



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

## **Dynamická scintigrafie ledvin u dětí**

## **Dynamic Renal Scintigraphy in Children**

Bakalářská práce

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví

Studijní obor: Radiologický asistent

Autor bakalářské práce: Nela Kyselová

Vedoucí bakalářské práce: MUDr. Lucie Lančová

---

**Kladno 2021**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kyselová** Jméno: **Nela** Osobní číslo: **483291**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**  
Studijní program: **Specializace ve zdravotnictví**  
Studijní obor: **Radiologický asistent**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Dynamická scintigrafie ledvin u dětí**

Název bakalářské práce anglicky:

**Dynamic Renal Scintigraphy in Children**

Pokyny pro vypracování:

Předmětem bakalářské práce bude vyhodnocení poměru tubulárních funkcí ledvin v návaznosti na vymezení oblasti zájmu nad ledvinami a korekci pohybu. V teoretické části bude popsána anatomie a funkce močových cest, vysvětleny principy zobrazení v nukleární medicíně, práce bude popisovat průběh celého vyšetření od přípravy pacienta, až po poučení o radiační ochraně. Praktická část bude zaměřena na analýzu dat z oddělení Kliniky nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a FN Motol, týkajících se dynamické scintigrafie ledvin u dětí do 6 let. Analýza bude u jednotlivých vyšetření prováděna při různých specificky definovaných vstupních parametrech.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, Nukleární medicína, ed. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K), V Praze: P3K, 2015, ISBN 978-80-87343-54-8
- [2] KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK, Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami, ed. , Praha: Grada Publishing, 2018, ISBN 978-80-271-0168-9
- [3] DYLEVSKÝ, Ivan, Anatomie dítěte: nipoanatomie, ed. , Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017, ISBN 978-80-01-05094-1


Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:


**MUDr. Lucie Lančová**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **18.09.2021**

  
doc. Mgr. Zdeněk Hon, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) katedry

  
prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
podpis děkana(ky)

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student(ka) bere na vědomí, že je povinnen(a) vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

19.4.2021

-----  
Datum převzetí zadání



-----  
Podpis studenta(ky)

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Dynamická scintigrafie ledvin u dětí“ vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 13.05.2021

.....

Nela Kyselová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Své poděkování chci věnovat především MUDr. Lucii Lančové za čas, úsilí a cenné rady, které napomohly ke vzniku této bakalářské práce. Dále děkuji personálu Kliniky nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a FN Motol za pomoc a ochotu při sběru informací v rámci praktické části práce. Velké poděkování patří také mé rodině, která mi umožnila studovat a podporovala mě po celou dobu studia.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce popisuje kompletní postup vyšetření dynamické scintigrafie ledvin. Práce zahrnuje popis od přípravy radiofarmaka až po samotné hodnocení a zpracování obrazu. Hlavním zkoumaným parametrem je způsob vyhodnocení tubulární funkce ledvin v závislosti na změně vyhodnocovacích parametrů. Srovnáním jednotlivých způsobů vyhodnocovacích metod s aktuálně používanou metodou se snažím najít výhodnější řešení z hlediska zkrácení vyhodnocovacího času. Urychlení vyhodnocovacího procesu je na úkor přesnosti vyhodnocení. Výsledkem práce bylo srovnání odchylek jednotlivých metod od reálného poměru tubulární funkce ledvin. Z výsledků vyplývá, že rozdíl při vyhodnocení je z diagnostického hlediska ve většině případech zanedbatelný.

## **Klíčová slova**

Nukleární medicína, dynamická scintigrafie, ledviny, gamakamera

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis describes the complete procedure of dynamic scintigraphy examination of the kidneys. The work includes a description since the preparation of the radiopharmaceutical up to the evaluation and processing of the results. The main examined parameter is the method of tubular function evaluation of the kidneys depending on the change of certain parameters. I try to find a more advantageous solution in terms of shortening the evaluation time by comparing the individual evaluation methods with the currently used method. Speeding up the evaluation process is at the expense of the evaluation accuracy. The result of the thesis shows a comparison between individual methods deviations and the real ratio of the kidneys tubular function. From the point of diagnostic view, the results suggest that difference is negligible in most of cases.

## **Keywords**

Nuclear medicine, dynamic scintigraphy, kidneys, gamma camera

## OBSAH

1	ÚVOD .....	10
2	CÍLE PRÁCE .....	11
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU .....	12
3.1	Močové cesty .....	12
3.1.1	Anatomie a fyziologie.....	12
3.1.2	Funkce.....	17
3.1.3	Močový systém u dětí.....	18
3.2	Nukleární medicína.....	20
3.2.1	Principy nukleární medicíny .....	20
3.2.2	Radiofarmaka.....	20
3.2.3	Přístrojová technika .....	21
3.2.3.2	SPECT a SPECT/CT.....	24
3.2.3.3	PET a PET/CT.....	25
3.3	Scintigrafie močových cest .....	27
3.3.1	Statická scintigrafie ledvin .....	28
3.3.2	Dynamická scintigrafie ledvin.....	28
3.4	Dynamická scintigrafie ledvin u dětí.....	30
3.4.1	Příprava radiofarmaka .....	30
3.4.2	Průběh vyšetření.....	31
3.5	Radiační ochrana .....	35
3.5.1	Radiobiologický účinek.....	36
3.5.2	Ochrana personálu.....	38
3.5.3	Ochrana pacientů a dalších osob .....	39



4	METODIKA .....	40
5	VÝSLEDKY .....	50
6	DISKUZE .....	62
7	ZÁVĚR.....	65
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	66
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
10	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....	69
11	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....	71

# 1 ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je dynamická scintigrafie ledvin u dětí. Jedná se o jedno z nejčastějších vyšetření v odvětví nukleární medicíny. Vyšetření v nukleární medicíně jsou na rozdíl od ostatních diagnostických metod zaměřena především na funkční zobrazení. Vyšetření jsou založena na principu zobrazení radioaktivní látky v těle pacienta, jejíž distribuce v organismu se liší podle daného typu vyšetření a zvoleného radiofarmaka. V případě dynamické scintigrafie ledvin se radiofarmakum aplikuje nitrožilně do periferní žíly a následně se pod gamakamerou sleduje jeho průchod ledvinami a močovým traktem.

V teoretické části je v první řadě popsána anatomie a funkce ledvin, která je nezbytná k pochopení důležitosti a principu vyšetření. Práce se zaměřuje na fyzikální a technické principy zobrazení a na detailní popis celého procesu vyšetření. V praktické části je zahrnuto hodnocení četností vyšetření na pracovišti Nukleární medicíny a endokrinologie FN Motol v závislosti na věku a pohlaví pacientů. Dále jsou hodnoceny nejčastěji se vyskytující diagnostikovaná onemocnění spojená s dynamickým scintigrafickým vyšetřením ledvin u dětí do 6 let.

