

Univerzita Pardubice

Fakulta zdravotnických studií

Úloha radiologického asistenta při vyšetření ledvin
metodami nukleární medicíny

Vítězslav Indra

Bakalářská práce

2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vítězslav Indra**
Osobní číslo: **Z10251**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **Úloha radiologického asistenta při vyšetření ledvin metodami nukleární medicíny**
Zadávající katedra: **Katedra informatiky, managementu a radiologie**

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

1. Sběr informací a studium literatury.
2. Stanovení cílů a metod práce.
3. Konzultace s vedoucím práce.
4. Vypracování teoretické části.
5. Vypracování praktické části.
6. Závěrečná diskuze, zhodnocení výsledků práce.

Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**

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

Seznam odborné literatury:

1. VIŽĎA, Jaroslav. Atlas scintigrafie ledvin. 1. vyd. Praha: Agentura Pankrác, 2002, 72 s. ISBN 80-902-8736-0.
2. MYSLIVEČEK, Miroslav. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. ISBN 978-802-4417-233.
3. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. Praha: Grada, 2007, 771 s. ISBN 978-809-0358-492.
4. ČIHÁK, Radomír. Anatomie 2. 2. vyd. Praha: Grada, 2002, 488 s. ISBN 80-247-0143-X.
5. TROJAN, Stanislav. Lékařská fyziologie. 4. přepr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2003, 470 s. ISBN 80-247-0512-5.
6. Věstník MZ ČR. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2011, roč. 2011, částka 9. Národní radiologické standardy.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kulíř


Fakulta zdravotnických studií

Datum zadání bakalářské práce:


1. října 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

9. května 2013


prof. MUDr. Arnošt Pellant, DrSc.
děkan

L.S.


Ing. Jana Holá, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 6. března 2013

Prohlašuji:

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

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 15. 1. 2013

Vítězslav Indra

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Jiřímu Kulířovi, vedoucímu fyzikálně-elektronického úseku Oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice Hradec Králové za odborné vedení mé bakalářské práce.

Vítězslav Indra

ANOTACE

Práce se věnuje činnostem radiologického asistenta při scintigrafických vyšetřeních ledvin. Popisuje i principy současné přístrojové techniky a také moderní radiofarmaka. Zaměřuje se také na vzdělávání radiologických asistentů a právní předpisy související s jejich činností.

KLÍČOVÁ SLOVA

radiologický asistent, scintigrafie, ledviny, nukleární medicína

TITLE

The role of the radiology assistant in the examination of the kidneys using nuclear medicine methods

ANNOTATION

The work focuses on the activities of the radiology assistant in the scintigraphic examination of the kidneys. It also describes the principles of current instrumentation and modern radiopharmaceuticals. It also focuses on education of radiology assistants and legislative basis for their work.

KEYWORDS

radiology assistant, scintigraphy, kindeys, nuclear medicine

Obsah

0 Úvod.....	11
1 Cíl.....	12
2 Teoretická část	13
2.1 Radiologický asistent	13
2.2 Anatomie, fyziologie a patologie ledvin	14
2.2.1 Orgány močového ústrojí, tvorba moči	14
2.2.2 Funkce ledvin	15
2.2.3 Velikost, tvar a uložení ledvin.....	16
2.2.4 Variety a patologie polohy, tvaru a vývoje ledvin	17
2.3 Radionuklidy užívané při scintigrafii ledvin.....	19
2.3.1 Typy ionizujícího záření	19
2.3.2 Beta ⁻ záření, beta ⁻ rozpad.....	19
2.3.3 Gama záření, izomerní přechod.....	19
2.3.4 Interakce gama záření s prostředím	20
2.3.5 Výroba Tc pro scintigrafii	20
2.3.6 Příprava radiofarmak	21
2.4 Přístroje pro scintigrafii.....	22
2.4.1 Scintilační detektor	22
2.4.2 Gama kamera.....	23
2.4.3 SPECT	25
2.4.4 SPECT/CT	26
2.5 Radiofarmaka využívaná ke scintigrafii ledvin.....	27
2.5.1 Význam scintigrafie ledvin.....	27
2.5.2 Historie scintigrafie ledvin a radiofarmak	27
2.5.3 Požadavky na radiofarmaka	28
2.5.4 ^{99m} Tc-MAG3	29
2.5.5 ^{99m} Tc-DTPA	30
2.5.6 ^{99m} Tc-DMSA	30
2.5.7 ¹²³ I-OIH	31
2.5.8 ^{99m} Tc-GHA	31
2.5.9 ^{99m} Tc-EC.....	31
2.5.10 Volba aktivity podaného radiofarmaka	32
2.5.11 Těhotenství a kojení	32
2.6 Radiační ochrana v nukleární medicíně	33
2.6.1 Principy radiační ochrany v medicíně	33
2.6.2 Veličiny radiační ochrany.....	35

2.6.3 Ochrana před ionizující zářením	37
2.7 Farmaka používaná při scintigrafii ledvin.....	38
2.7.1 Furosemid	38
2.7.2 Captopril	38
2.8 Scintigrafická vyšetření ledvin.....	39
2.8.1 Dynamická scintigrafie ledvin.....	39
2.8.2 Statická scintigrafie ledvin	42
3 Praktická část	45
3.1 Společná část vyšetření	45
3.2 Činnost radiologického asistenta při vyšetření ledvin dynamickou scintigrafií	52
3.3 Činnost radiologického asistenta při vyšetření ledvin statickou scintigrafií.....	56
4 Diskuse.....	59
5 Závěr	60
6 Použitá literatura	61
7 Přílohy.....	62
Příloha A – Ukázky výsledků vyšetření dynamickou scintigrafií ledvin.....	62
Příloha B - Ukázky výsledků vyšetření statickou scintigrafií ledvin	64

Seznam ilustrací a tabulek

Obr. 1 Orgány močového ústrojí (Čihák, 2002, s. 247).....	14
Obr. 2 Cévní zásobení ledvin (Čihák, 2002, s. 248).....	16
Obr. 3 Ren arcuatus, ren duplex, ren sigmoideus, ren fungiformis (Čihák, 2002, s. 271)	18
Obr. 4 Schéma ⁹⁹ Mo- ^{99m} Tc generátoru (Myslivoček, 2007, s. 23).....	21
Obr. 5 Schéma scintilačního detektoru (Myslivoček, 2007, s. 30).....	22
Obr. 6 Schéma gamakamery (Myslivoček, 2007, s. 33).....	23
Obr. 7 Kolimátor s paralelními otvory (Myslivoček, 2007, s. 36).....	23
Obr. 8 Pinhole kolimátor (Myslivoček, 2007, s. 36).....	24
Obr. 9 Princip SPECT - snímání pod různými úhly (Myslivoček, 2007, s. 42)	25
Obr. 10 Chemický vzorec MAG3 (Vižďa, 2002, s. 7)	29
Obr. 11 Chemický vzorec DTPA (Vižďa, 2002, s. 7)	30
Obr. 12 Chemický vzorec DMSA (Vižďa, 2002, s. 7)	30
Obr. 13 Chemický vzorec OIH (Vižďa, 2002, s. 6).....	31
Obr. 14 Chemický vzorec MAG3 (Vižďa, 2002, s. 7)	31
Obr. 15 Princip ochrany vzdáleností (Myslivoček, 2007, s. 63).....	37
Obr. 16 Kolimátory ve vozíku (autor, 2013)	46
Obr. 17 Dvuhlavá gamakamera připravená k vyšetření pacienta (autor, 2013)	47
Obr. 18 Koš na radioaktivní odpad (autor, 2013).....	47
Obr. 19 Radiologická asistentka připravuje radiofarmakum v digestoři (autor, 2013)	48
Obr. 20 Pohled do digestoře - vlevo studnový detektor, vpravo lahvička s radiofarmakem (autor, 2013).....	48
Obr. 21 Displej měřiče aktivity radiofarmaka (autor, 2013)	49
Obr. 22 Kryt na stříkačku s radiofarmakem (autor, 2013).....	49
Obr. 23 Nádoba na přenášení stříkaček s radiofarmakem (autor, 2013)	50
Obr. 24 Táč s pomůckami pro i.v. aplikaci ^{99m} Tc-DMSA (autor, 2013).....	51
Obr. 25 Lůžko s jednohlavou gamakamerou, vzadu ve stojanu kolimátor pinhole (autor, 2013).....	52
Obr. 26 Poloha pacienta nad detektorem gamakamery (autor, 2013)	54
Obr. 27 Dvuhlavá gamakamera, vzadu okénko do ovladovny (autor, 2013)	57
Obr. 28 Ovladač lůžka dvuhlavé gamakamery (autor, 2013)	57
Obr. 29 Dynamická scintigrafie ledvin s ^{99m} Tc-MAG3 - normální nález (Doležal, 2012, s. 10).....	62
Obr. 30 Dynamická scintigrafie ledvin s ^{99m} Tc-MAG3 - Hypotonická pánvička pravé ledviny s rychlou reakcí na diuretikum (Doležal, 2012, s. 14).....	62
Obr. 31 Dynamická scintigrafie ledvin s ^{99m} Tc-MAG3 - Hydronefróza pravé ledviny se stagnací moče v pánvičce bez reakce na diuretikum (Doležal, 2012, s. 17).....	63
Obr. 32 Dynamická scintigrafie ledvin s ^{99m} Tc-MAG3 - Hypofunkce levé ledviny (Doležal, 2012, s. 16).....	63
Obr. 33 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m} Tc-DMSA – normální nález, přední projekce (Doležal, 2012, s. 27).....	64
Obr. 34 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m} Tc-DMSA – ren arcuatus, obě projekce (Doležal, 2012, s. 29).....	64
Obr. 35 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m} Tc-DMSA – dystopie levé ledviny, přední projekce (Doležal, 2012, s. 33).....	65
Obr. 36 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m} Tc-DMSA – solitární pravá ledvina, přední projekce (Doležal, 2012, s. 39).....	65
Obr. 37 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m} Tc-DMSA – pyelonefritida levé ledviny, zadní projekce (Doležal, 2012, s. 40).....	66

Obr. 38 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m}Tc -DMSA – cysta levé ledviny, zadní projekce (Doležal, 2012, s. 35).....	66
Tab. 1 Seznam radiofarmak použitelných k vyšetření ledvin.....	27
Tab. 2 Radiační zátěž při vyšetření dynamickou scintigrafií ledvin s ^{99m}Tc -MAG3 (Věstník MZČR, 2011, s. 154)	42
Tab. 3 Radiační zátěž při vyšetření dynamickou scintigrafií ledvin s ^{99m}Tc -DTPA (Věstník MZČR, 2011, s. 154)	42
Tab. 4 Radiační zátěž při vyšetření dynamickou scintigrafií ledvin s ^{99m}Tc -DMSA (Věstník MZČR, 2011, s. 151)	44

0 Úvod

Přes mohutný rozvoj diagnostických metod neuvádějících ionizující záření - zejména magnetické rezonance a ultrazvuku - zůstávají scintigrafické vyšetřovací metody ledvin mezi metodami volby při diagnostice onemocnění ledvin.

Jedná se hlavně o vyšetřování funkčních parametrů ledvin a diferenciální diagnostiku pyelonefritidy a jejich, kde jsou scintigrafická vyšetření špatně (pokud vůbec) nahraditelná.

Svoji roli sehrává i vývoj metody SPECT a hybridních přístrojů SPECT/CT, které rozšiřují dosavadní možnosti gamakamer.

Ve své práci se zabývám nejen popisem těchto metod, přístrojů a jejich technického a radiofarmakologického zázemí, ale hlavně těmi, kteří je v praxi provádějí – radiologickými asistenty, jejichž činnost má vliv na kvalitu informací, které vyšetření poskytne lékaři-radiologovi.

Bohužel většina odborné literatury je směřována spíše na lékaře nebo studenty lékařských fakult, literatury o práci radiologických asistentů je nedostatek. Proto bude cílem mé práce tuto mezeru alespoň částečně zaplnit.

1 Cíl

Cíli práce je popsat činnosti radiologického asistenta při nejpoužívanějších typech scintigrafických vyšetření ledvin. A to:

- 1) Činnosti při dynamické scintigrafii ledvin.
- 2) Činnosti při statické scintigrafii ledvin.

2 Teoretická část

2.1 Radiologický asistent

Radiologický asistent je nelékařský zdravotnický pracovník.

Podle zákona č. 96/2004 Sb. o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činností souvisejících s poskytováním zdravotní péče § 8 odst. 1a je možné v současné době získat odbornou způsobilost k výkonu povolání radiologického asistenta absolvováním akreditovaného zdravotnického bakalářského studijního oboru pro přípravu radiologických asistentů.

Jelikož se legislativa v průběhu let měnila, vykonávají dnes praxi v oboru též absolventi vyšších zdravotnických škol, konkrétně oboru diplomovaný radiologický asistent a absolventi střední zdravotnické školy v oboru radiologický laborant (§ 8 odst. 1b,c).

Zákon současně definuje výkon povolání radiologického asistenta:

„Za výkon povolání radiologického asistenta se považuje zejména provádění radiologických zobrazovacích i kvantitativních postupů, léčebné aplikace ionizujícího záření a specifické ošetrovatelské péče poskytované v souvislosti s radiologickými výkony. Radiologický asistent provádí činnosti související s radiační ochranou podle zvláštního právního předpisu 8) a ve spolupráci s lékařem se podílí na diagnostické a léčebné péči. Činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany může radiologický asistent vykonávat, pokud splňuje požadavky stanovené zvláštním právním předpisem 8).“ (Zákon č. 96/2004 § 8 odst. 3)

Činnost radiologického asistenta dále upravuje vyhláška č. 55/2011 Sb. o činnosti zdravotnických pracovníků (konkrétně § 7). Radiologický asistent působící na pracovišti nukleární medicíny může podle vyhlášky:

Bez odborného dohledu a na základě požadavku indikujícího lékaře (odst. 3, bod d):

- *„provádět nukleárně medicínské zobrazovací i nezobrazovací postupy“*

Bez odborného dohledu a bez indikace (odst. 1, body b, d, e):

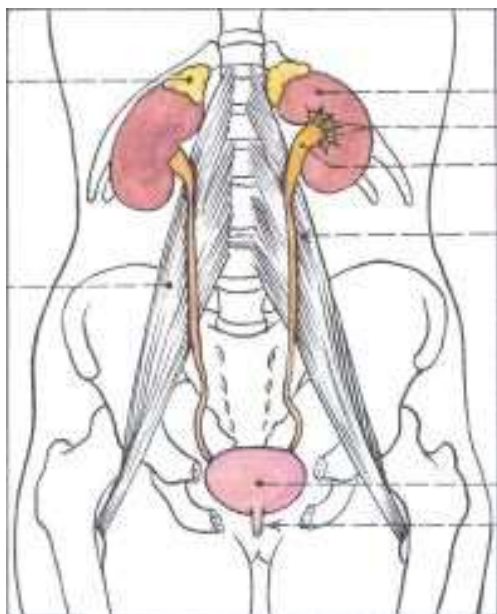
- *„zajišťovat, aby lékařské ozáření nebylo v rozporu se zásadami radiační ochrany, a v rozsahu své odborné způsobilosti vykonávat činnosti při zajišťování optimalizace radiační ochrany, včetně zabezpečování jakosti,“*
- *„provádět specifickou ošetrovatelskou péči poskytovanou v souvislosti s radiologickými výkony,“*
- *„přejímat, kontrolovat a ukládat léčivé přípravky, manipulovat s nimi a zajišťovat jejich dostatečnou zásobu“*

Další normou důležitou pro činnost radiologického asistenta je nařízení vlády č. 31/2010 Sb. o oborech specializačního vzdělávání

2.2 Anatomie, fyziologie a patologie ledvin

2.2.1 Orgány močového ústrojí, tvorba moči

Močové ústrojí se skládá z ledvin, močovodů, močové měchýře a močové trubice.



Obr. 1 Orgány močového ústrojí (Čihák, 2002, s. 247)

Ledvinami prochází asi 20% minutového srdečního výdeje krve. Průtok krve je poměrně stabilní – ledviny si ho dokáží sami řídit ovlivněním průsvitu přírodních tepen a kromě toho mají produkcí svých hormonů vliv na celkový krevní tlak.

Základní stavební a funkční jednotkou ledvin je nefron. Skládá se z Bowmanova váčku, ve kterém se se nachází klubičko vlásečnic (glomerulus, dohromady tvoří tzv. Malpighiho tělísko) a systému odvodných kanálků. Ten tvoří proximální tubulus, Henleova klička, distální tubulus, sběrací kanálky a ústí do ledvinné pánvičky.

