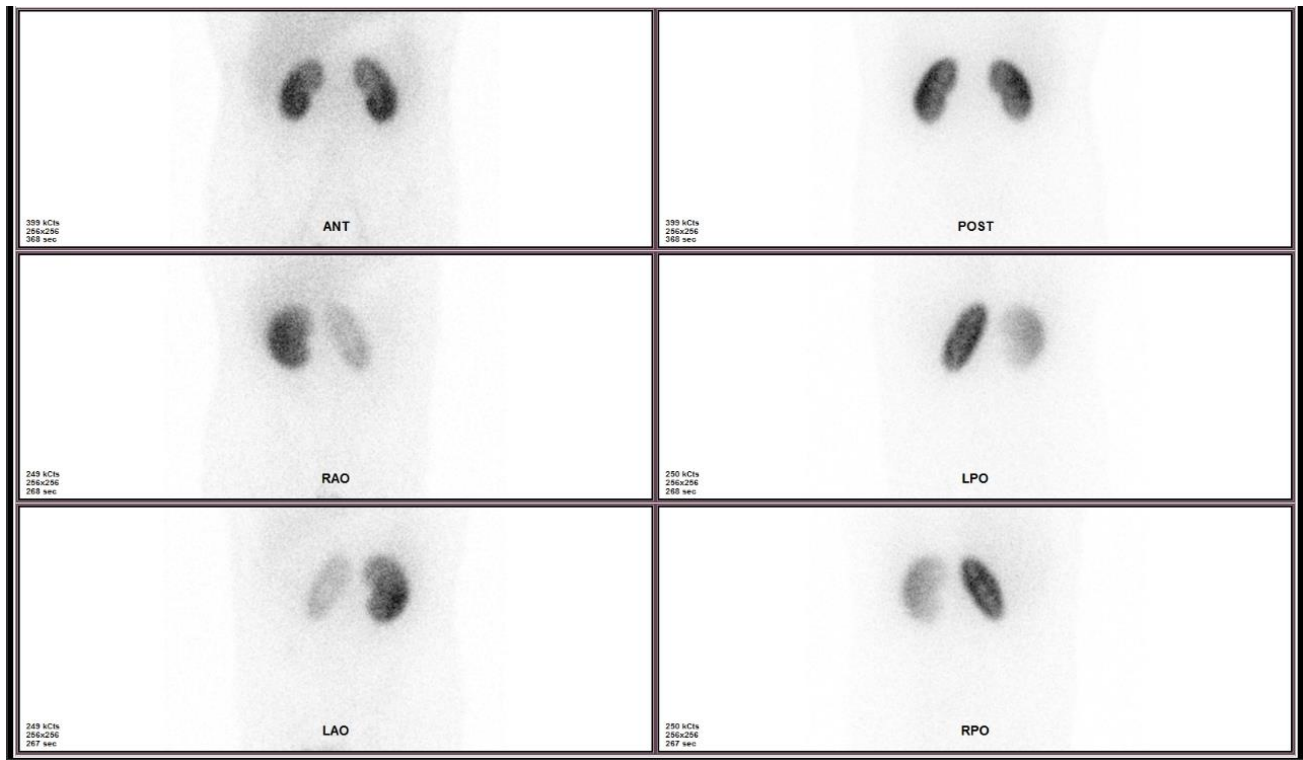


Příloha č. 2 Dynamická scintigrafie s použitím furosemidu F+20 – patologický nález.

Nález: V parenchymové fázi se zobrazují obě ledviny; levá je menší velikosti, zobrazena velice chabě zřetelněji se zobrazuje pouze okresek na rozhraní kaudální střední třetiny ledvin. Vpravo se zobrazuje ledvina zvyklého tvaru s impresí pánvičky a výraznou alterací funkce v kranální třetině ledviny. Následně se v kalichopánvičkového systému (KPS) obou ledvin objevuje akumulace radiofarmaka (vlevo ale velmi chabá), po Furosemidu došlo k částečnému odtoku radiofarmaka z KPS a zobrazují se oboustranně dilatované uretery (močový měchýř se nezobrazuje - stav při epicystostomii). Po vyšetření došlo k vertikalizaci dítěte - na scintigramech je zřejmá perzistence radiofarmaka v KPS a ureterech - vlevo zcela stacionární nález, vpravo odtok cca 20% moči z období na konci studie.

Závěr: Bilaterální ureterohydronefróza - vlevo velmi těžká alterace funkce ledviny, vpravo alterace funkce v kranální třetině ledviny (v.s. v oblasti výrazné dilatace KPS). Vlevo vzhledem k velmi těžké poruše funkce nelze spolehlivě hodnotit eventuelní přítomnost překážky drenáže (lze však asi vyloučit úplnou blokádu drenáže juxtavezikálně). Vpravo přes pozvolný odtok radiofarmaka z výrazně dilatovaného KPS a ureterů se těžká obstrukce juxtavezikálně jeví jako méně pravděpodobná.