Aby byla kvalita získaných snímků co nejlepší, je nezbytné, aby pacient ležel pod kamerou v klidu bez větších pohybů, které mohou způsobit artefakty zobrazení – to bývá problémem právě u dětských pacientů. V návaznosti na problematiku pohybových artefaktů je práce zaměřena na pacienty ve věkové kategorii do 6 let, jelikož u dětí v tomto věkovém intervalu bývá problém s pohybem nejvýznamnější. Vlivy pohybových artefaktů je možno v rámci zpracování dat redukovat, aby byly výsledky vyšetření co nejpřesnější. Aktuálně používaná a nejpřesnější metoda hodnocení je pro lékaře poměrně časově náročnou operací. Práce srovnává různé způsoby zpracování získaných dat, s korekcí i bez korekce na pohyb, s cílem zhodnotit odchylky ve výsledném procentuálním poměru tubulární funkce ledvin. Bude-li rozdíl alespoň u některé z metod zanedbatelný, bylo by možné urychlit proces vyhodnocení.

## 2 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je vyhodnocení poměrů tubulárních funkcí ledvin v návaznosti na vymezení oblasti zájmu nad ledvinami a korekci pohybu. Analýza se bude týkat vyšetření dětských pacientů do 6 let, u niž je problém s pohybovými artefakty nejvýznamnější. Jako výsledek práce je očekáváno srovnání výsledných dat z vyšetření v závislosti na změně specificky definovaných vstupních parametrů. V případě, že by byl rozdíl mezi výsledným procentuálním poměrem funkce ledvin při změně parametrů zanedbatelný, vedlo by zjištění k urychlení procesu diagnostiky a k částečnému usnadnění práce lékařů.

## 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

### 3.1 Močové cesty

Základní složkou vylučovací soustavy lidského těla jsou močové cesty. Skládají se z ledvin a vývodných močových cest. Důležitost funkce ledvin je v obecném povědomí veřejnosti mnohdy opomíjena. Ledviny jsou však pro naše tělo velmi důležité, slouží našemu organismu především k čistící funkci. Kromě čištění mají i podíl na regulaci složení a objemu tělesných tekutin, na krvetvorbě či regulaci krevního systémového tlaku. Ovlivňují například množství vody a koncentraci iontů v těle. [1]

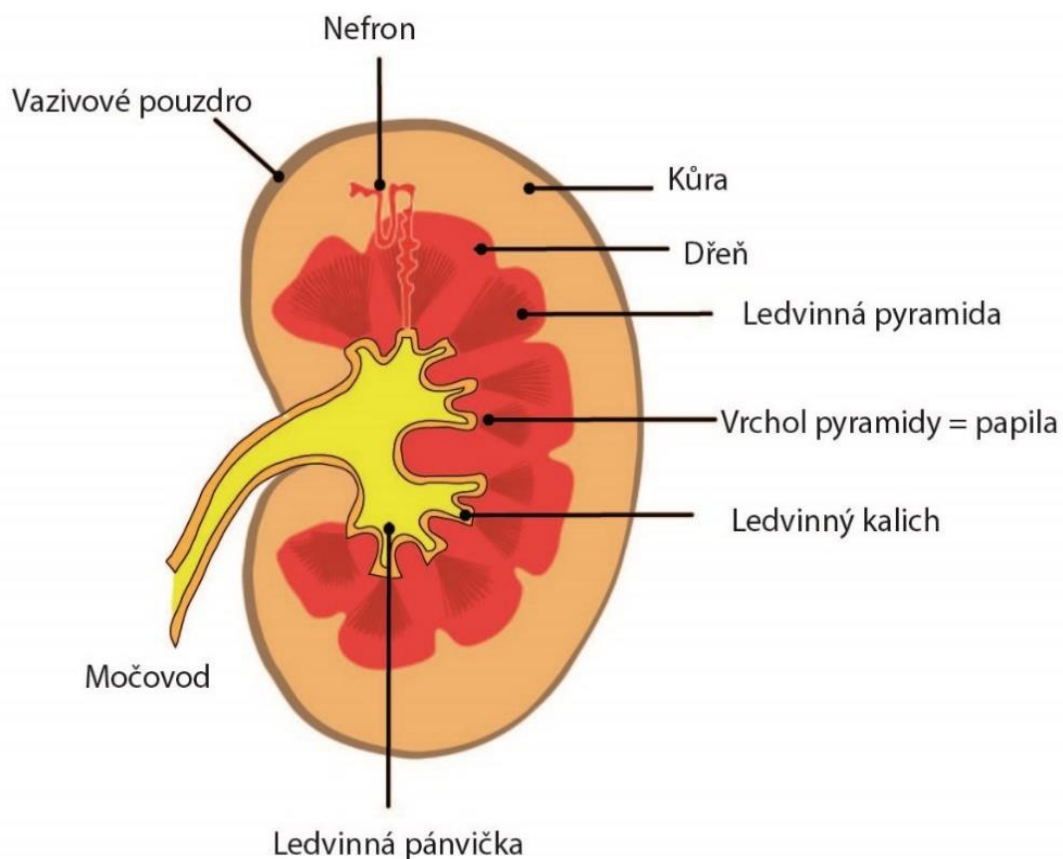
#### 3.1.1 Anatomie a fyziologie

Ledviny jsou párový orgán uložený v tukovém polštáři z obou stran kolem bederní páteře. Mají fazolovitý tvar a červeno-hnědavé zbarvení. Velikost se u zdravého dospělého člověka na délku pohybuje kolem 10–12 cm, na šířku 5–6 cm a tloušťkou přibližně 3,5–4 cm. V průběhu života dochází ke změně jejich velikosti, do dosažení dospělosti jsou ve fázi růstu, poté je na dlouhou dobu jejich velikost zachována a ve stáří dochází k jejich částečnému zmenšení. Dělí se na 5 segmentů, horní, dolní, přední horní, přední dolní a zadní segment.

Močový systém se skládá z ledvin, horních a dolních močových cest. Horní močové cesty tvoří konkrétně samotná ledvina, kalichy (calices renales) které odvádějí moč z jednotlivých pyramid, na kalich navazuje ledvinová pánvička (pelvis renalis). Po pánvičce moč přechází do dolních močových cest, konkrétně do močovodu (urether), močového měchýře (vesica urinaria) a následně do močové trubice (urethra). [2, 3]