Krev se v ledvinných glomerulech filtruje přes fenestrovanou stěnu glomerulární cévy a dává tak vznik primární moči. Tento mechanismus se nazývá glomerulární filtrace. Primární moč se tvoří v objemu asi 180-200 litrů za den. Primární moč protéká výše zmíněnými kanálky, kde se mění její složení. Většina primitivní moči (hlavně voda) se opět vstřebává zpět. Na přeměně primární moči na moč definitivní participují dva mechanismy - tubulární sekrece a tubulární reabsorpce. Tubulární sekrecí se tělo zbavuje látek, které nepotřebuje, ale nedokáže je do moči dostat pouhou filtrací. Naproti tomu tubulární reabsorpcí zpětně vychytává látky (např. glukózu), které se do primitivní moči filtrují, ale není vhodné je zbytečně ztrácet. Tyto tři mechanismy se uplatňují i ve farmakokinetice radiofarmak pro scintigrafii ledvin. Výsledkem složitého mechanismu koncentračních gradientů v průběhu

kanálků (nazývaného protiproudový multiplikační systém) se přeměňuje primární moč, izotonická s krevní plazmou, v hypertonickou moč definitivní. Definitivní moči se tvoří asi 1,5 litru za den – její množství a koncentrace záleží na objemu přijímaných tekutin, jiných způsobech výdeje tekutin (pocení, průjmy), hormonálním působení hypothalamo-hypofyzárního systému na ledviny (přes antidiuretický hormon, ADH) a dalších faktorech. Definitivní moč se sbírá z ledviny do močovodu (lat. ureter). Postupnými svalovými stahy močovodu je moč aktivně transportována do močového měchýře. Při průchodu močovodem tvoří moč tzv. močové vřeténko. Močový měchýř (lat. vesica urinaria) je dutý svalový orgán, uložený v malé pánvi za symfýzou a slouží jako rezervoár moči. Jeho kapacita je asi 500-700 ml, nucení na močení se dostavuje asi při náplni nad 250 ml. Moč odchází z těla močovou trubicí (lat. uretra) po uvolnění svěračů močové trubice, z nichž některé jsou z příčně pruhované svaloviny a tudíž (do jisté míry) vůlí ovladatelné.

2.2.2 Funkce ledvin

Ledviny vykonávají tyto 4 hlavní funkce:

Vylučování

Ledviny zbavují tělo nepotřebných látek. Mohou to být jak látky odpadní (zplodiny metabolismu) jako např. močovina (ledviny vyloučí 26 g močoviny/den), tak látky toxické – přes ledviny se vylučují některá léčiva (penicilinová antibiotika a také radiofarmaka pro scintigrafii ledvin).

Udržování homeostázy

Ledviny se významným způsobem zasluhují o stálost vnitřního prostředí. Děje se tak jednak regulací minerálového hospodářství, a také se podílejí na udržování hodnoty pH.

Endokrinní funkce, udržování krevního tlaku

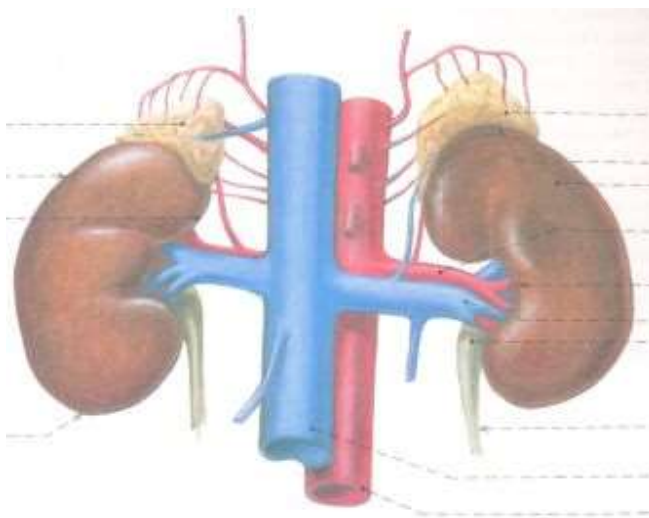
Ledviny produkují hormon erythropoetin, který stimuluje kostní dřeň k produkci krevních elementů červené řady. Stimulem k tvorbě erythropoetinu je anémie nebo hypoxémie.

Dalším hormonem produkovaným v ledvinách je renin. Je tvořen juxtaglomerulárními buňkami aferentních renálních arteriol. Renin odštěpuje angiotenzin I z angiotenzinogenu. Angiotenzin I je pak angiotenzin-konvertujícím enzymem (ACE) přeměněn na angiotenzin II. Ten má pak různými mechanismy vliv na průsvit cév, vylučování minerálů a produkci mineralokortikoidu aldosteronu v kůře nadledvin. Systému renin-angiotenzin-aldosteron se týká i jedna z variant vyšetření dynamické scintigrafie ledvin.

2.2.3 Velikost, tvar a uložení ledvin

Ledvina (lat. ren, řec. nephros) má červenohnědou barvu, tvar fazolového bobu a je předozadně zploštělá. Na délku měří 10-12 cm, je široká 5-6 cm a tlustá asi 3,5-4 cm. Váží 120-170 g, ženské ledviny bývají menší a asi o 15 g lehčí. Novorozenecké ledviny mají rozměry asi 4,5 cm x 2,5 cm x 2,5 cm a váží asi 12 g. Ledviny dosahují maxima velikosti kolem 30. roku věku, po 65. roce se zmenšují. V případě snížené funkčnosti jedné ledviny, její atrofie nebo ageneze, dokáže druhá ledvina kompenzačně hypertrofovat, aby plně nahradila její funkci.

Na mediální straně ledviny se nachází hilus, kudy do/z ledviny vstupují/vystupují asi ve výši obratlové ploténky L1/L2 cévy - arteria (párová větev břišní aorty) a vena (ústí do vena cava inferior) renalis. Tepny ledviny se postupně větví až na vas afferens, která přivádí krev do glomerulu. Krev opouští glomerulus skrze vas efferens, která se rozpadá v peritubulární kapiláry. Právě těsný kontakt kapilár s tubuly umožňuje fungování výše zmíněného protiproudového multiplikačního systému. V celkovém pohledu tedy cévy ledvin tvoří portální oběh (dvě kapilární řečiště za sebou).



Obr. 2 Cévní zásobení ledvin (Čihák, 2002, s. 248)

Ledviny se nacházejí v retroperitoneálním prostoru asi ve výši obratlů Th12-L2, pravá ledvina je kvůli jaterní hmotě v pravé klenbě brániční posunuta asi o 1/2 výšky obratlového těla kaudálně.

Ledviny naléhají horní třetinou na bránicu, dolními dvěma třetinami na musculus quadratus lumborum, mediálně zasahují až k musculus psoas major. Kaudální pól dosahuje hranice ploténky L2/L3 (vpravo ještě níže). Přibližně u 10 % mužů a 40 % žen dosahuje kaudální pól

na úroveň crista iliaca. Kraniální pól dosahuje k 11. žeburu. U dětí jsou položeny níže - kaudální pól dosahuje crista illiaca takřka vždy.

Ledviny jsou fixovány na svém místě tukovým pouzdrém (capsula adiposa), renální fascií, úponem colon transversum (mesocolon transversum) a nitrobřišním tlakem.

2.2.4 Variety a patologie polohy, tvaru a vývoje ledvin

Varietou rozumíme odchylku od normy, která nemá patologický charakter. Variety a patologie ledvin vznikají už během nitroděložního vývoje.

Při nitroděložním vývoji se základ ledvin utváří v sakrální krajině. Nestejnoměrným růstem složek těla okolo ledvin mění ledviny svou pozici směrem kraniálním.

Variety a patologie polohy ledviny

Primárně dystopická ledvina

Při poruše vzestupu můžeme najít ledvinu přibližně v okolí promontoria. Má atypický tvar, krátký ureter, cévy přijímá z přilehlých cévních struktur (aorta, arteria iliaca communis). Vyskytuje se asi ve 2 promile případů.

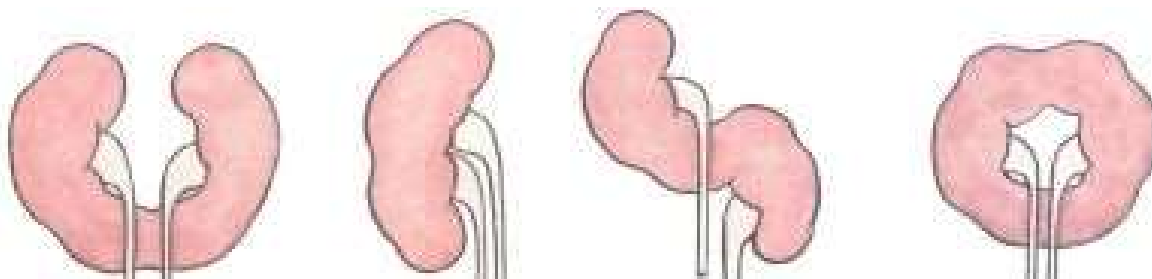
Sekundárně dystopická ledvina

Tzv. bludná ledvina (ren migrans) vzniká během života porušením fixace ledviny, zejména úbytkem tukového tělesa (hladověním) a snížením nitrobřišního tlaku (např. oslabením břišního lisu po porodu). Ledvina opouští renální fascii v její spodní části a klesá kaudálním směrem - táhne přitom s sebou svoje cévní zásobení (na rozdíl od ledviny primárně dystopické). Tvar ledviny i ureteru bývá nezměněn.

Transplantovaná ledvina

Ledvina se transplantuje do pravé jámy kyčelní (kvůli snadnému přístupu pro vyšetření ultrazvukem a biopsií), při nezdaru transplantace kvůli rejekci transplantátu (tzv. HvGR - host vs. graft reaction – imunitní reakce těla proti transplantovanému orgánu, která vede k jeho destrukci) se druhá ledvina transplantuje do levé jámy kyčelní.

Variety tvaru ledviny



Obr. 3 Ren arcuatus, ren duplex, ren sigmoideus, ren fungiformis (Čihák, 2002, s. 271)

Variety nemusí mít primárně vliv na funkci ledvin, mohou však působit útlak močových cest, retenci moče, urolithiázu a tím sekundárně zhoršovat jejich funkci.

Ren arcuatus vzniká splynutím dolních pólů obou ledvin - útvar připomíná písmeno U.

Ren duplex tvoří 2 ledviny spojené nad sebou ve stejné rotaci na stejné straně těla.

Ren sigmoideus vzniká spojením spodního pólu jedné ledviny s horním pólem druhé ledviny. Tvarem připomíná písmeno S.

Ren fungiformis vzniká spojením horních a dolních pólů obou ledvin - má podobu kruhu nebo písmene O. Z vnitřní strany vybíhají pánvičky i oba uretery.

Patologie vývoje ledviny

Jednostranná ageneze se vyskytuje asi v 1 promile případů.

Oboustranná ageneze je velmi vzácná, je to stav neslučitelný se životem (po narození, v období nitroděložního vývoje zastávají funkce ledviny matky).

Vrozená cystická ledvina vzniká poruchou vývoje sběracích kanálků. Vada bývá oboustranná, postižená ledvina nefunkční a tento stav není slučitelný se životem.

2.3 Radionuklidy užívané při scintigrafii ledvin

Ve scintigrafii ledvin se dnes v drtivé většině využívá ke značení radiofarmak technecium (Tc). Méně se používají farmaka značená jódem (I), protože technecium má lepší vlastnosti jak pro scintigrafii (čistý gama zářič), tak i z hlediska radiační ochrany pacienta (poločas rozpadu 6 hodin, nižší energie záření).

K vyšetření ledvin využíváme otevřené zářiče navázané na různé nosiče ve formě roztoků pro i.v. (intravenózní) aplikaci, díky nimž můžeme sledovat distribuci radiofarmaka v ledvinách, její časový průběh a lokalizovat patologické procesy. Zářiče emitují záření typu gama, které je dostatečně pronikavé, aby mohlo být detekováno mimo tělo pacienta.

2.3.1 Typy ionizujícího záření

Ionizující záření dělíme na přímo a nepřímo ionizující. Přímě ionizující záření tvoří nabitě částice (elektrony, pozitrony, protony, částice alfa), které mají dostatečnou kinetickou energii k tomu, aby mohly vyvolat ionizaci. Nepřímě ionizující záření naopak tvoří nenabitě částice (fotony, neutrony), které samy nejsou schopny ionizovat látky, ale při interakcích s nimi uvolňují sekundární (přímě ionizující, nabitě) částice, které jsou již schopny ionizovat.

Ionizující záření dále dělíme na korpuskulární (alfa, β^- , β^+ , neutrony) a elektromagnetické (gama, RTG). Při výrobě radionuklidů pro scintigrafii se setkáváme se zářeními β^- a gama.

2.3.2 β^- záření, β^- rozpad

K rozpadu β^- dochází u jader s přebytkem neutronů. Při rozpadu β^- se v jádře atomu mění neutron na proton, elektron a antineutrino. Proton zůstává v jádře, protonové číslo prvku se zvyšuje o jedna (vzniká tedy nový prvek), elektron (částice β^-) a antineutrino jádro opouští. β^- záření je tedy proudem elektronů.

2.3.3 Gama záření, izomerní přechod

Gama záření vzniká při rozpadu jader společně s β^- zářením. Jádro je po rozpadu v excitovaném (izomerním) stavu, tj. má více energie než ve stavu základním (stabilním). Této přebytečné energie se zakrátko zbavuje vyzářením energie ve formě kvant gama záření. Pokud je prodleva mezi vyzářením β^- částic a gama záření delší, nazýváme (izomerní) stav jádra metastabilní a přeměnu metastabilního jádra na stabilní izomerní přechod. Výhodou tohoto druhu přeměny je, že můžeme získat radionuklid s jedním druhem (gama) záření, které

budeme detekovat, bez znečištění složkou β^- , která zvyšuje radiační zátěž pacienta bez přispění ke kvalitě vyšetření.

2.3.4 Interakce gama záření s prostředím

Ionizující záření používané v nukleární medicíně interaguje s prostředím nejčastěji fotoefektem a Comptonovým rozptylem.

Fotoefekt

Celým názvem (v našem případě) vnější fotoelektrický jev je proces, při kterém foton gama záření předá veškerou svoji energii elektronu v obalu atomu a sám zaniká. Je-li tato energie větší než výstupní práce elektronu, elektron opouští obal. Jeho kinetická energie je rovna rozdílu energie přijaté od gama záření a jeho výstupní práci. Pokud je elektron uvolněn z nižších slupek atomového obalu, dochází k zaplňování těchto slupek přeskokem elektronů ze slupek vyšších. Přeskoky bývají doprovázeny emisí gama záření. Fotoefekt se uplatňuje u gama záření nižších energií, řádově jednotky keV (1eV, elektronvolt = $1,602 \times 10^{-19}$ J, joulů) a látek s vyšším atomovým číslem.

Comptonův jev (rozptyl)

Je proces interakce fotonu záření gama s volným nebo slabě vázaným elektronem. Při interakci předává foton elektronu část své energie, mění dráhu elektronu i svoji a pokračuje jako rozptýlené záření s nižší frekvencí (nebo jinak řečeno vyšší vlnovou délkou). Comptonův jev převažuje u gama záření středních energií a látek s nižším atomovým číslem.

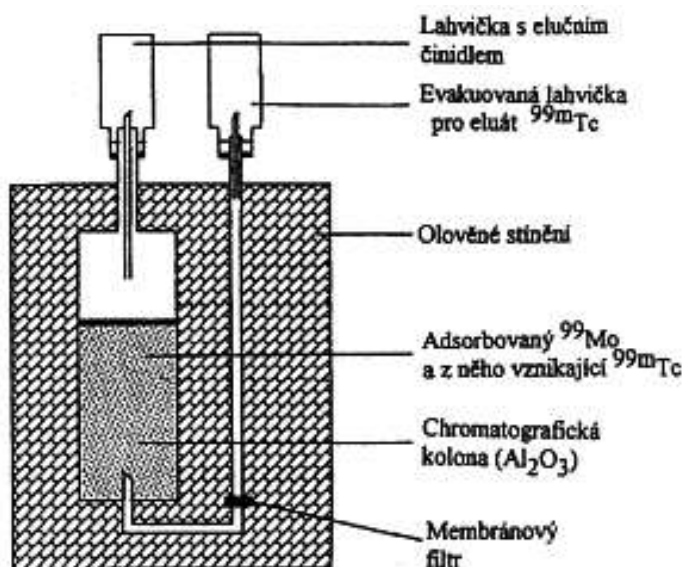
2.3.5 Výroba Tc pro scintigrafii

Pro scintigrafii používáme ^{99m}Tc , tedy technecium s jádrem v metastabilním stavu. ^{99m}Tc vzniká β^- rozpadem ^{99}Mo (molybden) s poločasem rozpadu 66,7 hodin. ^{99m}Tc s poločasem rozpadu 6,03 hodin se pak izomerním přechodem mění na stabilní ^{99}Tc s poločasem rozpadu 213 tisíc let. Uvolněné gama záření má energii 140 keV. Jelikož je poločas rozpadu ^{99m}Tc 6 hodin poměrně krátký, nedovází se z výrobního centra hotové ^{99m}Tc , ale jeho mateřský prvek ^{99}Mo uzavřený v generátoru.

