

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Adéla Bolfová

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Bolfová Adéla

Statická a dynamická scintigrafie ledvin

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Vybíral, DiS.

Olomouc 2022

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

V Olomouci dne 26.4.2022

.....

Podpis

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Statická a dynamická scintigrafie ledvin

Název práce: Statická a dynamická scintigrafie ledvin

Název práce v AJ: Static and dynamic scintigraphy of kidneys

Datum zadání: 2021-11-30

Datum odevzdání: 2022-04-26

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Adéla Bolfová

Vedoucí práce: Ing. Petr Vybíral, DiS.

Oponent práce: Ing. Bc. Jiří Horalík, DiS.

Abstrakt v ČJ:

Cílem bakalářské práce bylo popsat scintigrafické metody používané pro diagnostiku ledvinových chorob a nemoci s nimi spojenými a zároveň vyzdvihnout přínosy tohoto vyšetření nejen u dětí, ale také u dospělých. Na úvod je popsána funkce a samotná podstata scintilační kamery. V další kapitole je rozebrána výroba a vlastnosti radiofarmak, která jsou pro správnou diagnostiku v nukleární medicíně nepostradatelná. Dále jsou popsány principy jak již statické, tak i dynamické scintigrafie a v neposlední řadě jsou rozebrány hlavní indikace k vyšetření, při kterých zaujímá nukleární medicína velmi důležitou úlohu.

Nejdůležitější část práce je věnována podrobnému popisu scintigrafického vyšetření, neboť si scintigrafie ledvin stále drží důležité místo v diagnostice určitých ať už vrozených tak získaných onemocnění. Je považována za metodu první volby např. při diagnostice postpyelonefritických

jizev, kdy její citlivost dosahuje 90-100 %. Jedna z kapitol je také věnována radiační ochraně, jejíž znalost je v oblasti nukleární medicíny obzvláště důležitá. Poznatky byly dohledávány z databázi GOOGLE scholar, Pubmed, Ebsco, Sprinter link, Medvik a Science direct a dále ze skript a periodik.

Abstrakt v AJ:

The aim of the bachelor thesis was to describe the scintigraphic methods used for the diagnosis of kidney diseases and related diseases and other diseases, which have close relationship with kidneys as well describe the benefits of this examination in children but also in adults. At the beginning of my work function and principle of scintillation camera is described. The next chapter deals with the production and properties of radiopharmaceuticals, which are essential for a correct diagnosis in nuclear medicine. Then the principles of both static and dynamic scintigraphy are described and, last but not least, the main indications for examination in which nuclear medicine holds a very important role are analysed. The most significant part of the work is focused on a detailed description of scintigraphic examination, because scintigraphy of kidney still holds an important role not only in the diagnosis of certain congenital diseases but also in obtained diseases. It is used as the method of first choice, for example, in the diagnosis of postpyelonephritic scars, when its sensitivity reaches 90-100%. One of the chapter deals with radiation protection, because this knowledge is very important in nuclear medicine branch. The findings are retrieved from the GOOGLE scholar, Pubmed, Ebsco, Sprinter link, Medvik and Science direct databases, as well as from scripts and periodicals.

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

Klíčová slova v AJ: dynamicscintigraphy of kidneys, static scintigraphy of kidneys, renovascular hypertension, hydronephrosis, kidney transplant, acute pyelonephritis, radiofarmaceuticals

Rozsah: 46stran/4 obrazové přílohy

Obsah

Úvod	7
Popis rešeržní činnosti	9
1 Anatomie ledviny	13
2 Scintilační kamera	14
3 Radiofarmaka	16
3.1 Výroba a použití	16
3.2 Radiofarmaka používaná pro scintigrafii ledvin	17
3.3 Aplikovaná aktivita radiofarmak	18
4 Statická scintigrafie ledvin	19
4.1 Příprava a provedení	20
4.2 Hodnocení snímků	21
5 Dynamická scintigrafie ledvin	22
5.1 Příprava a provedení	22
5.2 Hodnocení snímků	23
6 Hlavní indikace k vyšetření ledvin	26
6.1 Renovaskulární hypertenze	26
6.2 Akutní Pyelonefritida	28
6.3 Transplantovaná ledvina	30
6.4 Hydronefróza	33
7 Kontraindikace v nukleární medicíně	36
8 Radiční ochrana	37
Závěr	39
Referenční seznam	41
Přílohy	46
Seznam zkratk	7

Úvod

Nukleární medicína je lékařský obor sloužící k diagnostice a léčbě za současné aplikace radiofarmak. Pacientovi je intravenózně aplikováno pouze malé množství radiofarmaka potřebné pro získání dostatečně kvalitního obrazu. Radiační zátěž pacienta je srovnatelná s rentgenovými vyšetřeními. Jedná se o citlivou a neinvazivní metodu, která je indikována pro funkční posouzení na základě zobrazení akumulace radiofarmaka v orgánu a jeho vychytávání a vylučování z těla.

Jedno z častých vyšetření, které se na pracovišti nukleární medicíny provádí je statická a dynamická scintigrafie ledvin. Vyšetření bývá lékařem indikováno při podezření na záněty (akutní pyelonefritidu), renovaskulární hypertenzi, dilataci kalichopánvičkového systému či pro sledování ledviny po její transplantaci. Častým vyšetřením u dětských pacientů je statická scintigrafie, která nabývá významu při diagnostice akutní pyelonefritidy či postpyelonefritických změn. Scintigrafické vyšetření je vhodné pro posouzení funkčního stavu ledvin, avšak pro potřebné anatomické informace je potřeba použití jiných zobrazovacích metod např. ultrazvuku. Tyto metody se proto často vzájemně kombinují.

Nejčastěji používanými radiofarmaky pro scintigrafii ledvin jsou ^{99m}Tc -DMSA, ^{99m}Tc -DTPA a ^{99m}Tc -MAG3, přičemž každé z radiofarmak má své specifické použití. ^{99m}Tc -DMSA se používá zejména pro diagnostiku zánětlivých změn, tvarových anomálií a při hodnocení podílu ledvinné funkce. ^{99m}Tc -MAG3 je používán pro dynamické vyšetření častěji než ^{99m}Tc -DTPA kvůli rychlému vylučování a krátkému poločasu rozpadu.

Při speciálních vyšetření je radiofarmakum aplikováno spolu s diuretikem nebo např. při diagnostice renovaskulární hypertenze se používá ACE inhibitor.

V souvislosti z výše uvedenou problematikou byly položeny následující otázky:

Při jakých onemocněních má scintigrafie ledvin největší význam?

Jaký je přínos scintigrafického vyšetření ledvin?

Jaká radiofarmaka se při vyšetření ledvin používají?

Jak scintigrafické vyšetření ledvin probíhá?

Jaká je radiační zátěž u vyšetřované osoby?

Na základě otázek byly vytvořeny cíle bakalářské práce

1. Popsat metodiku a způsob provedení scintigrafie ledvin
2. Objasnit přínos scintigrafie ledvin
3. Podělit se o publikované informace o radiofarmacích používaných při scintigrafii ledvin a jejich vlastnostech.

Na základě zvoleného tématu byla použita tato vstupní literatura:

KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2017. ISBN 978-80-244-4031-6.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-54-8.

LAMBERT, Lukáš a Andrea BURGETOVÁ. Uroradiologie. Praha: Maxdorf, [2020]. Jessenius. ISBN 978-80-7345-671-9.

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

Popis rešeržní činnosti

VYHLEDÁVACÍ KRITÉRIA

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

Klíčová slova v AJ: dynamicscintigraphy of kidneys, static scintigraphy of kidneys, renovascular hypertension, hydronephrosis, kidney transplant, acute pyelonephritis, radiofarmaceuticals

Jazyk: český, anglický

Období: 2011-2021

Další kritéria: recenzovaná periodika, plné texty



DATABÁZE

GOOGLE scholar, Pubmed,
EbSCO,

Springer link, Medvik,

Science Direct



Nalezeno 452 článků



VYŘAZUJÍCÍ KRITÉRIA

- články nesplňující kritéria
- články neodpovídající tématu
- kvalifikační práce



SUMARIZACE POUŽITÝCH DATABÁZÍ A DOHLEDANÝCH DOKUMENTŮ

GOOGLE SCHOLAR- 14

Science Direct – 6

Springer Link – 6

EBSCO - 3



SUMARIZACE DOHLEDANÝCH PERIODIK A DOKUMENTŮ

Transplantation Reviews	1 článek
BMC Nephrology	1 článek
Dalton Transactions	1 článek
European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging	1 článek
Nuclear Medicine	1 článek
Indian Pediatrics	1 článek
European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology	1 článek
Endocrinology and Metabolism Clinics of North America	1 článek
Česko-slovenská pediatrie	2 články
Turkish Journal of Urology	1 článek
Modern medicine	1 článek
Physica Medica	1 článek
Pediatric Nephrology	2 články
Florence	1 článek
Journal of Pediatric Urology	1 článek
Frontiers in Pediatrics	1 článek
Praktický Lékař	1 článek
Seminars in Nuclear Medicine	1 článek
New England Journal of Medicine	1 článek
Česká radiologie.	1 článek
Medical Clinics of North America	1 článek

Nuclear Medicine and Molecular Imaging	2 články
Česká urologie	1 článek
World Journal of Nuclear Medicine	1 článek
Seminars in Nuclear Medicine	2 články



Pro tvorbu teoretických východisek bylo použito **29** článků.

1 Anatomie ledviny

Ledvina je párový fazolovitý vylučovací orgán ležící v retroperitoneu ve výši obratlů Th₁₂–L₂. Levá ledvina bývá uložena výše než pravá. Z těla odstraňuje odpadní produkty, udržuje homeostázu, acidobazickou rovnováhu a rovněž má význam při řízení krevního tlaku. Také se jedná o důležitý endokrinní orgán. Produkují erytropoetin, mající vliv na tvorbu červených krvinek a dále renin, kalikrenin a prostaglandiny.

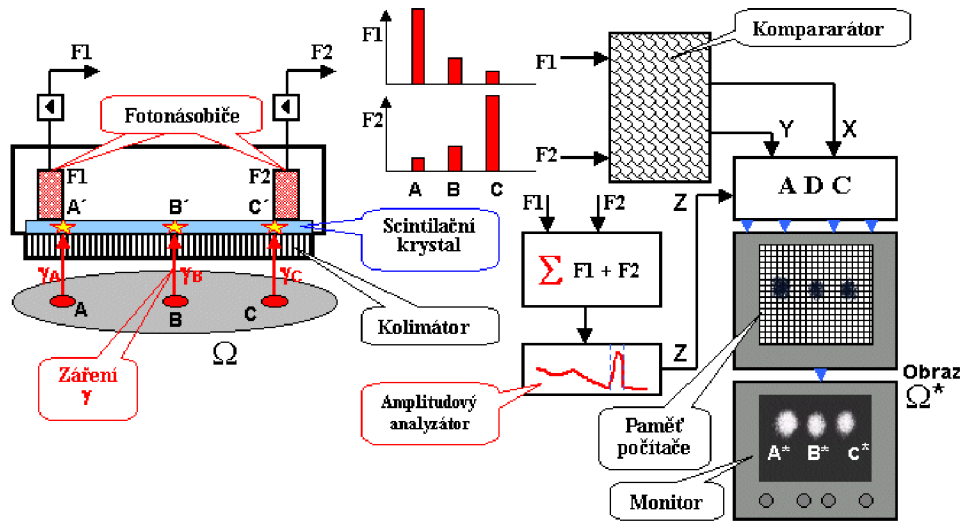
Povrch ledviny je pokryt vazivem. Na řezu lze popsat kůru (cortex renalis) a dřeň ledviny (medullu renalis) uspořádanou do pyramid (pyramides renales). Pyramidy jsou přivrácené k hilu ledviny a ústí do nich sběrací kanálky. Z ledvinového hilu odstupuje ledvinová pánvička (pelvis renalis). Základní stavební a zároveň funkční jednotka se nazývá nefron. Skládá se z malpighiho tělíska (dále složeno z klubíčka vlásečnic – glomerulu a bowmanova pozdra), proximálního tubulu, henleovy kličky, distálního tubulu a sběracího kanálku. V těchto částech dochází k resorpci vody, AMK, glukózy, sodíku a sekreci draslíku a vodíku, což vede k acidifikaci moči. Díky aktivní resorpci se sníží objem primární moči pro průchodu ledvinou ze 150l na objem 1,5l moči definitivní, která je následně vyloučena z těla močovou trubicí (Naňka, 2015, s. 195, 197, 198).