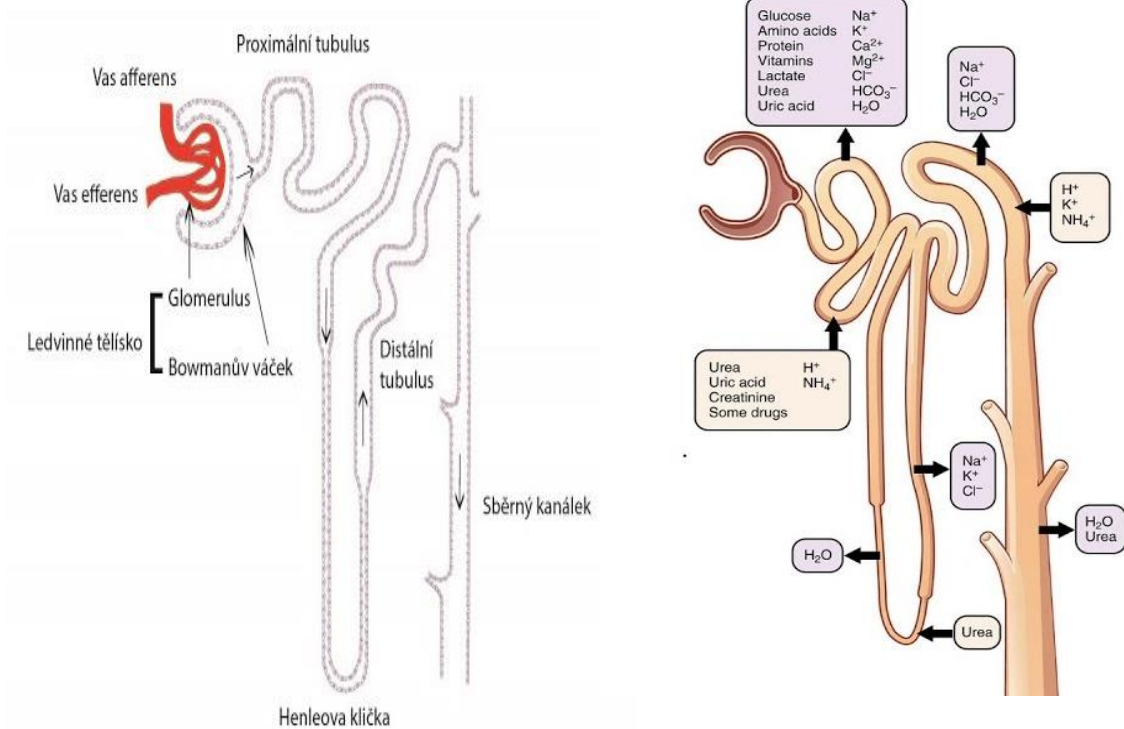
### 3.1.1.1 Horní močové cesty

Na řezu ledvinou můžeme pozorovat vnitřní stavbu. Většinu ledvinového parenchymu tvoří nefrony, malé filtrační kanálky. Směrem od povrchu se nachází ledvinová kůra (cortex renalis), která je tvořena částí těl nefronů a to konkrétně glomeruly, proximálními a distálními tubuly. Po kůře následuje ledvinová dřeň (medulla renalis) tvořící ledvinové pyramidy. V pyramidách se nachází intermediální a juxtamedulární tubuly nefronů a sběrací kanálky. Ty navazují na ledvinové papily (papillae renalis) a ústí skrze kalich do ledvinové pánvičky (pelvis renalis). [4]



Obrázek 1 – Stavba ledviny [6]

Nefrony jsou ledvinové tubuly, základní stavební a funkční jednotka ledvin, jejímž úkolem je filtrace látek z krve a jejich případná resorpce. K těmto procesům dochází na základě rozdílného krevního a hydrostatického tlaku. V každé ledvině je kolem milionu nefronů, skládají se z ledvinového Malpighiho tělíska (*corpusculum renale*) a odvodných trubiček. V ledvinovém tělísku je uloženo klubko desítek tenkostěnných vlásečnic zvané glomerulus, do kterého vstupuje céva *vas afferens* a vystupuje vlásečnicí *vas efferens*. Glomerulus je obklopen tzv. Bowmanovým váčkem (*kapsula glomeruli*) mající dva listy mezi něž je filtrována primitivní moč, ta dále pokračuje do ledvinového kanálku (*tubulus renalis*) který je dlouhý přibližně 46mm.



Obrázek 2 – Stavba nefronu a znázornění látkové výměny [7, 8]

V Bowmanově váčku se do nefronu vstřebává velké množství látek, které krev obsahuje (voda, aminokyseliny, bílkoviny, vitamíny, močovina, bikarbonát, glukóza, různé ionty např. sodné, draselné, vápenaté, hořečnaté, chloridové atd.). Dochází ke vzniku primární moči, která je velmi málo koncentrovaná. Dospělý člověk je schopen denně vytvořit přibližně 170-200 l tohoto filtrátu, z něhož se koncentruje výsledná definitivní moč na objem pouhých 1,5 l. V odvodném kanálku dochází k reabsorpci většiny látek zpět do krve, to je ten důvod, proč výsledná odvedená moč tvoří pouze tak malý podíl

z původního množství vzniklé primárního produktu. Již v proximální části tubulu je do krve zpátky vstřebána např. glukosa, aminokyseliny, proteiny, voda, sodík, draslík, vápník, hořčík, kyselina mléčná, močovina a další. Díky tomuto procesu dochází k zahuštění primární moči. V koncové části proximální kličky dochází ještě k sekreci močoviny, urey, keratinu, amonných iontů, kyseliny močové a kationtů.

V navazující části, jež je Henleova klička, se reabsorbuje voda zpět do těla a naopak močovina se znovu z krve vyloučí. V distálním tubulu dochází k vychytávání sodíku, draslíku, chloridových iontů, k následné resorpci vody se sodnými, chloridovými, uhličitými ionty a vodou. Před sběrným kanálkem se vylučují do moči protony vodíku, kationty draslíku a amonné ionty. V konečné části se vstřebává voda i část močoviny, dochází k úpravě finálního výstupu primární moči, vzniká moč definitivní.

Finální moč je velmi koncentrovaná a má slabě kyselé specifické pH s vyšší hustotou. Během procesu tvorby moči se asi 99 % vody vstřebá zpět do těla. Primární moč je hypotonická zředěná a po tubulární filtraci se stává hypertonickou, 4krát koncentrovanější než finální. Finální moč obsahuje močovinu, ionty, vitamíny nadbytečné, hydrofilní vitamíny, bilirubin (vzniká odbouráváním krevního barviva), a mnoho dalších látek (v menším množství).

Ledvinové kalichy naléhají na papily, mohou být napojeny jednotlivě, nebo ve dvojici či trojici. Uloženy jsou stejně jako ledviny v tukovém polštáři, jejich tvar je kuželovitý. Ledvinová pánvička je lokalizována v hilu ledviny, objem pánvičky u dospělého člověka může být 3–8 cm<sup>3</sup>. Kalichy i pánvičky jsou tenkostěnné a duté útvary, jejichž slizniční epitel už žádné látky z moči nevstřebává a má pouze transportní funkci, na sliznici naléhá vazivově svalová stěna. [5,6,7]

### 3.1.1.2 Dolní močové cesty

Moč se do močového měchýře dostává skrze močovod (ureter) mající trubicovitý tvar, bývá zhruba 25–30 cm dlouhý a 4–7 mm široký. V močovodu dochází k takzvanému aktivnímu transportu, což znamená, že k pohybu moči dochází pomocí peristaltických stahů hladké svaloviny. Ureter vede vertikálně v retroperitoneálním prostoru a končí ve sliznici močového měchýře. Má tři části pars abdominalis, pars pelvica a pars intramuralis. Stěna močovodu se skládá ze tří vrstev, z vnitřní slizniční, svalové a vnější vazivové vrstvy.