^{99}Mo - ^{99m}Tc generátor

Generátor je olovem silně stíněná kolonka ze skla. Obsahuje oxid hlinitý (Al_2O_3) s adsorbovaným molybdenanem amonným ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$). Ten se přeměňuje na technecistanový iont ($^{99m}\text{TcO}_4^-$), který se získává z generátoru promytím (elucí) sterilním fyziologickým roztokem.

Maximální množství technecianu v generátoru se obnovuje za 23 hodin. Dřívější opakování odběru tedy znamená nižší výtěžnost. Generátor poskytuje dostatečné množství technecianu asi 2 týdny (záleží na jeho výchozí aktivitě) - pak se vyměňuje za nový.



Obr. 4 Schéma ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátoru (Mysliveček, 2007, s. 23)

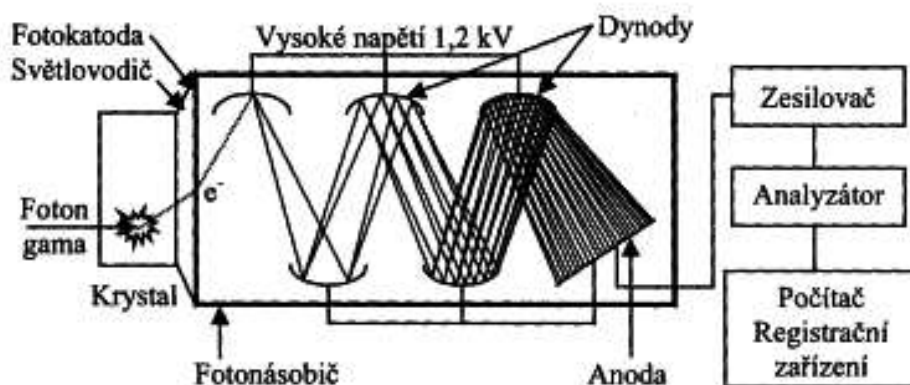
2.3.6 Příprava radiofarmak

Získané roztoky technecianových iontů se v laboratoři oddělení nukleární medicíny ředí (získané roztoky mají vysokou aktivitu radionuklidu) a ionty se poté navazují na neradioaktivní radiofarmaka specifická pro jednotlivé typy vyšetření. Tento proces se provádí pomocí komerčních kitů.

Výsledkem je radiofarmakum značené $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - např. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3. To se potom ve stíněných kontejnerech dodává na místo, kde se aplikuje pacientovi.

2.4 Přístroje pro scintigrafii

2.4.1 Scintilační detektor



Obr. 5 Schéma scintilačního detektoru (Mysliveček, 2007, s. 30)

Scintilační krystal

Základem scintilačního detektoru je scintilační krystal z jodidu sodného aktivovaného thaliem NaI(Tl) (příměs thalia zvyšuje luminiscenci krystalu). Záření gama z těla pacienta interaguje s krystalem (kvůli vyšší hustotě krystalu se gama záření intenzivně pohlcuje) fotoefektem a Comptonovým rozptylem. Důsledkem interakce je excitace atomů krystalu, následovaná vznikem záblesků viditelného světla. Počet fotonů viditelného světla v jednom záblesku je přímo úměrný energii pohlceného záření.

Fotonásobič

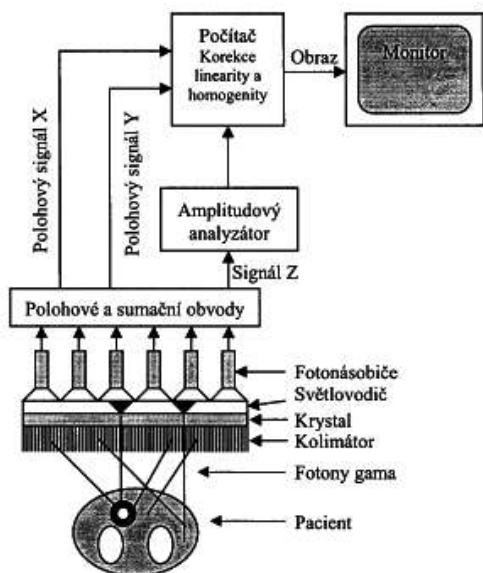
Fotonásobič převádí záblesky viditelného světla na elektrické impulzy a zesiluje je. Viditelné světlo z krystalu interaguje s fotokatodou, která uvolní elektron. Ten dopadá na dynodu a způsobuje emisi sekundárních elektronů. Elektrony se poté postupným dopadáním na soustavu dalších dynod dále množí a na anodu fotonásobiče dopadá z 1 původního elektronu asi 10^6 elektronů. Na výstupu fotonásobiče tím vzniká měřitelný elektrický impulz.

Další zpracování signálu

Aby mohly být tyto slabé impulzy dále zpracovány, procházejí zesilovačem, který zvyšuje jejich amplitudu. Další v řadě je amplitudový analyzátor, který třídí impulzy podle výšky. Z celého spektra impulzů si pro účely vyšetření vybíráme jen část - definujeme si ji horní a dolní diskriminační hladinou (tzv. okénko). Jeho hranice závisí na použitém radionuklidu. Okénko se nastavuje tak, aby obsahovalo fotopík zářiče - tj. budou se registrovat impulzy z fotonů, které nebyly rozptýleny či příliš zeslabeny průchodem pacientem. Zbytek spektra, který se nebude zpracovávat, tvoří signály z rozptýlených fotonů gama, pozadí detektoru

(jeho vliv se zmenšuje olověným krytím) atd.. Pro zářiče s více fotonábičky se nastavuje více okének, pro technecium stačí jen jedno.

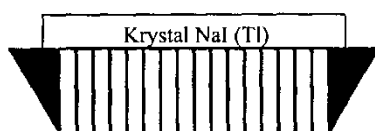
2.4.2 Gama kamera



Obr. 6 Schéma gamakamery (Myslivoček, 2007, s. 33)

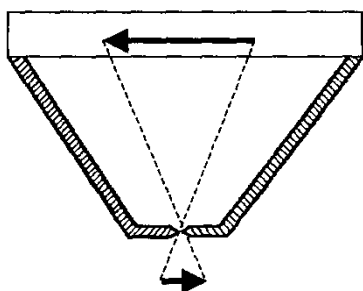
Gama kamera (též Angerova kamera, pojmenovaná po jejím vynálezci fyzikovi H. O. Angerovi) je přístroj používaný k planárnímu scintigrafickému zobrazování. Detektor kamery se skládá z kolimátoru, scintilačního krystalu, svítlovodiče a fotonábičky.

Kolimátor



Obr. 7 Kolimátor s paralelními otvory (Myslivoček, 2007, s. 36)

Kolimátor je (většinou) deska z materiálu o vyšší hustotě (olovo), která obsahuje otvory kolmé na svůj povrch. Fotony šířící se směrem přibližně shodným s osou otvoru procházejí ke krystalu. Ostatní fotony, které by měly bez přítomnosti kolimátoru také dopadnout na krystal (ale např. z jiné části těla) se pohlcují v hmotě kolimátoru a nejsou detekovány. Tím je zajištěna možnost získat informaci a poloze zdroje paprsku gama z těla a zároveň kolimátor brání registraci kvant záření z částí těla mimo vyšetřovanou oblast.



Obr. 8 Pinhole kolimátor (Myslivoček, 2007, s. 36)

Kolimátory dělíme podle počtu otvorů - čím vyšší počet otvorů, tím vyšší rozlišení, ale nižší citlivost (speciálním typem je kolimátor pinhole, který má jen jeden otvor). Dále rozlišujeme kolimátory pro nízké (do 160 keV), střední (do 300 keV) a vysoké energie (nad 400 keV) a podle orientace osy otvorů vzhledem k ploše kolimátoru na paralelní (kolmé k ploše kolimátoru), konvergentní a divergentní. Kolimátory pro vyšší energie bývají mohutnější - musí mít tlustší septa, která nepropustí záření jdoucí mimo osu otvoru, aby nebyla zkreslena polohová informace - bohužel na vrub citlivosti kolimátoru.

Pro detekci radiofarmak s techneciem používáme většinou kolimátor typu LEHR (Low Energy High Resolution) - tedy paralelní kolimátor, s vysokým rozlišením (s několika tisíci otvory) a pro nízké energie (Tc má energii jen 140 keV).

Pinhole kolimátor má tvar nálevky, v její nejužší části se nachází jediný 3-5mm široký otvor, kterým prochází záření ke krystalu. Je-li vzdálenost vyšetřované části od otvoru menší než ohnisková vzdálenost, poskytuje pinhole kolimátor zvětšený a převrácený obraz - využívá se k zobrazení ledvin u malých dětí.

Scintilační krystal

Krystal má rozměry 40x50 cm a tloušťku 9,5 mm (12,7 mm u starších kamer). Je připojen světlovodičem k 60-65 fotonásobičům.

Detekce fotonu gama probíhá takto: foton gama dopadá na krystal, vyvolává scintilaci. Vzniklé viditelné světlo se šíří světlovodičem všemi směry, nejvíce světla ze záblesku dopadá na fotonásobič, který je mu nejbližší - signál z něj má nejvyšší amplitudu. Vyhodnocením výstupních signálů fotonásobičů můžeme vytvořit souřadnicové impulzy X a Y, které určují polohu záblesku v krystalu, která koresponduje s polohou zdroje emise fotonu gama v těle pacienta.

Vedle toho se impulzy z fotonásobičů přivádí na tzv. sumační obvod s amplitudovým analyzátozem, který má nastavené okénko na fotopík použitého radioizotopu. Tyto impulzy

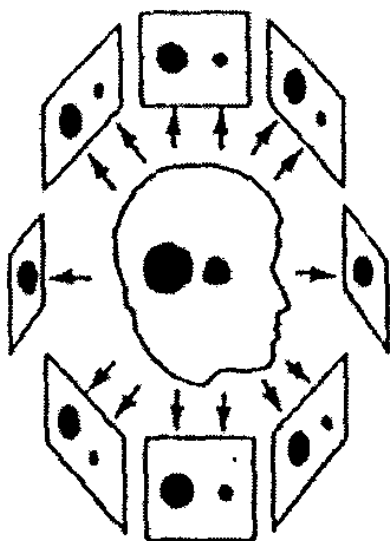
(označované jako Z) nesou informaci o záblesku. Spojením informací z impulzů X, Y a Z tedy dostáváme kompletní informaci o záblesku a jeho poloze.

Impulzy X, Y a Z putují na analogově-digitální (A/D) převodník, který je převádí na digitální data, která je schopen zpracovat počítač. Ten prezentuje v digitálním obraze zorné pole gamakamery jako matici bodů (pixelů), do které promítá barevně kódované informace o záblescích. Používají se matice 64x64, 128x128, 256x256 pixelů.

Výsledkem planárního scintigrafického vyšetření je (podobně jako u rentgenu) sumační snímek vyšetřované části těla.

Gamakamery dělíme podle počtu detektorů na jednohlavé (jeden detektor), dvouhlavé, existují i čtyřhlavé, ale první dva typy jmenované jsou u nás nejužívanější - zejména dvouhlavé.

2.4.3 SPECT



Obr. 9 Princip SPECT - snímání pod různými úhly (Myslivoček, 2007, s. 42)

SPECT (Single Photon Emission Computerized Tomography) čili jednofotonová emisní výpočetní tomografie vylepšuje zobrazovací schopnosti gamakamery. Během SPECT vyšetření se hlavy gamakamery otáčejí kolem pacienta a snímají ho z různých úhlů. Otáčejí se buď plynule (continuous) a kamera plynule snímá (jako CT) nebo krokově (step&shoot) tj. kamera se otočí o zadaný počet stupňů a po určitý časový interval snímá z tohoto úhlu. Častěji se používá varianta step&shoot.

Z takto nabraných dat potom rekonstruuje tomografický řez vyšetřovanou tkání. Pro rekonstrukci obrazu se používají filtrovaná zpětná projekce nebo iterativní metoda. Dnes se používá hlavně iterativní metoda, což je metoda postupných aproximací obrazu řezu, aby odpovídal naměřeným datům. Čím více iterací, tím kvalitnější by měl být obraz, ovšem za cenu delšího času zpracování obrazu (s rostoucí výkonností hardwaru počítačů to ovšem dnes představuje stále menší problém). Oproti planární scintigrafii má SPECT vyšší kontrast a umožňuje vizualizovat i struktury, které na planárním scintigramu nemohou být vidět. Nevýhodou je o jeden řád vyšší šum v obraze než při planární scintigrafii, a kvůli různé vzdálenosti detektorů od pacienta během otáčení je i horší prostorová rozlišovací schopnost SPECTu. Gamakamera užívá při SPECT vyšetření tzv. body contouring. Tato funkce umožňuje hlavě gamakamery otáčet se co nejbližší povrchu těla pacienta, aniž by se ho dotkla, čímž zachovává relativně stálou vzdálenost, kterou musí urazit záření z těla pacienta.

2.4.4 SPECT/CT

Protože scintigrafická vyšetření poskytují výbornou informaci o pohybu radiofarmaka v těle, ale poměrně špatnou informaci o anatomických souvislostech tohoto děje (které ale umí výborně získat např. diagnostické CT), vznikly hybridní přístroje SPECT/CT, které kombinují výhody obou modalit a umožňují získat fúzované obrazy, které nesou oba typy informací.

Gamakamera je u hybridního přístroje doplněna o multidetektorové CT, které funguje ve dvou režimech.

Prvním je tzv. low-dose s nízkým rozlišením, které umožňuje získat data pro výpočet korekce zeslabení gama záření ve tkáni.

Druhým režimem je klasické diagnostické CT s vysokým rozlišením.

2.5 Radiofarmaka využívaná ke scintigrafii ledvin

Nejpoužívanějšími radiofarmaky dneška jsou ^{99m}Tc -MAG3 pro dynamickou scintigrafii a ^{99m}Tc -DMSA pro scintigrafii statickou. Nicméně škála radiofarmak pro vyšetřování ledvin je mnohem širší. Následující tabulka představuje radiofarmaka rozdělená podle farmakokinetiky a vyšetření, při kterých se užívají (zpracováno podle Vižďa, 2002, s. 6).

Tab. 1 Seznam radiofarmak použitelných k vyšetření ledvin

Mechanismus vylučování	Radiofarmakum	Plný název	Typ vyšetření
Glomerulární filtrace	^{99m}Tc -DTPA	diethylentriaminopentaocetová kyselina	dynamická scintigrafie ledvin
Tubulární sekrece	^{123}I (^{131}I)-OIH	orto-jodhipuran	dynamická scintigrafie ledvin
	^{99m}Tc -MAG3	merkaptocetyltriglycin	dynamická scintigrafie ledvin
	^{99m}Tc -EC	ethylendicystein	dynamická scintigrafie ledvin
Fixace v tubulárních buňkách	^{99m}Tc -DMSA	dimerkaptojantarová kyselina	statická scintigrafie a SPECT ledvin
	^{99m}Tc -GHA	glukoheptonová kyselina	kombinovaná scintigrafie ledvin
Jiný	^{111}In (^{99m}Tc)-Leu	značené leukocyty	diagnostika zánětů a rejekce štěpu
	^{67}Ga -citrát	galium citrát	diagnostika zánětů a nádorů

Radiofarmaka používaná v nukleární medicíně k diagnostice a terapii musí být registrována Státním ústavem pro kontrolu léčiv (SÚKL) v Praze.