2 Scintilační kamera

Je přístroj používaný pro scintigrafické vyšetření, jehož výstupem je získání obrazu distribuce radiofarmaka v těle pacienta. Je složen z detektoru, gantry a stojanu pro jeho uchycení, vyšetřovacího lůžka a vyhodnocovacího zařízení. Hlavní a nejdůležitější součástí detektoru je scintilační krystal spojený se sadou fotonásobičů a kolimátoru. Jako scintilační krystal se nejčastěji používá jodid sodný aktivovaný thaliem – NaI(Tl), který je schopen zachytit fotony ionizujícího záření. Na tento krystal jsou světlovodivou hmotou přilepeny fotonásobiče (60-65 kusů) (Koranda, 2017, s. 27). Kolimátory slouží k detekci fotonů pouze ve vyžádaném směru a to kolmo na detektor. Jestliže foton dopadne na scintilační krystal, vznikne záblesk viditelného světla – scintilace. Fotonásobiče převádějí vzniklé záblesky na elektrický signál a dále ho zesilují. Při interakci fotonu s fotokatodou fotonásobiče vzniká fotoelektron. Při dopadu fotoelektronu na soustavu dynod dochází k emisi sekundárních elektronů. Na anodu tak dopadne již zesílený signál. Následně je signál zpracováván v zesilovací soustavě. Nejprve je zaznamenána poloha impulzů (impulz=scintilační záblesk) a poté jsou tyto impulzy umístěny do matice, ve které je obraz snímán. Rozložení impulzů v matici odpovídá rozložení radiofarmaka v těle pacienta. Registrované impulzy se liší svojí amplitudou a tvoří tak celé energetické spektrum. V závislosti na použitém radioizotopu je nastaveno energetické okno, kde jsou akceptovány pouze impulzy s energií nacházející se v určitém rozmezí, v píku úplné absorpce. Takto jsou degradovány rozptýlené fotony, které by způsobovaly nepravdivou informaci o jejich poloze (Kupka, 2015, s. 27, 28, 29).

Podle konstrukce můžeme rozdělit scintilační kamery na jednodetektorové a vícedetektorové, které nám umožňují snímat tělo pacienta z různých úhlů najednou a tím zkrátit dobu vyšetření.

Obrázek č. 1 Scintilační kamera



3 Radiofarmaka

3.1 Výroba a použití

Radiofarmaka jsou léčiva obsahující atomy radionuklidu. Radionuklidy mají přebytek energie a jsou nestabilní. Mají těžké jádro nebo mají nerovnováhu v počtu neutronů a protonů. Při přebytku energie dochází k emisi částic α , β +/- nebo fotonů gama záření za doprovodu rentgenového záření (Vermeulen, 2019, s. 341, 344). Některé radionuklidy se vyskytují již přirozeně, ale v nukleární medicíně jsou používány radionuklidy umělé. Jsou vyráběny v jaderných reaktorech (^{99}Mo , ^{131}I , ^{51}Cr , ^{32}P), v urychlovačích (^{111}In , ^{18}F , ^{11}C , ^{15}O , ^{13}N) nebo se získávají rozpadem mateřského radionuklidu v dceřiný (^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátor) (Koranda, 2017, s. 17). Většina radionuklidů jsou radiokovy nebo radiohalogeny a používají se v komplexu s ligandem. Jsou využívány pro diagnostické účely jako elektromagnetické zářiče nebo pro terapeutické účely. Aplikují se intravenózně a koncentrují se v cílových buňkách či tkáních. Pro lidské tělo nemají v diagnostických dávkách žádné vedlejší účinky (Vermeulen, 2019, s. 341, 344). Při použití SPECT jsou emitované částice z rozpadajícího se radionuklidu zachyceny na detektorech a vytvoří se 3D obraz distribuce v těle. Jako izotopy jsou používány radiokovy (kromě ^{123}I). Nejčastěji je používáno metastabilní technecium ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) s poločasem rozpadu 6,01 h (Vermeulen, 2019, s. 346). Poločas 6,01 h je dostatečně dlouhý pro přípravu radiofarmaka a zároveň dostatečně krátký na to, aby pacient nebyl vystaven přebytečně vysoké radiační zátěži (Bhattacharyya, 2011).

Při použití PET jsou detekovány fotony s energií 511 KeV, které vznikají anihilací pozitronu a elektronu. Většina PET radionuklidů se vyrábí v cyklotronu (Vermeulen, 2019, s. 346). Mají kratší životnost než radionuklidy používané při scintigrafii, ale zato lepší rozlišení. Radionuklidy pro scintigrafii jsou cenově dostupnější. Nejpoužívanějšími PET radionuklidy je ^{11}C ($t_{1/2}$ poločas rozpadu 20 minut) a ^{18}F ($t_{1/2}$ – 108 minut). Díky krátkému poločasu rozpadu je radiační zátěž pacienta minimální (Bhattacharyya, 2011). Radiofarmaka však musí splňovat určitou kvalitu, která se neustále kontroluje. Jedná se zejména o radionuklidovou a radiochemickou čistotu. Radionuklidová čistota se měří pomocí energetického spektra záření. Popisuje se jako podíl aktivity radionuklidu na celkové aktivitě preparátu. Většina radionuklidů by měla mít

radionuklidovou čistotu okolo 99 %, zbylá aktivita je nežádoucí a zvyšuje radiační zátěž pacienta. Pomocí chromatografických metod se měří radiochemická čistota (Koranda, 2017, s. 22).

3.2 Radiofarmaka používaná pro scintigrafii ledvin

- **^{99m}Tc-DMSA (kyselina dimerkaptojantarová)**

Jedná se o radiofarmakum, které se váže na proximální a distální tubulární buňky. Z 90 % je ale vázáno proteiny. Tato vazba částečně zamezuje glomerulární filtraci. Pouze 50 % radiofarmaka je vylučováno ledvinami, zbylých 50 % proniká do jater a sleziny (Momin, 2018, s.99). Za hromadění radiofarmaka v ledvinách je zodpovědná endocytóza zprostředkována megalinem a kubilinem. Jako jediné radiofarmakum je používáno pro scintigrafii statickou. V literatuře se nachází také zmínka o Tc-99mmglukoheptonátu (GH), který se ale běžně nepoužívá.

- **^{99m}Tc-MAG3 (merkaptocetyltriglycin)**

Je v dnešní době jedno z nejpoužívanějších a nejučinnějších radiofarmak. Je vychytáváno a dále vylučováno proximálními a distálními ledvinnými tubuly. Jedná se tedy o činidlo s tubulární sekrecí. Jeho glomerulární filtrace je proto bezvýznamná. Z 90% se váže na plazmatické bílkoviny, což způsobuje rychlé vylučování a vysokou kvalitu dynamického vyšetření. Díky merkaptocetyltriglycinu lze posoudit odtoky radiofarmaka a tedy funkce ledvin odděleně. Lze určit i průtok plazmy ledvinami (Seeman, 2017, s. 83).

- **^{99m}Tc-DTPA (kyselina diethylenetriaminpentaoctová)**

Jedná se o jediné farmakum, u kterého probíhá filtrace glomerulární. Lze ho tedy použít k měření rychlosti glomerulární filtrace ledviny. V porovnání s merkaptocetyltriglycinem je jeho extrakční frakce 2x nižší (asi 20%), zatímco u ^{99m}Tc-MAG3 se uvádí až 50%, někdy až 86%. Proto bývá ^{99m}Tc-MAG3 upřednostňován, hlavně při podezřeních na obstrukci nebo poruchu ledviny. Současně s ^{99m}Tc-MAG3 jsou nejpoužívanější radiofarmaka pro dynamickou scintigrafii (Taylor et al. , 2018, s. 6,7).

- **¹³¹I -OIH (ortojodhippuran)**

Radiofarmakum, které se v dnešní době už téměř nepoužívá a to z důvodu vysoké radiační

zátěže. Benjamens uvádí, že se v porovnání s $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ se musí podat 30x menší dávka kvůli dlouhému poločasu rozpadu a vysoké frekvenci emise záření β - (Benjamens et al., 2018, s.103).

3.3 Aplikovaná aktivita radiofarmak

Dávku aplikované aktivity lze vypočítat pomocí kalkulačky dávkové karty (EANM), která je vydána jako doporučení pro diagnostické referenční úrovně. Ty jsou stanoveny pro pacienta o hmotnosti 70kg. S přibývajícím hmotností pacienta se aplikovaná aktivita přepočítává pomocí korekčního f- faktoru. Běžná aktivita při použití kyseliny dimerkaptojantarové je 1,85 Mbq/kg (Dhull, 2018, s. 591).

Zatímco Kupka uvádí, že u dospělých pacientů se aplikuje většinou aktivina 100 MBq s vyšší aktivitou u silnějších pacientů. Efektivní dávka se odhaduje menší než 1 mSv při použití aktivity do 100 MBq. Při použití kolimátoru pin-hole, nebo při SPECT vyšetření se aktivita rovněž navyšuje (Kupka, 2015, s. 108).

Běžná podávaná dávka pro $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ je 1,9 MBq/kg. Pro $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ je to 3,7 MBq/kg. Co se týče furosemidu podává se dávka 1mg/kg s celkovým maximem 40mg (Dhull et al., 2018, s. 592). Kupka ve své knize uvádí, že u dospělých se aplikuje dávka 100 – 250 MBq, přičemž efektivní dávka při dynamickém vyšetření se odhaduje na 1mSv/100 MBq, stejně jako u scintigrafie statické. U dětí je efektivní dávka taktéž 1mSv, a to bez vztahu k podané aktivitě (Kupka, 2015, s. 110).

4 Statická scintigrafie ledvin

Jedná se o radionuklidové vyšetření, kterým lze zobrazit parenchym ledviny a posoudit jeho funkci či poškození. Jestliže je ledvina patologicky narušena, farmakum se během vyšetření v parenchymu ledviny rozloží nehomogenně. Tento defekt byl poprvé popsán již v roce 1972. Často je indikována při podezření na pyelonefritidu, kdy lze prokázat zánětlivé změny v ledvinném parenchymu, popřípadě postpyelonefritické jizvení po prodělaném akutním zánětu ledvin. Scintigrafie je také upřednostňována před ultrazvukem i počítačovou tomografií z důvodu větší citlivosti (Bosáková, 2019, s.24). Táborská ve svém článku udává, že míra akumulace radiofarmaka je dána jak průtokem krve, tak i funkcí ledvinných tubulů. Jestliže dojde k nedokrevnosti nebo dysfunkci těchto buněk, bude následovat snížené vychytávání radiofarmaka v ledvině. Je důležité zavčas stanovit diagnózu, jelikož při funkčních změnách viditelných na scintigramu, nemusí být ještě nutně změněna jejich struktura (Táborská, 2013, s. 292). Funkci ledvin lze také vyhodnotit pomocí biochemických testů, kdy se stanoví množství kreatininu a močoviny v krvi. Avšak tento typ vyšetření podá pouze informaci o celkové funkci ledvin a to až za významnějších změn hladin močoviny a kreatininu, kdy funkce ledvin může být již vážně poškozena (Mititelu, 2017, s. 200).

