

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Veronika Uhýrková

Radionuklidová diagnostika onemocnění ledvin

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Iva Metelková, Ph.D.

Olomouc 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 15. června 2020

Podpis

Ráda bych poděkovala MUDr. Ivě Metelkové, Ph.D. za odborné vedení a užitečné rady, které mi poskytla při zpracovávání bakalářské práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Typ závěrečné práce: Přehledová bakalářská práce

Téma práce: Radionuklidová diagnostika onemocnění ledvin

Název práce: Radionuklidová diagnostika onemocnění ledvin

Název práce v AJ: Radionuclide diagnosis of kidney disease

Datum zadání: 2019-05-22

Datum odevzdání: 2020-06-15

Vysoká škola, fakulta, ústav:

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Veronika Uhýrková

Vedoucí práce: MUDr. Iva Metelková, Ph.D.

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

Abstrakt v ČJ: Bakalářská práce se zabývá kompletním popisem radionuklidových metod v diagnostice onemocnění ledvin. Objasňuje postupy a rozdíly při statické scintigrafii, dynamické scintigrafii a jejích modifikacích. Součástí kapitol je i příprava pacientů před vyšetřením. Veškeré informace v bakalářské práci byly čerpány na základě rešeršní činnosti z odborných článků a publikací.

Abstrakt v AJ: Bachelor thesis deals with a complete description of radionuclide methods in the diagnosis of kidney disease. Explains the procedures and differences in static scintigraphy, dynamic scintigraphy and its modifications. Part of the chapters is also the preparation of patients before the examination. All information in the bachelor thesis was drawn on the basis of research activities from professional articles and publications.

Klíčová slova v ČJ: scintigrafie ledvin, radiofarmaka, statická scintigrafie ledvin, dynamická scintigrafie ledvin, renovaskulární hypertenze, transplantovaná ledvina

Klíčová slova v AJ: renal scintigraphy, radiopharmaceuticals, static renal scintigraphy, dynamic renal scintigraphy, renovascular hypertension, transplanted kidney

Rozsah: 36 stran, 2 přílohy

OBSAH

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	4
ÚVOD	7
1. ANATOMIE A FYZIOLOGIE LEDVIN.....	9
2. RADIONUKLIDOVÉ METODY V NEFROUROLOGII OBECNĚ	10
2.1 Příprava pacientů před scintigrafickým vyšetřením.....	10
3. STATICKÁ SCINTIGRAFIE LEDVIN.....	12
3.1 Radiofarmakum.....	12
3.2 Indikace a kontraindikace k vyšetření.....	13
3.3 Průběh vyšetření.....	14
3.4 Hodnocení	15
4. DYNAMICKÁ SCINTIGRAFIE LEDVIN.....	17
4.1 Radiofarmaka	17
4.2 Indikace a kontraindikace k vyšetření.....	18
4.3 Průběh vyšetření.....	19
4.4 Hodnocení	20
5. SPECIÁLNÍ MODIFIKACE DYNAMICKÉ SCINTIGRAFIE LEDVIN	24
5.1 Diuretická nefrografie s furosemidovým testem.....	24
5.2 Diagnostika renovaskulární hypertenze s podáním ACE inhibitoru.....	26
5.3 Dynamická scintigrafie transplantované ledviny	28
ZÁVĚR	31
BIBLIOGRAFICKÉ A ELEKTRONICKÉ ZDROJE	32
SEZNAM ZKRATEK.....	34
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	35
SEZNAM PŘÍLOH.....	36
PŘÍLOHY	37

ÚVOD

Nukleární medicína, jakožto samostatný lékařský obor, se zaměřuje na diagnostiku a léčbu, při níž se aplikují radioaktivní látky do těla pacienta. Jejich součástí je radionuklid (tj. zdroj ionizujícího záření), který je navázán na nejrůznější chemické sloučeniny. Tyto látky – radiofarmaka – jsou otevřenými zářiči, převážně se do těla pacienta aplikují intravenózně. Při diagnostice je radiofarmakum vycytáváno přímo v oblasti zájmu, kde se díky emitovanému záření gama vytváří pomocí detektoru obraz distribuce daného radiofarmaka a neinvazivním způsobem lze tak studovat fyziologické a biochemické procesy v těle a lokalizovat případné patologické změny. (Hušák a kol., 2009, s.93)

Jedním z nejčastěji prováděných vyšetření na klinice nukleární medicíny je právě scintigrafie ledvin. Toto vyšetření je užitečné především proto, že poskytuje funkční informace o ledvinách a navazujících močových cestách. S pomocí sonografie nebo jiných radiodiagnostických metod se získávají data o morfologii ledvin a ta jsou pak kombinována s výsledky funkčních vyšetření na klinice nukleární medicíny. (Koranda et al., 2014, s.90) V souvislosti s tímto je možno položit si otázku: Jaké poznatky jsou publikovány o radionuklidových metodách v nefrourologii?

Cílem bakalářské práce je tedy shrnout dohledané aktuální poznatky o radionuklidových metodách v nefrourologii. Cíl bakalářské práce je dále specifikován v dílčích cílech:

1. Shrnutí dohledané aktuální poznatky o radionuklidových metodách v nefrourologii a přípravě pacientů k nim.
2. Objasnit rozdíly mezi statickou a dynamickou scintigrafií.
3. Objasnit speciální modifikace dynamické scintigrafie.

Jako vstupní literatura byly použity tyto publikace:

KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína: [učební text]. Praha: P3K, c2007. ISBN 978-80-903584-9-2.

NAŇKA, Ondřej a Miloslava ELIŠKOVÁ. Přehled anatomie. Třetí, doplněné a přepracované vydání. Praha: Galén, [2015]. ISBN 978-80-7492-206-0.

ROKYTA, Richard. Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.

HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2350-0.

VOLTERRANI, Duccio, Paola Anna ERBA a et al. Nuclear Medicine Textbook, Methodology and Clinical Applications. 2019. ISBN 978-3-319-95564-3

Pro získání informací k danému tématu byla použita tato klíčová slova:

- klíčová slova v ČJ: scintigrafie ledvin, radiofarmaka, statická scintigrafie ledvin, dynamická scintigrafie ledvin, renovaskulární hypertenze, transplantovaná ledvina
- klíčová slova v AJ: renal scintigraphy, radiopharmaceuticals, static renal scintigraphy, dynamic renal scintigraphy, renovascular hypertension, transplanted kidney

Pro získání informací byl použit standardní rešeršní postup. Využity byly české články, studie, odborná literatura a některé internetové zdroje. Pro vyhledávání byly prostřednictvím počítačové sítě Univerzity Palackého v Olomouci užity databáze jako Pubmed, MEDVIK, EBSCO. Mimo doporučené databáze byl k vyhledávání využit i internetový prohlížeč Google Scholar.

Zvoleno bylo vyhledávací období od roku 1998 do současnosti. S použitím výše zmíněných klíčových slov bylo do bakalářské práce celkem využito 12 odborných článků, z toho 3 byly v anglickém jazyce. Informace byly dále doplněny z 8 titulů odborné literatury, z nichž 2 tituly byly v anglickém jazyce. Pro tvorbu práce byly také využity 4 elektronické zdroje.

1. ANATOMIE A FYZIOLOGIE LEDVIN

Úvod do anatomie a fyziologie ledvin je nezbytnou součástí k určení patologických stavů a správného hodnocení při daném radionuklidovém vyšetření.

Ledviny jsou párovým orgánem fazolovitého tvaru. Uloženy jsou primárně v retroperitoneu v tukovém pouzdře ve výši obratlů Th₁₂ až L₂ a jejich rozměry jsou obvykle 12 x 6 x 3 cm. Rozlišujeme horní a dolní pól, přední a zadní plochu, laterální a mediální okraj s hilem, kde odstupuje ledvinná pánvička a prochází tudy cévy. (Naňka, Elišková, 2015, s. 195)

Z makroskopického hlediska členíme ledvinu na kůru a dřeň. Její základní funkční jednotkou je nefron, který je schopen vytvářet moč. Skládá se z glomerulu, uloženého v Bowmanově pouzdře, proximálního a distálního tubulu, jež se nacházejí v kůře ledviny, Henleovy kličky, která zasahuje do dřeně ledviny a současně dřeň prochází i poslední část nefronu, tzn. sběrací kanálek odvádějící vytvořenou moč do ledvinové pánvičky.

Základní funkcí ledvin je vylučování, tedy odstraňování ve vodě rozpustných odpadních látek, pomocí glomerulární filtrace, tubulární resorpce a tubulární sekrece. Odpadními látkami mohou v tomto případě být různé zplodiny metabolismu, cizorodé látky jako například léky nebo i přebytečné ionty. Další důležitou funkcí je funkce homeostatická, ledviny tedy pomáhají udržovat rovnováhu elektrolytů a acidobazickou rovnováhu. Mimo jiné produkují i důležité hormony jako erythropoetin a renin a podílí se na regulaci krevního tlaku. (Rokyta et al., 2015, s. 297-299)

2. RADIONUKLIDOVÉ METODY V NEFROUROLOGII OBECNĚ

Metody nukleární medicíny, co se týče vyšetření ledvin, poskytují především funkční informace o ledvinách a navazujících močových cestách, vztahující se k jejich morfologii, získané jinými zobrazovacími a vyšetřovacími metodami, především sonografií. Konkrétní radionuklid se aplikuje intravenózně a se specifickou aktivitou pro každého pacienta, tudíž výhodou těchto metod je neinvazivnost a poměrně nízká radiační zátěž.

Nejčastějšími vyšetřeními jsou dynamická a statická scintigrafie ledvin. Statická scintigrafie sleduje záchyt radiofarmaka v parenchymu ledvinné kůry a lze také přesně určit poměr funkce obou ledvin, zatímco dynamická scintigrafie ledvin poskytuje obrazovou informaci o funkci ledvin a odtokových parametrech. Součástí dynamické scintigrafie může být také diuretická nefrografie s furosemidovým testem, diagnostika renovaskulární hypertenze s podáním inhibitoru angiotenzin konvertujícího enzymu (ACE) nebo i vyšetření transplantované ledviny.