2.5.1 Význam scintigrafie ledvin

„Hlavním přínosem radionuklidové diagnostiky v současnosti je neinvazivita, možnost zobrazení a přesného kvantitativního zhodnocení separované funkce ledvin a močových cest bez ovlivnění fyziologických procesů. Dobrá reprodukovatelnost vyšetření, velmi řídké vedlejší účinky a přijatelná radiační zátěž je předurčuje k posuzování výsledků léčby a dlouhodobému monitorování funkčního stavu.“ (Vižďa, 2002 s. 5)

2.5.2 Historie scintigrafie ledvin a radiofarmak

Počátky

„První radionuklidové studie funkce ledvin provedli v roce 1952 Oeser a Billion měřením radioaktivity moče po i.v. podání ^{131}I -idoxolu. V roce 1956 Taplin a spol. zavedli do klinické praxe radionuklidovou renografii (měření časového průběhu radioaktivity kolimovanými sondami nad jednotlivými ledvinami), která byla následně dlouhé roky využívána v diagnostice onemocnění ledvin. K jejímu rozšíření došlo hlavně po roce 1960, kdy Tubis označil a Winter do klinické praxe zavedl orto-jodhipuran (OIH), značený ^{131}I . Počátkem 60-tých let se též podařilo zobrazit funkční parenchym ledvin pomocí gamagrafu a rtuťových diuretik, značených ^{197}Hg či ^{203}Hg . Současné zobrazení parenchymu a sledování distribuce radiofarmaka v čase (dynamickou scintigrafii) dokázaly gamakamery, které se do medicínské praxe dostaly od roku 1964.“ (Vižďa, 2002 s. 5)

Nástup ^{99m}Tc

„Velký význam měl objev medicínského použití technecia - ^{99m}Tc , popsany Harperem a spol. v roce 1962 a pozdější výroba generátorů pro jeho přípravu. Velice výhodné fyzikální i chemické vlastnosti tohoto radioizotopu jej předurčily pro široké použití v diagnostice chorob ledvin a močových cest. V následujících letech se k zobrazení parenchymu ledvin začaly užívat techneciem značený železito-askorbový komplex, glukonát, glukohexonát a nakonec dimerkaptosukcinát (DMSA).“ (Vižďa, 2002 s. 5)

Clearanční testy

„Posuzování funkční zdatnosti parenchymu ledvin pomocí clearančních testů bylo známo poměrně dávno, ale až okolo roku 1963 Blaufox a spol. využili pro tento účel substance značené radionuklidem. Následně se stanovení separované (t.j. pro každou ledvinu zvlášť) glomerulární filtrace a efektivního renálního průtoku plasmu stalo trvalou součástí metod nukleární medicíny. Nyní je možno tyto veličiny stanovit buď z krevních vzorků nebo při dynamické scintigrafii.“ (Vižďa, 2002 s. 5)

MAG3 nahrazuje Hipuran

„Významné zdokonalení diagnostiky uropoetického systému přineslo zavedení nových radiofarmak pro funkční zobrazení. Byl to zejména techneciem značený merkptoacetyltriglycin (^{99m}Tc -MAG3), syntetizovaný v roce 1986 Fritzbergem a spol. Toto radiofarmakum nahradilo ^{131}I -OIH, téměř po 30-ti letech jeho používání při renografii a později dynamické scintigrafii ledvin.“ (Vižďa, 2002 s. 5)

2.5.3 Požadavky na radiofarmaka

Radiofarmaka, která mají být aplikována pacientovi, musí splňovat několik požadavků.

Aktivita

Aktivitu radionuklidu zjišťujeme pomocí ionizační komory ve studnovém uspořádání. Záření z radionuklidu ionizuje plyn v ionizační komoře a indukuje tím v komoře proud přímo úměrný aktivitě radionuklidu.

Radionuklidová čistota

je podíl aktivity žádaného radionuklidu na celkové aktivitě vzorku. Kontaminace vzorku jiným radionuklidem (v případě generátoru ^{99}Mo) bývá menší než 1%.

Radiochemická čistota

je podíl aktivity žádané chemické sloučeniny na celkové aktivitě vzorku. Jinými slovy řečeno, pokud chceme pacientovi podat ^{99m}Tc -MAG3, neměl by vzorek radiofarmaka obsahovat ^{99m}Tc v jinak vázané či volné formě. Nečistoty v radiofarmaku mají jinou biokinetiku, vychytávají se v jiných než zamýšlených tkáních, zbytečně je ozařují, ukazují je falešně pozitivně jako ložiska na scintigramech a znepřesňují výsledky výpočtů (výchozí aktivita

radiofarmaka je ve skutečnosti nižší, než při výpočtu předpokládáme). Ke kontrole radiochemické čistoty se používají chromatografické metody.

Jelikož se radiofarmaka podávají většinou intravenózně, musí splňovat i požadavky pro i.v. aplikaci – musí být sterilní a apyrogenní.

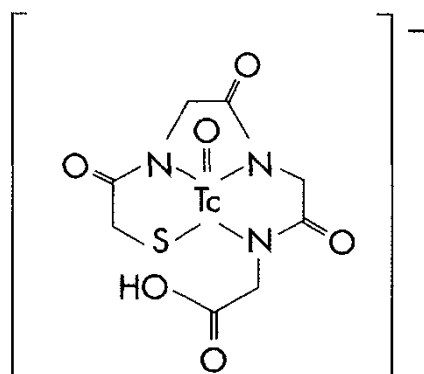
Sterilita

Farmakum nesmí obsahovat životaschopné mikroorganismy.

Apyrogenita

Farmakum nesmí obsahovat pyrogeny tj. látky, které vyvolávají horečku (některé bakteriální toxiny).

2.5.4 ^{99m}Tc -MAG3



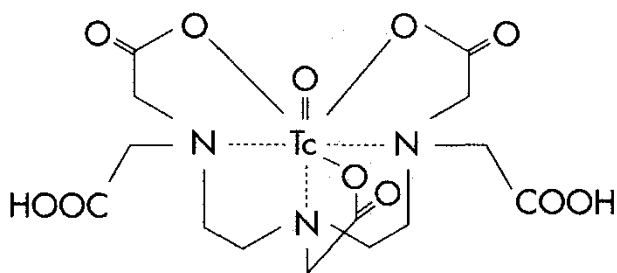
Obr. 10 Chemický vzorec MAG3 (Vižd'a, 2002, s. 7)

Merkaptoacetyltriglycin je vcelku nové radiofarmakum, které přineslo zvýšení kvality vyšetření dynamickou scintigrafií a vytlačilo tak po tři desetiletí používaný hipuran. Oproti jódem značenému hipuranu má techneciem značený MAG3 lepší vlastnosti pro zobrazování (dané právě použitým radionuklidem), nicméně pro měření glomerulární filtrace už nedosahuje výborných vlastností hipuranu.

Po (i.v.) aplikaci se ^{99m}Tc -MAG3 váže na plazmatické bílkoviny (90 %), a je rychle vylučován ledvinami - během prvního průchodu se ledvinami vyloučí až 50 % aplikované aktivity. Kvůli vazbě na bílkoviny se vylučuje hlavně aktivní tubulární sekrecí (nejvíce v proximálním tubulu), velmi málo glomerulární filtrací.

U zdravého člověka se během 30 minut od aplikace vyloučí 70 % aktivity (ty pak může pacient krátce po vyšetření vymočít a výrazně tak snížit radiační zátěž na močový měchýř), za 3 hodiny více jak 95 %. Tubulární sekreci můžou ovlivňovat některá antibiotika nebo RTG kontrastní látky.

2.5.5 ^{99m}Tc -DTPA



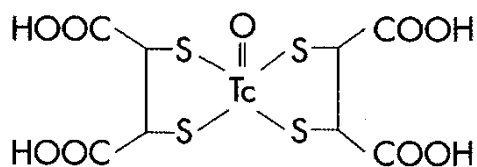
Obr. 11 Chemický vzorec DTPA (Vižd'a, 2002, s. 7)

Kyselina diethylentriaminopentaoctová je chelát. Je nejvhodnějším radiofarmakem pro měření glomerulární filtrace při dobrém zobrazení ledvinového parenchymu. Její distribuční objem je roven objemu extracelulární tekutiny a zaujímá ho během 1-2 hodin po (i.v.) aplikaci.

V krvi se téměř neváže na plazmatické bílkoviny (max. 2 %), neproniká (neporušenou) hematoencefalickou bariérou, velmi málo proniká do mateřského mléka.

Za 24 hodin se (u zdravého jedince) vyloučí ledvinami asi 95 % aplikované aktivity.

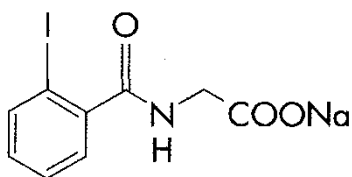
2.5.6 ^{99m}Tc -DMSA



Obr. 12 Chemický vzorec DMSA (Vižd'a, 2002, s. 7)

Dimerkaptoskucinát se po (i.v.) aplikaci vychytává v kůře ledvin, v ledvinových tubulech, mechanismem tubulární fixace. Maxima dosahuje za 3-6 hodin po aplikaci (fixováno asi 50 % aktivity). Mechanismus fixace mohou narušit některá léčiva - gentamicin, cis-platina, chlorid amonný, manitol. ^{99m}Tc -DMSA se v tom případě, stejně jako v případě snížené funkce ledvin, vychytává v játrech (normálně se v játrech vychytává do 3% aktivity). Ložiskové výpadky fixace v ledvinách mohou vytvářet toxiny bakterií způsobujících pyelonefritidu - proto může být statická scintigrafie nápomocná v diferenciální diagnostice tohoto onemocnění. Stejně tak nedochází k fixaci v jizvách po pyelonefritidě (nefixuje se na nefunkční parenchym). Za 24 hodin se do moče vyloučí asi 30-40 % DMSA.

2.5.7 ^{123}I -OIH



Obr. 13 Chemický vzorec OIH (Vižd'a, 2002, s. 6)

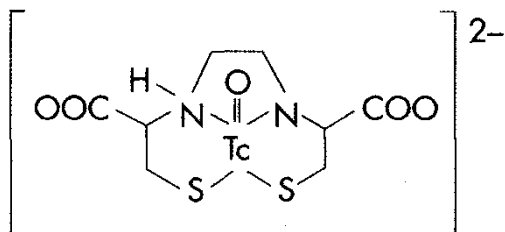
OIH - Orto-jodhipuran je látka odvozená od paraaminohipurové kyseliny (PAH) používané při měření ledvinné clearance. Může se značit všemi třemi izotopy jódu (^{123}I , ^{125}I , ^{131}I), z hlediska radiační zátěže je nejvhodnější varianta s ^{123}I . Byl po několik dekad hlavním radiofarmakem pro dynamickou scintigrafii ledvin, než ho nahradil $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3.

Po (i.v.) aplikaci se částečně (35 %) váže na bílkoviny plazmy a je rychle odstraňován z krve ledvinami (70 % aktivity za 30 minut), částečně (2 %) je eliminován i játry. V ledvinách je vylučován z 20 % glomerulární filtrací a z 80 % tubulární sekrecí. O mechanismus tubulární sekrece kompetuje s některými látkami, je proto vhodné je před vyšetřením vysadit. Jsou to probenecid, penicilín a jiná antibiotika, kontrastní látky (vyšetřuje se nedřívě za 2 týdny po podání). Radiofarmakum obsahuje jen velmi malé množství volného jódu - alergie na jód v anamnéze není překážkou vyšetření, je však potřeba před podáním OIH nasytit štítnou žlázu jódem (Lugolovým roztokem, Chlorigenem), aby už neabsorbovala radioaktivní jód.

2.5.8 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -GHA

Glukoheptonová kyselina je starší radiofarmakum, které se dnes již prakticky nepoužívá. Používalo se ke statické scintigrafii ledvin.

2.5.9 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -EC



Obr. 14 Chemický vzorec MAG3 (Vižd'a, 2002, s. 7)

L,L-ethylendicystein je novější radiofarmakum pro dynamickou scintigrafii ledvin (používá se od 90. let 20. století). Váže se méně na plazmatické bílkoviny (30-38 %) a proto má vyšší hodnoty clearance než $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3. Kvůli vyšší ceně se v praxi v ČR příliš nepoužívá.

2.5.10 Volba aktivity podaného radiofarmaka

Při rozhodování o výši aplikované aktivity volíme kompromis mezi kvalitou zobrazení a radiační zátěží. Řídíme se přitom principem ALARA - podáváme dávku tak nízkou, aby stačila ke kvalitnímu vyšetření a přitom nezatěžovala zbytečně pacienta.

Aktivita radiofarmaka se obvykle uvádí pro pacienta o hmotnosti 70 kg. Pro pacienty s nižší či vyšší hmotností se aktivita přepočítává (aktivita pro 70 kg se násobí koeficientem pro příslušnou hmotnost). Tabulky pro přepočet jsou součástí doporučení EANM nebo lze aktivitu spočítat na online kalkulátoru (Dosage Calculator) na stránkách <http://www.eanm.org>.

Zvláštní případ je podávání radiofarmak dětem. Při volbě aktivity využíváme doporučení Pediatric Task Group EANM.

2.5.11 Těhotenství a kojení

Scintigrafie ledvin je v těhotenství kontraindikována. V případě pochybností o těhotenství lze provést statim laboratorní test na přítomnost beta-hCG (beta podjednotky lidského choriogonadotropinu syntetizovaného syncytiotrofoblastem placenty) v séru nebo moči. Současné metody dokáží prokázat těhotenství již od 7. dne od koncepce.

Kojení je relativní kontraindikací scintigrafie ledvin. Je lépe vyšetření odložit na dobu po skončení kojení. Vyšetřovat lze, jen pokud je vyšetření nezbytné (např. při podezření na pyelonefritidu). Přitom je třeba maximálně chránit kojene dítě před radioaktivitou – dočasným omezením styku s matkou a přerušением kojení. Doporučení pro přerušení doby kojení se různí (0-12 hodin). Mléko (alespoň 1. dávka), které se vytvoří po podání radiofarmaka se má odstříkat a znehodnotit.

2.6 Radiační ochrana v nukleární medicíně

Cílem radiační ochrany v nukleární medicíně je zabránit vzniku deterministických účinků ionizujícího záření a omezit riziko stochastických účinků.

Deterministické účinky mají svůj dávkový práh - pokud ho není dosaženo, účinek nenastane. Práh je pro různé tkáně různý a účinek nastává v průběhu dnů až týdnů po ozáření. Příkladem deterministického účinku je akutní nemoc z ozáření nebo katarakta.

Stochastické účinky neboli pravděpodobnostní účinky nemají dávkový práh. Při opakování ozáření se účinky kumulují. Jejich frekvence se zvyšuje s dávkou, jejich závažnost ne. Vyvíjí se v řádu let i desetiletí. Příkladem je poškození DNA buněk, mutace a z nich vzniklá nádorová onemocnění. Ovšem jestli se účinky projeví, závisí třeba na schopnostech reparace ozářených buněk, na stavu imunitního systému jedince a spoustě dalších faktorů. Kromě toho nádorová onemocnění mohou být vyvolána jinými příčinami než ionizujícím zářením. Ionizující záření má bezpochyby svůj podíl na maligním zvratu, nicméně neexistuje zde jistota, pouze pravděpodobnost.

2.6.1 Principy radiační ochrany v medicíně

Zdůvodnění

Přínosy vyšetření musí převažovat rizika s ním spojená.

Optimalizace

Při optimalizaci používáme pojem ALARA (As Low As Reasonably Achievable) tedy (volně přeloženo a interpretováno) použít jen tolik záření, abychom mohli udělat kvalitní vyšetření.

Limitování dávek

Lékařské ozáření pacienta nemá stanovené limity, ozáření během vyšetření je však „limitováno“ diagnostickými referenčními úrovněmi pro jednotlivé typy vyšetření.

Diagnostické referenční úrovně

Diagnostické referenční úrovně uvedené ve Vyhlášce 307/2002 Státního úřadu pro jadernou bezpečnost jsou „úrovněmi dávek, popřípadě úrovněmi aplikované aktivity používané při diagnostických postupech v rámci lékařského ozáření, jejichž překročení se při vyšetření dospělého pacienta o hmotnosti 70 kg při použití standardních postupů a správné praxe neočekává.“

Limity ozáření se však vztahují na radiační pracovníky. Proto je součástí vybavení každého radiologického asistenta (i jiných pracovníků) na oddělení nukleární medicíny osobní dozimetr. Dozimetry se používají dva – jeden (obvykle filmový) nošený na referenčním místě na levé straně hrudníku, druhý (obvykle termoluminiscenční) na prstě pracovníka při zacházení s radiofarmaky.

Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost 307/2002 v § 20 Limity pro radiační pracovníky uvádí.

(1) Limity pro radiační pracovníky jsou

- a) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 100 mSv za 5 za sebou jdoucích kalendářních roků,*
- b) pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření hodnota 50 mSv za kalendářní rok,*
- c) pro ekvivalentní dávku v oční čočce hodnota 150 mSv za kalendářní rok,*
- d) pro průměrnou ekvivalentní dávku v 1 cm² kůže hodnota 500 mSv za kalendářní rok,*
- e) pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky hodnota 500 mSv za kalendářní rok.*

(2) Limity pro radiační pracovníky se vztahují na profesní ozáření, tj. na ozáření, kterému jsou vystaveni v přímém vztahu k vykonávané práci radiační pracovníci.