Definitivní moč se hromadí v močovém měchýři (vesica urinaria). Močový měchýř je uložen za stydkou kostí, složení stěny je na stejné bázi jako u močovodu, tudíž se také skládá ze slizniční, svalové a vazivové vrstvy, na povrchu je navíc částečně pokryta blánou peritonea. Tvar a velikost tohoto orgánu je ovlivněna množstvím moči, které v daný moment obsahuje, dalším proměnným parametrem může být ještě pohlaví, věk a náplň okolních orgánů. Ženy mají mírně odlišnou lokalizaci měchýře, nachází se hlouběji ve ventrální rovině ve srovnání s uložením u mužů. Náplň, při které se dostavuje pocit močení, je u dospělého člověka kolem 250-300 cm<sup>3</sup>, což je přibližně polovina jeho skutečné kapacity.

Močový měchýř má základní tři části spodinu (fundus), corpus (tělo) a vrchol (apex). Vyprazdňování měchýře zprostředkovává soubor tří vrstev svaloviny. Důležitým prvkem je močový svěrač (musculus sphincter urethrae). Jedná se o kruhový sval z hladké svaloviny, který naléhá na svěrač močové trubice a můžeme ho ovlivnit vůlí. [1, 2]

Močová trubice (urethra) se dělí především podle pohlaví. Svalem, jež reguluje vyprazdňování u obou pohlaví je musculus sphincter urethrae. Tento svěrač je lokalizován v horní části hned pod močovým měchýřem. Jakožto sval z příčně pruhované svaloviny je ovládán vůlí. U žen močová trubice slouží pouze k transportu moči, je dlouhá 3–4 cm a široká 7–8 mm. Vede vertikálně před vaginou, ústí mezi malými stydkými pysky. Jeho stavba opět ze slizniční, svalové a vazivové vrstvy.



Mužská močová trubice neslouží pouze jako močový vývod, ale také jako vyústění pohlavní. Délka močovodu se pohybuje v rozmezí 20–22 cm, co se týče šířky, je v průběhu trubice střídavě proměnlivá, orientačně se však pohybuje v řádech milimetrů. Jeho tvar je při ochabnutí penisu esovitý. Na začátku močovodu na něj hned pod močovým měchýřem naléhá prostata, ve které je močod rozšířen, následuje pars membranica, který je zúženou částí, dalším rozšířením je ampulla urethrae. V téměř celé délce penisu je úzká část pars spongiosa a trubice ústí v místě zvaném ostium externum. Stěna mužské močové trubice je poměrně tenká a složená pouze ze slizniční a svalové vrstvy. [8]

### 3.1.2 Funkce

Funkcí močové soustavy dutých orgánů je separace, shromažďování a také vylučování škodlivých látek. Touto cestou jsou vylučovány pouze látky rozpustné ve vodě. V případě močových cest se odpadní látky z krevního řečiště separují konkrétně v ledvinách a shromažďují v močovém měchýři.

Správná vitální funkce vylučovací soustavy je nezbytná pro fungování a chemickou regulaci celého organismu. Je několik komponentů, které jsou závislé na správném fungování ledvin, jedním z nich je kontrola acidobazické rovnováhy neboli správného pH v celém těle. Na této funkci se podílejí také jiné orgánové soustavy jako například srdce, játra, plíce a další. Bikarbonátové anionty a vodíkové kationty jsou hlavními ionty ovlivňující kyselost prostředí. Se zvyšujícím se výdejem vodíkových kationtů, který převyší množství vylučované bikarbonátové kyseliny, dochází ke zvýšení kyselost extracelulárních tekutin, tomuto stavu říkáme acidóza (kyselost). V opačném případě vylučování hovoříme o alkalóze (zásaditost). Regulace vody a minerálních látek jsou pro vnitřní prostředí klíčové, jelikož konkrétně voda tvoří 55–60 % hmotnosti organismu. V souvislosti s vodou je důležitým pojmem osmolarita, jedná se o rovnováhu koncentrací dvou prostředí, při čemž je-li rozdílná, dochází k pohybu částic z prostředí s vyšší koncentrací do prostředí s koncentrací nižší. [5]

Neméně důležitá je funkce hormonální. Ledviny jsou zařazovány do skupiny orgánů majících endokrinní funkci. Žlázy s vnitřní sekrecí vylučují látky do vnitřního prostředí, kterým říkáme hormony. Hormony jsou

transportovány cévním systémem a ovlivňují většinu chemických procesů. Ledviny produkují hormon zvaný renin, jehož sekrece je zásluhou juxtaglomerulárních buněk. Účinek tohoto hormonu reguluje arteriální tlak a udržuje složení krevní plazmy. V oběhu se nachází dva typy tohoto hormonu, inaktivní a aktivní forma, ze kterých pouze forma aktivní je regulačně účinná. Dalším hormonem produkovaným kůrou ledvin je erythropoetin zodpovědný za erytropoézu (tvorbu červených krvinek). V ledvinách probíhá ještě proces aktivace vitamínu D, při níž vzniká třetí důležitý hormon kalcitriol, který se podílí na regulaci metabolismu vápníku a fosfátů. [7]

### 3.1.3 Močový systém u dětí

Tvar ledvin je u dětí v průběhu růstu a vývinu proměnlivý. Po narození mají novorozenci ledvinu diferenciovanou do množství laloků se zářezy, funkčně se však nejedná o nezávislé jednotky, ale o jednotný celek. Tyto laloky můžeme na ledvinách pozorovat do 2–4 let života. Během prvního roku má dítě spíše oválný tvar ledviny, který se mění ve fazolovitý v průběhu roku druhého. Kolem 20. roku se stabilizuje. Co se kalichů týče, jejich diferenciaci je zhruba do 4. roku života.

Ledviny novorozence mají hmotnost kolem 12 g, délku 4 cm a šířku 2,5 cm a tloušťku 2 cm. Do konce prvního roku roste ledvina především do délky, poté se růst zpomalí a k výrazné změně velikosti dochází opět až mezi 14. a 15. rokem života. Podobně je to s hmotností ledviny, která roste nejvíce do tří let, následně se zpomalí a opět narůstá mezi 13 a 14 lety. Růst hmotnosti obou ledvin je ukončen až ke 30 roku života. Levá ledvina bývá z pravidla o něco těžší než levá. Kůra novorozenecké ledviny je kolem 2 mm a dřeň 8 mm tlustá. Můžeme říct, že poměr kůry a dřene je u novorozence 1:4, u dospělého člověka 1:2. Rozdíly ve stavbě nefronů u dětí jsou minimální, liší se pouze jejich uspořádání, které je po narození nerovnoměrné.