Nejčastějšími indikacemi k vyšetření pomocí statické scintigrafie ledvin je pyelonefritida nebo zhodnocení následků po její atace (hodnotí se nejčastěji až po 6 měsících), kdy se často objevují defekty ledvinného parenchymu. Dalšími indikacemi jsou nestandardní uložení ledvin, změny jejich tvaru či velikosti nebo scintigrafie k odhalení ledvinných anomálií. Důležitost vyšetření také spočívá u vyšetření při hmatných rezistencích v dutině břišní (Kupka, 2015, s. 109). Lambert dále popisuje, že bývá ledvina ke scintigrafii indikována po jejím traumatu. Díky scintigrafii lze také stanovit a porovnat funkce obou ledvin nebo jen jejich segmentů v případě, kdy je ledvina zdvojená (Lambert, 2020, s. 279).

4.1 Příprava a provedení

Před samotným vyšetřením je důležitý zvýšený příjem tekutin, který zvyšuje diurézu a zároveň urychluje vyloučení radiofarmaka z ledvin a močových cest. Současně se tak snižuje radiační zátěž pacienta. Těsně před vyšetřením se pacient vymočí. Vyšetření probíhá vleže na zádech, děti mohou být ve výjimečných případech vsedě (Kupka, 2015, s. 92). Jelikož po dobu vyšetření musí být zamezeno větším pohybům, u malých dětí je někdy nezbytné podání sedativ nebo místo aplikace potřít znečítlivujícím krémem (Koranda, 2017, s. 100). Snímkování pacienta se uskutečňuje 2 – 4 hodiny po nitrožilní aplikaci radiofarmaka. V případě podezření na hydronefrózu se snímky pořizují až za 4 – 24 hodin. Další možností je podání diuretika. Standardní projekce jsou zadní a obě zadní šikmé. Někdy se přidává také projekce přední (Kupka, 2015, s. 108). Díky přední projekci lze vypočítat hloubka uložení ledvin od povrchu zad a následně stanovit tzv. geometrické průměry. Poměr těchto průměru je žádaný při stanovení funkční zdatnosti ledvin (Koranda, 2017, s.100). Přední projekce je prováděna při podezření na ektopické umístění ledvin nebo tvarových anomálií. Scintigramy by měly být dostatečně kvalitní při registraci alespoň 300 000 impulzů v záznamu nebo při snímání po dobu nejméně 5 minut. Pokud je použit pinhole kolimátor, je doporučeno provádět záznamy po dobu 10ti minut nebo zaregistrovat 100 000 – 150 000 impulzů na záznamu, přičemž otvor seřídít na 2 – 4 mm (Táborská, 2013, s. 292). Dle Kupky je využití Pinhole kolimátoru přínosné zejména pro zlepšení prostorového rozlišení, jelikož se obraz ledvin zvětšuje. (Kupka, 2015, s.108). Statické snímky se někdy doplňují o SPECT vyšetření s použitím jedno nebo vícedetektorové scintilační kamery. Pacient je snímán z různých úhlů, je možné i 3D zobrazení orgánů při počítačová rekonstrukci všech vrstev a řezů (transverzálních, koronárních a sagitálních) (Lambert, 2020, s. 279).

Táborská ve svém článku zmiňuje, že optimálně se používá dvouhlavá gamakamera s kolimátory s nízkou energií, díky kterým je zaručeno vysoké rozlišení. Pro snímání je používaná matice 256 x 256 pixelů (Táborská, 2013, s. 292). Přičemž Blaufox udává, že lze použít i matici 128 x 128 pixelů (Blaufox, 2018, s. 2222).

4.2 Hodnocení snímků

Při standardním snímku je distribuce radiofarmaka v parenchymu homogenní. Protože je radiofarmakum vychytáváno proximálními tubuly, vnější okraj ledviny je zpravidla sytější než oblast dřene, kalichů a pánvičky, kde je akumulace radiofarmaka méně výrazná. Ke standardním nálezům patří odlišný tvar, poloha, oploštění levého polu ledviny z důvodu imprese sleziny nebo změny homogenity způsobené Bertiniho korovými sloupci (Táborská, 2013, s. 293). Jestliže vznikne defekt v akumulaci radiofarmaka, znamená to poruchu funkce ledvinného parenchymu a jedná se již o patologický jev. Pokud se zobrazí nerovnoměrná kontura ledviny, může se jednat o jizvení po akutní pyelonefritidě. Informace o relativní funkci levé a pravé ledviny může být zkreslena z důvodu odlišné hloubky uložení ledvin. Takto hlouběji uložená ledvina pak vykazuje sníženou funkci. Korekce hloubky uložení se však podle Kupky provádí jen málokdy. Většinou se předpokládá, že jsou ledviny uloženy ve stejné hloubce. Podíl funkce jedné ledviny je okolo 45–55 % (Kupka, 2015, s. 209).

Při akutní pyelonefritidě jsou ledvinné ložiska se sníženou aktivitou. V případě, že je v ledvině zánět, dochází také k poklesu distribuce radiofarmaka. Změny se projevují ztenčením stěny, klínovitými defekty při okraji či oploštěním kortexu (Lambert, 2020, s. 179). Pokud je při diagnostice akutní pyelonefritidy ložisko se sníženou aktivitou bez porušení kontury, často nedojde k následnému zjizvení a naopak.

Tato metoda je velmi citlivá pro detekci defektu v parenchymu ale nespecifická pro onemocnění. Nelze určit, zda se jedná o akutní pyelonefritidu, popyelonefritické jizvy ani jiné patologické jevy. Při fyziologickém nálezu lze však vyloučit jakékoli postižení parenchymu. Před scintigramem je žádoucí podrobit pacienta ultrazvuku, pro získání informací o tvaru, velikosti a celkové struktuře ledvin (Táborská, 2013, s. 293).

5 Dynamická scintigrafie ledvin

Je neinvazivní radionuklidové vyšetření, kdy po podání radiofarmaka posuzujeme průtok ledvinami, funkční vychytání/akumulaci radiofarmaka, tranzit parenchymem a jeho vylučování z ledvin. Ze skenů po dynamické scintigrafii lze sestavit křivky závislosti aktivity ledvin na čase. Při podezření na obstrukci je použito diuretikum – furosemid pro úplnou diurézu, z které lze vyvodit, zda se nachází v oblasti zájmu obstrukce (např. dilatovaná ledvinná pánvička, dilatace v močovém systému) či nikoli (Blaufox, 2018, s. 2219, 2221). Furosemid lze podat před aplikací radiofarmaka, současně s aplikací radiofarmaka (často u dětí) nebo během vyšetření (nejčastěji ve 20 – té minutě vyšetření) z důvodu zadržování radiofarmaka v ledvinné pánvičce. Skenování pak musí probíhat dalších 10 – 15 minut po jeho podání (Kupka, 2015, s. 113).

Nejčastějšími indikace pro dynamickou scintigrafii je scintigrafie ledviny po její transplantaci, uropatie a nefropatie (posuzuje se odtékání moči), při hydronefróze, dále je indikována při rozšíření ledvinných kalichů a pánvičky. Pomocí dynamického vyšetření se také hodnotí perfuze ledviny.

5.1 Příprava a provedení

Před samotným vyšetřením je nezbytné dostatečné zavodnění. Udává se, že je vhodné vypít 0,5 l tekutiny a to 30 minut před vyšetřením. V nejlepší případě 10 ml tekutiny na 1 kg hmotnosti. V případě kojených dětí se používá mléko, u dospělých je to džus či voda. Nepočítá se káva, která naopak odvodňuje. V případě že je z nějakého důvodu perorální podání tekutin vyloučeno, je podáno 100 – 500 ml fyziologického roztoku 30 minut před vyšetřením. Těsně před vyšetřením se pacient vymočí. Vyšetření probíhá na zádech vleže v zadních projekcích (Sfakianaki, 2013, s. 115). Zorné pole kamery je zaměřeno tak, aby snímalo nejen ledviny ale celou oblast od báze srdeční až po močový měchýř (Koranda, 2017, s. 93). Jestliže je snímána transplantovaná nebo ektopická ledvina je indikováno snímání v předních projekcích.

Je používána gama kamera s nízkoenergetickým kolimátorem a vysokým rozlišením. Minimální matice je 64x64 nebo 128x128 pixelů (Blaufox, 2018, s. 2222). Při snímání transplantované ledviny se v první minutě se pořizují snímky s vysokou frekvencí 1snímek/s (Sfakianaki, 2013, s. 115). Zatímco Kupka uvádí, že frekvence snímání při běžných vyšetření je 1

snímek/10s. Podle Blafoxe se v prvních 1– 2 minutách pořizují 1 – 2 snímky/s. Skenování začíná ihned po podání radiofarmaka pod gama kamerou, aby se zachytila perfuzní fáze. Následně 1snímek/10 – 15 s (zobrazení akumulace radiofarmaka a jeho posun v parenchymu) a nakonec 1snímek/20 – 30s po dobu 20 minut (zobrazí se jeho vylučování ledvinami). Celková doba snímání je tedy okolo 30-ti minut (Blafox, 2018, s. 2221).

5.2 Hodnocení snímků

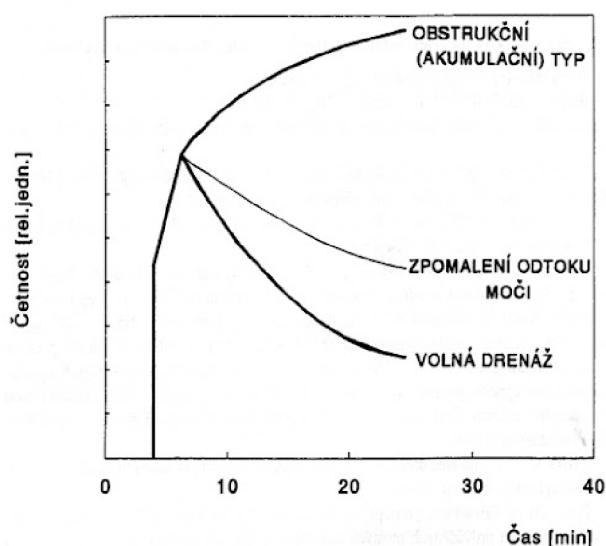
Výsledek dynamické studie se hodnotí podle nefrografických křivek. Křivky znázorňují průběh radioaktivní látky, která je vychytávána v ledvinách a následně odtéká kalichopánvičkovým systémem a je vylučována. Jestliže dochází ke snížení strmosti parenchymové fáze křivky, znamená to že je funkce ledviny narušena. Při zpomaleném poklesu křivky exkretční fáze je v ledvině přítomná obstrukce močových cest (zpomalení odtoku moči systémem).

Jestliže je potřeba stanovit poměr funkce pravé a levé ledviny, určuje se jako poměr množství radiofarmaka vychytaného pravou a levou ledvinou ve 2. minutě vyšetření (při použití $^{99m}\text{Tc-MAG3}$) nebo ve 2. – 3. minutě (při použití $^{99m}\text{Tc-DTPA}$), a je přímo úměrný ledvinné funkci. Další metoda, která může být použita při hodnocení funkce ledvin je založena na principu nárůstu aktivity radiofarmaka v parenchymové fázi. Srovnává se strmost křivek v parenchymové fázi obou ledvin (Koranda, 2017, s. 95). Při ektopickém uložení ledviny je nutná korekce na útlum. Jelikož je ektopická ledvina ve větší hloubce a zároveň je mezi ledvinou a povrchem větší tloušťka tkání, byla by více zeslabena z důvodu odlišné míry zachytu záření ve srovnání s ledvinou fyziologicky uloženou (Blafox, 2018, s. 2223). Mírné korekce se často provádí na základě výšky a váhy pacienta, při pánevních dystopiích nejsou tato hodnocení dostatečně spolehlivá (Koranda, 2017, s. 96).