(3) Limity pro radiační pracovníky se vztahují na součet dávek ze všech cest ozáření a při všech pracovních činnostech, které radiační pracovník vykonává u jednoho nebo souběžně u více držitelů povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření, nebo které vykonává také jako samostatný držitel povolení k nakládání se zdroji ionizujícího záření.

Zabezpečení zdrojů

Zdroje mají být zabezpečeny proti krádeži a neoprávněné manipulaci.

2.6.2 Veličiny radiační ochrany

Absorbovaná dávka

Definice: Poměr střední energie dE sdělené v objemovém elementu dávky o hmotnosti dm a hmotnosti tohoto elementu.

Vzorec: $D = dE/dm$

Jednotka: Gray [Gy], rozměr [J.kg⁻¹]

Dávkový ekvivalent

Definice: Součin absorbované dávky D v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q

Vzorec: $H = D * Q$

Hodnoty Q závisí na druhu dopadajícího záření, pro gama $Q = 1$

Jednotka: sievert [Sv], rozměr [J.kg⁻¹]

Osobní dávkový ekvivalent

$H_p(d)$ je dávkový ekvivalent v daném bodě pod povrchem těla v hloubce tkáně d . Často se používá k limitování ozáření, a to v hloubce 10mm ($H_p(10)$) a v hloubce 0,07mm ($H_p(0,07)$).

Ekvivalentní dávka

Definice: Součet součinů absorbované dávky $D_{T,R}$ ve tkáni T působením záření R a radiačního váhového faktoru w_R , kde se sčítají příspěvky od jednotlivých druhů záření.

Vzorec: $H_T = \sum (w_R * D_{T,R})$

w_R : hodnoty závisí na druhu a energii dopadajícího záření, pro gama = 1

$D_{T,R}$: absorbovaná dávka zprůměrovaná přes orgán nebo tkáň T vyvolaná ionizujícím zářením typu R

Jednotka: sievert [Sv], rozměr [J.kg⁻¹]

Efektivní dávka

Definice: Součet všech vážených HT ve všech orgánech a tkáních lidského těla

Vzorec: $E = \Sigma (w_T * HT)$

HT: ekvivalentní dávka v orgánu či tkáni T

w_T: váhový faktor pro orgán nebo tkáň T

Jednotka: sievert [Sv], rozměr [J.kg⁻¹]

Aktivita

je střední počet přeměn radionuklidu za jednotku času. Jednotkou je Bq, becquerel neboli s⁻¹.

V praxi se stále používá i starší jednotka Ci (curie), přičemž 1Ci = 37GBq.

Aktivita radionuklidu v čase klesá podle vzorce $A=A_0.e^{-\lambda t}$.

A - očekávaná aktivita v čase t [Bq]

A₀ – výchozí aktivita [Bq]

λ - přeměnová konstanta [s⁻¹]

t – doba od počátku měření [hod.]

Pro praxi je zavedena jednotka objemová aktivita - 1Bq.m⁻³. Díky ní můžeme spočítat, jak radiofarmakum ředit, abychom mohli aplikovat správnou aktivitu.

Poločas přeměny

je doba, za kterou se rozpadne polovina jader radionuklidu. Nebo jinak řečeno, aktivita radionuklidu klesne na polovinu. Nazýváme ho též fyzikálním poločasem.

Efektivní poločas přeměny

$$T_{ef} = (T_f \cdot T_b) / (T_f + T_b)$$

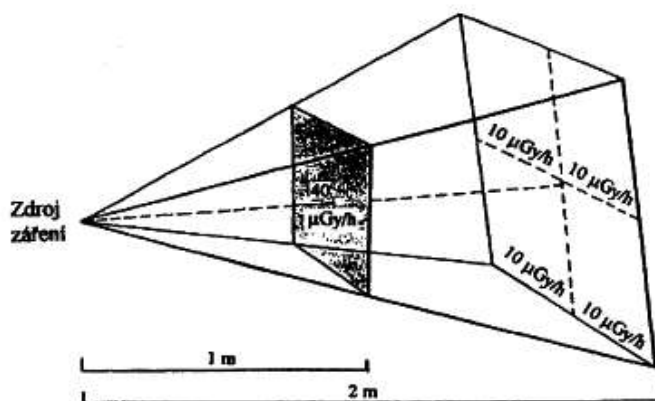
Efektivní poločas v sobě kombinuje fyzikální a biologický poločas. Biologický poločas zavádíme, abychom zahrnuli vliv eliminačních mechanismů organismu na radiofarmakum. Příkladem budiž výše zmíněná dynamická scintigrafie s ^{99m}Tc-MAG3, kdy je radiofarmakum z velké části vyloučeno do moče a poté ven z těla již po 30 minutách vyšetření. Biologický

poločas je tak výrazně kratší než fyzikální a velká část aktivity radiofarmaka se vyloučí bez výraznějšího vlivu na organismus.

2.6.3 Ochrana před ionizující zářením

Před ionizujícím zářením se chráníme třemi způsoby: vzdáleností, časem a stíněním

Ochrana vzdáleností



Obr. 15 Princip ochrany vzdáleností (Myslivoček, 2007, s. 63)

Intenzita záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Radiologický asistent by měl tedy udržovat co největší možný odstup od zdroje záření. Může-li při manipulaci se zářičem použít kleště nebo peán, sníží se dávky záření na ruce.

Ochrana časem

Ochranu časem zajišťujeme jednak střídáním radiologických asistentů na jednotlivých pracovištích oddělení, aby nepřicházeli každý den do styku s naaplikovanými pacienty, a jednak si ji musí zajistit asistent sám tím, že nebude s naaplikovaným pacientem ve stejné místnosti pobývat déle, než je nezbytně nutné.

Ochrana stíněním

Ochranu stíněním zajišťujeme už při budování oddělení nukleární medicíny. Umožňují-li to prostorové dispozice, je výhodou oddělit vyšetřovnu a ovladovnu. Nemůže-li během vyšetření asistent opustit vyšetřovnu, musí se chránit krytím za zástěnou, je-li jí místnost vybavena. Pro další účastníky vyšetření např. rodiče asistující při vyšetření malých dětí jsou určeny ochranné zástěry.

2.7 Farmaka používaná při scintigrafii ledvin

2.7.1 Furosemid

Furosemid je sulfonamidové diuretikum.

Řadíme ho mezi nejsilnější působící diuretika, tzv. kličková, podle místa působení - v Henleově kličce nefronu. Furosemid zde inhibuje kotransport Na^+ a Cl^- , inhibuje zpětnou resorpci Ca^{2+} a Mg^{2+} .

Jeho diuretické vlastnosti se klinicky využívají na udržení diurézy při snížené exkretorické funkci ledvin až ledvinné insuficienci, na regulaci (snížení) krevního tlaku při hypertenzní krizi a levostranném srdečním selhávání a při léčbě hyperkalcémie (nadbytku Ca^{2+} v krvi).

Využívá se při dynamické scintigrafii ledvin (furosemidový test).

2.7.2 Captopril

Captopril patří mezi ACE-inhibitory s krátkým poločasem. ACE-I jsou látky, které blokují angiotenzin-konvertující enzym a zabraňují přeměně angiotenzinu I na vasokontrikčně působící angiotenzin II. Tím zároveň blokují produkci aldosteronu, která je dalším stupněm kaskády. Aldosteron způsobuje retenci Na^+ a vody. Používají se jako antihypertenziva a při léčbě městnavého srdečního selhání.

Využívá se při dynamické scintigrafii ledvin (captoprilový test).

2.8 Scintigrafická vyšetření ledvin

2.8.1 Dynamická scintigrafie ledvin

Indikace

Dynamická scintigrafie ledvin je neinvazivní vyšetření, které dokáže za cenu vcelku malé radiační zátěže podat informaci o morfologii ledvin a vývodného systému, přibližné hodnotě glomerulární filtrace nebo efektivního průtoku plazmy ledvinami a hodnotách clearance pro každou ledvinu zvlášť (tzv. separovaná clearance).

Dynamická scintigrafie ledvin je též významnou diferencíálně-diagnostickou metodou při určování příčin poruchy odtoku moče z ledvin a pánvičky (hypotonická pánvička vs. obstrukce). Vyšetření umožňuje změřit urodynamickou závažnost obstrukce. Závažné poruchy vedou k destrukci renálního parenchymu a snižování funkce ledviny.

Vyšetření lze též použít ke sledování funkce transplantované ledviny a diagnostice renovaskulární hypertenze.

Kontraindikace

Kontraindikací vyšetření je těhotenství a laktace.

Příprava pacienta

Pacient musí být před vyšetřením dostatečně hydratován, jinak hrozí zkreslení výsledků vyšetření. Dostatečná hydratace se zajišťuje vypitím asi 500 ml tekutin půl hodiny před vyšetřením (u dospělého, dávka pro děti je asi 100 ml na 10 kg hmotnosti). Těsně před vyšetřením se musí pacient vymočit - plný močový měchýř zpomaluje tvorbu moči a došlo by opět ke zkreslení výsledků vyšetření. Infuzní hydratace místo pití tekutin a zavedený močový katetr pro vyprázdnění močového měchýře jsou vhodnými alternativami pro nespolupracující pacienty a pacienty s poruchou vyprazdňování moči a nejsou na překážku scintigrafickému vyšetření. Pacient nemusí být nalačno.

Aplikovaná aktivita

K vyšetření používáme radiofarmakum $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ (nebo méně často $^{99m}\text{Tc-DTPA}$, záleží na indikaci vyšetření) o aktivitě 75–250 MBq pro dospělého pacienta, aktivita pro děti se přepočítává podle doporučení EANM. Diagnostická referenční úroveň pro vyšetření je 250 MBq, diagnostická referenční úroveň při hodnocení perfuze ledvin je 500 MBq.

Postup vyšetření

K vyšetření lze použít jak jednohlavou, tak dvouhlavou gamakameru. Pacient se obvykle vyšetřuje vleže na zádech. Detektor gamakamery snímá obvykle ze zadní projekce, výjimkou je vyšetření transplantované ledviny, která bývá umístěna v (obvykle pravé) jámě kyčelní a je tedy lépe přístupná z přední projekce. Zorné pole gamakamery by mělo ideálně sahat od spodní části srdce po močový měchýř. Při menším zorném poli gamakamery určuje hranice lékař dle indikace vyšetření. Kojenci mohou být vzhledem ke své velikosti položeni přímo na kolimátor.

Při vyšetření se používá paralelní kolimátor pro nízké energie s vysokým rozlišením.

Pro záznam vyšetření se používá matice 128x128 nebo 64x64, zvětšení 1-2x.

Data se snímají v 10-20 sekundových intervalech, vyšetření trvá obvykle 20-30 minut. Je-li součástí vyšetření i angioscintigrafie snímají se data v jednosekundových intervalech po dobu první minuty od aplikace radiofarmaka za použití matice 64x64.

U pacientů se zpomaleným vyprazdňováním moče z pánvičky, která může být i dilatovaná, se provádí tzv. furosemidový test.

Varianty vyšetření

Furosemidový test

Cílem testu je zjistit charakter dilatace pánvičky. Po podání furosemidu dojde ke zvýšení tvorby moči. Je-li obstrukce způsobena hypotonií pánvičky, pánvička se zvýšeným tlakem moči vyprázdní. Je-li příčinou obstrukce (např. nádorem), zvýšená aktivita radiofarmaka nad pánvičkou přetrvá.

Furosemid se podává v dávce až 40 mg u dospělého, u dětí v dávce 1 mg/kg. Podání je intravenózní. Kontraindikací podání furosemidu je nefrolitiáza.

Furosemid se obvykle podává ve 20. minutě vyšetření (F+20), přetrvává-li vyšší aktivita radiofarmaka nad pánvičkou (u zdravého a dobře hydratovaného pacienta je ve 20. minutě významná část radiofarmaka v močovém měchýři).

Nicméně existují i další varianty vyšetřovacího postupu. Jsou to:

F-15 - furosemid je aplikován 15 minut před podáním radiofarmaka

F-0 - furosemid je aplikován současně s radiofarmakem

Vyšetření pokračuje po dobu 10-20 minut od aplikace furosemidu (u varianty F+20 tvoří furosemidový test posledních 10 minut vyšetření, není-li třeba ho podat, může lékař vyšetření i ukončit).

Vyšetření transplantované ledviny

Transplantovaná ledvina se vyšetřuje pomocí série vyšetření dynamickou scintigrafií od časně pooperační fáze. Cílem vyšetřování je odhalování komplikací jak v časně tak pozdní fázi od transplantace.

Nezbytnou součástí vyšetření je angioscintigrafie.

Možnými vyšetřovanými komplikacemi transplantace jsou např. rejekce transplantátu, akutní tubulární nekróza, trombóza renální žíly, infarkt ledviny atd.

Diagnostika renovaskulární hypertenze

Dynamickou scintigrafií lze použít i ke zjištění hemodynamicky významné stenózy arterie renalis, která může být příčinou hypertenze. Senzitivita vyšetření je až 90%, specificita nad 95%.

Příprava pacienta mírně liší: před vyšetřením musí pacient 4 hodiny lačnit a pít pouze vodu. Několik dnů před vyšetřením musí pacient vysadit léčbu antihypertenzivy - ACE-inhibitory (3-7dní), diuretika (3 dny), vhodné je vysadit i blokátory receptorů pro angiotensin II. Rizikovým pacientům se zavádí kanyla.

Vyšetření zahrnuje dvě dynamické scintigrafie ledvin - jednou za bazálních podmínek a jednou po podání ACE-inhibitoru. Někdy se však provádí jen vyšetření s podáním ACE-inhibitoru. Podává se 25-50mg captoprilu per os 1 hodinu před aplikací radiofarmaka. Pacientům se v intervalu 10-15 minut monitoruje krevní tlak a puls.

Radiační zátěž pacienta

Tab. 2 Radiační zátěž při vyšetření dynamickou scintigrafií ledvin s ^{99m}Tc -MAG3 (Věstník MZČR, 2011, s. 154)

Scintigrafie ledvin dynamická [^{99m}Tc]-MAG3		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,11 močový měchýř	0,007
Děti 5 let	0,18 močový měchýř	0,012

Tab. 3 Radiační zátěž při vyšetření dynamickou scintigrafií ledvin s ^{99m}Tc -DTPA (Věstník MZČR, 2011, s. 154)

Scintigrafie ledvin dynamická [^{99m}Tc]-DTPA		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,062 močový měchýř	0,0049
Děti 5 let	0,095 močový měchýř	0,009

2.8.2 Statická scintigrafie ledvin

Indikace

Statická scintigrafie ledvin je neinvazivní vyšetření, které umožňuje posouzení tvaru, velikosti a uložení ledvin a stavu funkčního parenchymu (dokáže zjistit přítomnost známek pyelonefritidy či jizvy po ní). Radiační zátěž je podobně jako u dynamické scintigrafie relativně nízká. Vyšetření využívá zobrazení záchytu radiofarmaka v tubulárním systému ledvin, přičemž záchyt je možný jen ve funkčním parenchymu.

Kontraindikace

Kontraindikací vyšetření je těhotenství a laktace.

Příprava pacienta

Je nutná dobrá hydratace pacienta - zvýšená diuréza eliminuje nenavázané radiofarmakum z těla a snižuje dávku záření. Těsně před vyšetřením by se měl pacient vymočit. Pacient nemusí být nalačno. Vyšetření neovlivňuje krátký odstup od podání kontrastní látky, vliv však mají některá farmaka - gentamicin, cis-platina, chlorid amonný, manitol. Po dobu vyšetření musí pacient klidně ležet, proto je-li takovým pacientem neklidné dítě (děti tvoří významnou část vyšetřovaných pacientů), může být součástí přípravy i medikamentózní sedace.

Aplikovaná aktivita

K vyšetření používáme nejčastěji radiofarmakum ^{99m}Tc -DMSA o aktivitě 100–250 MBq pro dospělého pacienta, aktivita pro děti je 1-2 MBq/kg hmotnosti pacienta, minimálně však 20 MBq. Diagnostická referenční úroveň pro vyšetření je 250 MBq, diagnostická referenční úroveň při hodnocení perfuze ledvin je 500 MBq.

Postup vyšetření

K vyšetření lze použít jak jednohlavou tak dvouhlavou gamakameru, v praxi se používá takřka výhradně dvouhlavá gamakamera s možností SPECT vyšetření, které bývá součástí vyšetřovacího protokolu. Pacient se obvykle vyšetřuje vleže na zádech.

K vyšetření se používá paralelní kolimátor pro nízké energie s vysokým rozlišením, variantou pro malé děti je i použití kolimátoru pinhole (na jednohlavé gamakameře).