Dalšími radionuklidovými metodami v této oblasti jsou měření celkové funkce ledvin pomocí vzorkových clearančních studií a radionuklidová přímá cystografie. (Koranda et al., 2014, s.90-103)

2.1 Příprava pacientů před scintigrafickým vyšetřením

Aby byl výsledek scintigrafického vyšetření ledvin správný, je nejdůležitější pacienta minimálně půl hodiny předtím důkladně hydratovat. Dohlíží se, aby vypil alespoň půl litru tekutiny. Není-li možné perorální podání tekutin, ve vybraných případech lze použít intravenózní infuzi. Nedostatečné zavodnění nepříznivě ovlivňuje výsledky dynamické i statické scintigrafie, kvůli hromadění koncentrované moči s radiofarmakem v kalichopánvičkovém systému. Důležitým krokem před dynamickou scintografií je také vymočení pacienta, aby se moč nehromadila v močovém měchýři. Může totiž dojít ke zpomalení nebo úplnému zastavení odtoku moči s radiofarmakem z kalichopánvičkového systému. Je možné provést dynamickou scintigrafii také se zavedeným katetrem, pokud má pacient například poruchu vyprazdňování močového měchýře.

Zvlášť by se měl brát zřetel na dětské pacienty. Jako u dospělých je samozřejmě na prvním místě dostatečná hydratace před vyšetřením, s tím rozdílem, že u dětí se objem podané tekutiny upravuje v závislosti na jejich hmotnosti. (Koranda et al., 2014, s.92) Scintigrafie ledvin trvají poměrně dlouhou dobu a pro dětského pacienta může být obtížné přes celé vyšetření nehybně setrvat na lůžku, proto dalším důležitým krokem je snaha zdravotnických pracovníků vytvořit

takové podmínky, aby se děti před vyšetřením zbytečně nemusely premedikovat sedativy nebo hypnotiky. Případné podání těchto medikamentů se provádí individuálně a v závislosti na osobnosti dítěte a typu vyšetření. Mnohdy k vytvoření klidného prostředí na vyšetřovně stačí přítomnost osoby blízké dítěti, resp. rodiče. Problém také nastává při samotné aplikaci radiofarmaka. Jelikož intravenózní podání mají děti zafixované jako bolestivý podnět, je nejlepší zavést kanylu mimo pracoviště nukleární medicíny a předejít tak nepříjemnému průvodnímu vjemu dítěte. Předem zavést kanylu je pro zdravotnického pracovníka výhodnější, protože může bez problému například při diuretické nefrografii podat intravenózně furosemid, aniž by dětský pacient pociťoval další bolest. (Koranda et al., 2005, č.6, s.310)

3. STATICKÁ SCINTIGRAFIE LEDVIN

Jedná se o poměrně jednoduchou a neinvazivní metodu, jejíž princip spočívá v zachytávání radiofarmaka ve funkčním parenchymu ledvinné kůry. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.292)

3.1 Radiofarmakum

Jako nejvhodnější radiofarmakum bylo zvoleno ^{99m}Tc -DMSA (dímerkaptosukcinát), které se vychytává a po určitou dobu setrvává v buňkách proximálních tubulů. V glomerulech přechází jen malá část radiofarmaka do primární moči a ta je z organismu následně vyloučena. V průběhu statické scintigrafie je tedy v ledvinné kůře nahromaděno asi 60 % intravenózně podaného radiofarmaka. Přitom je dáno, že množství radiofarmaka, které se vychytá pravou i levou ledvinou, je úměrné poměru tubulární funkce obou ledvin. (Koranda et al., 2014, s.90) Jakýkoli patofyziologický proces, spojený s krevním průtokem a funkční zdatností buněk proximálních tubulů, může ovlivnit výslednou míru akumulace radiofarmaka. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.292)

Aby vyšetření podalo dostatečnou diagnostickou informaci a zároveň nedocházelo k nadměrné radiační zátěži pacienta, aplikuje se jen nezbytné množství radiofarmaka požadované aktivity a čistoty, standardně stanovené pro člověka o hmotnosti 70 kg. (Hušák a kol., 2009, s.100) Při planární scintigrafii ledvin je tedy pro 70 kg pacienta aplikovaná aktivita ^{99m}Tc -DMSA většinou 100 MBq. Diagnostická referenční úroveň při použití SPECT je 150 MBq a celkově u scintigrafie ledvin to je 250 MBq. (věstník č.9/2011, s.150) [on line] Diagnostické referenční úrovně nejsou sice limity, ale v praxi by neměly být překračovány, pouze v dostatečně zdůvodněných případech. (Hušák a kol., 2009, s.75) V případě, že pacient váží méně nebo více než 70 kg, se aplikovaná aktivita radiofarmaka stanoví dle příslušného vzorce. (věstník č.9/2011, s.111) [on line]

U dětských pacientů se postupuje dle doporučení EANM (European Association of Nuclear Medicine) podle tabulky pro určení aktivity dle tělesné hmotnosti. Co se týče novorozenců, vypočtená aktivita dle stanovených tabulek by byla příliš malá k dosažení kvalitních snímků, proto EANM určuje minimální aktivity, při kterých jsou výsledky vyšetření ještě hodnotitelné. Pro statickou scintigrafii ledvin tedy platí minimální aplikovaná aktivita 15 MBq. (Kupka et al., 2007, s.168-169)

3.2 Indikace a kontraindikace k vyšetření

Mezi hlavní indikace k provedení statické scintigrafie ledvin patří především průkaz tvarových anomálií ledvin, detekce ektopicky uložených ledvin (pokud selhává ultrazvukové vyšetření), stanovení přesného poměru funkce obou ledvin i jednotlivých částí jedné ledviny, také potvrzení hypofunkce až afunkce a samozřejmě diagnostika akutní pyelonefritidy a průkaz trvalých postpyelonefritických funkčních lézí. (Bosáková, Hladík et al., 2019, roč.8, č.2, s.24) Postpyelonefritické jizvy lze pomocí statické scintigrafie detekovat většinou až za šest měsíců nebo i později po akutním infektu. Zato u akutní pyelonefritidy je nutno scintigrafii provést ještě před odezněním poškození funkce parenchymu ledviny, a to při zdařilé léčbě antibiotiky. (Kupka et al., 2007, s.112)

Uvádí se, že statická scintigrafie ledvin je jedním z nejčastěji prováděných vyšetření v dětském věku. (Koranda et al., 2014, s.103) K detekci akutní pyelonefritidy u dětí lze použít také ultrazvukové vyšetření, které sice není tak citlivé, ale je doporučováno ho provádět po každé první infekci močových cest. Další alternativou pro diagnostiku akutní pyelonefritidy i následných chronických jizev je magnetická rezonance s gadoliniem. Ta byla sice vyhodnocena jako spolehlivější než statická scintigrafie, avšak stále je statická scintigrafie ledvin označována jako jakýsi „zlatý standard“ k vyšetřování akutních změn v ledvinném parenchymu. (Bosáková, Hladík et al., 2019, roč.8, č.2, s.25)

Absolutní kontraindikace k vyšetření ledvin pomocí ^{99m}Tc -DMSA neexistuje. Pouze relativní kontraindikací k tomuto vyšetření je gravidita a laktace. (věstník č.9/2011, s.150) [on line] U těhotných žen lze provést aplikaci radiofarmaka, jedná-li se o zvlášť zdůvodněný neodkladný případ. Je důležité pečlivě zvážit nutnost vyšetření, aby zbytečně nedocházelo k nadměrné radiační zátěži matky a aby se zajistila maximální ochrana plodu před zdroji ionizujícího záření. Na kojící ženy, co se týče radiační ochrany, by se měl brát podobný zřetel. V úvahu by se mělo vzít, jestli není možné vyšetření dočasně odložit, kvůli možné sekreci radiofarmaka do mateřského mléka, než matka přestane kojit. (Hušák a kol., 2009, s.101-102) V případě, že ^{99m}Tc -DMSA bylo aplikováno kojící ženě, nemusí být kojení zcela přerušeno, avšak doporučuje se nekojit alespoň dvanáct hodin od aplikace. Ženám se totiž v období laktace aplikuje jen minimální aktivita radiofarmaka, která pro ^{99m}Tc -DMSA činí 80 MBq. (věstník č.9/2011, s.111-112) [on line]

3.3 Průběh vyšetření

Před každým scintigrafickým vyšetřením je nejdůležitější ověřit pacientovy osobní údaje a zdravotní data v souladu s podanou žádankou k vyšetření, aby nedošlo k případné záměně pacientů. Je nutné pacienta dostatečně poučit o průběhu vyšetření a odebrat osobní anamnézu, zaměřující se na onemocnění, kvůli kterému se statická scintigrafie provádí a taky prodělané nemoci nebo úrazy, které by mohly výsledky vyšetření ovlivnit. Na závěr, než začne samotné vyšetření, musí pacient podepsat informovaný souhlas s vyšetřením. (věstník č.9/2011, s.150) [on line]

Statické scintigramy ledvin se provádí po standardní přípravě pacienta před scintigrafickými vyšetřeními, a to za 2-3 hodiny od aplikace radiofarmaka. (Koranda et al., 2014, s.100) V ledvinách je po takové době zachyceno přibližně 40-50 % z aplikované aktivity. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.292) Vyšetření probíhá v poloze vleže na zádech a postupně jsou nahrávány scintigramy v zadní, zadní šikmé a někdy i přední projekci, je-li potřeba vypočítat přesný poměr funkce obou ledvin nebo důkladněji posoudit tvar nebo ektopii ledviny. Možné je i využití SPECT zobrazení, které je sice senzitivnější, co se týče vyhledávání funkčních defektů, ale v oblasti ledvinných pólů zvyšuje riziko falešně pozitivních nálezů. (Koranda et al., 2014, s.100)

K nahrávání slouží scintilační kamery, které jsou vybaveny kolimátory pro nízké energie s vysokým rozlišením nebo pinhole kolimátorem, kvůli ještě detailnějšímu snímání (především u velmi malých dětí). (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.292) U scintilační kamery není pro vyšetření limitujícím faktorem počet hlav. Jelikož je základem radiofarmaka ^{99m}Tc , je důležité mít nastavené okénko analyzátoru na fotoník 140 keV. (věstník č.9/2011, s.149) [on line] Pokud je ve výsledném záznamu registrováno alespoň 300 000 impulzů nebo pokud nahrávání trvá 5 minut, lze tento scintigram považovat za dostatečně kvalitní. Pro pinhole kolimátor je doporučováno dosáhnout četnosti 100 000-150 000 impulzů a upravit velikost otvoru nebo protáhnout dobu nahrávání alespoň na 10 minut. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.292) Snímání probíhá do matice 128 x 128 a jemnější, u dětí lze použít i zoom 1-2. U neklidných dětských pacientů se dá výjimečně zvolit režim dynamické scintigrafie a následně sloučit scintigramy kdy se dítě nehýbalo do jednoho statického snímku. (věstník č.9/2011, s.151) [on line]