Pro výpočetní zpracování výsledků jsou nakresleny oblasti zájmu tzv. ROI kolem pravé i levé ledviny a stanovené křivky z každé oblasti zájmu (Blafox, 2018, s. 2222). Oblasti zájmu se kreslí manuálně nebo pomocí výpočetních programů kurzorem kolem pravé a levé ledviny, močového měchýře i srdce. Úkol přístroje spočívá v sečtení impulzů v určité oblasti zájmu a to ze všech skenů (Kupka, 2015, s.110, 111). Zároveň je potřeba udělat tzv. korekci pozadí, kdy se odečtou impulzy z tkání okolo ledvin a z cév (Blafox, 2017, s. 2222). Součty těchto impulzů se promítnou do grafu kde osa x popisuje čas a osa y právě četnost těchto impulzů – aktivitu v

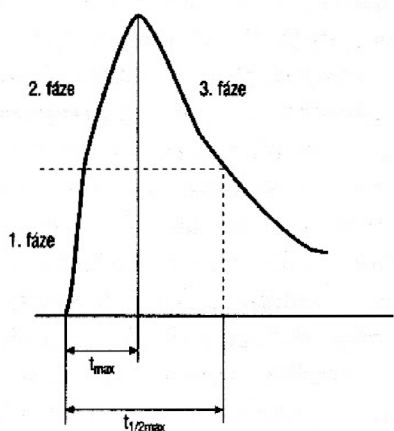
oblasti zájmu. Určením počtu impulzů v ROI pravé a levé ledviny lze porovnat a změřit relativní funkci obou ledvin samostatně. Vyšetření je indikováno při úrazech ledvin, při rozšíření ledvinných kalichů a pánvičky, uropatii a nefropatii a také při hodnocení funkce ledviny po transplantaci (Kupka, 2015, s.110, 111). Celkovou funkci ledvin lze stanovit např. pomocí GFR dle Gatese. Hodnotí se aktivita radiofarmaka akumulovaného v ledvině před začátkem odtoku. Při použití ^{99m}Tc -DTPA se aktivita měří ve 2. – 3. minutě vyšetření, přičemž u ^{99m}Tc -MAG3 je měřena ve 2. minutě. Následně se množství aktivity v ledvinách vypočítá jako podíl z celkové aktivity, jež byla pacientovi podána a přečte se pomocí rovnice na hodnotu GFR. Čím je aktivita v ledvině ve sledovaném čase vyšší, tím je lepší ledvinná funkce (Koranda, 2017, s. 96).

Obrázek č. 2 Nefrografické křivky v závislosti na odtoku radiofarmaka z ledviny



Křivka obstrukčního typu nasvědčuje jistou obstrukci s akumulací radiofarmaka v ledvině. Křivka ukazující zpomalený odtok moči často vzniká taktéž např. u rozšířeného neobstrukčního dutého systému, při němž je ale funkce ledviny standardní. Křivka volné drenáže charakterizuje zdravou ledvinu s fyziologickou funkcí. Při akutní tubulární nekróze a tubulointerstickální nefritidě dochází k poškození buněk ledvinných tubulů, které se při scintigrafickém vyšetření rovněž vyznačuje zpomalením poklesu křivky. Proto při použití radiofarmak s tubulární sekrecí je vylučování výrazně a nepřiměřeně dlouhé.

Obrázek č. 3 Fáze nefrografické křivky

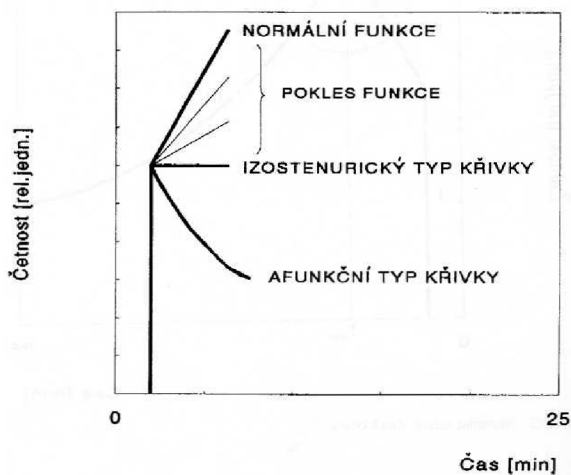


1. fáze– perfúzní: přítok radiofarmaka do ledviny.

2. fáze– funkční/parenchymová: radiofarmakum se dostává do ledvinného parenchymu a koncentruje se.

3. fáze – drenážní/exkreční: radiofarmakum odtéká z kalichopánvičkového systému.

Obrázek č. 4 Nefrografické křivky při různých stupních poškození ledviny



(Koranda, 2017, s. 93, 94, 95).

6 Hlavní indikace k vyšetření ledvin

6.1 Renovaskulární hypertenze

Vzniká při zúžení průsvitu renální arterie, u starších lidí nejčastěji účinkem aterosklerózy. Je nejčastější formou sekundární hypertenze a ve vybraných skupinách je příčinou hypertenze až ve 30 % případů (Masood, 2014, s. 159). Může být postižena jak jedna, tak obě renální arterie. Často se objevuje u kuřáků, diabetiků a pacientů trpících onemocněním koronárních tepen a periferních cév. Způsobuje hypoxii, tím narušuje ledvinné funkce a vzniká tzv. ischemická nefropatie. Renovaskulární hypertenzi také mohou vyvolat embolizace, fibromuskulární dysplazie nebo disekce renální tepny. Na snížený průtok krve arterií je ledvina schopna se adaptovat. Za hemodynamicky významnou stenózu se považuje zúžení minimálně o 60 % (Herrmann, Textor, 2019, s. 2, 6, 7).

Zatímco Textor doplňuje, že zúžení o 70– 80 % již dosahuje kritické úrovně. (Textor, 2018, s. 3). K úplnému vyléčení renální hypertenze dochází u méně než 1/3 případů. To závisí na věku pacienta, trvání hypertenze a na jejím stupni. Standardně jsou pacientovi předepsány antihypertenzní léky. U mladých pacientů přichází v úvahu renovaskulární intervence, ale jen pokud není hlavní příčinou hypertenze ateroskleróza. Kalcifikovaná ložiska by se dále odlupovala a docházelo by k restenózám. Je však zde možnost zavedení endovaskulárních stentů, které i při ateroskleróze mají 80 % úspěšnost. V případě fibromuskulární dysplazie lze podstoupit balónkovou angioplastiku, kdy úspěšnost dosahuje téměř 90 %. Při absenci léčby může být hypertenze v arterii spojena s rozvojem tzv. flashova plicního edému (Herrmann, Textor, 2019, s. 2, 6, 7). Studie potvrdily, že při ischemii ledviny a tedy při renovaskulární hypertenzi se spouští aktivace renin– angiotenzin– aldosteron systému. Angiotenzin II má dle studie vazokonstrikční účinky, působí na uvolňování aldosteronu a ukládání draslíku (Textor, 2017, s. 2).

Podle Kupky dochází při zúžení arterie k poklesu tlaku a tím se sníží množství jak sodíku ve dření ledviny tak i množství glomerulárního filtrátu. Dochází k uvolnění reninu do krevního oběhu. Ten rozštěpí angiotenzinogen na angiotensin I a angiotensin je dále změněn na vysoce vazokonstrikční angiotensin II, působící na glomeruly (Kupka, 2015, s. 113). Tělo se snaží

změny kompenzovat zvýšením filtračního tlaku a rychlosti průtoku tekutiny ledvinami (GFR) (Lambert, 2020, s. 277).

Dynamická scintigrafie s podáním ACE inhibitoru

Jedná se o neinvazivní, bezpečný a nákladově nenáročný test při podezření na renovaskulární hypertenzi. K vyšetření jsou indikováni pacienti s náhlým nástupem hypertenze, s hypertenzí v pokročilém stádiu, s azotemií nebo pacienti s hypertenzí, kterou lékaři nejsou schopni stabilizovat (Hassan, 2014, s. 159, 160). Kupka doplňuje, že je scintigrafie rovněž indikována u pacientů se šelestí v bedrech a břichu, při nálezů malé ledviny na jedné straně, při vzniku hypertenze z důvodu aterosklerózy a při zhoršení stavu ledvin po podání inhibitoru ACE (Kupka, 2015, s. 113).

Vyšetření je založeno na skutečnosti, kdy se u pacienta trpícího renovaskulární hypertenzí po podání ACE inhibitoru, sníží glomerulární filtrace. Inhibitor totiž zablokuje kompenzační mechanismus, který udržoval zvýšeným filtračním tlakem a zvýšenou GFR při ischemickém nedostatku (Lambert, 2020, s. 277). Před vyšetřením jsou pacienti požádáni, aby vysadili inhibitory ACE a blokátory angiotensinu II, popř. diuretika většinou 3– 7 dní před scintigrafií. Doba vysazení inhibitorů závisí na druhu radiofarmaka, které bude pro vyšetření použito a na jeho tzv. eliminačním poločasu (na době, za kterou bude polovina radiofarmaka vyloučeno z těla) (Shin, 2019, 271). Lambert doplňuje, že je stejně tak přínosné před vyšetřením vysadit antihypertenziva (Lambert, 2020, s. 277). Jako radiofarmaka se standardně používají ^{99m}Tc -DTPA a ^{99m}Tc -MAG3. Při použití ^{99m}Tc -DTPA se v ledvině sníží akumulace radiofarmaka v parenchymové fázi z důvodu snížení glomerulární filtrace. ^{99m}Tc -MAG3 neovlivní glomerulární filtraci, ale rozdíl bude v rychlosti transportu radiofarmaka v parenchymu. Transport se zpomalí a radiofarmakum bude zadržováno v ledvině (Koranda, 2017, s. 99).

Používá se jednodenní nebo dvoudenní protokol. Dvoudenní se používá při patologickém nálezů tentokrát bazálně, bez aplikace ACEI. (Lambert, 2020, s. 277). Standardně se podává 25mg kaptoprilu perorálně (dospívající pod 15 let 1mg/kg) asi hodinu před vyšetřením. Během této hodiny je pacientovi měřen každých 15 minut krevní tlak. Dále jsou pacienti požádáni, aby vypili 500– 1000 ml vody 30– 60 minut před vyšetřením. Před intravenózní aplikací

radiofarmaka jsou pacienti uloženi na lůžko gama kamery, kde je použit nízkoenergetický kolimátor. Pacient je snímán asi 20 minut. První minutu jsou snímky pořizovány ve frekvenci 1 snímek/1s, poté každých 30 vteřin (Shin, 2019, s. 271). Srovnává se protokol s podáním ACEI a bazální protokol a hodnotí se poměry funkce ledvin a průběhu křivek– nefrogramů (Koranda, 2017, s. 99).

Jestliže jsou viditelné výrazné změny po srovnání bazálních nefrogramů a nefrogramů po podání ACE inhibitorů, znamená to vysokou pravděpodobnost renovaskulární hypertenze (Kupka, 2015, s. 113). V případě použití ^{99m}Tc-DTPA a ACE inhibitorů, kdy se sníží akumulace radiofarmaka >10 % lze určit, že se jedná o renovaskulární hypertenzi. Taktéž je diagnostikována při poklesu glomerulární filtrace >10 %. U pacientů s patologiemi u bazálního vyšetření a se stejným výsledkem podání ACEI výsledek nelze určit. Nízká pravděpodobnost je vyhodnocena u pacientů s patologickými nálezy na bazálním vyšetření, které se ale po podání inhibitorů zlepšují (Hassan, 2014, s. 160).