Poloha ledviny je u novorozence stejná jako v prenatálním období. Horní část ledviny je na úrovni 12. hrudního (thorakálního) obratle a dolní pól dosahuje ke 4. bedernímu (lumbálnímu) obratli. Vzhledem k rychlému růstu těla a ledvin během prvního roku života, dochází k posunutí polohy ledvin kraniálním směrem (směrem k hlavě). Do dvou až tří let jsou ledviny dostupné palpačně přes konečník nebo přes břišní stěnu, jejich spodní část

končí mírně nad kyčelní kostí. Ve třech letech lze považovat umístění ledviny v dutině břišní vzhledem k ostatním orgánům za konečné a shodné s umístěním u dospělého jedince.

Morfologie kalichů a pánviček se po narození už kromě růstu nijak výrazně nemění. Jejich počet je u novorozenců stejný jako u starších dětí nebo dospělého člověka. Pánvička nabývá definitivní kapacity až v pubertě. V důsledku toho, že močovod je obklopen do dvou let života poměrně volným peritoneálním prostorem, bývá jeho tvar nepravidelný a kličkovaný. Po druhém roce života se tvar ustálí, kromě proporčních změn se dál nevyvíjí. Co se týče močového měchýře, je jeho náplň u novorozenců kolem 10–20 ml a do prvního měsíce života se zvýší na 50–80 ml. Po narození nejsou děti schopné samovolně zadržovat moč. Schopnost ovládat mikci si dítě osvojí většinou v rozmezí 18. a 24. měsíce života. [9]

## 3.2 Nukleární medicína

Kromě klasických diagnostických modalit zobrazujících především anatomické struktury je ke správné diagnostice někdy potřeba i konkrétní zobrazení fyziologických procesů v organismu. Abychom mohli monitorovat metabolismus určitých látek, využíváme právě principů nukleární medicíny. Tato neinvazivní metoda je založena na využití tzv. otevřených radionuklidových zářičů. Jejich akumulace v organismu nám odráží funkční děje (funkci orgánů, metabolickou aktivitu, expresi receptorů atd.) [10]

### 3.2.1 Principy nukleární medicíny

Stěžejním fyzikálním jevem v nukleární medicíně je radioaktivita. Jedná se o přirozenou schopnost nestabilních atomových jader měnit se na stabilnější za uvolňování ionizujícího záření. Ionizující záření má dostatečnou energii, aby mohlo měnit energetickou hladinu jiného atomu za vzniku iontu. Máme několik typů ionizujícího záření, ze kterých má každý druh jiné vlastnosti. Pro diagnostická vyšetření v nukleární medicíně potřebujeme takové záření, jež bude dostatečně pronikavé. Vhodným typem je právě záření gama, jedná se o elektromagnetické vysokoenergetické vlnění, které má energii vyšší než 10 keV. Gama záření nenesé žádný elektrický náboj. Při jeho vzniku jádro pouze ztrácí část své energie, ale nevzniká z něj jiný izotop. K diagnostice se užívá i zářičů beta plus, které uvolňují při radioaktivní přeměně jádra pozitron. Ten reaguje s elektronem v okolí za vzniku anihilačního záření, které je rovněž elektromagnetické vlnění. [10, 11]

### 3.2.2 Radiofarmaka

Nukleární medicína využívá k diagnostice a terapii radioaktivní prvky, které váže na konkrétní nosiče. Díky tomu jsme schopni označit radiofarmaky konkrétní procesy a detekovat distribuci radiace v těle pacienta v závislosti na vlastnostech dané látky. Radiofarmaka jsou specifická pro jednotlivé orgány a druh vyšetření. Cílené chemické navazování atomů jednoho či více radionuklidů do molekuly dané látky nazýváme radioisotopové značení.

Radionuklidy jsou děleny podle charakteristických vlastností, těmi je poločas přeměny, typ přeměny (alfa, beta, gama), nebo energie záření. Před samotnou aplikací farmaka se kontroluje stav radiofarmak a jejich parametrů, tomuto stavu se říká radionuklidová a radiochemická čistota. Kromě čistoty je ještě důležité zkontrolovat aktivitu (jednotka Bq), jelikož aplikované radioaktivní prvky se neustále rozpadají. Díky neustálé změně aktivity, musíme dbát na fyzikální poločas rozpadu konkrétních látek a pečlivě kontrolovat časové faktory (čas výroby radiofarmaka, čas aplikace). Radiofarmaka se vyrábí uměle, v jaderném reaktoru ( $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{131}\text{I}$ ), cyklotronu ( $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{111}\text{In}$ ) nebo v generátorových systémech (rubidiumkryptonový, technéciový generátor).

Radiofarmakum je buď doručeno na pracoviště přímo připravené pro konkrétního pacienta, nebo je připraveno na oddělení nukleární medicíny přímo v místní laboratoři. Při výrobě na pracovišti se navazuje radioaktivní látka na tzv. neaktivní kit, jež je zodpovědný za kinetiku výsledného produktu. Nezbytnou součástí vybavení laboratoře je vymírací místnost, kde dochází k uložení zbytkových radionuklidů, dokud nedojde k dostatečnému rozpadu a likvidaci látky jako běžného neaktivního odpadu. [12]

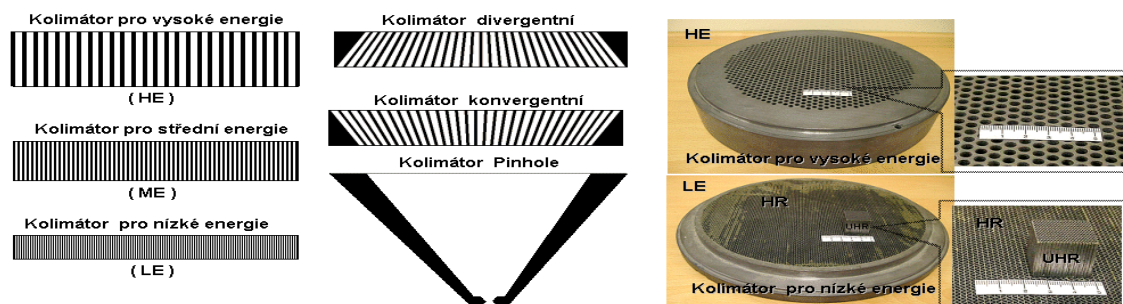
### 3.2.3 Přístrojová technika

V nukleární medicíně se využívá několika způsobů detekce záření. Stěžejním zobrazovacím prvkem je scintilační detektor snímající současně fotony celého zorného pole, které převádí na elektrické impulzy a pomocí nich vytváří scintigrafický obraz distribuce radionuklidu v tomto zorném poli. Gamakamera je přístroj obsahující obvykle 2 scintilační detektory připevnění na kruhové gantry. Umožňuje jednak planární zobrazení, ale také trojrozměrné (tomografické – SPECT) zobrazení, kterého je možno docílit rotací gamakamer na gantry. 3D zobrazení je ještě možné získat použitím modality PET, využívající seskupení scintilačních krystalů fixně upevněných kolem vyšetřované oblasti. Tyto metody nám dávají obraz distribuce radiofarmaka, ale mnohdy nám chybí konkrétní anatomická informace, z tohoto důvodu se užívají takzvané hybridní přístroje, kdy se technika SPET a PET kombinují s jinou diagnostickou metodou a to nejčastěji s CT přístrojem nebo výjimečně i s MRI. [12]