3.4 Hodnocení

Co se týče morfologie ledvin, hodnotí se jejich uložení, přibližná velikost a jejich tvar. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.292) Samozřejmě v tomto ohledu dominuje spíše sonografie, jelikož má lepší rozlišovací schopnost než scintigrafie, ale pokud je potřeba vyhodnotit i funkční zdatnost ledvinného parenchymu, je statická scintigrafie ledvin nenahraditelná. Dobrým příkladem, kdy dominuje statická scintigrafie, může být třeba daleko lepší citlivost při detekci pyelonefritických funkčních defektů ledvinné kůry. (Koranda et al., 2014, s.101)

Vzhledem k tomu, že je ^{99m}Tc -DMSA vychytáváno v buňkách proximálních tubulů, fyziologickým nálezem tedy potom bude maximální rozložení radiofarmaka na vnějším okraji ledviny. O něco světlejší se zobrazí dřeň, kalichy a pánvička. Za fyziologické lze také považovat možné oploštění horního pólu levé ledviny kraniolaterálně z důvodu přiléhající sleziny. Normální také může být nehomogenní rozložení radiofarmaka ve funkčním parenchymu ledviny kvůli přítomnosti Bertiniho column nebo u renkulizace ledviny. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.293) Columna Bertini je případ vývojové anomálie, kdy jsou mezi pyramidami ledvin, nezměněné kortikální tkáně, vytvořeny různě široké přepážky, které se vyklenují do renálního sinu. Z klinického hlediska se pacienti s columna Bertini nemusejí nijak dlouhodobě sledovat. (Doležel et al., 2012, č.13, s.418) Podobně je tomu tak i při renkulizaci ledviny, kdy je ledvina rozdělena na lalůčky. Toto rozdělení však nemá vliv na funkci ledviny. (Bezděková et al.) [on line]

Významné při hodnocení statické scintigrafie ledvin je také stanovení relativního podílu na celkové funkci ledvin, zvláště pro pravou a levou ledvinu, udávaného v procentech. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.293) Každá z ledvin je uložena v jiné hloubce od povrchu zad, ale díky statické scintigrafii, která poskytuje obrazy jak v zadní, tak v přední projekci, je možno pomocí korekčního výpočtu eliminovat vliv odlišné hloubky uložení. (Koranda et al., 2014, s.100) Relativní podíl pravé a levé ledviny je tedy nejčastěji počítán jako geometrický průměr četnosti impulzů z přední a zadní projekce po korekci na četnost pozadí. Fyziologicky by se hodnoty měly pohybovat v rozmezí 45-55 %. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.293)

Jak už bylo řečeno, statická scintigrafie ledvin je jedním z nejčastěji prováděných vyšetření při diagnostice akutní pyelonefritidy. V časně fázi tohoto onemocnění lze na scintigramu popsat edém, v důsledku značného zvětšení ledviny. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.293) Dále, může být na scintigramu patrné nehomogenní rozložení radiofarmaka, které se projeví jako porucha akumulace v ledvinném parenchymu, a to z důvodu ložiskových nebo difúzních patologických procesů. Pokud je vyšetření, při podezření na akutní pyelonefritidu, pozitivní, je to v důsledku ischémie tkáně a je

doporučováno provést kontrolní statickou scintigrafií s odstupem zhruba šesti měsíců, jelikož by, případně vzniklé jizvy, dříve nebylo možné rozeznat od akutního zánětu. Tyto akutní zánětlivé změny ve tkáni jsou reverzibilní a ve většině případů nedochází k pozdějšímu vzniku ireverzibilních postpyelonefritických jizev. Přesto se ale trvalé jizvy občas mohou vytvořit, a to nejčastěji v kojeneckém a batolecím věku. (Bosáková, Hladík et al., 2019, roč.8, č.2, s.24-27) S vysokou pravděpodobností se jizva nevytvoří, je-li na scintigramu vidět hypoaktivní ložisko s pravidelnou nedeformovanou konturou. V případě, že je ale v akutní fázi kontura kolem hypoaktivního ložiska nepravidelná, často v pozdní fázi vznikají již zmíněné jizvy. Ty se na výsledném scintigramu zobrazí jako defekty, kdy je ledvinná kůra ztenčená nebo oploštěná a celkově má ledvina menší objem a nepravidelnou konturu. (Táborská, 2013, roč.67, č.4, s.293) Pokud se ale vyšetření ukáže jako negativní, co se týče časných parenchymových změn na ledvině, není už potřeba provádět žádná jiná vyšetření ani opakovat statickou scintigrafií po několika měsících, jako je tomu u pozitivního nálezu. (Bosáková, Hladík et al., 2019, roč.8, č.2, s.25)

4. DYNAMICKÁ SCINTIGRAFIE LEDVIN

Jedná se o poměrně často prováděné vyšetření, sloužící k zobrazení funkčního parenchymu ledviny a poskytující obraz drenáže navazujících kalichopánvičkových systémů. Na základě monitorování průchodu radiofarmaka močovými cestami je potom také možné stanovit odtokové poměry. (Koranda et al., 2014, s.93) Celkově je tedy dynamická scintigrafie ledvin, co se týče funkční schopnosti, perfuze ledvin a kinetiky močových cest, využívána jednak ke kvalitativnímu hodnocení, ale i k hodnocení kvantitativnímu. (Lang, 2011, roč.65, č.3, s.219)

4.1 Radiofarmaka

Pro dynamickou scintigrafii ledvin byla zvolena jako nejvýhodnější dvě radiofarmaka, a to ^{99m}Tc -DTPA (diethylentriaminopentaacetát), chelát vylučovaný pouze glomerulární filtrací a ^{99m}Tc -MAG3 (merkaptacetiltryglycin) vylučován především tubulární sekrecí. (Koranda et al., 2014, s.90)

^{99m}Tc -DTPA je radiofarmakum užívané v klinické praxi již od roku 1970 a stále si udržuje svou pozici při dynamickém vyšetření ledvin na klinikách nukleární medicíny. Poskytuje informace o renální perfuzi, glomerulární funkci a obstrukci močových cest. Je celkem snadno dostupné, má relativně nízké náklady, a především klinický přínos s dobrou reprodukovatelností. Kvantitativní analýza dat získaných během vyšetření s ^{99m}Tc -DTPA umožňuje výpočet rychlosti glomerulární filtrace, jakožto hlavního parametru funkce ledvin. (Volterrani et al., 2019, s.32) Aby vyšetření přineslo dostatečnou diagnostickou informaci, aplikuje se ^{99m}Tc -DTPA většinou o aktivitě 100-250 MBq. Diagnostická referenční úroveň je stanovena na 250 MBq a při hodnocení perfuze ledvin může být posunuta až na 500 MBq. Tyto hodnoty aplikované aktivity radiofarmaka jsou opět stanoveny pro pacienta o hmotnosti 70 kg. Při odlišné hmotnosti pacienta je nutné dle příslušného vzorce aplikovanou aktivitu přepočítat. (věstník č.9/2011, s.150) [on line] Pro novorozence byla dle EANM stanovena minimální aktivita radiofarmaka na 20 MBq. (Kupka et al., 2007, s.169)

^{99m}Tc -MAG3 je radiofarmakum, které je z malé části vylučováno glomerulární filtrací, ale především tubulární sekrecí. Vyznačuje se vysokou renální extrakcí a rychlou krevní clearancí. Po intravenózní aplikaci se rychle distribuuje v extracelulárních tekutinách a poté se zhruba 90 % tohoto radiofarmaka vylučuje tubulární sekrecí, aniž by se podrobilo tubulární resorpci. Zbývající množství ^{99m}Tc -MAG3 podléhá glomerulární filtraci, navzdory pevným vazbám na plazmatické bílkoviny. Vzhledem k tomu, že se při jednom průtoku plazmy ledvinami vychytá přibližně 60 % radiofarmaka, je vhodné i v důsledku aktivního mechanismu tubulární sekrece zvolit ^{99m}Tc -MAG3,

především pro dětské pacienty. (Volterrani et al., 2019, s.32) U dětí se totiž tubulární funkce vyvíjejí rychleji než funkce glomerulární. Normálních hodnot glomerulární filtrace, srovnatelných s dospělými, dosahují děti až okolo dvou let života. Zatímco u tubulárních funkcí dosahují normálních hodnot už okolo jednoho roku. (Chroustová et al., 2010, s.689-692) Minimální aplikovaná aktivita ^{99m}Tc -MAG3 je tedy pro novorozence dle EANM stanovena na 15 MBq. (Kupka et al., 2007, s.169) Pro dospělého pacienta se pohybuje aktivita mezi 75-250 MBq, z čehož 250 MBq je diagnostická referenční úroveň a při hodnocení perfuze ledvin je stejně jako u ^{99m}Tc -DTPA posunuta na 500 MBq. (věstník č.9/2011, s.150) [on line]

Je dáno, že při jednom průtoku ^{99m}Tc -DTPA ledvinou se do moči vyloučí asi 20 % z přitékajícího množství. Pokud tedy srovnáme obě radiofarmaka, dojdeme k závěru, že ^{99m}Tc -MAG3 je rychleji vylučováno, a tudíž je během vyšetření koncentrace tohoto radiofarmaka v ledvinách a moči vyšší, než u ^{99m}Tc -DTPA a výsledkem je tedy o něco lepší scintigram s vyšším kontrastem mezi zobrazovanými strukturami a okolními tkáněmi. Vyšší rychlost vylučování ^{99m}Tc -MAG3 je užitečná především u vyšetření, kde je potřeba posoudit průběh odtoku moči z kalichopánvičkového systému ledvin. Při hodnocení odtoku je totiž lepší, když je už koncentrace radiofarmaka v ledvinovém parenchymu nízká. (Koranda et al., 2014, s.90)

4.2 Indikace a kontraindikace k vyšetření

Za hlavní indikace k provedení dynamické scintigrafie ledvin jsou považovány především onemocnění, u kterých je potřeba zvláště posoudit funkční zdatnost pravé i levé ledviny, také vyhodnotit, jak odtéká moč z kalichopánvičkových systémů a ureterů. Indikace k tomuto vyšetření také zahrnují pozdější kontrolní scintigramy sloužící k posouzení vývoje ledvinového onemocnění. (věstník č.9/2011, s.152) [on line] Nejčastěji jsou tedy vyšetřováni pacienti s podezřením na obstrukci vývodných močových cest, při zánětech, traumatech nebo s vrozenými vadami ledvin, taktéž pacienti s podezřením na renovaskulární hypertenzi nebo lidé s transplantovanou ledvinou. (Lang, 2011, roč.65, č.3, s.223)