6.2 Akutní Pyelonefritida

Jedná se o infekci ledvinného parenchymu s charakterem zánětu. Někdy také nazývána jako infekce febrilní z důvodu přítomnosti zvýšené teploty. Může vyvolat sepsi nebo septický šok. Často se vyskytuje v dětském věku, kdy může způsobit zjizvení ledvin a dlouhodobé poškození jejich funkce (Morello, 2016, s. 1254). Příznaky pyelonefritidy bývá bolest nebo hmatná citlivost v boku. Může se vyskytovat malátnost, zimnice nebo se zánět může přesunout až na močový měchýř. Pacient pak trpí dysurií a častým močením. Příznaky mohou být velice individuální. (Johnson, 2018, s. 48, 49). Nejčastějším patogenem (z 80– 90 %) je *Escherichia coli*, který je běžný lidský komenzál ve střevě. Ze studií vyplývá, že se pyelonefritida vyskytuje nejčastěji u malých dětí, u dospělých žen a žen starších 65 let. (Morello, 2016, s. 1254). Vyšší incidence bývá také u těhotných žen z důvodu změny anatomie a fyziologie močového ústrojí během těhotenství. Při postupném zvětšování dělohy dochází ke kompresi. Komprese může způsobit retenci moči v močovodu (hydroureter) a močovém měchýři (hydronefróza). Svou roli hraje také progesteron, pH moči a glykosurie a aminoacidurie. Tyto faktory vytvářejí příznivé podmínky pro růst bakterií a následnou bakteriémií. Nejčastěji postihuje těhotné ženy v druhé

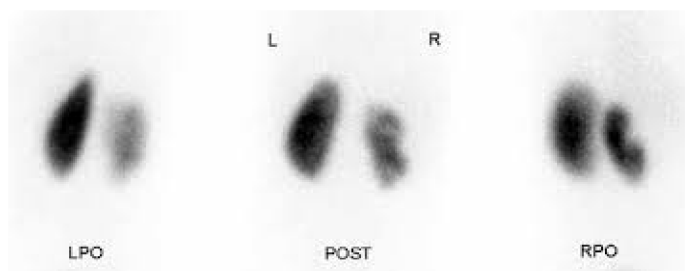
polovině těhotenství (Farkash, 2012, s. 24).

Diagnóza vyplývá z vyšetření moči. Při pyelonefritidě je typická bakteriurie a pyurie. Pacienti podstupují okamžitou antimikrobiální léčbu. Při nevolnostech je na místě podávání tekutin intravenózně, při sepsích nebo septickém šoku se podává izotonický krystaloid (Johnson, 2018, s. 50). Při podezření na pyelonefritidu je kvůli radiační zátěži u těhotných žen indikován kromě kultivace moči ultrazvuk nebo magnetická rezonance namísto scintigrafického vyšetření (Farkash, 2012, s. 24).

Diagnostika pomocí $^{99m}\text{Tc-DMSA}$

Scintigrafie pomocí $^{99m}\text{Tc-DMSA}$ se považuje za spolehlivou metodu při diagnostice zánětlivých změn v ledvině. Až u 50 – 91% pacientů trpící akutní pyelonefritidou jsou v ledvině detekovány změny parenchymu, na které je vyšetření citlivé. Změny se projeví defektem distribuce radiofarmaka. $^{99m}\text{Tc-DMSA}$ je považováno za vyšetření s vyšší citlivostí než je tomu u CT a ultrazvuku (Bosáková, 2019, s. 24). Vyšetření se dále provádí k zobrazení jizev po prodělané akutní pyelonefritidě. Nejkratší časový rozestup od proděláné pyelonefritidy vhodný pro vyšetření je půl roku. Jizvení se zobrazí jako nejasné kontury, oploštění a ztenčení kůry ledvinné, nebo defekty s nepravidelným zobrazením objemu. Citlivost vyšetření je mezi 90 – 100 %. Jedná se o podobnou senzitivitu, jaká je u CT a MRI vyšetření. CT vyšetření ale disponuje vyšší radiační zátěží. Kdežto při zvolení MRI je nutná anestezie. Při volbě ultrazukového vyšetření je citlivost vyšetření u dětí starších 5 let pouze 31%, u mladších dětí ještě klesá. Proto bývá $^{99m}\text{Tc-DMSA}$ scintigrafie metodou první volby (Táborská, 2013, s. 293).

Obrázek č. 5 Zobrazení ledvin pomocí $^{99m}\text{Tc-DMSA}$



LPO (Levá zadní šikmá projekce)

POST (Zadní projekce)

RPO (pravá zadní projekce)

Zobrazení ledvin 9 měsíců po akutní pyelonefritidě u dítěte. Byly detekovány pospyelonefritické jizvy v pravé ledvině a zploštěly pol ledviny nalevo z důvodu útlaku slezinou.

6.3 Transplantovaná ledvina

Další indikací ke scintigrafii je sledování ledviny po její transplantaci. Mohou se objevit vedlejší reakce na transplantaci jako je akutní tubulární nekróza, akutní rejekce nebo urologické potíže (Benjamens, 2018, s. 102). Obecně se předpokládá, že by pacienti po transplantaci měli být kontrolováni první měsíc 2– 3x týdně, následující 2 měsíce 1– 2x týdně, v rozmezí 4– 6 měsíců co 2– 4 týdny a mezi 6– 12tým měsícem každé 4– 6 týdny (Baker et al, 2017, s. 2). Zhoršení funkce ledvinového štěpu může nastat i z důvodu infekce, obstrukce arterií nebo jiných ledvinových onemocnění.

Akutní tubulární nekroza (ATN) vzniká v důsledku ischemie v době, kdy je štěp odebrán dárci, až do doby úspěšné transplantace, kdy je opět obnoven průtok ledvinou. Na scintigrafickém snímku se projeví jako porucha distribuce radiofarmaka v močovém měchýři z důvodu retence v parenchymu a minimální vylučování radiofarmaka dále do dutého systému. V případě **rejekce** Nováková popisuje 3 typy. Hyperakutní rejekce není moc běžná a vyskytuje se do 24 hodin. Akutní rejekce (AR) může vzniknout v rozmezí 4– 5 dnů po transplantaci. Za následek má snížený průtok krve ledvinou, při zobrazení se radiofarmakum hromadí v ledvině a je zde riziko uzávěru jeho odtoku. K chronické rejekci dochází postupně a vede ke ztrátě transplantovaného štěpu. Vyznačuje se stejně jako akutní sníženým průtokem, odtokem ale i funkcí. Nováková popisuje také **cévní komplikace** jako je stenóza, trombóza renální tepny nebo infarkt ledviny (Nováková, 2012). Vyskytují se v 10 % případů, způsobují dysfunkci štěpu a vedou až k jeho ztrátě. Studie ukázala, že pro diagnostiku stenózy je přesnější použití magnetické rezonanční angiografie nebo počítačové tomografické angiografie než použití scintigrafie 99mTc-DTPA (Benjamens, 2018, s. 105,106). Mezi **chirurgické komplikace** se řadí záněty, obstrukce

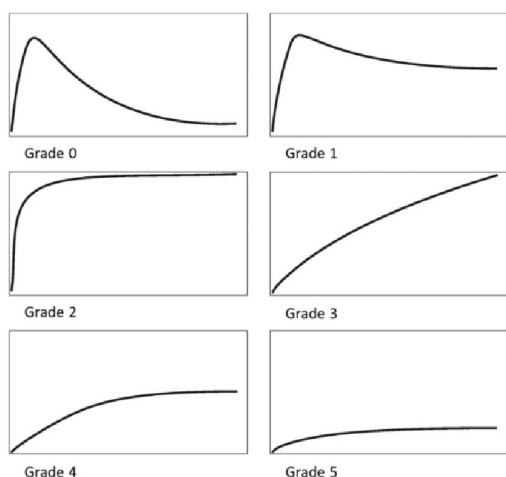
močovou, urinom, absces nebo infekce pooperační rány (Nováková, 2012). Benjamens dále rozděluje chirurgické komplikace na urologické, kde patří obstrukce močových cest a únik moči případný vznik hydronefrózy (Benjamens, 2018, s. 106). Mimo scintigrafii je pro rozpoznání nežádoucích reakcí používaná renální biopsie jehlou. Jedná se však o invazivní zákrok, který může způsobit další komplikace. Proto se upřednostňují neinvazivní zákroky jako je dále ultrazvuk, CT, nebo zobrazení pomocí MRI (Benjamens, 2018, s. 102).

Scintigrafie transplantované ledviny

Scintigrafické vyšetření je používáno pro zobrazení struktury, krevního průtoku v ledvině a především pro hodnocení funkce transplantovaných štěpů. Jako radiofarmaka jsou používána $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ a $^{99m}\text{Tc-DTPA}$. Přitom $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ se používá nejčastěji kvůli rychlému vylučování z těla (jedná se o radiofarmakum s tubulární sekrecí) a kvalitě zobrazení. $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ se používá pro měření rychlosti glomerulární filtrace, protože se jedná radiofarmakum filtrováno glomeruly. Co se týče $^{99m}\text{Tc-DMSA}$ nepoužívá se pouze k detekci jizev po pyelonefritidě, ale může být použita i k detekci jiných abnormalit způsobujících zvýšené vychytávání traceru v ledvinném parenchymu (Benjamens, 2018, s. 103). Zatímco $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ byl používán také pro měření efektivního průtoku plazmy ledvinami (Theerakulpisut, 2021, s. 302, 303). Pacientovi se vleže na lůžku gama kamery intravenózně aplikuje radiofarmakum. Pacienti mají často našity arterio– venózní spojky sloužící k dialýze. Radiofarmakum se do nich ale aplikovat nesmí kvůli jeho stagnačnímu charakteru. Pacientům je většinou ledvina transplantována do levé nebo pravé jámy kyčelní, proto musí být pacient pod kameru uložen tak, aby kamera zachytila celou pánev včetně ilických tepen a močového měchýře. Pokud má pacient močový katetr je nutné jej před začátkem vyšetření uzavřít. Při neuzavření katetru by došlo k odtoku moči a nezobrazilo by se plnění močového měchýře (Nováková, 2012).

Hodnocení

Obrázek č. 6 Určení funkce ledviny pomocí křivky



Pomocí křivky čas/aktivita se určuje vychytávání a prokrvení ledviny.

Stupeň 0– normální funkce transplantované ledviny, maximum rostoucí křivky je v 5. minutě a naopak úplné vyloučení radiofarmaka po 30. minutě.

Stupeň 1, 2– snížená funkce transplantované ledviny, s pomalým vylučováním radiofarmaka.

Stupeň 3, 4– snížená funkce ledviny při rejekci nebo akutní tubulární nekróze, křivka bez vylučovací fáze.

Stupeň 5– velmi omezená funkce ledviny (Benjamens, 2018, s. 105).

Rozlišení akutní tubulární nefrózy a akutní rejekce je náročné. Obě komplikace se vyznačují porušenou perfuzí, vychytáváním, parenchymálním transportem a vylučováním. Závažnost ATN a AR se vypočítá vydělením aktivity ve 20. minutě aktivitou ve 3. minutách (R20/3). R je označován kvantitativní index a lze jej počítat jak pro $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ tak i pro $^{99m}\text{Tc-DTPA}$.

6.4 Hydronefróza

Hydronefróza (HDN) je definována jako dilatace pánevního kalichového systému v důsledku obstrukce a stagnace toku moči [citace] (Kaura, 2017, s. 337). V literatuře se vyskytuje zmínka o tzv. obří hydronefróze. Definuje se jako přítomnost 11 tekutiny nebo hnisu o hmotnosti 1,6 % tělesné hmotnosti v pánvi nebo zvětšená ledvina, která svou velikostí přesahuje 5 obratlových těl. Bylo zaznamenáno asi 500 případů a to převážně v rozvojových zemích. Při neléčení vede k ruptuře ledviny, ledvinnému selhání nebo maligním změnám (Singh, 2017, s. 337, 338). Nejčastěji je však hydronefróza diagnostikována v rámci prenatálního screeningu. Ne v každém případě ale hydronefróza musí vést k poruše ledvinných funkcí. U dětí může být dlouhou dobu asymptomatická, v dospělosti se však může vyvinout do chronického onemocnění ledvin nebo jejich selhání až se 4x větší pravděpodobností (Passoni, 2020, s. 2). Studie ukazují, že tato anomálie postihuje obecně 1 – 5 % těhotenství. Ve většině těchto těhotenství je však anomálie přechodná a do porodu nebo v 1. roce života dítěte fyziologicky odezní. V opačném případě u dítěte dochází k obstrukci cest nebo refluxu a musí podstupovat prenatální a následně postnatální zobrazování. V této době již existují studie, které dokážou stanovit pravděpodobnost postnatálních defektů podle průměru pánvičky ledviny (Passerotti, 2020, s. 129). Děti nejsou k pyeloplastice indikovány ihned po stanovení diagnózy, dilatace kalicho– pánvičkového systému se většinou sleduje a může zůstat buď stejná, zlepšit se nebo ustoupit. K operaci je nakonec indikováno pouze 20 –25% pacientů (Trachta, 2017, s. 219).