Zdroj: FNOL

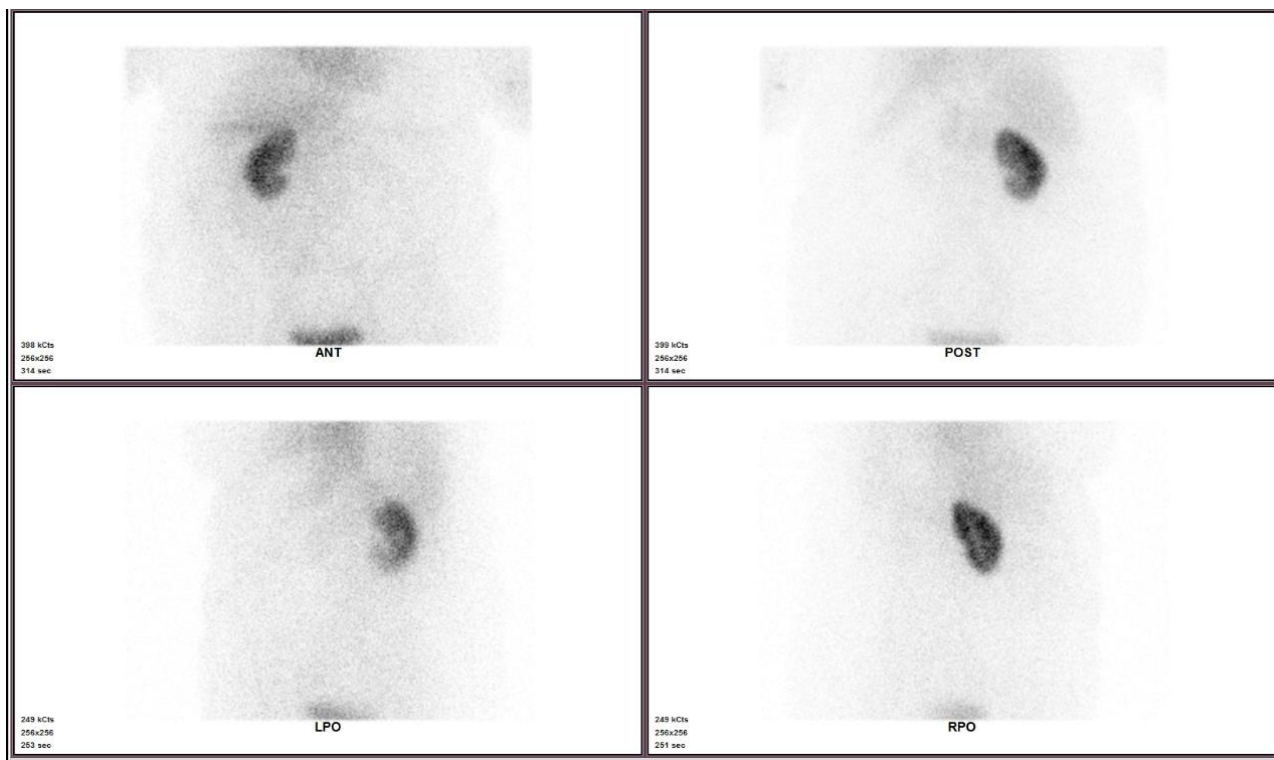


Příloha č. 3 Statická scintigrafie ledvin - normální nález.

Nález: Na statických scintigramech ve 4 základních projekcích zobrazeny obě ledviny, normální velikosti a tvaru, zvykle uloženy, hladkých okrajů, bez jednoznačných scintigrafických defektů v parenchymu ledvin, lehce nehomogenně akumulující radiofarmakum. Podíl ledvin na celkové funkci je symetrický - levá ledvina 50%, pravá ledvina 50%.

Závěr: Symetrická funkční zdatnost obou ledvin. Obě ledviny bez jednoznačných scintigraficky detekovatelných funkčních defektů.

Zdroj: FNOL



Příloha č. 4 Statická scintigrafie ledvin - patologický nález.

Nález: Na statických scintigramech se zobrazuje pravá ledvina obvyklého tvaru, mírně menší velikosti (cca 91x57mm), beze známek ložiskových změn. Vlevo funkční parenchym nenacházíme.

Závěr: Scintigrafický nález svědčí pro afunkci levé ledviny. Pravá ledvina mírně menší velikosti, beze známek ložiskových změn.

Zdroj: FNOL



Příloha č. 3 Maďarská kamera používaná k vyšetřování ledvin statickou a dynamickou scintigrafií na klinice nukleární medicíny v Olomoucké fakultní nemocnici.

Zdroj: FNOL