Konkrétním využitím dynamické scintigrafie ledvin je tzv. nepřímá mikční cystouretrografie, využívaná především v pediatrii při vyšetřování vezikoureterálního refluxu. Tento reflux bývá nejčastější vrozenou vadou uropoetického traktu u dětí a projevuje se jako zpětný tok moči do jednoho nebo i obou močovodů a případně i do kalichopánvičkového systému ledvin. Reflux se většinou diagnostikuje po již proběhlé infekci močových cest a podle toho, jak moc se moč vrací, se klasifikuje do pěti stádií. Dětem se nejčastěji aplikuje ^{99m}Tc -MAG3 a čeká se, až se

močový měchýř fyziologicky naplní, na rozdíl od přímé mikční cystoureografie, kdy je radiofarmakum instalováno katetrem přímo do močového měchýře. Častěji toto vyšetření bývá indikováno u dětských pacientů starších 2-3 let, jelikož už jsou schopni regulovat dobu provedení mikce. Aktivní reflux je totiž dobře patrný až při mikci. Radionuklidové metody při diagnostice vezikoureterálního refluxu sice nejsou primární vyšetřovací metodou, jelikož neposkytují tak dobrou informaci o morfologii vývodných močových cest jako u klasické mikční cystoureografie, ale jsou stále často využívány pro kontrolu u dětí s již diagnostikovaným refluxem. (Zieg, 2016, č.3, s.141-142)

Relativní kontraindikací je zde opět gravidita a laktace. Pokud je žena těhotná, lze vyšetření provést pouze z vitální indikace, to znamená, je-li život ženy vážně ohrožen. V takovém případě se aplikuje co nejmenší aktivita radiofarmaka, aby se minimalizovalo riziko poškození plodu. V době, kdy žena kojí a je u ní nutné provést dynamickou scintigrafii ledvin, se u ^{99m}Tc -DTPA aplikuje aktivita 80 MBq a kojení nemusí být přerušeno, avšak doporučuje se nekojit alespoň čtyři hodiny od aplikace. ^{99m}Tc -MAG3 se aplikuje o aktivitě 200 MBq, ale zde se doporučuje nekojit alespoň dvanáct hodin od aplikace. V obou případech je, mimo jiné, také doporučováno jedno kojení v době po aplikaci radiofarmaka vynechat a odsáté mléko znehodnotit. (věstník č.9/2011, s.111-152) [on line]

4.3 Průběh vyšetření

Po standardní přípravě konkrétního pacienta, je na prvním místě opět ověření osobních údajů a zdravotních dat na žadance k vyšetření, poučení pacienta o tom, jak bude dané vyšetření probíhat, za jakým účelem se provádí a v neposlední řadě je nutné získat informovaný souhlas. (věstník č.9/2011, s.153) [on line]

Snímání se vždy provádí v zadní projekci, v poloze vleže na zádech, a střed zorného pole kamery se umísťuje do bederní oblasti. Aby byla jistota, že budou v zorném poli zachyceny obě ledviny, poslouží orientační body, a to mečovitý výběžek hrudní kosti, který by měl být v blízkosti horního okraje zorného pole, a stydká kost, jež tvoří spodní okraj zorného pole. Tyto orientační body se vyhledávají pomocí radioaktivního bodového zářiče. (Volterrani et al., 2019, s.788)

Jakmile je pacient uložen, intravenózně se mu podá příslušné radiofarmakum a ve stejnou dobu je taktéž zahajován scintigrafický záznam. Celková doba nahrávání činí 20-45 minut, z čehož jsou do počítače scintilační kamery nejčastěji nahrávány série desetivteřinových scintigramů, a po skončení nahrávání probíhá vyhodnocení studie ve speciálním programu. (Koranda et al., 2014,

s.92-93) Toto nahrávání se označuje jako konstantní, jinou variantou však může být nahrávání proměnné, tedy snímání na základě různě dlouhých fází. První fáze obsahuje snímky první minuty určené pro charakterizaci perfuze ledvin, tedy prvotní přítok radiofarmaka do ledvin. Druhá fáze obsahuje sérii desetivteřinových scintigramů po dobu čtyř minut, kvůli zachycení míry vychytávání radiofarmaka v ledvinném parenchymu. Třetí fáze zahrnuje poslední sérii, tentokrát dvacetivteřinových scintigramů, po dobu zhruba patnácti minut, kde lze poté hodnotit drenáž navazujících kalichopánvičkových systémů. (Volterrani et al., 2019, s.788)

Jako je tomu u statické scintigrafie ledvin, i zde musí být okénko analyzátoru nastavené na fotopík 140 keV. Snímání taktéž probíhá do matice 128 x 128 a jemnější, a je také možné použít zoom u dětí, z důvodu zachycení celé požadované oblasti. (věstník č.9/2011, s.153) [on line]

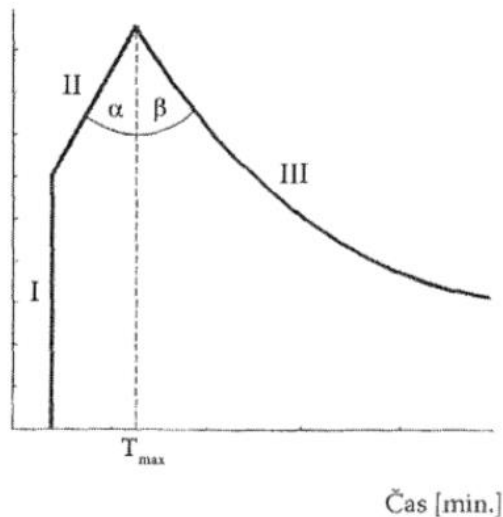
4.4 Hodnocení

Kvalitativní hodnocení výsledných obrazů dynamické scintigrafie ledvin představuje první fázi analýzy. Ta je založena na vizualizaci celé sekvence získaných obrazů, která zachycuje jednotlivé fáze distribuce radiofarmaka v ledvinách a navazujících kalichopánvičkových systémech. (Volterrani et al., 2019, s.789) Nejjednodušší způsob vyhodnocování tohoto dynamického vyšetření spočívá na základě vytvoření četnostních nefrografických křivek. Tyto křivky jsou vlastně histogramy, jež zobrazují časový průběh množství radiofarmaka vychytávaného v ledvinách, a poté taky znázorňují jeho odtok navazujícími kalichopánvičkovými systémy.

Obrázek 4.1 je obecné schéma nefrografické křivky znázorňující tři fáze určené k hodnocení:

- I.** Fáze – nazývá se perfuzní a znázorňuje, jak rychle přiteče radiofarmakum do ledviny
- II.** Fáze – dala by se označit jako funkční nebo parenchymová a zobrazuje tedy, jak se radiofarmakum koncentruje v ledvinném parenchymu
- III.** Fáze – označovaná jako exkrece nebo též drenážní, odpovídající době, kdy probíhá odtok radiofarmaka z kalichopánvičkového systému

(Koranda et al.,2014, s.93-94)

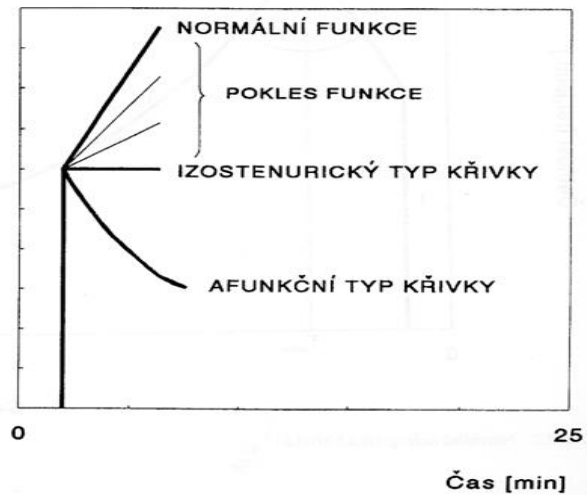


Obr. 4.1 obecné schéma nefrografické křivky.

Zdroj: Koranda et al., 2014, s.94

V první fázi je třeba během prvních pár sekund zhodnotit, jak rychle přitéká radiofarmakum do ledvin od intravenózní aplikace. Nejprve se zobrazí aorta a ilické cévy a hned poté už jsou patrné kontury ledvin. (Easty, Gordon, 2018, s.101-102)

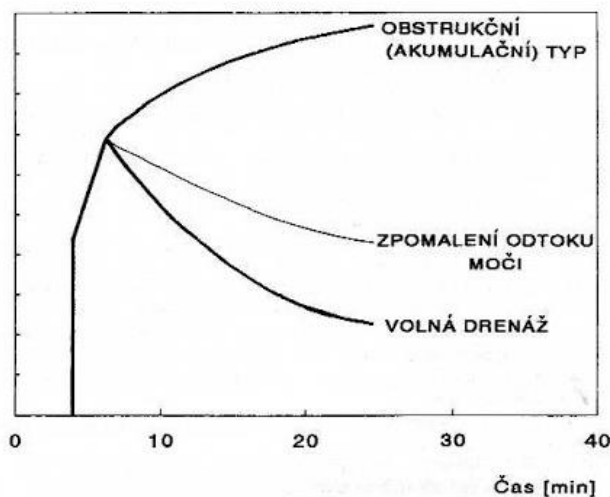
Druhá fáze slouží k hodnocení míry funkčního postižení ledvin a dle obrázku 4.2 se může zobrazit několik typů křivky. V nejlepším případě je funkce ledvin zcela v normálu nebo křivka vykazuje mírný pokles z důvodu lehké poruchy funkce ledvin. (Koranda et al., 2014, s.93-95) Dalším typem ale může být tzv. izostenurický typ křivky, který je způsoben neschopností ledvin zahušťovat či zředovat moč a moč má tedy zhruba stejnou hustotu jako plazma bez bílkovin a nejčastěji to značí akutní tubulární nekrózu. (Tesař et al., 2015, s.53-55) Posledním typem křivky je typ afunkční. Ten značí, že ledvina nedokáže ani do jisté míry zachytit přitékající radiofarmakum. (Koranda et al., 2014, s.95) Afunkce ledviny bývá většinou náhodný nálezn, jelikož druhá ledvina stále může být plně funkční a může tak udržovat homeostázu vnitřního prostředí. Afunkce bývá nejčastěji způsobena obstrukcí močových cest z nejrůznějších příčin, může ale také vzniknout u některých zánětlivých onemocnění nebo nádorů ledvin, popřípadě při poruše cévního zásobení ledviny. (Hyršl, Chocholatý, 2006, s.164)



Obr. 4.2 Nefrografické křivky při různé míře funkčního postižení ledviny.