Vyšetřuje se za 2-3 hodiny po i.v. aplikaci radiofarmaka. Vyšetření začíná planární scintigrafií z přední i zadní projekce. Používá se matice 256x256, vyšetření se ukončí po dosažení 500 000 impulsů na každý detektor. Dalším krokem bývá SPECT vyšetření (po 3°, 20 sekund snímání na 1 krok, matice 128x128).

Radiační zátěž pacienta

Tab. 4 Radiační zátěž při vyšetření dynamickou scintigrafií ledvin s ^{99m}Tc -DMSA (Věstník MZČR, 2011, s. 151)

Scintigrafie ledvin statická [^{99m}Tc]-DMSA		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	0,18 ledviny	0,0083
Děti 5 let	0,43 ledviny	0,021

3 Praktická část

Pacienti se setkávají na oddělení nukleární medicíny s radiologickými asistenty v různých úlohách. Asistenti se v těchto úlohách pravidelně střídají z důvodu radiační ochrany (ochrana časem). Pacienti jdoucí na vyšetření vystřídají asi 2-3 pracoviště (kartotéku, aplikační místnost a vyšetřovnu), kde se jich ujímají právě radiologičtí asistenti. Následující popis činností radiologického asistenta je tedy sumací činností radiologických asistentů na různých pracovištích - v reálném životě je nedělá jen jeden radiologický asistent.

V praktické části se budu zabývat dynamickou scintigrafií ledvin s možnou variantou furosemidového testu (F+20) a statickou scintigrafií ledvin.

3.1 Společná část vyšetření

Registrace a poučení pacienta

Pacient se přichází registrovat k vyšetření do kartotéky. Radiologický asistent seznamuje pacienta s přípravou na vyšetření, které má podstoupit a dává mu instrukce, které by měl před vyšetřením splnit. V případě scintigrafie ledvin poučuje pacienta o nutnosti pít před vyšetřením hodně tekutin a nutnosti je jít těsně před plánovaným začátkem vyšetření vymočit. Některá oddělení preferují dávat tyto informace pacientovi raději i v písemné formě a mají takováto poučení připravena pro všechny typy vyšetření.

Pro účely softwarového zpracování výsledků vyšetření je nutné též znát pacientovu výšku a hmotnost a zapsat obě hodnoty pro lékaře do karty pacienta.

Informovaný souhlas

Zároveň dává asistent pacientovi k přečtení Informovaný souhlas s vyšetřením. Ten si může pacient v době před vyšetřením v klidu přečíst a připravit si případné otázky ohledně vyšetření pro vyšetřujícího lékaře, který mu případné dotazy před vyšetřením zodpoví. Teprve až má pacient pocit, že je dostatečně informován, podepisuje Informovaný souhlas. U nezletilých se výše uvedené informace týkají jejich zákonného zástupce.

Gravidita

Pacientky ve fertilním věku by měly také podepisovat prohlášení o tom, že nejsou těhotné. Konkrétní forma prohlášení je dána zvyklostmi oddělení. V případě nejistoty o graviditě může lékař indikovat statim laboratorní test gravidity.

Příprava přístroje k vyšetření

Zadávání údajů o pacientovi, volba vyšetřovacího protokolu

Asistent dále zadává údaje pacienta (jméno, příjmení, rodné číslo, hmotnost a výšku) do softwaru přístroje a kontroluje správné nastavení přístroje a vyšetřovacího protokolu. Většina voleb je přednastavena, v některých případech určuje lékař i jiné parametry.

Výměna kolimátoru

Radiologický asistent by měl zkontrolovat i správný výběr kolimátoru a v případě potřeby ho na gamakameře vyměnit.



Obr. 16 Kolimátory ve vozíku (autor, 2013)

Úprava lůžka gamakamery

Radiologický asistent připravuje lůžko na gamakameře. Odstraňuje použité jednorázové podložky pod pacienta a dává nové. Ty použité likviduje podle předpisů o nakládání s odpady. V případě kontaminace lůžka např. krví se za použití ochranných pomůcek stará o jeho dekontaminaci. Při volbě dezinfekce postupuje podle dezinfekčního řádu.



Obr. 17 Dvouhlavá gamakamera připravená k vyšetření pacienta (autor, 2013)



Obr. 18 Koš na radioaktivní odpad (autor, 2013)

Aktivní identifikace pacienta

Radiologický asistent před aplikací radiofarmaka nebo vyšetřením aktivně identifikuje pacienta. Aktivní identifikace se provádí podle zvyklostí oddělení či přímo metodického pokynu oddělení či nemocnice. Příkladem může být dotaz na křestní jméno (protože příjmením asistent obvykle vyvolává pacienta z čekárny), datum narození (které může i odvodit z rodného čísla) případně přímo na rodné číslo či jeho část. Pokud si není jist, že bude vyšetřovat správného pacienta, nesmí vyšetření zahájit.

Příprava radiofarmak

Radiologický asistent připravuje radiofarmaka k aplikaci (pokud to nedělá např. farmaceut v laboratoři). Asistent natahuje radiofarmakum do sterilní stříkačky v digestoři, aby se chránil před zářením. Množství (objem) radiofarmaka k natažení počítá trojčlenkou podle údajů o objemové aktivitě, které laboratoř dodává společně s radiofarmakem.



Obr. 19 Radiologická asistentka připravuje radiofarmakum v digestoři (autor, 2013)

Po natažení radiofarmaka vrací stříkačku do původního obalu (kvůli kontaminaci detektoru) a vkládá ji do studnového detektoru kvůli kontrole správnosti aktivity.



Obr. 20 Pohled do digestoře - vlevo studnový detektor, vpravo lahvička s radiofarmakem (autor, 2013)

Údaje o aktivitě se zobrazují na monitoru detektoru (před měřením musí asistent zkontrolovat jeho správné nastavení, např. volbu měřeného radionuklidu).



Obr. 21 Displej měřiče aktivity radiofarmaka (autor, 2013)

V případě natažení nesprávné aktivity radiofarmaka asistent chybu koriguje a dalším měřením verifikuje správnost korekce. Poté kryje stříkačku stínícím krytem a ukládá do stínícího kontejneru.



Obr. 22 Kryt na stříkačku s radiofarmakem (autor, 2013)



Obr. 23 Nádoba na přenášení stříkaček s radiofarmakem (autor, 2013)

Asistence při aplikaci radiofarmak

Radiologický asistent asistuje lékaři při aplikaci radiofarmaka. Připravuje pomůcky k i.v. aplikaci (jehlu, stříkačku, desinfekční roztok, tampony, náplast, škrtdlo, ochranný kryt na stříkačku, gumové/latexové rukavice). V případě dětí, kdy potřebujeme, aby ležely klidně na lůžku gamakamery, a radiofarmakum podáváme až na lůžku, volíme aplikaci flexily na aplikační místnosti a radiofarmakum injektujeme do ní (a poté ji propláchneme fyziologickým roztokem, aby se vyplavilo radiofarmakum ze setu). Tím separujeme bolestivý zážitek z napíchnutí žíly od vlastního vyšetření.

Neklidné děti

Farmakologická sedace dětí popisovaná v literatuře se volí zřídka. Většinou dítě během vyšetření drží a uklidňují rodiče nebo sanitáři, nejsou-li přítomni, tak radiologický asistent. Tito účastníci dostávají pro pobyt ve vyšetřovně ochranné pomůcky a (kromě asistenta) podepisují souhlas se svým ozářením. V případě neklidu dítěte se vyšetření raději zkracuje, než by se měla použít sedace.



Obr. 24 Táč s pomůckami pro i.v. aplikaci $^{99m}\text{Tc-DMSA}$ (autor, 2013)

Radiační ochrana pracovníků během vyšetření

Radiologický asistent by se měl během vyšetření starat i o svoji ochranu před zářením. S pacientem komunikuje na dálku – při vstupu naaplikovaného pacienta do místnosti si zachovává odstup od něj. Ukládání pacienta zbytečně neprotahuje, je-li možnost ovládat stůl gamakamery z větší dálky (delší kabel ovladače, bezdrátově), využívá ji, není-li, může se před zářením krýt např. za gantry gamakamery. Pracoviště mívají obvykle oddělenou vyšetřovnu a ovladovnu, nedovoluje-li prostorové uspořádání pracoviště opustit vyšetřovnu během vyšetření, kryje se radiologický asistent za posuvnou stěnou.

Radiologický asistent kontroluje během vyšetření stav pacienta a komunikuje s ním.

3.2 Činnost radiologického asistenta při vyšetření ledvin dynamickou scintigrafií

Příprava před vyšetřením:

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, příprava se skládá z dostatečné hydratace pacienta (půl litru tekutin půl hodiny před vyšetřením) a vymočení těsně před vyšetřením (asistent většinou před začátkem vyšetření vyhledá pacienta v čekárně, upozorní ho na blížící se začátek vyšetření a vyzve ho k odchodu na WC). Pacient před vyšetřením nemusí lačnit, žádná další příprava není nutná.

Příprava přístroje, lůžka:



Obr. 25 Lůžko s jednohlavou gamakamerou, vzadu ve stojanu kolimátor pinhole (autor, 2013)

Byly již částečně probrány ve společné části, viz výše.

Dynamická scintigrafie ledvin se provádí na jednohlavé nebo dvouhlavé gamakameře. Tam, kde je možnost obou kamer, se preferuje vyšetření jednohlavou gamakamerou ze zadní projekce (pacient má detektor pod zády) - dynamické vyšetření nevyžaduje možnost SPECT, takže se dvouhlavé gamakamery vyhrazují vyšetřením vyžadujícím SPECT. Jedinou výjimkou je vyšetření transplantované ledviny, která se standardně dělá na dvouhlavé gamakameře (možnost přední a zadní projekce, větší zorné pole).

Vyšetřovací protokol se skládá z:

- 1) dynamické scintigrafie po dobu 60 s při frekvenci snímání 1 obrázek za sekundu
- 2) dynamické scintigrafie po dobu 29 minut při frekvenci 1 obrázek za 10 sekund

Používá se paralelní kolimátor s vysokým rozlišením pro nízké energie a matice 64x64.

Asistent musí mít zadané údaje o pacientovi a připravený správný vyšetřovací protokol před podáním radiofarmaka! (protože současně s jeho podáním spouští vyšetření).

Příprava a polohování pacienta

Radiologický asistent vyvolává pacienta z čekárny. Pacient přichází do vyšetřovací místnosti, kde ho radiologický asistent aktivně identifikuje, aby zajistil, že bude vyšetřovat správného pacienta.

Přebírá od pacienta informovaný souhlas, je-li podepsaný.

Poté se pacienta ptá, zda dostatečně pil a byl před vyšetřením na toaletě.

Pacient se poté svlékne - většinou lze ale pacienta vyšetřit oblečeného. V oblasti břicha, které je zájmovou oblastí vyšetření by nemělo mít oblečení ani pacient kovové předměty, které by svou velikostí a uložením mařily vyšetření. Zip nebo knoflík u kalhot obvykle není na překážku. Výhodou je, že si nemusí před vyšetřením sundávat hodinky, řetízky, náušnice, čímž odpadávají mnohé problémy s jejich sundáváním či ztrátou.

Radiologický asistent pacienta poučí o průběhu vyšetření a uloží na vyšetřovací stůl gamakamery. Během poučení mu sděluje následující informace: Vyšetření bude trvat asi půl hodiny. Během něj bude pacient ležet na vyšetřovacím stole na zádech, nebude se hýbat, hlavně ne v oblasti břicha, hlavou hýbat může, mluvit během vyšetření také, dýchat si může podle libosti. Vyšetření začíná aplikací radiofarmaka do žíly. Během vyšetření může lékař rozhodnout o podání diuretika, v tom případě čeká pacienta druhá injekce do žíly.

Následuje polohování pacienta. Radiologický asistent pohybuje stolem ať mechanicky či elektronicky tak, aby zorné pole gamakamery pokrývalo zájmovou oblast vyšetření. Jelikož pacient ještě nemá aplikované radiofarmakum, pracuje asistent jen podle orientačních bodů viditelných a hmatných na pacientově těle (většinou si vyhmatává a orientuje se podle crista iliaca). Praktickou pomůckou pro nalezení správné polohy může být přiložení stříkačky s radiofarmakem (kryté olověnou ochranou) na crista iliaca obou stran, nad močový měchýř a na processus xiphoideus a sledování obrazového monitoru gamakamery, zda se na něm objeví obraz zvýšené aktivity a v jakém umístění. Tento postup sice zvyšuje radiační zátěž pacienta i radiologického asistenta, nicméně dávka při jednom přiložení, které stačí k verifikaci polohy nebo k získání informace, jak polohu korigovat, je velmi malá a je

výhodnější ho provést než po začátku vyšetření pohybovat s pacientem a znehodnocovat tím vyšetření.



Obr. 26 Poloha pacienta nad detektorem gamakamery (autor, 2013)

Aplikace radiofarmaka

V dalším kroku asistuje radiologický asistent lékaři při aplikaci radiofarmaka. Nejčastěji se používá ^{99m}Tc -MAG3 o aktivitě 185MBq (u dospělých, 70 kg). Současně s podáním radiofarmaka spouští radiologický asistent v počítači vyšetření. Čas a místo aplikace (a strana těla, do které bylo aplikováno) se zapisují do protokolu o vyšetření, kam se současně podepisuje i aplikující lékař. Současně s aplikací radiofarmaka spouští asistent vyšetření.

Po aplikaci radiofarmaka a krátkém poučení pacienta, aby se už nehýbal, asistent už jen monitoruje průběh vyšetření. Dodržuje přitom zásady radiační ochrany - odchází do ovladovny, odkud může sledovat pacienta okénkem z olovnatého skla nebo, musí-li zůstat v místnosti, sedí co nejdále od pacienta kryt posuvnou stěnou.

V 15. minutě vyšetření (předpokládáme variantu vyšetření F+20) informuje lékaře, který zhodnotí dosavadní průběh vyšetření a rozhoduje o případném podání diuretika. V případě rozhodnutí o podání diuretika, asistent připravuje farmakum (furosemid) v příslušné dávce do stříkačky, připravuje pomůcky pro i.v. aplikaci a asistuje při aplikaci ve 20. minutě (poté se čas a místo aplikace zapisují do protokolu o vyšetření a podepisuje jej aplikující lékař, čas aplikace je také důležitý pro správné zpracování a vyhodnocení vyšetření v diagnostickém softwaru).

Asistent poté opět jen monitoruje průběh vyšetření. Po skončení vyšetření odesílá data z vyšetření podle zvyklostí oddělení ke zpracování a popisu lékaři.

Krátce nato asistent propouští pacienta. Pomáhá mu ev. vstát a obléci se a poučuje ho o nutnosti hodně pít, aby se zbylé radiofarmakum vyloučilo. Také by se pacient měl po zbytek dne vyhýbat těhotným a malým dětem - nepobývat s nimi v jedné místnosti, zkrátit kontakt, udržovat si co největší odstup.

Na závěr si dovoluji přiložit několik obrázků výsledků provedených vyšetření, viz Příloha A.

3.3 Činnost radiologického asistenta při vyšetření ledvin statickou scintigrafií

Příprava před vyšetřením:

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, příprava se skládá z dostatečné hydratace pacienta po aplikaci radiofarmaka (aby se nenavázané radiofarmakum vyplavovalo z ledvin) a vymočení těsně před vyšetřením (asistent většinou před začátkem vyšetření vyhledá pacienta v čekárně, upozorní ho na blížící se začátek vyšetření a vyzve ho k odchodu na WC). Pacient před vyšetřením nemusí lačnit, žádná další příprava není nutná.

U statické scintigrafie se radiofarmakum aplikuje asi dvě hodiny před vyšetřením na gamakameře. Nejčastěji se (u dospělých, 70kg) používá ^{99m}Tc -DMSA o aktivitě 185MBq. Radiofarmakum aplikuje lékař za asistence sestry nebo radiologického asistenta (kteří i připravují pomůcky k aplikaci, viz výše). Čas aplikace a místo vpichu se zapisuje do protokolu o vyšetření, kam se zároveň podepisuje i aplikující lékař. Před podáním radiofarmaka musí pacient odevzdat vyplněný a podepsaný Informovaný souhlas.

Příprava přístroje, lůžka:

Byly již částečně probrány ve společné části, viz výše.