### 3.2.3.1 Gamakamera

Gamakameru (scintilační kameru) používáme k detekci záření gama. V nukleární medicíně ji používáme buďto k planární detekci záření, k dynamickému zobrazení nebo v případě, že přístroj disponuje otočnou gántry, tak i ke 3D zobrazení (SPECT). Detekční systém gamakamery je složen z několika zásadních komponentů. Paprsek záření projde jako první na detektoru do styku s kolimačním systémem, následně dopadá na scintilační krystal, ze kterého se ve světelné formě přenesou na fotonásobič, který je připojen do počítačového vyhodnocovacího systému a je digitálně zpracován. [10]

Kolimátory nám slouží k odstínění nežádoucího signálu. Pouze fotony dopadající kolmo k detektoru projdou kolimátorem, ostatní jsou pohlceny nebo zeslabeny septy. Podle energie záření a typu vyšetření volíme různé typy (divergentní, konvergentní) a tloušťky vyměnitelných kolimátorů. Kolimátor je olověná deska o tloušťce několika cm. Můžeme si ho představit jako desku s hustým množstvím pravidelných otvorů určité velikosti, tvaru, směru a vzdálenosti od sebe. Pokud máme větší hustotu otvorů, bude tloušťka kolimátoru menší, septa tenčí a jeho užití bude především pro nízké energie. Pro energie větší se užívá kolimátorů s menší hustotou otvorů se silnějšími septy, což znamená, že otvory mají větší velikost a kolimátory mají větší šířku.



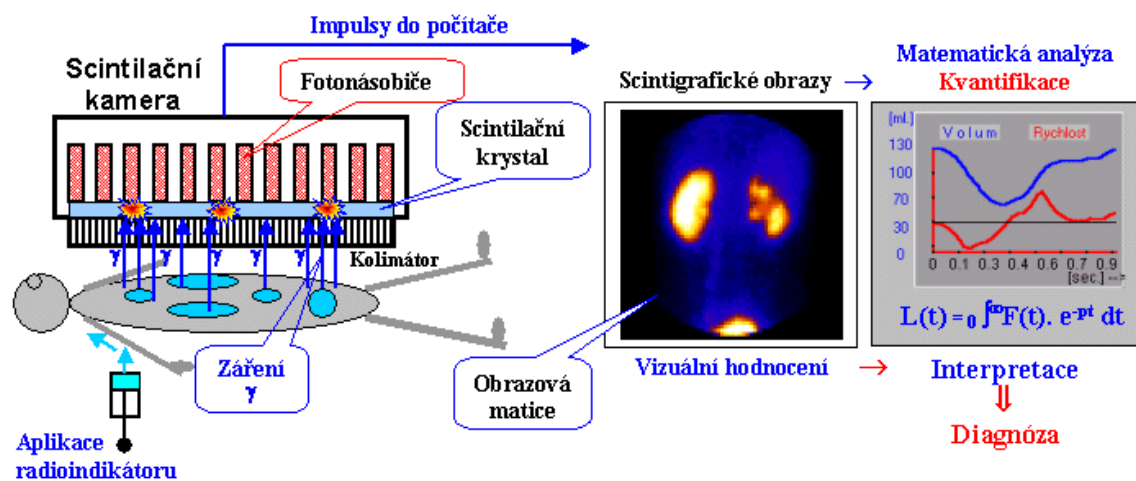
Obrázek 3 – Kolimační systémy [14]

Foton, který projde kolimačním systémem dopadá na scintilační krystal. Jedná se o průhlednou plochu krystalu nejčastěji NaI(Tl) (iodid sodný aktivovaný thaliem), tenkou přibližně centimetr. Dopadající částici nazýváme primární ionizační kvantum, které v krystalu ionizuje za uvolnění elektronu. Elektron se přesune skrze vodivostní pásmo krystalu a způsobí excitaci,

tomuto bodu říkáme luminiscenční centrum. Při deexcitaci molekuly dochází ke vzniku scintilačního fotonu, jenž je přenesen na fotonásobič. Tomuto ději se souhrnně říká konverze fotonů gama na viditelné spektrum. Scintilační krystal je citlivý na mechanické poškození, proto je v detektoru pevně zafixován, dále je třeba hlídat teplotní výkyvy a vlhkost okolí, aby nedošlo k porušení jeho struktury.

Ve formě viditelného světla je foton veden světlovodičovou vrstvou a zachycen na fotonásobiči. Množství záření viditelného spektra je přibližně úměrné energii dopadající na krystal. Množství fotonásobičů přiléhá na krystal po celé jeho ploše. Při interakci foton dopadá na katodu fotonásobiče, za vzniku fotoelektronu. Ten následně prochází soustavou dynod, kde dochází k násobení a emisi sekundárních elektronů. Fotonásobič je potřebný, jelikož množství fotonů procházejících detektorem je příliš malé, aby bylo možné ho elektronicky zpracovat. Díky tomuto komponentu je signál dostatečně velký a je veden do elektrických obvodů.

Úkolem elektrických obvodů je elektrický signál převést do maticové podoby, kde dochází k součtu impulsů. Každý záblesk v krystalu je detekovatelný v podstatě na všech fotonásobičích, ale každý s jinou intenzitou. Poloha signálu se pak spočítá s přesností velikosti pixelu. Při zpracování je důležité nastavení energetického okénka. Jedná se o přednastavený interval, který umožňuje rozlišit například různé druhy záření (využíváme-li při vyšetření více radionuklidů) a také regulaci citlivosti měření, vyčleněním fotonů s nedostatečnou energií z vyhodnocovacího procesu. Další zpracování závisí na tom, jestli bude výsledné zobrazení dynamické, statické, jestli se jedná o vyšetření planární případně SPECT. [10, 13, 14]