Zdroj: Koranda et al., 2014, s.95

Třetí fáze zachycující míru postižení odtoku radiofarmaka z ledviny má také křivku charakterizující několik typických stavů. Na obrázku 4.3 je zřejmý obstrukční neboli akumulární typ křivky, což znamená, že dochází k výraznému zpomalení odtoku moči s radiofarmakem z kalichopánvičkového systému, nejčastěji z důvodu obstrukce močových cest a někdy i při prosté dilataci tohoto systému. Dalším případem může být jen částečné zpomalení odtoku moči z týchž důvodů jako u obstrukčního typu křivky, nicméně ne tak závažné a poslední typ značí křivku charakterizující volnou drenáž kalichopánvičkového systému.



Obr. 4.3 Nefrografické křivky při různé míře postižení odtoku radiofarmaka z ledviny.

Zdroj: Koranda et al., 2014, s.95

V rámci dynamické scintigrafie je také možné stanovení poměru funkce ledvin. To se zakládá na faktu, že ve druhé fázi, tedy fázi parenchymové, je nahromadění radiofarmaka v ledvinách úměrné jejich funkci. Při použití ^{99m}Tc -MAG3 se stanoví poměr množství radiofarmaka vychytaného pravou a levou ledvinou ve druhé minutě vyšetření. U ^{99m}Tc -DTPA se tento poměr stanoví ve druhé a třetí minutě. Jiným způsobem, jak zhodnotit poměr funkce ledvin, je možnost porovnání strmosti nefrografické křivky právě v parenchymové fázi. Z důvodu rozdílné hloubky uložení ledvin mohou být výsledky poměru funkce ledvin částečně zkresleny a hlouběji uložená ledvina tak může působit jako méně kontrastní. K významné chybě výpočtu poměru funkce může dojít pouze v případě, kdy je přítomna výrazná asymetrie uložení ledvin nebo například v extrémním případě pánevní dystopie. Za těchto okolností nelze použít ani korekční vzorce, které by měly na základě výšky a váhy pacienta odhadnout hloubku uložení ledvin. (Koranda et al., 2014, s.95-96)

Další částí hodnocení může být stanovení glomerulární filtrace dle Gatese. Jediná metoda, která výpočet glomerulární filtrace umožňuje, je dynamická scintigrafie pomocí ^{99m}Tc -DTPA. Tato metoda je založena na výpočtu relativního množství radiofarmaka kumulovaného v ledvinách, vyjádřeného jako podíl z celkové aktivity radiofarmaka podaného pacientovi. Aktivita se měří během třetí minuty od okamžiku, kdy radiofarmakum přiteklo do ledvin. Nakonec se pomocí speciální rovnice přepočtou hodnoty stanoveného podílu na hodnotu glomerulární filtrace a výsledek se vyjádří v ml/min. (Volterrani et al., 2019, s.793) Potom platí, že funkce ledviny je tím lepší, čím více radiofarmaka je v ní vychytáno v určitém sledovaném časovém intervalu. Podobný je i postup ke zhodnocení tubulární funkce ledvin, s tím rozdílem, že se při scintigrafii využívá ^{99m}Tc -MAG3 a aktivita radiofarmaka se měří ve druhé minutě vyšetření. (Koranda et al., 2014, s.96)

Výsledný protokol z dynamické scintigrafie ledvin by tedy standardně měl obsahovat:

- Zvolené reprezentativní scintigramy ze všech tří fází, tedy fáze perfuzní, parenchymové a exkrece;
- Nefrografické křivky na kterých je patrný průběh změn aktivity radiofarmaka kumulovaného v ledvinách a jejich kalichopánvičkových systémech;
- Vypočtený poměr funkce ledvin, někdy i údaj o celkové funkci obou ledvin;
- Číselné údaje reprezentující průběh vychytávání a také vylučování radiofarmaka ledvinami;
- Vlastní popis nálezu s kvalifikovaným závěrem.

(Kupka, Kubinyi et al., 2007, s. 109)

5. SPECIÁLNÍ MODIFIKACE DYNAMICKÉ SCINTIGRAFIE LEDVIN

Mezi speciální modifikace dynamické scintigrafie ledvin patří diuretická nefrografie s furosemidovým testem, diagnostika renovaskulární hypertenze s podáním ACE inhibitoru a dynamická scintigrafie transplantované ledviny. (Kupka, Kubinyi et al., 2007, s.109-111)

5.1 Diuretická nefrografie s furosemidovým testem

Toto vyšetření sestává z diuretické stimulace, s použitím intravenózní aplikace furosemidu, přidané ke standardní dynamické scintigrafii. Vyšetření je určeno pro rozlišení stagnace moči způsobené prostou dilatací močových cest, například vrozenou dilatací nebo atrofií pánve, od dilatace způsobené obstrukčním onemocněním. Tato diferenciální diagnóza je obzvláště důležitá u pacientů s dilatací močového traktu, což platí u hydronefrózy nebo hydroureteronefrózy. (Volterrani et al., 2019, s.795)

Radiofarmaka

Jako nejvhodnější radiofarmakum pro diuretickou nefrografii bylo zvoleno ^{99m}Tc -MAG3. Jak už bylo řečeno výše, ^{99m}Tc -MAG3 je vylučováno rychleji než ^{99m}Tc -DTPA, což je výhodné právě proto, že v době hodnocení drenáže je lepší, když je aktivita radiofarmaka v ledvinném parenchymu už nízká. Především u dětí do dvou let, z důvodu postupně vyzrávajících ledvin, není vhodné použití glomerulárně vylučovaného ^{99m}Tc -DTPA. (Koranda et al., 2014, s.96)

Průběh vyšetření

Po standardní přípravě pacienta, která spočívá hlavně v dostatečné hydrataci, je pacient uložen na vyšetřovací stůl ve stabilní poloze nejčastěji vleže na zádech a vyšetření probíhá v podstatě stejně jako klasická dynamická scintigrafie, s tím rozdílem, že se v určité době pacientovi aplikuje kromě radiofarmaka ještě diuretikum, v tomto případě furosemid. Furosemidu se podává intravenózně 1 mg/kg u kojenců, 0,5 mg/kg u dětí a dospělých, z čehož maximum je 40 mg. (Durand et al., 2008, s.92) Diuretikum začíná působit zhruba za 1-2 minuty od aplikace.

Diuretická nefrografie se rozděluje na tři typy podle toho, kdy se aplikuje furosemid:

- „F + 20“ – aplikace ve dvacáté minutě vyšetření
- „F - 15“ – aplikace patnáct minut před vyšetřením
- „F0“ – aplikace současně s radiofarmakem

Protokol „F + 20“ je na většině klinik nukleární medicíny považován za standard. Furosemid se tedy aplikuje ve dvacáté minutě vyšetření, a to při maximální dilataci močových cest. (Chroustová et al., 2010, r.65, č.12, s.683) Výhodou této metody je možnost zhodnocení a porovnání průběhu odtoku moči z kalichopánvičkového systému za bazálních podmínek a při působení diuretika. Je nutná dvojitá intravenózní aplikace, což může být nevýhodou především u malých dětí. To se ale dá vyřešit zavedením kanyly do periferní žíly viz. Kapitola příprava pacientů před scintigrafickým vyšetřením. (Koranda et al., 2014, s.97)

Obdobné výsledky jako u „F + 20“ poskytuje i protokol „F0“, s tím rozdílem, že zde není nutná dvojitá intravenózní aplikace. (Chroustová et al., 2010, r.65, č.12, s.683) Díky jen jedné intravenózní aplikaci, je právě tato metoda nejpohodlnější a minimalizuje se i doba nahrávání, což je považováno za výhodu. (Taylor, 2014, s.787) Naopak nevýhodou je, že tento protokol neposkytuje informace o průběhu odtoku moči z kalichopánvičkového systému ledvin za bazálních podmínek. (Durand et al., 2008, s.92) U obou již zmiňovaných metod je ale potřeba myslet na to, že radiofarmakum může být z kalichopánvičkového systému odplaveno dřív, než je dosaženo maximálního diuretického efektu furosemidu.

Poslední používaný protokol je „F - 15“, při němž se tedy furosemid aplikuje patnáct minut před vyšetřením a aplikací radiofarmaka. Výhodou této metody je především spolehlivé posouzení drenáže v době, kdy je diuretická zátěž maximální. (Koranda et al., 2014, s.97) Nevýhodou je, stejně jako u protokolu „F0“, absence informací o průběhu odtoku moči za bazálních podmínek. (Durand et al., 2008, s.92) Tato metoda je tedy nejvíce využívána, když je potřeba zhodnotit podezření na obstrukci, která ovlivňuje urodynamiku až při maximálním močovém loadu. (Koranda et al., 2014, s.97) Další indikací může být neurčitý nález u protokolu „F + 20“. (Chroustová et al., 2010, r.65, č.12, s.683) A posledním případem, kdy je vhodné využít protokolu „F - 15“ je při zjištění Homseyova znamení. To se projeví jako opětovný vzestup křivky v době efektu diuretika při protokolu „F + 20“. (Koranda et al., 1998, r.2, č.4, s.20)

Ke konci vyšetření může nastat situace, kdy je v kalichopánvičkovém systému ledvin větší zbytek radiofarmaka. To se dále řeší provedením tzv. postmikčních scintigramů. Pacient je uveden

do vzpřímené polohy a po vymočení se znovu uloží na vyšetřovací stůl do stejné pozice, jako na začátku vyšetření. Nahrávání probíhá buď jako pokračování dynamické scintigrafie nebo se provádí statické scintigramy. (věstník č.9/2011, s.158) [on line] Tyto postmikční scintigramy slouží především k hodnocení, zda se jedná o zpomalení odtoku moči v důsledku obstrukce, nebo jedná-li se pouze o vliv naplněného močového měchýře. (Koranda et al., 2014, s.97)

Hodnocení

Součástí hodnocení diuretické nefrografie s furosemidovým testem není jen posouzení drenáže ledviny po podání diuretika, tedy průběh a rychlost odtoku radiofarmaka po podání furosemidu. Toto vyšetření zahrnuje i zhodnocení poměru funkce ledvin a celkové funkce ledvin. Důležité je také posouzení, jaké množství radiofarmaka zůstalo v kalichopánvičkovém systému po vzpřímení a následné mikci. (Koranda et al., 2014, s.97) Efekt diuretika se tedy poté hodnotí prostřednictvím tvaru nefrografických křivek. Využívá se taktéž parametru T1/2 udávající čas, za který aktivita radiofarmaka v ledvině klesne na polovinu z původního množství. Je-li hodnota parametru T1/2 menší nebo rovna deseti minutám, lze vyloučit jakoukoli obstrukci. Má-li parametr T1/2 hodnotu vyšší než dvacet minut, značí to obstrukci. Pokud se ale hodnota parametru T1/2 pohybuje mezi deseti a dvaceti minutami jedná se o neurčitý nález, kde částečnou obstrukci nelze zcela vyloučit. (Chroustová et al., 2010, r.65, č.12, s.683) Obstrukce je překážka drenáže, která postupně zhoršuje funkce ledvin a cílem diuretické nefrografie je hlavně diagnostikovat tuto obstrukci ještě před tím, než se případná funkční porucha ledvin rozvine. (Koranda et al., 2014, s.97)