Nejpoužívanější metodou pro zobrazení ledvin jak v prenatálním, tak i v postprenatálním věku je ultrazvuk. (Yamaçake, 2013, s. 238, 240). Většinou se provádí až mezi 48 a 72 hodinami po narození z důvodu nedostatečné hydratace dítěte po porodu. Dítě by v tu dobu nemělo ještě dostatečně naplněný měchýř (Passoni, 2020, s. 3). Ultrazvuk je neinvazivní metoda, avšak podává jen informace čistě anatomické. Pro zobrazení funkčních informací pro diagnostiku patologie ledvin je nejefektivnější mikční cystoureterogram (VCUG), kterým je vyloučena obstrukce a radionuklidový cystogram (RNC). VCUG poskytuje přesnější anatomii a používá se častěji při hodnocení ureteru a obstrukce močového měchýře, která vzniká asi v 10 –30 % případech prenatální hydronefrozy. RNC je citlivější při diagnóze vezikoureterálního reflexu, který vzniká stejně tak v 10 –30 % případech.

Diuretická nefrologie

V případě, že je zde riziko ureteropelvicke nebo ureterovezikální obstrukce provádí se renogram s použitím ^{99m}Tc DTPA nebo ^{99m}Tc MAG3 a s použitím diuretika, nejčastěji v 1 – 2 měsících věku dítěte. Ledviny novorozence by nemusely dříve reagovat na diuretikum (Yamaçake, 2013, s. 238, 240). Stupeň obstrukce a funkce je tedy posuzován pomocí tzv. diuretická nefrografie. Častěji než ^{99m}Tc DTPA se používá ^{99m}Tc MAG3, kvůli rychlému vylučování a krátkému poločasu rozpadu. Důležitá je dobrá hydratace před vyšetřením. Močový měchýř by měl být prázdný, aby nedocházelo ke zbytečně vyšší expozici a zhoršení drenáže močového traktu (Passoni, 2020, s. 3). Pomocí diuretika lze zjistit, zda se jedná o obstrukci nebo jen o prostou dilataci (Kupka, 2015, s. 113). Jako diuretikum je používán furosemid, standardní dávka pro kojence je 1mg/1kg. Podává se nitrožilně 15 minut před aplikací radiofarmaka a zahájením vyšetření, zároveň s aplikací nebo 20 – 30 minut po aplikaci radiofarmaka (Passoni, 2020, s. 3). Výhoda podání 20 minut před vyšetřením spočívá ve zhodnocení drenáže i za bazálních podmínek (Koranda, 2017, s.97). U dětí je preferováno podání souběžně s radiofarmakem, kdy zvýšená diuréza nastane v prvních minutách vyšetření (Kupka, 2015, s. 113). Při podání radiofarmaka souběžně s diuretikem a taktéž při podání 20 minut po aplikaci radiofarmaka však může dojít k vyplavení radiofarmaka dříve, než dojde k maximální diuréze. Maximální diuréza nastává asi po 10 minutách po intravenózní aplikaci diuretika. Proto je často indikováno podání furosemidu 15 minut před začátkem scintigrafie, kdy lze následnědiagnostikovat obstrukce, které jsou detekovatelné až při maximálním diuretickém účinku (Koranda, 2017, s. 97). Hodnocení furosemidového testu spočívá v posouzení nefrogramů (křivek). Křivky vyjadřují množství aktivity v čase. Parametr T1, T2 vyjadřuje čas, za který aktivita poklesne (z původního množství aktivity) v ledvině na polovinu, tzv. poločas odtoku radiofarmaka (Chroustová, 2010, s. 683). Při obstrukci není radiofarmakum dostatečně rychle vyplaveno z kalichopánvičkového systému a ani po podání diuretika nedochází při zhodnocení renografické křivky k jejímu významnému poklesu (Koranda, 2017, s. 97). Chroustová uvádí, že se většinou furosemid podává ve 20. minutě. Jestliže je následně čas T1, T2 ≤ 10 minut, obstrukce není přítomna, při T1, T2 ≥ 20 minut je naopak diagnostikována obstrukce. Při neurčitých nálezech při podání diuretika v 20. minutě vyšetření je někdy indikováno dodatečné podání 15

minut před začátkem vyšetření (Chroustová, 2010, s. 683). Koranda doplňuje, že při stagnaci zbytků radioaktivní látky i po konci dynamické studie, je pacient po vymočení indikován k pozdní scintigrafii. Při pozdním vyšetření se vyloučí, zda šlo o obstrukci nebo pouhé roztažení močového měchýře (Koranda, 2017, s. 94, 95).

7 Kontraindikace v nukleární medicíně

První kontraindikací, která je popsána je těhotenství. Ionizující záření má na plod teratogenní a karcinogenní účinky. V závislosti na stáří plodu je na záření různě citlivý. V období 2 –3. Týdnů je riziko, že zárodek zanikne. Později zhruba do 9. týdnů se vyvíjí orgány, které mohou být vysokými dávkami poškozeny. Nejcitlivější je v období 8 –15. týdnů těhotenství, později je náchylný pouze na vysoké dávky, které mohou způsobit poruchu vývoje orgánu nebo mikrocefalii. Indikace k vyšetření s použitím ionizujícího záření v těhotenství se musí lékařem řádně zvážit a pokud je možnost dosáhnout diagnózy jiným způsobem, je upřednostněna. Pokud se vyšetřovaná oblast nachází mimo dutinu břišní, jsou dávky na plod natolik minimální, že lze vyšetření indikovat (CT, RTG). Obecně se předpokládá, že vyšetření s dávkou do 100 mSv lze provést. Vyšetření s dávkami vyššími jako 100 mSv jsou indikovány pouze v ohrožení života (Rohan, 2018, s. 166, 167). Pokud je žena podrobena scintigrafickému vyšetření, lze snížením aplikované aktivity snížit dávku na plod. Ženě je následně doporučena zvýšená hydratace a časté vyprazdňování močového měchýře, aby se dávka na plod rychleji snižovala.

Kontrastní látky nejsou během těhotenství doporučovány, pouze pokud nelze stanovit diagnóza jiným způsobem. Další kontraindikací může být laktace. Kontrastní látky u kojících lze použít, ale s následnou obnovou laktace po 2 –3 hodinách. Popřípadě přerušit laktaci na 24 hodin. Protože jodové kontrastní látky používané intravenózně procházejí přes placentu a i přesto, že teratogenní účinky na plod nebyly dosud zjištěny, nedoporučuje se kontrastní látky používat z nedostatku klinických dat. Podání kontrastní látky perorálně (Barium) není kontraindikováno, protože se nevstřebává z gastrointestinálního traktu (Rohan, 2018, s. 166, 167). Mezitím radiofarmaka přecházejí do mateřského mléka, proto je nutné přerušit kojení po dobu (v závislosti na rychlosti vylučování radioaktivní látky), kdy by kojením dítě bylo nepřiměřeně ozářeno (Kupka, 2015, s.24).

8 Radiční ochrana

Hlavním cílem radiční ochrany je zamezit vzniku deterministických účinků a minimalizovat účinky stochastické na přijatelnou míru (Hudzičková, 2014, s. 286). Platí zde 3 principy. 1. Principem je zdůvodnění činnosti. Výkon musí být lékařem zdůvodněn a očekává se přínos vyšetření, který převažuje rizika s ozářením spojené. 2. principem je optimalizace. Optimalizace znamená dodržení radiční ochrany v takové míře, aby riziko účinků bylo co nejnižší. Toto opatření však musí být technicky a cenově dostupné a zároveň musí být přínos vyšší jako náklady. Posledním principem jsou limity, míra dávky, kterou nelze překročit. Limity se dělí na limity obyvatelstva, radiční pracovníky, studenty přicházející s ionizujícím zářením při výuce do kontaktu a limity pro zvláštní případy (Kupka, 2015, s. 23).

Tabulka limitů podle skupin:

Efektivní dávka		Ekvivalentní dávka	
		Oční čočka	1cm ² kůže
Limity pro obyvatelstvo	1 mSv/1 rok	15 mSv	50mSv
	5mSv/5let		
Limity pro radiční pracovníky	50mSv/1rok	150mSv	500mSv
	100mSv/5let		

Radiační ochrana pracovníků

Radiační pracovníci jsou povinni nosit na přední straně oděvu dozimetr. Ten se posílá každý měsíc na vyhodnocení. Pomocí dozimetrů se měří dávkový ekvivalent, který je následně přepočten na efektivní dávku. Měří tedy, zda nedošlo u pracovníků k překročení limitů. Pracovníci, u kterých jsou zvýšeně ozářeny ruce, nosí navíc prstový dozimetr (Koranda, 2017, s. 49). Je také žádoucí, aby radiční pracovníci aplikovali základní znalosti radiční ochrany v praxi. Prvním způsobem jak snížit dávku je **ochrana vzdáleností**, jelikož dávka klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření. Pracovník by tak měl od pacienta dodržovat rozumný odstup. Následuje **ochrana časem**, kdy by se měl pracovník u naaplikovaného pacienta

zdržovat jen nezbytně nutnou dobu. Posledním způsobem ochrany je **stínění**. V nukleární medicíně je nejčastěji používáno olovo (Hudziertzová, 2014, s. 289, 290). Olovo je použito na výrobu olověných krytů nasazujících se na stříkačky pro aplikace radiofarmak a radiofarmaka jsou stejně tak přenášeny v olověných kontejnerech (Koranda, 2017, s. 50). Před vnitřní kontaminací se pracovníci chrání použitím ochranných pomůcek (rukavice, respirátor, oděv či brýle) (Kupka, 2015, s. 24).

Radiační ochrana pacientů

Pro zrychlení vylučování radiofarmaka a zároveň také snížení dávky na močový měchýř se pacientům po podání radiofarmak vylučovaných ledvinami doporučuje zvýšená hydratace po výkonu a časté močení. Při podání radiofarmak vylučovaných střevem se podávají projímadla pro zrychlení pasáže. K dalšímu prostředku zajištění radiační ochrany je kontrola aktivity radiofarmaka před samotnou aplikací pacientovi. Stejně tak důležitá je kontrola přístrojové techniky, která zamezuje opakující se vyšetření. Před vyšetřením je potřeba zvážit, zda nelze provést alternativní metody, které nepoužívají ionizující záření (MR, ultrazvuk).

Závěr

Prvním dílčím cílem bylo popsat metodiku a způsob provedení scintigrafie. Jak při statické tak i při dynamické scintigrafii je potřebná zvýšená hydratace pacienta, těsně před vyšetřením se pacient vymočí. Standardně je používána dvouhlavá kamera s nízkoenergetickými kolimátory. Rozdíl mezi statickou a dynamickou scintografií spočívá v podání radiofarmaka. Při statické studii je pacientovi intravenózně aplikováno radiofarmakum. Začátek studie však začíná až po 2–4 hodinách od aplikace. Při studii dynamické je již pacient položen na lůžku kamery a snímání začíná zároveň s aplikací radiofarmaka. Vyšetření probíhá standardně vleže a ledviny jsou snímány v zadní a v zadních šikmých projekcích, v případě ektopické ledviny nebo ledviny po transplantaci se snímání provádí v projekci přední. Někdy je také potřeba korekce při uložení ledviny ve větší hloubce. Výstupem statické scintigrafie jsou statické skeny rozložení radiofarmaka v ledvině. Posuzuje se, zda je rozložení homogenní, nebo zda došlo k výraznějšímu defektu. K defektům dochází při poruše funkce nebo prokrvení ledviny. Bohužel vyšetření není specifické, proto nelze určit, zda se jedná o zánětlivé změny, jizvy po pyelonefritidě nebo jiné patologické jevy. Co se týče dynamické scintigrafie výstupem jsou nefrografické křivky. Ty znázorňují přítok, koncentraci radiofarmaka v parenchymu a jeho odtok kalichopánvičkových systémem. Dle (fázi) těchto křivek lze rozeznat, zda je např. poškozena funkce ledviny nebo je zpomalen odtok radiofarmaka a může se jednat o obstrukci močových cest. Při nakreslení oblastí zájmu lze pomocí výpočetních programů vypočítat počet impulzů a změřit tak relativní funkci obou ledvin zvlášť. Dílčí cíl byl splněn.