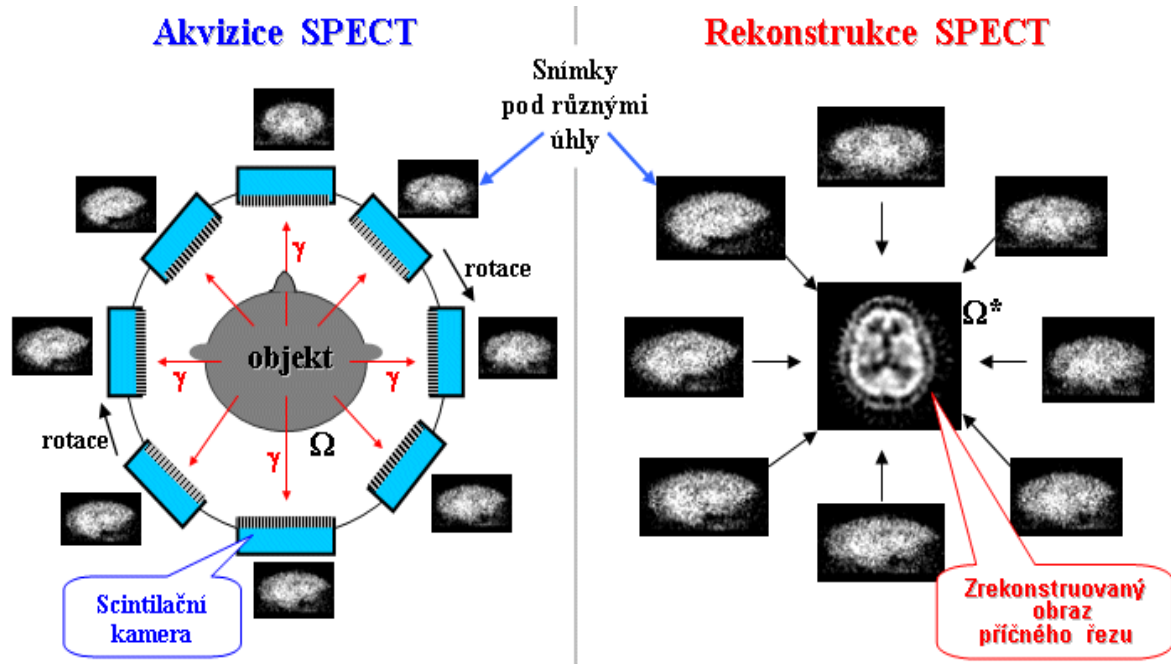
Obrázek 4 – Kolimační systémy [14]

### 3.2.3.2 SPECT a SPECT/CT

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (Single Photon Emission Computer Tomography) je nejrozšířenější metodou vyšetření v nukleární medicíně. Svou konstrukcí se SPECT od klasické gamakamery liší jen tím, že má detekční gamakameru umístěnou na kruhovém gántry, čímž umožňuje rotaci detektoru kolem pacienta. V dnešní době můžeme u většiny přístrojů pozorovat kombinaci dvou detektorů, což je přínosné především z časového hlediska. Rotační metoda na SPECT má ale i své nevýhody, především délku vyšetření a nízkou detekční účinnost detektorů. Tato metoda nám dále nedovoluje při rotaci provádět dynamické snímky, výjimkou je vyšetření srdce, při němž je proveditelnost vyšetření spjata s využitím gatingu podle EKG přístroje.

Způsob akvizice na SPECT spočívá v řadě snímání planárních snímků buď krokově nebo kontinuálně. Kolem objemu je v různých úhlech nasnímáno 32, 64 nebo 128 projekcí. Výsledný obraz je pak rekonstruován srovnatelně jako u systému CT, kdy lze vytvořit prostorové rozložení radiofarmaka v těle. Obraz nemá příliš velké rozlišení a jelikož se nám zobrazuje pouze funkční vlastnost tkání, je u mnohých vyšetření potřeba zasadit fyziologickou informaci do anatomického obrazu. Z tohoto důvodu se používá fuze obrazů vyšetření SPECT s CT. V dnešní době se hojně využívá hybridních systému, kde je CT přístroj zakomponován přímo do konstrukce samotného SPECT, tudíž spojení výsledků z obou vyšetření velice přesné. Pokud pracoviště nedisponuje touto modalitou, dají se obě vyšetření provést zvlášť, v takovém případě je komplikované položení pacienta, které je těžko reprodukovatelné. [12, 13]





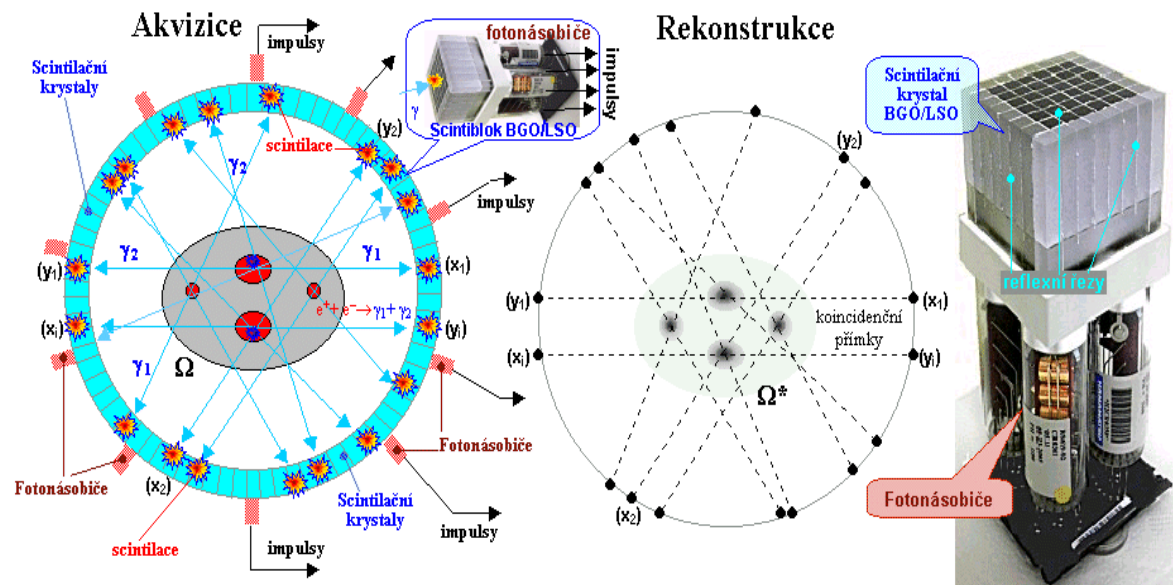
Obrázek 5 – SPECT [10]

### 3.2.3.3 PET a PET/CT

Pozitronová emisní tomografie (positron emission tomography) je považována za nejsložitější způsob vyšetření v nukleární medicíně. Základní rozdíl mezi SPECT a PET přístrojem, je v uspořádání detektorů. PET přístroj má také kruhové gántry, ale je nepohyblivé, složené z velkého množství pravidelně prstencově uspořádaných detektorů se scintilačními krystaly. Při detekci záření není třeba užití kolimátorů. Snímání probíhá kontinuálně, v dnešní době je tento přístroj nejrozšířenější v hybridní formě v kombinaci s CT.

Princip snímání dat využívá fyzikálního jevu anihilace. K vyšetření PET je nezbytné použít radiofarmakum, které při své přeměně emituje pozitrony (nejčastěji  $^{18}\text{F}$ ). Pozitron má v těle klikatou trajektorii a postupně ztrácí kinetickou energii. Na konci jeho dráhy dochází k anihilaci s elektronem, při níž vznikají dva anihilační fotony záření gama o energii 511 keV. Pozitronová emisní tomografie využívá při koincidenční detekci toho, že tyto částice vylétají z těla pacienta opačným směrem. Citlivé detektory PET přístroje jsou schopny rozeznat fotony vzniklé při jedné reakci a vypočítat tzv. přímkou odezvy, které jsou dále zpracovány v matematické rekonstrukci za vzniku několika transaxiálních řezů. Tomu se říká elektronická kolimace.