5.2 Diagnostika renovaskulární hypertenze s podáním ACE inhibitoru

Tato metoda dynamické scintigrafie ledvin se využívá při diferenciální diagnostice hypertenze, především při podezření na renovaskulární hypertenzi. Přesněji se tedy jedná o dynamickou scintigrafii ledvin s captoprilovým testem. Tento test zkoumá funkční a specifický aspekt renovaskulární hypertenze spojené s renální hypoperfuzí a pozitivně předpovídá úspěch revaskularizace při léčbě hypertenze. (Volterrani et al., 2019, s.799) Renální hypoperfuze je způsobena stenózou v renálním arteriálním řečišti. Toto vyšetření je užitečné nejen k samotné detekci zúžené renální arterie, ale lze s jeho pomocí přímo posoudit skutečný hemodynamický efekt této stenózy. Ačkoli je první metodou volby k detekci stenóz renálních arterií dopplerovské

sonografické vyšetření, scintigrafická metoda má většinou stejnou nebo i lehce vyšší diagnostickou přesnost. (Koranda et al., 2014, s.98-100)

Patofyziologie renovaskulární hypertenze a ACE inhibice

Renovaskulární hypertenze se zúženou renální arterií je označována jako nejčastější forma sekundární hypertenze. (Tesař et al., 2015, s.195) Funkčně významná stenóza renální arterie vede ke snížení perfuzního tlaku distálně ke stenóze, což vede ke snížení transglomerulárního tlakového gradientu. Pokles transglomerulárního tlakového gradientu vede ke snížení glomerulárního filtrátu a snížení dodávky sodíku do distálního tubulu. Tyto procesy stimulují uvolňování reninu z juxtaglomerulárního aparátu. Renin štěpí angiotensin I z angiotensinogenu a angiotensin I se pak přemění na angiotensin II pomocí angiotensin konvertujícího enzymu (ACE). Angiotensin II je silný vazokonstriktor a přednostně omezuje eferentní arterioly glomerulů, zvyšuje transglomerulární tlakový gradient a udržuje glomerulární filtraci i při mírném snížení perfuzního tlaku. Inhibitory ACE blokují přeměnu angiotensinu I na angiotensin II a tím zruší zúžení eferentní arterioly glomerulu způsobené angiotensinem II. (Taylor, 2014, s.791-792)

Radiofarmaka

Při tomto vyšetření je možné použít jak ^{99m}Tc -DTPA, tak ^{99m}Tc -MAG3. Samozřejmě efekt ACE inhibitoru se u každého z použitých radiofarmak projeví jinak. Je tedy dáno, že ACE inhibitor odstraní u pacienta s renovaskulární hypertenzí angiotenzin II-dependentní rezistenci arterioli odvádějících krev z glomerulů postižené ledviny, což způsobí snížení glomerulární filtrace a následně také zpomalení transportu radiofarmaka ledvinnými tubuly. Pokud se tedy aplikuje ^{99m}Tc -DTPA vylučované výhradně glomerulární filtrací, ACE inhibitor způsobí snížení glomerulární filtrace v ledvině, právě za hemodynamicky významnou stenózou renální arterie. To se projeví v parenchymové fázi, jako snížení akumulace radiofarmaka. U ^{99m}Tc -MAG3 vylučovaného především tubulární sekrecí ACE inhibitor nijak významně neovlivní rychlost tubulární akumulace v postižené ledvině. Způsobí ale, že se rychlost transportu radiofarmaka ledvinným parenchymem sníží a vytvoří se tak obraz parenchymové retence ^{99m}Tc -MAG3. (Koranda et al., 2014, s.98-99)

Příprava pacienta a průběh vyšetření

Příprava k tomuto vyšetření je o něco složitější než příprava k normální dynamické scintigrafii. Prvním krokem, pokud je to ze zdravotních důvodů možné, je vysazení již zavedené dlouhodobé terapie ACE inhibitory na zhruba 2-5 dní před vyšetřením. Počet dnů závisí na délce farmakologického poločasu léku, který pacient užívá. Dále se doporučuje dočasně vysadit i případně užívaná diuretika. Aby nedošlo k poruše resorpce perorálně podávaného ACE inhibitoru, doporučuje se, aby pacient alespoň čtyři hodiny před vyšetřením nejedl. Samozřejmě, jako před každou dynamickou scintografií ledvin, je i před touto důležitá dostatečná hydratace pacienta, a to alespoň hodinu před začátkem vyšetření. Hodinu před vyšetřením se také perorálně podává ACE inhibitor, v tomto případě Captopril. Zhruba 25-50 mg captoprilu je nutné rozdrtit a rozmíchat ve 150-200 ml vody. Důležité je pak pohlídat, aby na stěně nádoby nezůstaly žádné zbytky farmaka. Ještě před samotným podáním captoprilu se pacientovi změří krevní tlak a toto měření se pak opakuje každých 10-15 minut do doby, než se zahájí dynamická scintigrafie ledvin. Dále vyšetření probíhá stejně jako klasická dynamická scintigrafie. (věstník č.9/2011, s.158) [on line]

Hodnocení

Součástí hodnocení je jednak vizuální posouzení scintigrafických obrazů, ale také zhodnocení nefrografických křivek. Scintigrafické obrazy jsou hodnoceny stejně jako při klasické dynamické scintigrafii. Posuzují se tedy jednotlivé fáze distribuce radiofarmaka v ledvinách a navazujících kalichopánvičkových systémech a v neposlední řadě také morfologie ledvin. (Volterrani et al., 2019, s.789-798) Křivky mohou být hodnoceny jak kvalitativně, tak kvantitativně. Kvantitativní hodnocení zahrnuje poměr výše nefrografické křivky ve dvacáté nebo třicáté minutě vzhledem k maximu, jakožto i samotný čas dosažení maxima a samozřejmě i poměr vychytání radiofarmaka v ledvinách. (Taylor, 2014, s.793) Při patologickém nálezu je nutné provést srovnání se scintografií provedenou před podáním ACE inhibitoru, aby bylo možné správně posoudit, jestli je daný nález důsledkem podání ACE inhibitoru. Provádí se to srovnáním poměru funkce ledvin a srovnáním průběhu nefrografických křivek. (Koranda et al., 2014, s.99)

5.3 Dynamická scintigrafie transplantované ledviny

U tohoto typu dynamické scintigrafie je především velmi důležité, aby poskytla spolehlivý posudek nejen o funkci a drenáži ledviny, ale i o její perfuzi, kvůli diagnostice akutní tubulární nekrózy transplantované ledviny nebo její rejekci. (Kupka, Kubinyi et al., 2007, s.111) Dynamická

scintigrafie se provádí nejen u pacientů s již transplantovanou ledvinou, ale také u potenciálních dárců. U potenciálních dárců se jedná o vyhodnocení globální a individuální renální funkce. Dynamická scintigrafie také pomáhá určit, která ledvina se má vybrat pro darování. (Taylor, 2014, s.794)

První scintigrafie po transplantaci ledviny se provádí dle individuální potřeby pacienta, ale standardně to bývá 2.-4. pooperační den. Další snímání se provádí zhruba za týden a poté před propuštěním pacienta do ambulantní péče, nemá-li pacient žádné komplikace. Samozřejmě, při pouhém podezření na jakoukoli komplikaci, je doporučeno ihned provést statimové vyšetření. Jakmile je pacient předán do ambulantní péče, provádí se u něj další scintigrafie dle indikací nefrologa. (Kraft) [on line]

Radiofarmaka

Při tomto typu dynamické scintigrafie je možné použít jak $^{99m}\text{Tc-DTPA}$, tak $^{99m}\text{Tc-MAG3}$. Radiofarmakum se volí podle toho, co je potřeba na ledvině posuzovat a v hodnocení výsledku typ použitého radiofarmaka zohlednit. Například, je-li důležité hodnocení perfuze, je vhodnější použít $^{99m}\text{Tc-DTPA}$, protože lze lépe oddělit fázi perfuze a funkce, díky pomalejšímu nástupu vychytání radiofarmaka v ledvině. (Koranda et al.) [on line] Vybrané radiofarmakum se poté intravenózně aplikuje o aktivitě 350-500 MBq. (Kraft) [on line]

Průběh vyšetření

Renální transplantáty bývají umístěny do pravé nebo levé jámy kyčelní. (Sebastian, Tait, 2019, s.503) Pacient je tedy po standardní přípravě uložen do polohy vleže na zádech a zorné pole detektoru je nastaveno do oblasti transplantované ledviny a močového měchýře. Jakmile je pacient uložen, intravenózně se mu aplikuje vybrané radiofarmakum ve formě bolu a je zahájeno nahrávání. Vyšetření se provádí v přední projekci s kolimátorem pro nízké energie a trvá zhruba třicet minut. (Kraft) [on line] V první minutě se nahrává série jednovteřinových scintigramů a sleduje se perfuzní fáze, tedy prvotní přítok radiofarmaka ilickou arterií do ledviny. Dále se už obvyklým způsobem sleduje fáze parenchymová, a nakonec fáze drenážní. (Kupka, Kubinyi et al., 2007, s.111)

Hodnocení

Výsledkem dynamické scintigrafie by měla být studie obsahující všechny tři fáze, tedy fázi perfuzní, z části i fázi funkční a drenážní. Perfuzní fáze podléhá jak vizuálnímu hodnocení, tak hodnocení kvantitativnímu. Součástí kvantitativního hodnocení je samozřejmě posouzení četnostních křivek. Počítá se poměr integrálů četnostních křivek z oblasti zevní tepny kyčelní a z oblasti ledviny, v době, kdy radiofarmakum přiteče až do doby, kdy dosáhne maximální aktivity v zevní tepně kyčelní. (Kupka, Kubinyi et al., 2007, s.111)

Transplantace ledvin může mít několik komplikací, které se v hodnocení výsledného scintigramu mohou různě projevit. Komplikace lze rozdělit na parenchymální selhání a mechanické selhání. Mezi parenchymální selhání pak patří akutní tubulární nekróza, akutní a chronická rejekce a toxicita inhibitoru kalcineurinu. Mezi mechanické selhání se řadí poškození renální tepny nebo žíly, ureterální obstrukce a únik moči. Mechanické selhání lze vyloučit, je-li výsledný scintigram ihned po transplantaci normální.