Statická scintigrafie se provádí standardně na dvouhlavé gamakameře s možností SPECT vyšetření. Vyšetřovací protokol se skládá z planární scintigrafie z přední i zadní projekce. Používá se matice 256x256, vyšetření se ukončí automaticky po dosažení 500 000 impulsů na každý detektor (cca. do 10 minut). Dalším krokem bývá SPECT vyšetření (standardně po 3°, 20 sekund snímání na 1 krok, matice 128x128). K vyšetření se používá paralelní kolimátor pro nízké energie s vysokým rozlišením. Pacient se obvykle vyšetřuje vleže na zádech. Vyšetření se provádí za 2-3 hodiny po aplikaci radiofarmaka.

Příprava a polohování pacienta

Radiologický asistent vyvolává pacienta z čekárny. Pacient přichází do vyšetřovací místnosti, kde ho radiologický asistent aktivně identifikuje, aby zajistil, že bude vyšetřovat správného pacienta.

Poté se pacienta ptá, zda dostatečně pil a byl před vyšetřením na toaletě.

Pacient se poté svlékne - většinou lze ale pacienta vyšetřit oblečeného. Platí stejné podmínky jako u dynamické scintigrafie ledvin.



Obr. 27 Dvouhlavá gamakamera, vzadu okénko do ovladovny (autor, 2013)

Radiologický asistent pacienta poučí o průběhu vyšetření a uloží na vyšetřovací stůl gamakamery. Během poučení mu sdělí následující informace: Vyšetření bude trvat asi 10 minut. Během něj bude pacient ležet na vyšetřovacím stole na zádech, nebude se hýbat, hlavně ne v oblasti břicha, hlavou hýbat může, mluvit během vyšetření také, dýchat si může podle libosti.

Následuje polohování pacienta. Radiologický asistent nastavuje pacienta pod hlavy gamakamery tak, aby na monitoru gamakamery byly ledviny ve středu zorného pole a zabíraly nejméně 1/3 výšky. Jejich velikost může ovlivnit i zvýšením parametru zoom v softwaru gamakamery. Hlavy gamakamery by měly být co nejblíže těla pacienta.



Obr. 28 Ovladač lůžka dvouhlavé gamakamery (autor, 2013)

Po správném nastavení spouští asistent vyšetření a monitoruje jeho průběh. Přitom (jak už bylo zmíněno u dynamické scintigrafie), chrání sám sebe před zářením.

Pokud se vyšetření doplňuje o SPECT, asistent dává pacientovi pokyn, aby během SPECT vyšetření měl ruce za hlavou, klidně ležel a poučuje ho, že se kolem něj budou hlavy gamakamery otáčet.

Po skončení vyšetření odesílá data z vyšetření podle zvyklostí oddělení ke zpracování a popisu lékaři.

Krátce nato propouští pacienta. Pomáhá mu ev. vstát a obléci se a poučuje ho o nutnosti hodně pít, aby se zbylé radiofarmakum vyloučilo. Také by se pacient měl po zbytek dne vyhýbat těhotným a malým dětem - nepobývat s nimi v jedné místnosti, zkrátit kontakt, udržovat si co největší odstup.

Na závěr si dovoluji přiložit několik obrázků výsledků provedených vyšetření, viz Příloha B.

4 Diskuse

Vzdělávání radiologických asistentů se postupnými změnami legislativy posunulo ze středních škol přes vyšší odborné školy až k současnému bakalářskému vysokoškolskému studiu. Zároveň s tím se změnila i náplň studia. S rychlým technickým pokrokem rostou nároky na ovládání čím dál složitější přístrojové techniky. Samotný technický pokrok jde kupředu tak rychle, že se životnost některých informací získaných radiologickými asistenty během jejich studia může počítat jen na roky a kontinuální vzdělávání v oboru bude mít pravděpodobně stále větší význam.

Práce radiologického asistenta je kromě práce s přístrojovou technikou také hlavně prací s lidmi. Prací náročnou na schopnost komunikace, empatie. A zvláště v nukleární medicíně, kde je pacient sám zdrojem záření, před kterým se má radiologický asistent sám chránit, což někdy velmi ruší normální mezilidský kontakt. Dále radiologický asistent často vyšetřuje malé děti, starší pacienty s poruchou zraku a sluchu, prostě lidi, kteří nejsou schopni dokonalé spolupráce.

Přes ohromný technický pokrok u diagnostických přístrojů nepoužívajících ionizující záření (ultrazvuk a magnetická rezonance) zůstávají scintigrafické vyšetřovací metody ledvin užívající ionizující záření mezi metodami volby. Jejich schopnost přinést informaci o funkci ledvin (obzvláště separované funkci) nemají rovnocennou náhradu. Navíc v případě dynamické scintigrafie ledviny, kdy se u zdravého člověka nachází ke konci vyšetření většina aktivity radiofarmaka v močovém měchýři a lze ji jednoduše tělo zbavit je dávka ionizujícího záření opravdu minimální. A s používáním „nových“ radiofarmak značených ^{99m}Tc (místo jódu) klesla radiační zátěž jak pro pacienty, tak pro radiologické asistenty a lékaře.

Svoji radiační zátěž si nakonec zvyšují i sami pacienti, kteří se i v prostorných čekárnách oddělení nukleární medicíny shlukují (např. okolo televizorů) a vzájemně se zbytečně ozařují. A možná by stačilo je pouze poučit, což se v praxi bohužel většinou neděje. Případný další výzkum a měření dávek v této problematice by možná mohl přinést zajímavé výsledky.

Co se vyšetřovacích postupů u scintigrafie ledvin týče, neexistuje jednotný standard pro všechna oddělení v České republice. Jsou sice vydány národní standardy, ty si však jednotlivá oddělení upravují podle svých možností do místních standardů, aby byla možnost porovnávat mezi sebou opakovaná vyšetření.

5 Závěr

V této práci jsem se pokusil popsat činnosti radiologického asistenta při dynamické a statické scintigrafii ledvin, neboť, jak již bylo zmíněno výše, příslušné literatury pro radiologické asistenty je nedostatek.

Při psaní této práce jsem si srovnával informace získané studiem teoretických podkladů s postupy používanými a lety prověřenými v praxi na pracovištích nukleární medicíny. Během praxe mě překvapily některé důmyslné postupy, které nejsou k nalezení v učebnicích, a zmínil jsem je tedy alespoň v praktické části práce.

Vzhledem k tomu, že pacient sám se během vyšetření stává zdrojem záření, poukazuji v praktické části také na aplikace příslušných principů radiační ochrany jak ve vztahu pacient-radiologický asistent, tak na ochranu pacienta samotného a jeho blízkých.

Doufám, že tato práce bude dobrým zdrojem informací současným i budoucím radiologickým asistentům.

6 Použitá literatura

ČESKO Předpis č. 31 ze dne 11. ledna 2010 o oborech specializačního vzdělávání a označení odbornosti zdravotnických pracovníků se specializovanou způsobilostí In: Sbírka zákonů České republiky. 2010, částka 10, s. 338–347. Dostupný také z:

<http://www.mvcr.cz/soubor/sb010-10-pdf.aspx>

ČESKO Vyhláška č. 55 ze dne 14. března 2011 Vyhláška o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků In: Sbírka zákonů České republiky. 2011, částka 20, s. 482–543. Dostupný také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=5886>.

ČESKO Vyhláška č. 307 ze dne 13. června 2002 Vyhláška o radiační ochraně Dostupný z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/307_po_novele.pdf.

ČESKO. Zákon č. 96 ze dne 4. února 2004 Zákon o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činnosti souvisejících s poskytováním zdravotní péče a o změně některých souvisejících zákonů In: Sbírka zákonů České republiky. 2008, částka 109, s. 5206–5247. Dostupný také z: <http://www.mvcr.cz/soubor/sb109-08-pdf.aspx>.

ČIHÁK, Radomír. Anatomie 2. 2. vyd. Praha: Grada, 2002, 488 s. ISBN 80-247-0143-X.

DOLEŽAL, Jiří. Radionuklidová vyšetření genitourinárního systému. ONM FN Hradec Králové, 2012, 81s.

KUPKA, Karel, Josef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. Praha: Grada, 2007, 185 s. ISBN 978-809-0358-492.

MAREK, Josef. Farmakoterapie vnitřních nemocí. Vyd. 1. Praha: Grada Publishing, 1995, 502 s. ISBN 80-716-9147-X.

MYSLIVEČEK, Miroslav. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. ISBN 978-802-4417-233.

SINGER, Jan a Jindřiška HEŘMANSKÁ. Principy radiační ochrany. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2004, 111 s. ISBN 80-704-0708-5.

TROJAN, Stanislav. Lékařská fyziologie. 4. vyd. přepr. a dopl. Praha: Grada, 2003, 470 s. ISBN 80-247-0512-5.

Věstník MZČR. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2011, roč. 2011, částka 9. Dostupné z: http://www.mzcr.cz/Legislativa/Soubor.aspx?souborID=12893&typ=application/pdf&nazev=ZDRAVOTNICTVI_09-11.pdf

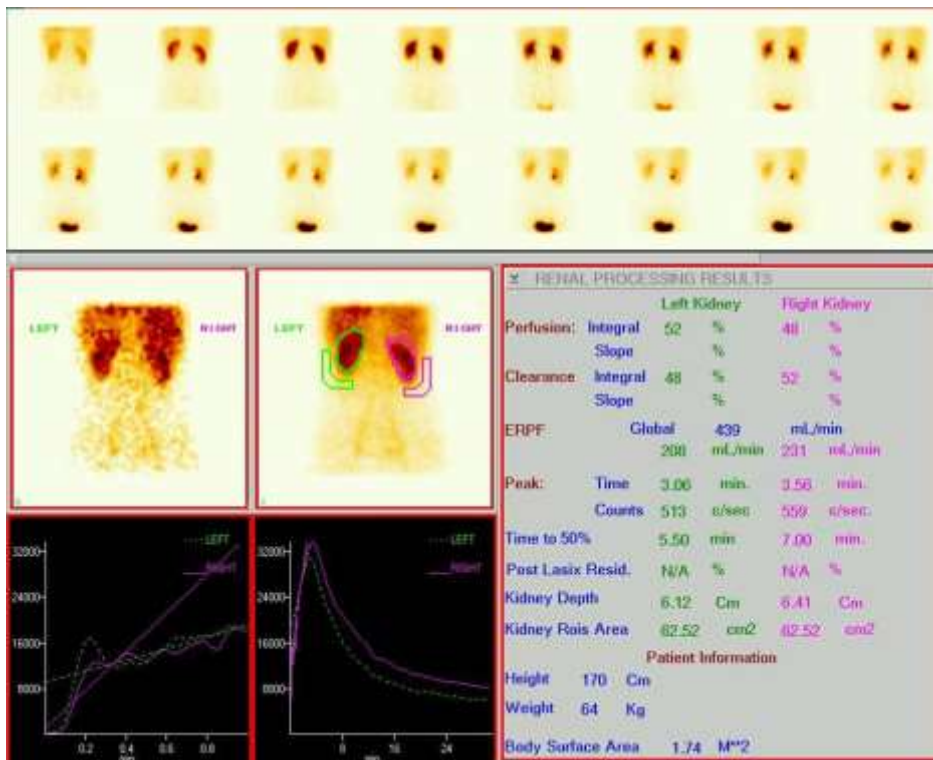
VIŽĎA, Jaroslav. Atlas of renal scintigraphy: Atlas scintigrafie ledvin. 1. vyd. Praha: Agentura Pankrác, 2002, 72 s. ISBN 80-902-8736-0.

ZEMAN, Miroslav. Speciální chirurgie. 2. vyd. Praha: Galén, 2004, xxiii, 575 s. ISBN 80-726-2260-9.

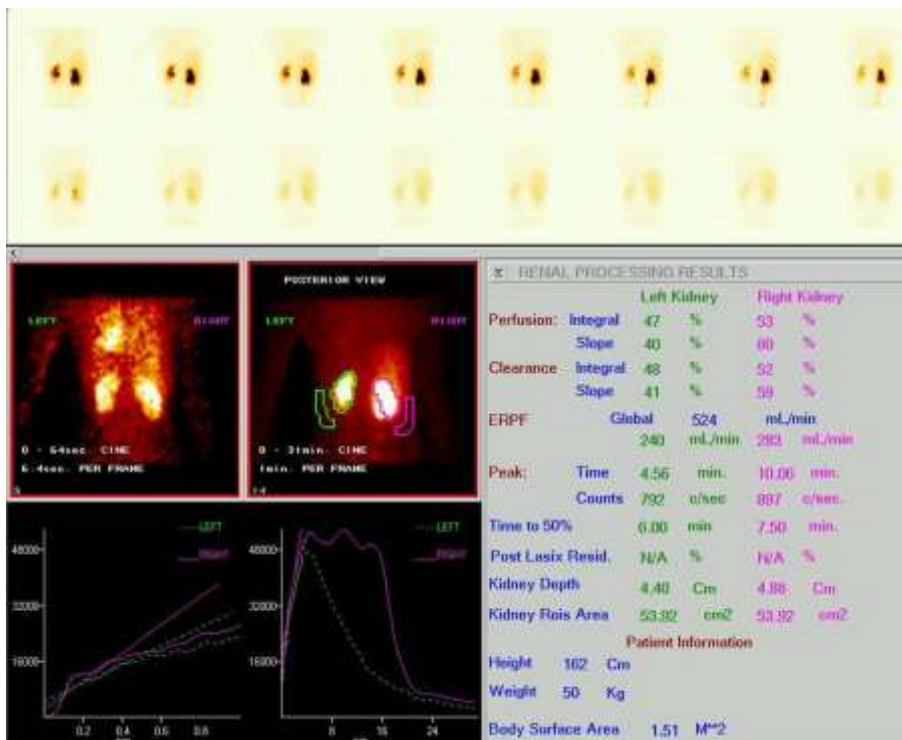
ZWINGER, Antonín. Porodnictví. 1. vyd. Praha: Karolinum, c2004, xxiv, 532 s. ISBN 80-726-2257-9.

7 Přílohy

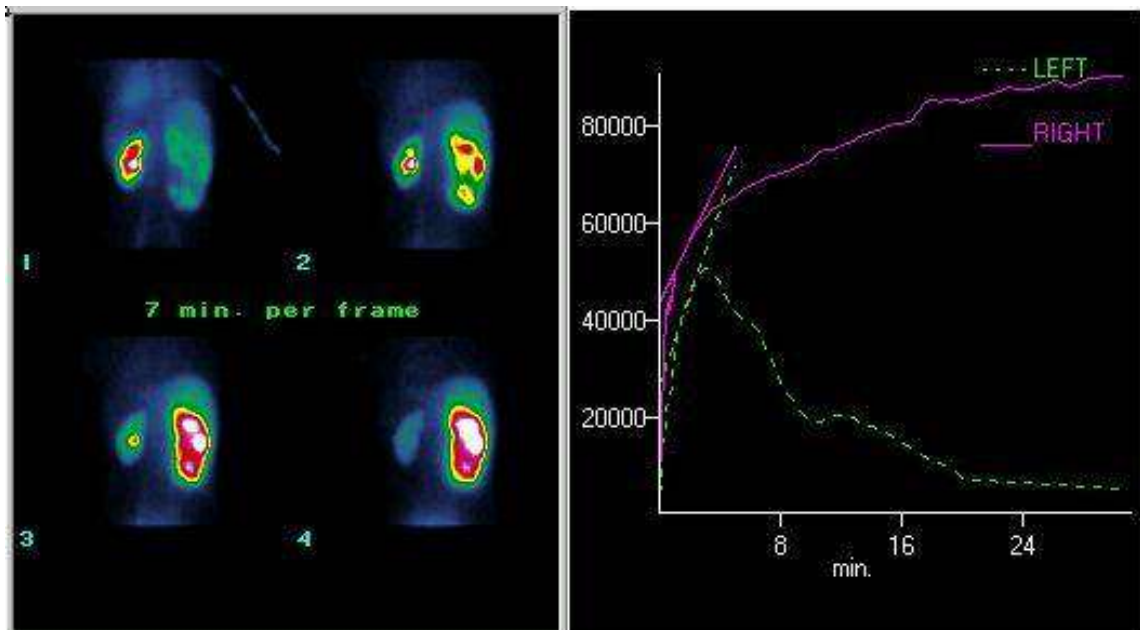
Příloha A – Ukázky výsledků vyšetření dynamickou scintigrafií ledvin