Druhým dílčím cílem bylo objasnit přínos scintigrafického vyšetření. Pomocí statické scintigrafie lze na základě homogenity akumulace radiofarmaka určit, zda ledvina jeví známky patologického jevu. Nejčastěji se jedná o zánět – akutní pyelonefritidu nebo zjizvení po její atace. Scintigrafická metoda se často doplňuje s ultrazvukem, který podává anatomické informace. Dynamická scintigrafie nabývá významu při diagnostice renovaskulární hypertenze, kdy se navíc podává ACE inhibitor. Taktéž je používána při sledování ledviny po transplantaci. V poslední řadě se pomocí dynamické studii hodnotí obstrukce či prostá dilatace močového měchýře. Důležité je použití diuretika – furosemidu. Když ani po použití furosemidu nedojde k poklesu

křivky, jedná se o obstrukci. Jedná se o poměrně citivé metody a v určitých případech i metody první volby. Dílčí cíl byl splněn.

Posledním cílem bylo představit používaná radiofarmaka a taktéž jejich vlastnosti. Pro statickou scintigrafii se standardně používá $^{99m}\text{Tc-DMSA}$. Naopak pro dynamickou jsou běžně používány $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ a $^{99m}\text{Tc-MAG3}$. $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ je činidlo s tubulární sekrecí, jeho glomerulární filtrace je proto zanedbatelná. Je rychle vylučováno z těla a poskytuje vysokou kvalitu vyšetření. Je používán výhradně pro diagnostiku obstrukce. Naopak $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ je činidlo s filtrací glomerulární, lze ho tedy použít pro měření rychlosti glomerulární filtrace. Aktivita radiofarmak se počítá pomocí kalkulačky dávkové karty. Referenční úrovně jsou stanoveny na pacineta o hmotnosti 70 kg, při vyšších hmotnostech se aktivita přepočítává. Při statické i dynamické studii se aplikuje dávka od 100 do 250 MBq, přičemž efektivní dávka odpovídá 1 mSv/100 MBq. Dílčí cíl byl splněn.

Referenční seznam

BAKER, Richard J., Patrick B. MARK, Rajan K. PATEL, Kate K. STEVENS a Nicholas PALMER. Renal association clinical practice guideline in post-operative care in the kidney transplant recipient. BMC Nephrology [online]. 2017, 18(1) [cit. 2021-12-10]. ISSN 1471-2369. Dostupné z: doi:10.1186/s12882-017-0553-2

BENJAMENS, S., S.P. BERGER, A.W.J.M. GLAUDEMANS, J.S.F. SANDERS, R.A. POL a R.H.J.A. SLART. Renal scintigraphy for post-transplant monitoring after kidney transplantation. Transplantation Reviews [online]. 2018, 32(2), 102-109 [cit. 2021-10-25]. ISSN 0955470X. Dostupné z: doi:10.1016/j.trre.2017.12.002

BHATTACHARYYA, Sibaprasad a Manish DIXIT. Metallic radionuclides in the development of diagnostic and therapeutic radiopharmaceuticals. Dalton Transactions [online]. 2011, 40(23) [cit. 2021-12-30]. ISSN 1477-9226. Dostupné z: doi:10.1039/c1dt10379b

BLAUFOX, M. Donald, Diego DE PALMA, Andrew TAYLOR, et al. The SNMMI and EANM practice guideline for renal scintigraphy in adults. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging [online]. 2018, 45(12), 2218-2228 [cit. 2021-10-13]. ISSN 1619-7070. Dostupné z: doi:10.1007/s00259-018-4129-6

BOSÁKOVÁ, Alice, Michal HLADÍK, Radim KOČVARA a Zdeněk DOLEŽEL. Diagnostika akutní pyelonefritidy u dětí a význam zobrazovacích metod. Nuclear Medicine / Nukleární Medicína [online]. 2019, 8(2), 22-28 [cit. 2021-10-18]. ISSN 18051146. Dostupné z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=137214772&authtype=shib&lang=cs&site=eds-live&scope=site&authtype=shib&custid=s7108593>

DHULL, Rachita Singh, Aparna JOSHI a Abhijeet SAHA. Nuclear Imaging in Pediatric Kidney Diseases. Indian Pediatrics [online]. 2018, 55(7), 591-597 [cit. 2021-10-18]. ISSN 0019-6061. Dostupné z: doi:10.1007/s13312-018-1303-7

FARKASH, Evelina, Adi Y. WEINTRAUB, Ruslan SERGIENKO, Arnon WIZNITZER, Alex ZLOTNIK a Eyal SHEINER. Acute antepartum pyelonephritis in pregnancy: a critical analysis of

risk factors and outcomes. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology* [online]. 2012, 162(1), 24-27 [cit. 2021-12-08]. ISSN 03012115. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejogrb.2012.01.024

HERRMANN, Sandra M. a Stephen C. TEXTOR. Renovascular Hypertension. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America* [online]. 2019, 48(4), 765-778 [cit. 2021-12-04]. ISSN 08898529. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecl.2019.08.007

HUDZIETZOVÁ, Jana. VZDĚLÁVÁNÍ PRACOVNÍKŮ NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY V OBLASTI RADIAČNÍ OCHRANY A KRIZOVÝCH SITUACÍ. *Fakulta biomedicínského inženýrství*. 2014, -(), 285-292.

CHROUSTOVÁ, Daniela. Současné postavení dynamické scintigrafie ledvin s aplikací diuretika v dětském věku. *Čes.-slov. pediatrie*. 2010, 65(12), 682-693.

KAURA, Kawaljit Singh, Manoj KUMAR, Ashok Kr SOKHAL, Ashok Kr GUPTA, Bimalesh PURKAIT, Durgesh SAINI a Satyanarayan SANKHWAR. Giant hydronephrosis: still a reality!. *Türk Üroloji Dergisi/Turkish Journal of Urology* [online]. 2017, 43(3), 337-344 [cit. 2021-12-18]. ISSN 21493235. Dostupné z: doi:10.5152/tud.2017.78379

KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2017. ISBN 978-80-244-4031-6.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-54-8.

LAMBERT, Lukáš a Andrea BURGETOVÁ. *Uroradiologie*. Praha: Maxdorf, [2020]. Jessenius. ISBN 978-80-7345-671-9.

MOMIN, M.A., M.N.A. ABDULLAH a M.S. REZA. Comparison of relative renal functions calculated with 99m Tc-DTPA and 99m Tc-DMSA for kidney patients of wide age ranges. *Physica Medica* [online]. 2018, 45(45), 99-105 [cit. 2021-10-18]. ISSN 11201797. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejmp.2017.12.005

MORELLO, William, Claudio LA SCOLA, Irene ALBERICI a Giovanni MONTINI. Acute pyelonephritis in children. *Pediatric Nephrology* [online]. 2016, 31(8), 1253-1265 [cit. 2021-12-08]. ISSN 0931-041X. Dostupné z: doi:10.1007/s00467-015-3168-5

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

NOVÁKOVÁ, Drahoslava. Scintigrafie ledvinového graftu. Florence. 2012, 6, 25-27.

PASSEROTTI, Carlo C., Leslie A. KALISH, Jeannie CHOW, et al. The predictive value of the first postnatal ultrasound in children with antenatal hydronephrosis. *Journal of Pediatric Urology* [online]. 2011, 7(2), 128-136 [cit. 2021-12-18]. ISSN 14775131. Dostupné z: doi:10.1016/j.jpuro.2010.09.007

PASSONI, Niccolo Maria a Craig Andrew PETERS. Managing Ureteropelvic Junction Obstruction in the Young Infant. *Frontiers in Pediatrics* [online]. 2020, 8 [cit. 2021-12-18]. ISSN 2296-2360. Dostupné z: doi:10.3389/fped.2020.00242

ROHAN, T. a M. POLÁČKOVÁ. Zobrazovací metody v těhotenství - indikace a kontraindikace a použití kontrastních látek. *General Practitioner / Prakticky Lekar* [online]. 2018, 98(4), 166-169 [cit. 2022-01-11]. ISSN 00326739. Dostupné z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=133036417&lang=cs&site=ehost-live>

SEEMAN, T., K. BLÁHOVÁ, E. BÉBROVÁ, M. KYNČL a J. JANDA. Doporučení Pracovní skupiny dětské nefrologie České pediatrické společnosti pro diagnostiku a léčbu infekcí močových cest u dětí a dorostu. *Czecho-Slovak Pediatrics / Cesko-Slovenska Pediatrie* [online]. 2017, 72(2), 76-87 [cit. 2021-11-04]. ISSN 00692328. Dostupné z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=123022764&authtype=shib&lang=cs&site=eds-live&scope=site&authtype=shib&custid=s7108593>

SFAKIANAKI, Efrosyni, George N. SFAKIANAKIS, Mike GEORGIU a Bernard HSIAO. Renal Scintigraphy in the Acute Care Setting. *Seminars in Nuclear Medicine* [online]. 2013,

43(2), 114-128 [cit. 2021-10-18]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2013.01.001

SHIN, Eonwoo, Changhwan SUNG, Hye Joo SON, Dong Yun LEE, Sun Young CHAE a Dae Hyuk MOON. Value of the Filtration Fraction Assessed by Dynamic ^{99m}Tc-Diethylenetriaminepentaacetic Acid Renal Scintigraphy After Angiotensin-Converting Enzyme Inhibition for the Diagnosis of Renovascular Hypertension. *Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. 2019, 53(4), 270-277 [cit. 2021-12-06]. ISSN 1869-3474. Dostupné z: doi:10.1007/s13139-019-00595-w

SOLOMON, Caren G., James R. JOHNSON a Thomas A. RUSSO. Acute Pyelonephritis in Adults. *New England Journal of Medicine* [online]. 2018, 378(1), 48-59 [cit. 2021-12-07]. ISSN 0028-4793. Dostupné z: doi:10.1056/NEJMcp1702758

TÁBORSKÁ, Kateřina. Současné trendy v provedení statické scintigrafie ledvin u dětí s akutní pyelonefritidou. *Česká radiologie*. 2013, 67(4), 291-295. ISSN 1210-7883. Dostupné také z: <http://www.cesradiol.cz/vydanacisla.php>

TEXTOR, Stephen C. Renal Arterial Disease and Hypertension. *Medical Clinics of North America* [online]. 2017, 101(1), 65-79 [cit. 2021-12-04]. ISSN 00257125. Dostupné z: doi:10.1016/j.mcna.2016.08.010

THEERAKULPISUT, Daris, Bandit THINKHAMROP a Sirirat ANUTRAKULCHAI. Comparison between Tc-99 m DTPA and Tc-99 m MAG3 Renal Scintigraphy for Prediction of Early Adverse Outcome After Kidney Transplantation. *Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. 2021, 55(6), 302-310 [cit. 2021-12-14]. ISSN 1869-3474. Dostupné z: doi:10.1007/s13139-021-00716-4

TRACHTA, Jan, Marcela PÝCHOVÁ, Luboš ZEMAN a Jan KŘÍŽ. Přínos dynamické scintigrafie v pooperačním sledování pacientů po pyeloplastice pro jednostrannou obstrukci pyeloureterálního přechodu. *Ces urol*. 2017, 21(3), 217-224.