Například akutní tubulární nekróza se vyznačuje relativně zachovanou perfuzí doprovázenou opožděným vychytáváním a vylučováním radiofarmaka, i když těžká akutní tubulární nekróza může také vykazovat snížený tok. (Taylor, 2014, s.794) Zatímco taková rejekce se projeví poruchou perfuze ledviny, která je zpočátku významnější než porucha funkce. Ovšem je-li rejekce hyperakutní, současně nastane velmi těžká porucha funkce i závažná redukce ledvinného prokrvení. (Kupka, Kubinyi et al., 2007, s.111)

ZÁVĚR

Pro tvorbu přehledové bakalářské práce jsem si zvolila téma radionuklidová diagnostika onemocnění ledvin. V úvodu práce jsem si stanovila cíle, které měly především shrnout aktuální poznatky o radionuklidových metodách v nefrourologii a přípravě pacientů k nim na klinice nukleární medicíny. Součástí také bylo objasnit rozdíly mezi statickou a dynamickou scintigrafií ledvin a poukázat na speciální modifikace dynamické scintigrafie. Všechny cíle byly v rámci obsahu práce splněny.

Prvním cílem bylo shrnout veškeré poznatky o vyšetřeních ledvin prováděných na klinice nukleární medicíny. Součástí prvního cíle je i příprava pacientů před scintigrafickým vyšetřením, což je důležitá kapitola, která je společná pro statickou i dynamickou scintigrafii a zahrnuje přípravu jak dospělých, tak dětí.

Druhý cíl zahrnuje kapitoly o statické a dynamické scintigrafii ledvin, objasňuje rozdíly mezi těmito metodami a shrnuje veškeré dohledané informace k těmto vyšetřením. Součástí popisu každého vyšetření je vždy kapitola o tom, jaké se používá radiofarmakum, jaké jsou indikace a kontraindikace k vyšetření, popis průběhu vyšetření a závěrečné hodnocení výsledků.

Třetím cílem práce bylo objasnit, jaké existují speciální modifikace dynamické scintigrafie ledvin. Dle odborných publikací byly tedy celkem ve třech kapitolách popsány speciální postupy, jež jsou součástí dynamické scintigrafie, a to diuretická nefrografie s furosemidovým testem, diagnostika renovaskulární hypertenze a dynamická scintigrafie transplantované ledviny. Jelikož se jedná o typy dynamické scintigrafie, indikace a kontraindikace jsou pro všechny tři modifikace stejné. Každá kapitola ale opět zahrnuje používané radiofarmakum, průběh vyšetření a závěrečné hodnocení výsledků.

Závěrem lze radionuklidovou diagnostiku onemocnění ledvin označit za jedinečnou metodu, hlavně pro její neinvazivnost a pro dobrý přínos především funkčních informací o ledvinách a navazujících močových cestách. Proto patří k nejčastěji používaným vyšetřením na klinice nukleární medicíny.

BIBLIOGRAFICKÉ A ELEKTRONICKÉ ZDROJE

1. Koranda, P., Kabičková, E., Bělohávek, O., Mysliveček, M., Ptáček, J., & Kamínek, M. (2005). Vyšetřovací metody nukleární medicíny v pediatrii. *Solen*, 6(6), 310-313.
2. KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
3. ROKYTA, Richard. Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4867-2.
4. NAŇKA, Ondřej a Miloslava ELIŠKOVÁ. Přehled anatomie. Třetí, doplněné a přepracované vydání. Praha: Galén, [2015]. ISBN 978-80-7492-206-0.
5. CHROUSTOVÁ, D., URBANOVÁ I., et al., 2010. Současné postavení dynamické scintigrafie ledvin s aplikací diuretika v dětském věku. *Česko-slovenská Pediatrie*. 2010, roč. 65, č. 12, s. 683. ISSN 0069-2328.
6. TÁBORSKÁ, K., 2013. Současné trendy v provedení statické scintigrafie ledvin u dětí s akutní pyelonefritidou. *Česká Radiologie*. 2013. roč. 67, č. 4, s. 292. ISSN 1210-7883.
7. HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2350-0.
8. 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
9. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína: [učební text]. Praha: P3K, c2007. ISBN 978-80-903584-9-2.
10. BOSÁKOVÁ, Alice, Michal HLADÍK a et al. Diagnostika akutní pyelonefritidy u dětí a význam zobrazovacích metod. *Nukleární medicína*. 2019, 8(2). ISSN 1805-1146.
11. Doležel, Z., Ráčilová, Z., & Dostálková, D. (2012). Columna Bertini. *Solen*, 13(6), 418.
12. BEZDĚKOVÁ, Milada. Vrozené vývojové vady močového systému. PASP [online]. [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: http://pasp.upol.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=39:vrozene-vyvojove-vady-mooveho-systemu&catid=15:onemocni-mooveho-a-pohlavniho-ustroji&Itemid=5
13. LANG, Otto a Irena KOMOROUSOVÁ. Nový software pro dynamickou scintigrafii ledvin. *Česká radiologie*. 2011, 65(3). ISSN 1210-7883.
14. VOLTERRANI, Duccio, Paola Anna ERBA a et al. Nuclear Medicine Textbook, Methodology and Clinical Applications. 2019. ISBN 978-3-319-95564-3

15. ZIEG, Jakub. Vezikoureterální reflux u dětí: stále mnoho nezodpovězených otázek. Časopis lékařů českých. 2016, (3). ISSN 1805-4420
16. EASTY, Marina a Isky GORDON. Nuclear Medicine. Pediatric Urogenital Radiology. Cham: Springer International Publishing, 2018, 2018-07-13, , 93-111. Medical Radiology. DOI: 10.1007/978-3-319-39202-8_3. ISBN 978-3-319-39200-4. Dostupné také z: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-39202-8_3
17. TESAŘ, Vladimír a Ondřej VIKLICKÝ, ed. Klinická nefrologie. 2., zcela přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-4367-7.
18. Hyršl, L., & Chocholatý, M. (2006). Získaná bezpříznaková afunkce ledviny – závažný urologický symptom. Solen, 7(4), 164-167.
19. Durand, E., Blaufox, M. D., Britton, K. E., Carlsen, O., Cosgriff, P., Fine, E., ... Šamal, M. (2008). International Scientific Committee of Radionuclides in Nephrourology (ISCORN) Consensus on Renal Transit Time Measurements. Seminars in Nuclear Medicine, 38(1), 82–102. doi:10.1053/j.semnuclmed.2007.09.009
20. TAYLOR, A. T. Radionuclides in Nephrourology, Part 2: Pitfalls and Diagnostic Applications. Journal of Nuclear Medicine. 2014, 55(5), 786-798. DOI: 10.2967/jnumed.113.133454. ISSN 0161-5505. Dostupné také z: <http://jnm.snmjournals.org/cgi/doi/10.2967/jnumed.113.133454>
21. KORANDA, P., V. ULLMANN a A. UTÍKALOVÁ. Konference ČUS, VIII. Pracovní konference dětských urologů. Česká urologie. 1998, 2(4), 5-28. ISSN 2336-5692.
22. KORANDA, Pavel a et al. Dynamická scintigrafie transplantované ledviny. Klinika nukleární medicíny LF a FN Olomouc [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <http://vyuka.i-consult.cz/gastroenterologie-nefrourologie/ghtml.php?id=28>
23. KRAFT, Otakar. Dynamická scintigrafie ledvin. [on line prezentace]. Zdravotní a sociální fakulta Ostravské univerzity [online]. [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: https://www.fno.cz/documents/2007_06_28_001.pdf
24. Sebastian, A., & Tait, P. (2019). Renal imaging. Medicine. doi:10.1016/j.mpm.2019.05.009

SEZNAM ZKRATEK

ACE	angiotenzin konvertující enzym
DMSA	kyselina dimerkaptojantarová
DTPA	diethylentriaminpentaacetát
EANM	European Association of Nuclear Medicine
MAG3	merkaptocetyltriglycin
SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie

SEZNAM OBRÁZKŮ

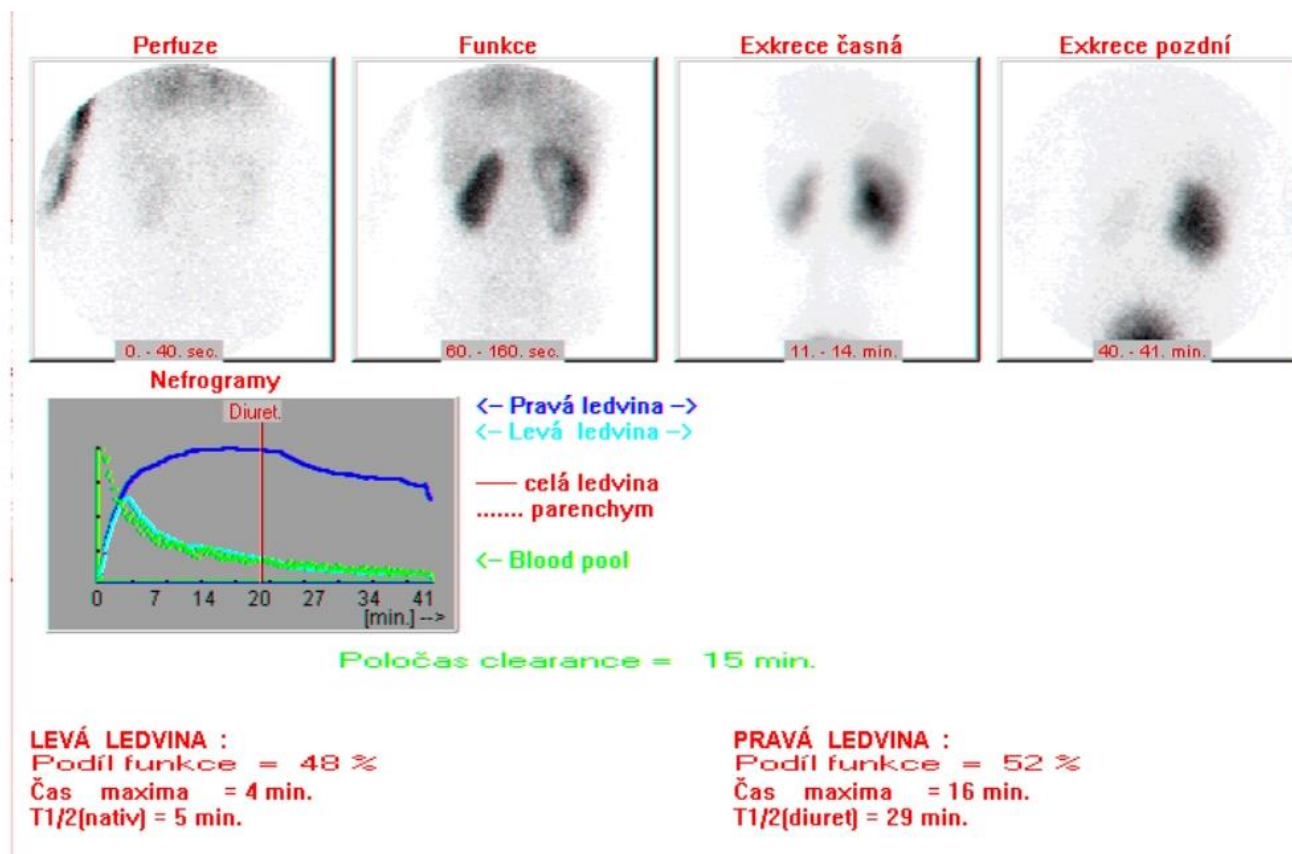
Obrázek 1: Obecné schéma nefrografické křivky	20
Obrázek 2: Nefrografické křivky při různé míře funkčního postižení ledviny	21
Obrázek 3: Nefrografické křivky při různé míře postižení odtoku radiofarmaka z ledviny	21