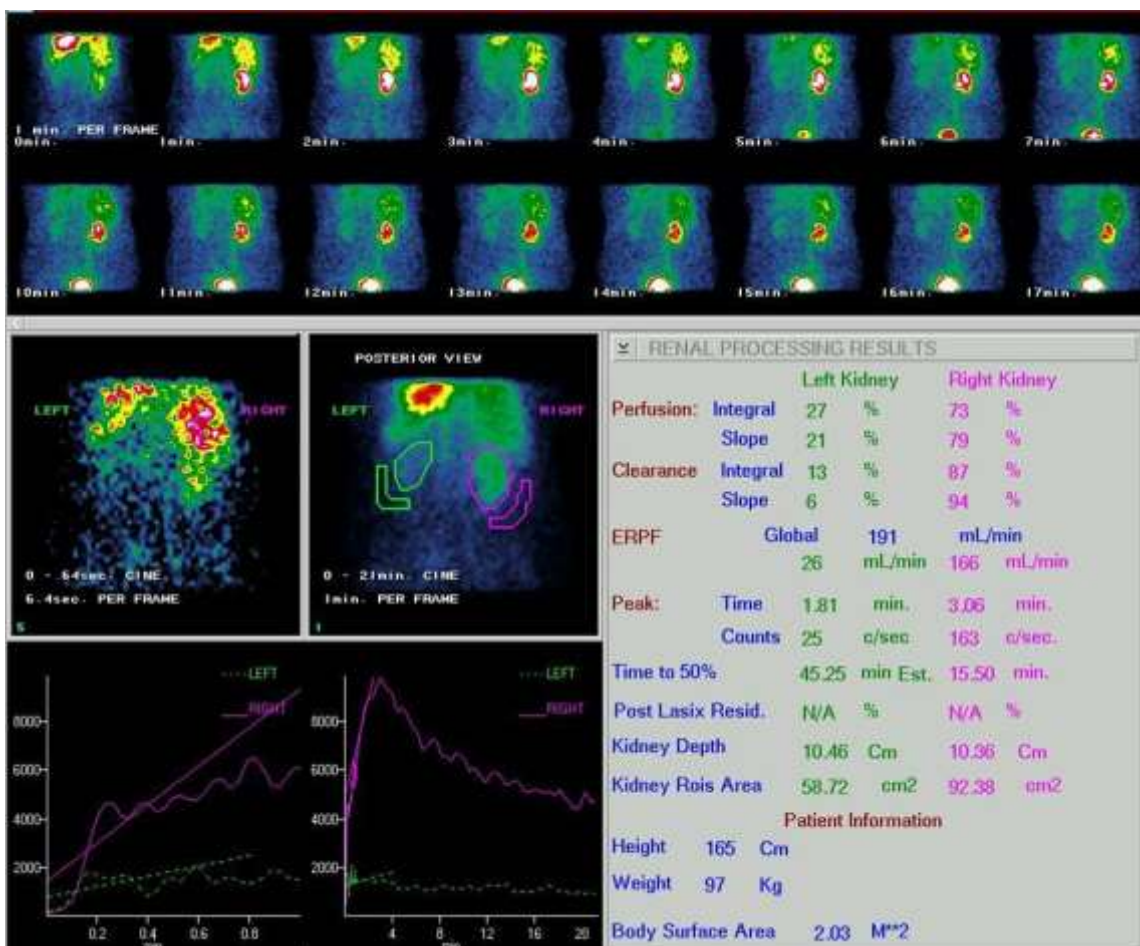
Obr. 29 Dynamická scintigrafie ledvin s ^{99m}Tc-MAG3 - normální nález (Doležal, 2012, s. 10)



Obr. 30 Dynamická scintigrafie ledvin s ^{99m}Tc-MAG3 - Hypotonická pánvička pravé ledviny s rychlou reakcí na diuretikum (Doležal, 2012, s. 14)

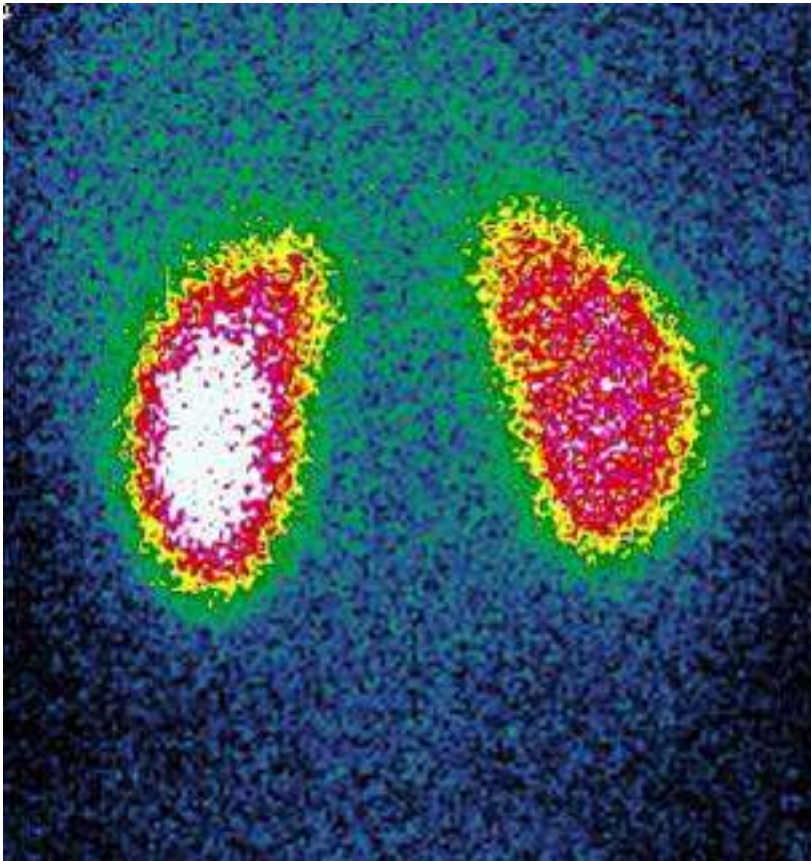


Obr. 31 Dynamická scintigrafie ledvin s $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ - Hydronefróza pravé ledviny se stagnací moče v páničce bez reakce na diuretikum (Doležal, 2012, s. 17)

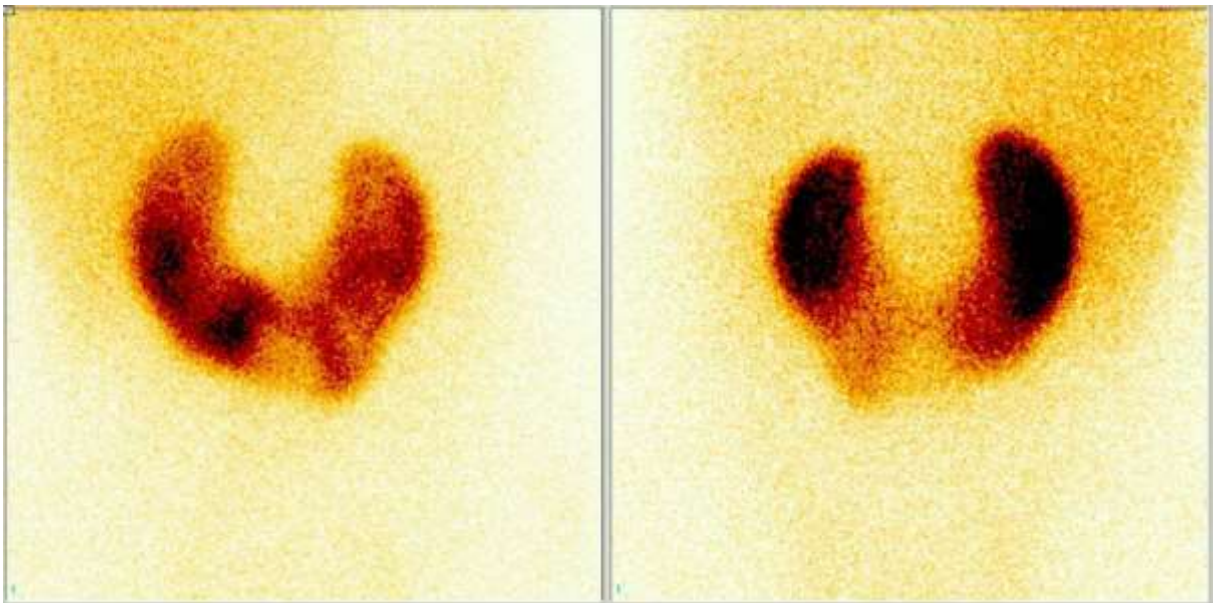


Obr. 32 Dynamická scintigrafie ledvin s $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ - Hypofunkce levé ledviny (Doležal, 2012, s. 16)

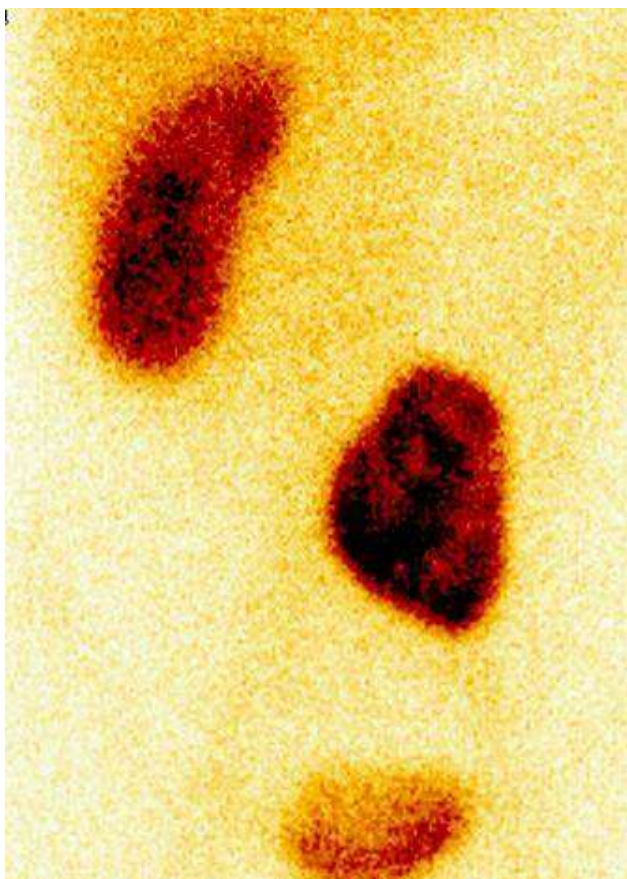
Příloha B - Ukázky výsledků vyšetření statickou scintigrafií ledvin



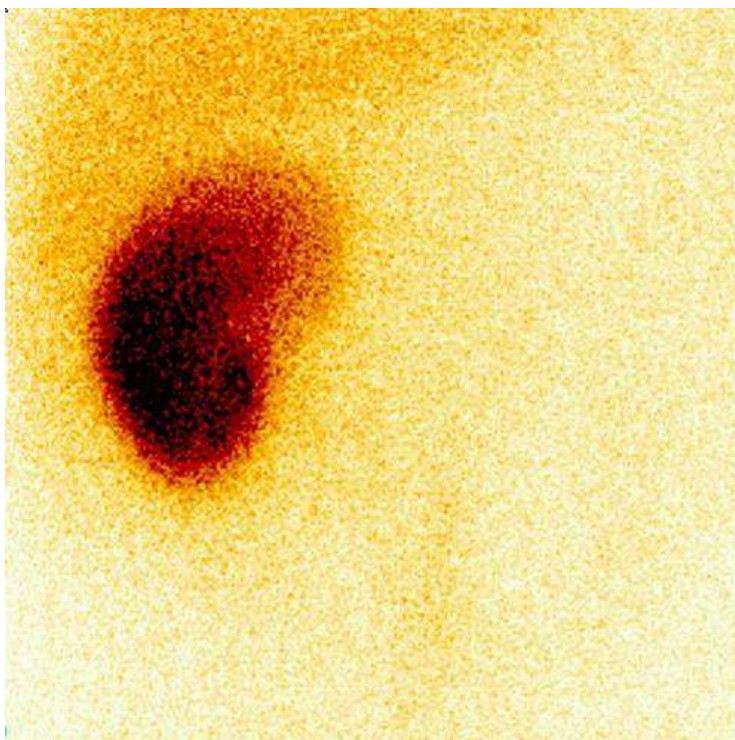
Obr. 33 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m}Tc -DMSA – normální nález, přední projekce (Doležal, 2012, s. 27)



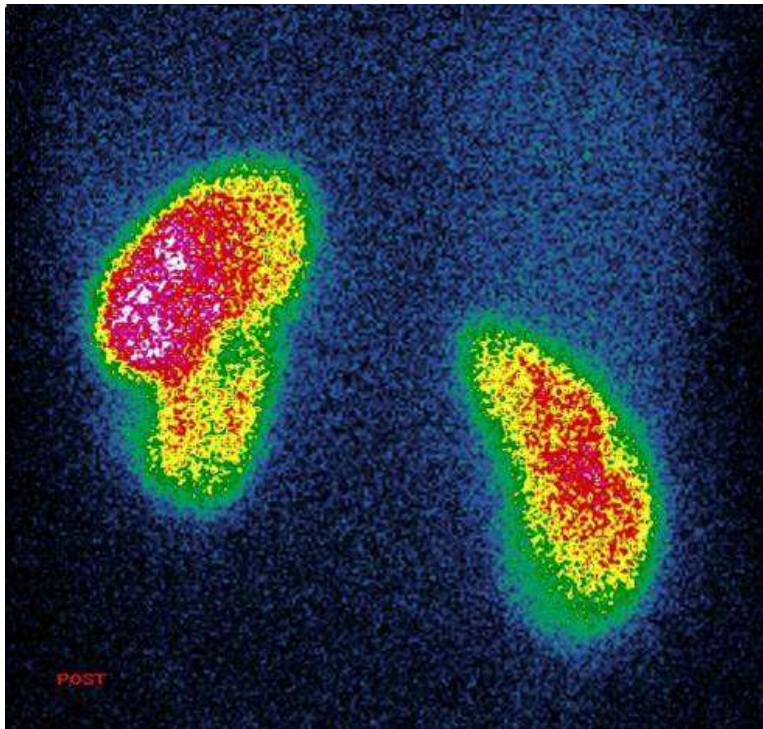
Obr. 34 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m}Tc -DMSA – ren arcuatus, obě projekce (Doležal, 2012, s. 29)



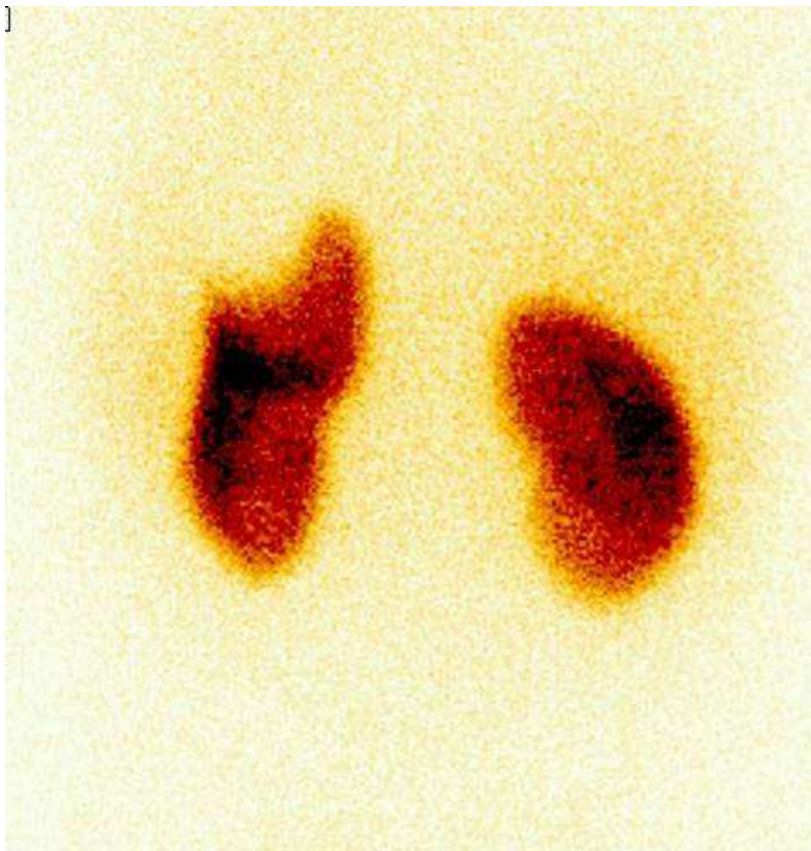
Obr. 35 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m}Tc -DMSA – dystopie levé ledviny, přední projekce (Doležal, 2012, s. 33)



Obr. 36 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m}Tc -DMSA – solitární pravá ledvina, přední projekce (Doležal, 2012, s. 39)



Obr. 37 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m}Tc -DMSA – pyelonefritida levé ledviny, zadní projekce (Doležal, 2012, s. 40)



Obr. 38 Statická scintigrafie ledvin s ^{99m}Tc -DMSA – cysta levé ledviny, zadní projekce (Doležal, 2012, s. 35)