UL HASSAN, Masood, Mohd ASHRAF, ShoukatH KHAN, Saleem NAJAR a Feroz SHAHEEN. 99m Tc diethylenetriaminepentacetic acid angiotension-coverting enzyme inhibitor renography as screening test for renovascular hypertension in unilateral small kidney: A prospective study. World Journal of Nuclear Medicine [online]. 2014, 13(3), 159-162 [cit. 2021-12-06]. ISSN 1450-1147. Dostupné z: doi:10.4103/1450-1147.144815

VERMEULEN, Koen, Mathilde VANDAMME, Guy BORMANS a Frederik CLEEREN. Design and Challenges of Radiopharmaceuticals. Seminars in Nuclear Medicine [online]. 2019, 49(5), 339-356 [cit. 2021-12-30]. ISSN 00012998. Dostupné z: doi:10.1053/j.semnuclmed.2019.07.001

YAMAÇAKE, Kleiton G. R. a Hiep T. NGUYEN. Current management of antenatal hydronephrosis. Pediatric Nephrology [online]. 2013, 28(2), 237-243 [cit. 2021-12-18]. ISSN 0931-041X. Dostupné z: doi:10.1007/s00467-012-2240-7

MITITELU, Raduca a Ovidiu BRATU. Radionuclide Imaging. An Update on the Use of Dynamic Renal Scintigraphy. Modern medicine. 2017, 24(4), 199-203.

Přílohy

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Scintilační kamera.

Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

Obrázek č. 2 Nefrografické křivky v závislosti na odtoku radiofarmaka z ledviny.

Dostupné z: <http://vyuka.i-consult.cz/gastroenterologie-nefrourologie/ghtml.php?id=23>

Obrázek č. 3 Fáze nefrografické křivky.

Dostupné z: <http://vyuka.i-consult.cz/gastroenterologie-nefrourologie/ghtml.php?id=23>

Obrázek č. 4 Nefrografické křivky při různých stupních poškození ledviny.

Dostupné z: <http://vyuka.i-consult.cz/gastroenterologie-nefrourologie/ghtml.php?id=23>

Obrázek č. 5 Zobrazení ledvin pomocí ^{99m}Tc -DMSA.

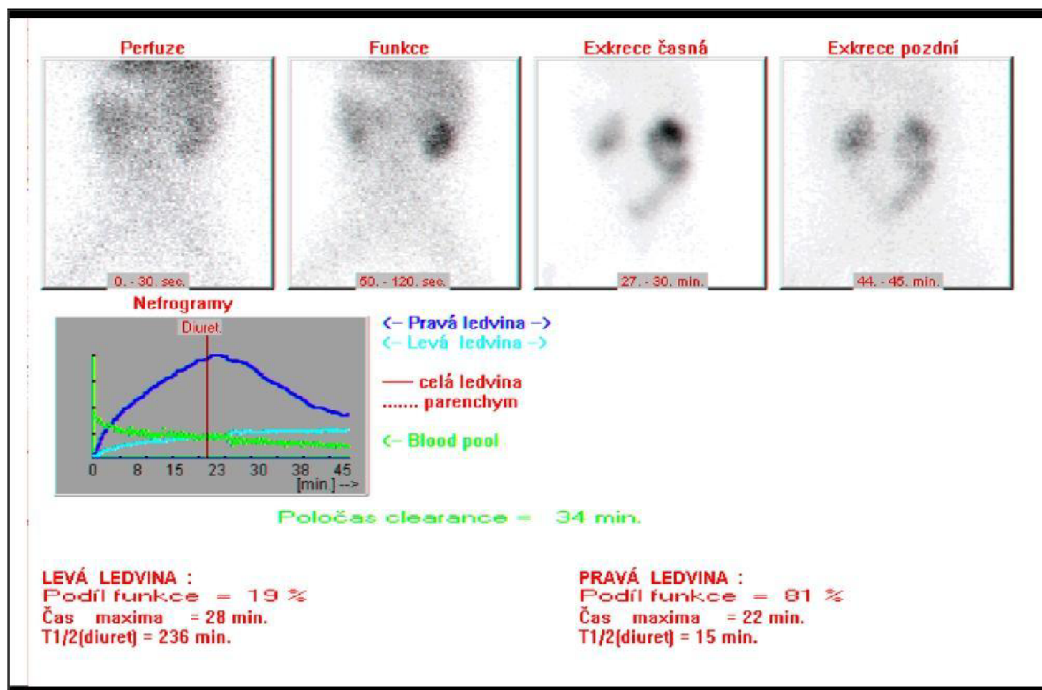
Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1304_291_295.pdf

Obrázek č. 6 Určení funkce ledviny pomocí křivky.

Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Uses-and-limitations-of-renal-scintigraphy-in-renal-Heaf-Iversen/d6b862fc8c9a42bff81e7c09679c9edb35646bea>

Obrazové přílohy

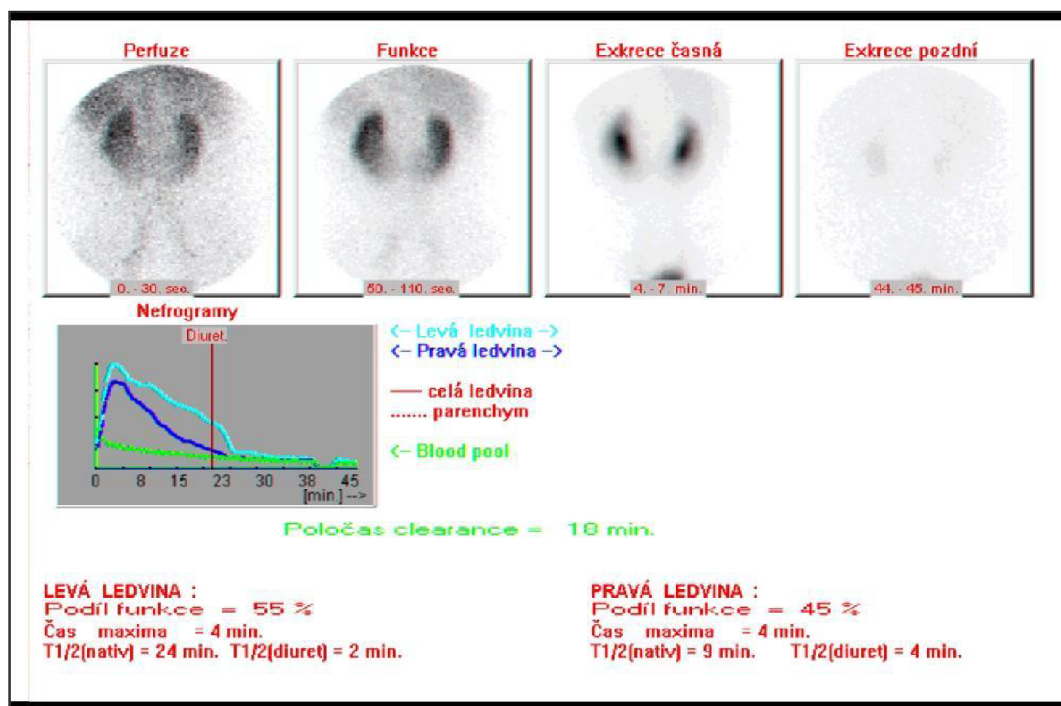
Příloha č.1



Obrazová příloha 1: Dynamická scintigrafie s podáním furosemidu –patologický nález

(Zdroj: Archív FNOL)

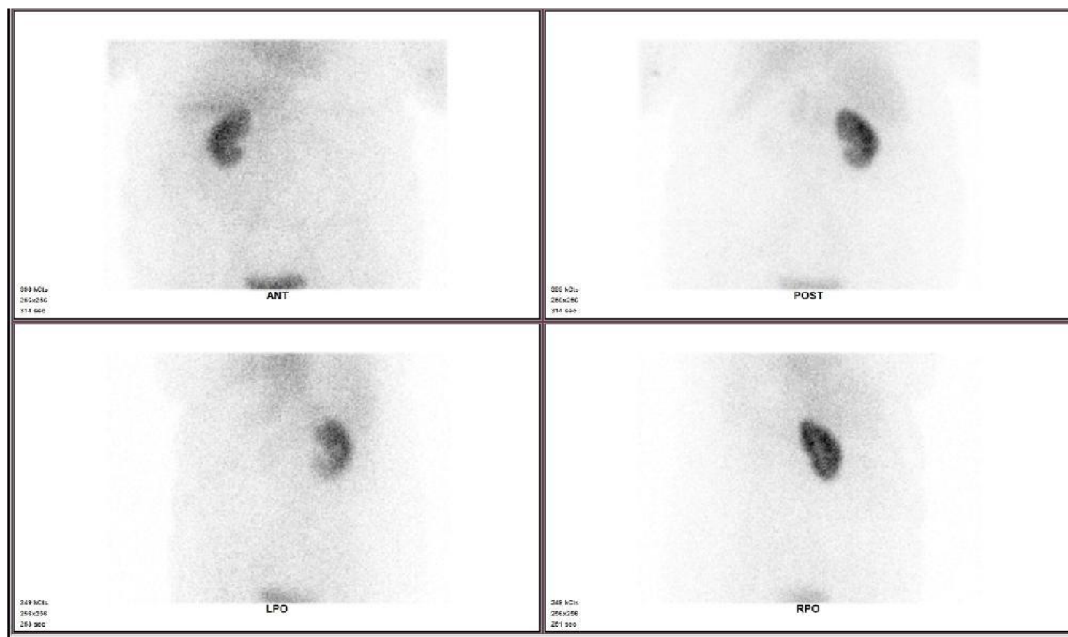
Příloha č. 2



Obrazová příloha 2: Dynamická scintigrafie s podáním furosemidu –fyziologický nález

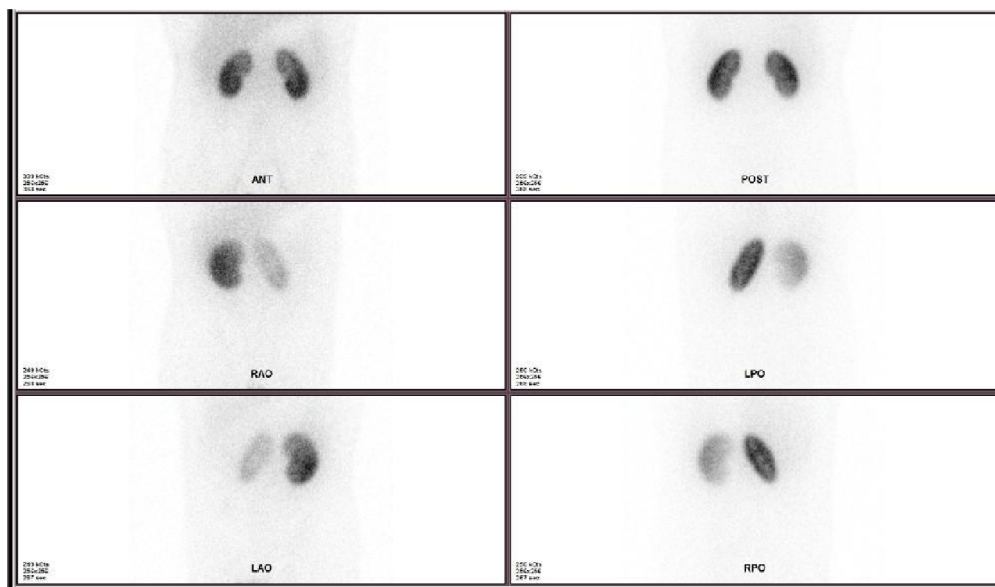
(Zdroj: Archiv FNOL)

Příloha č. 3



Obrazová příloha 3: Statická scintigrafie – patologický nález (Zdroj: Archiv FNOL)

Příloha č. 4



Obrazová příloha 4: Statická scintigrafie –fyziologický nález (Zdroj: archiv FNOL)

Seznam zkratek

AMK – aminokyseliny

L, ml – litr, mililitr

Kg, mg – kilogram, miligram

KeV – kilovolt

PET – pozitronová emisní tomografie

SPECT – jednofotonová emisní výpočetní tomografie

MBq – Megabecquerel

mSv – millisievert

mm – milimetr

VCUG – cystourethrografie

RTG – rentgen

RNC – radionuklidový cystogram

CT – počítačová tomografie

Tzv. – takzvaně

MRI/MR – magnetická rezonance

ACEI – Inhibitory angiotensin-konvertázy

GFR – Glomerulární filtrace

AR – akutní rejekce

ATN – akutní tubulární nekroza

ROI – oblast zájmu