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1:	Dynamická scintigrafie ledvin	37
Příloha 2:	Statická scintigrafie ledvin	38-39

PŘÍLOHY

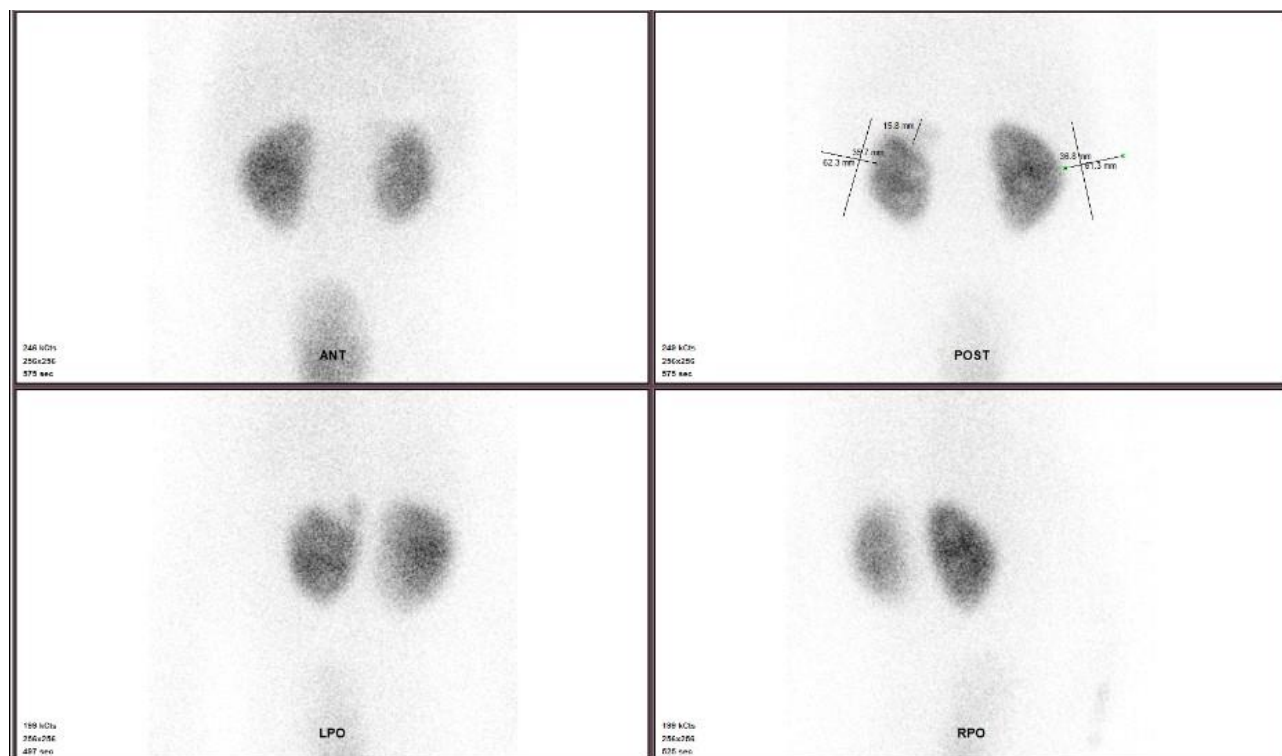
Příloha 1: Dynamická scintigrafie ledvin s furosemidovým testem F+20 ($^{99m}\text{Tc-MAG3}$ i.v., Furosemid aplikován i.v. ve 20.minutě vyšetření)



Obr. 1.1: Na scintigramu je patrná výrazná akumulace radiofarmaka v dutém systému pravé ledviny i na konci vyšetření, po Furosemidu jen chabý pokles nefrografické křivky nad pravou ledvinou – nález svědčí pro hydronefrózu pravé ledviny a pro urodynamicky významnou překážku v odtoku moči v oblasti pelviureterálního přechodu vpravo, vlevo normální nález.

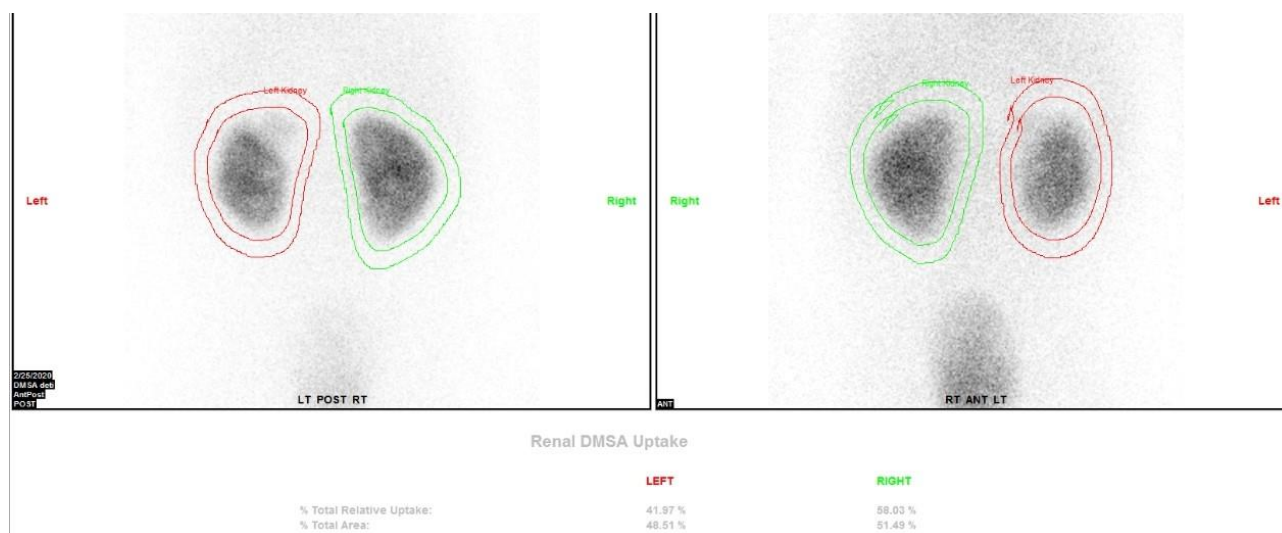
Zdroj: Archiv FNOL

Příloha 2: Statická scintigrafie ledvin (99mTc-DMSA i.v.)



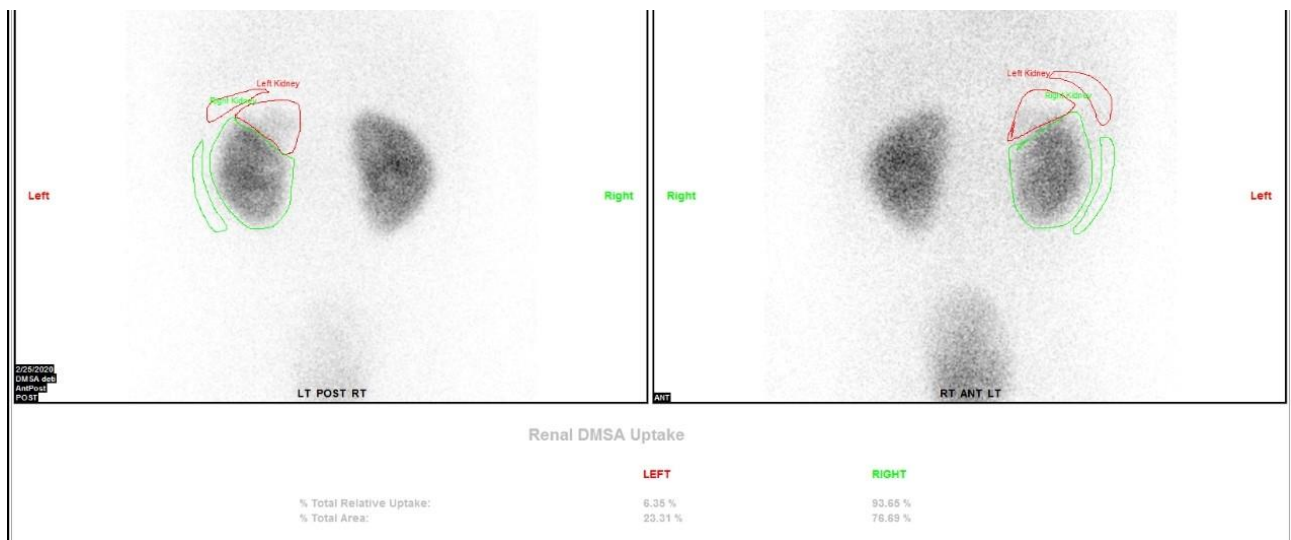
Obr. 2.1: Výsledný scintigram u dítěte se zdvojeným dutým systémem levé ledviny, v přední a zadní projekci (nahore) a v levé zadní šikmé a pravé zadní šikmé projekci (dole).

Zdroj: Archiv FNOL



Obr. 2.2: Na scintigramu je dle výpočtu poměru funkce vidět relativně hypofunkční levá ledvina – podílí se 42 % na ledvinných funkcích. Pravá ledvina je funkčně zdatná, beze známek ložiskových změn.

Zdroj: Archiv FNOL



Obr. 2.3: Výpočet poměru funkce horního a dolního segmentu relativně hypofunkční levé ledviny. Je vidět výrazně hypofunkční horní segment – podílí se 6,4 % na funkci levé ledviny.

Zdroj: Archiv FNOL