Pozitronová emisní tomografie hraje největší roli v diagnostice nádorových onemocnění. Díky fúzi obrazu při použití PET/CT můžeme dokonale zjistit lokalizaci nádoru před radioterapií. Metoda je vhodná pro zobrazení metabolické aktivita nádorové tkáně, případně proliferace. V nynější době je PET významnou metodou i v posuzování léčebné účinnosti terapeutických postupů. [12, 13, 15]



Obrázek 6 – PET [14]

### 3.3 Scintigrafie močových cest

Scintigrafie ledvin patří mezi jedno z nejčastějších vyšetření především u dětských pacientů, zároveň se jedná o jedno z historicky nejstarších využití nukleární diagnostiky. Kromě vyšetření radiofarmaky lze močové cesty vyšetřovat také ultrazvukem, dále na CT přístroji, případně magnetické rezonanci. Tato vyšetření se provádějí s použitím kontrastních látek, na které však organismus reaguje hůře, než na radiofarmaka. Může dojít ke vzniku alergických reakcí, nebo ke zvýšené zátěži ledvin, což je vzhledem k vyšetřování převážně nemocných ledvin nežádoucí. V nukleární medicíně jsou tyto nežádoucí účinky zanedbatelné. Scintigrafie ledvin je z tohoto diagnostického hlediska vzhledem k zátěži pacienta i poměrně nízkým finančním nárokům výhodnější metodou.

Jednou z nukleárně medicínských metod je vyšetření ledvinné clearance. Jedná se o metodu, při níž nedostaneme anatomické informace o orgánu, ale pouze funkční. Toto nezobrazovací vyšetření je založené na přepočtu a měření aktivity ze vzorku krevní plazmy pacienta po určitém čase od aplikace. K měření se používá tzv. clearance, definovaný jako „*objem plazmy očištěný od určité látky za jednotku času*“ [15, str. 106].

Jednou z informací potřebných k diagnostice některých onemocnění, kterou z nezobrazovacího vyšetření nedostaneme, je poměr tubulární funkce mezi pravou a levou ledvinou. Tuto informaci nám pomůže určit scintigrafie ledvin. Při této metodě lze provádět buď vyšetření statické, nebo dynamické.

Kromě klasických metod dynamických a statických vyšetření existuje ještě radionuklidová přímá a nepřímá cystografie, zaměřená na změnu funkce močového měchýře a vyprazdňování celkově. V případě přímé cystografie se radioaktivní látka nezavádí intravenózně, nýbrž přes močové cesty přímo do měchýře. Po naplnění dochází k mikci přímo pod kamerou za stálého dynamického snímání. U nepřímé je proces stejný jako průběh dynamického vyšetření, ale pacient po vyšetření dále dodržuje pitný režim a vykoná následně mikci pod kamerou. Tento typ vyšetření nebývá v dnešní době standardní metodou. [10, 13]

### 3.3.1 Statická scintigrafie ledvin

Statická scintigrafie obecně znamená snímání obrazu akumulace ve tkáni ze statických rovin. Data jsou nabírána z několika úhlů a výsledkem je několik statických obrazů, u kterých předpokládáme, že se po dobu snímání rozmístění radiofarmaka v ledvině výrazně nezmění.

Statická scintigrafie ledvin se využívá k diagnostice funkce kůry ledvin. Pacient by měl před vyšetřením více pít. Po příchodu na oddělení se aplikuje radiofarmakum, nejčastěji  $^{99}\text{Tc}$ -DMSA (kyselina dimerkaptojantarová), která se váže na buňky v oblasti proximálních tubulů v kůře ledvin. Největší akumulaci radiofarmaka v této oblasti zaznamenáváme 3-6h po intravenózní (nitrožilní) aplikaci. U dětí se aplikuje množství desítek MBq, přepočtených podle váhy dítěte. U dospělých se hodnota aplikované dávky pohybuje kolem 100 MBq. Pacient se těsně před snímáním zajde vymočit, ke snímání dochází 3-5 h po aplikaci. Pacient je v-leže na zádech snímán obvykle v zadní, přední a v obou zadních šikmých-bočných projekcích.

Statické vyšetření je indikováno při detekci ložisek v oblasti kůry například při podezření na změnu tvaru, velikosti či jiných anomáliích (především u dětí), pyelonefritidě, při snížené funkci ledviny nebo jako alternativa jiného vyšetření při alergické reakci na kontrastní látky. Statické vyšetření je velmi přesné k vyšetření poměru tubulárních funkcí ledvin, protože k tomuto zpracovává průměr impulzů z přední a zadní projekce, čímž se vyhne nepřesnostem při atypickém uložení ledvin. [12, 16]

### 3.3.2 Dynamická scintigrafie ledvin

Při dynamické scintigrafii ledvin je výsledkem zobrazení série několika desítek snímků, na kterých je zachycena postupná distribuce radiofarmaka. Snímky jsou pořizovány v několika sekundových intervalech a bývají doplněny i o statickou fázi. K tomuto vyšetření se nejhojněji využívá radiofarmaka  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA (glomerulární filtrace) a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3 (tubulární sekrece). Výhodnějším a užívanějším je spíše MAG3, jelikož je lépe detekovatelný, 95 % bývá vyloučeno do 3 hodin po aplikaci.

Dynamické vyšetření indikujeme především, potřebujeme-li vyšetřit způsob vylučování moči ledvinami. Můžeme rovněž získat informace ohledně perfuse a parenchymové funkce ledvin a o poměru ledvin na celkové tubulární funkci. Vyšetření může odhalit také problematiku spojenou s obstrukcí močových cest, s poruchou vývoje, afunkčností, zřídka i embolizací. [17].

## 3.4 Dynamická scintigrafie ledvin u dětí

Konkrétní průběh vyšetření ledvin u dětí a dospělých se téměř neliší. Postup vyšetření na jednotlivých pracovištích mírně odlišný je, bývá ovlivněn místními radiologickými standardy. Svou roli v konkrétním postupu a průběhu hraje například kvalita přístrojového vybavení pracoviště. Následující postup popisují podle standardů na pracovišti Nukleární medicíny FN Motol.

### 3.4.1 Příprava radiofarmaka

Standartním zobrazovacím radiofarmakem pro dynamické vyšetření ledvin u dospělých i u dětí je  $^{99m}\text{Tc}$ -MAG3, které se vyrábí přímo na pracovišti v den aplikace v molybdentecnéciovém generátoru. Molybden je v nerozpustné formě navázán ve stíněné komoře na nosiči, ten je omýván fyziologickým roztokem, který obsahuje NaCl. Po radioaktivní přeměně vzniká  $^{99m}\text{Tc}$  které se ihned váže na sůl v okolním roztoku za vzniku technecistanu sodného  $\text{Na}^{99m}\text{TcO}^-$ . Na generátor je připevněna vakuová skleněná lahvička, do které se vzniklá radioaktivní složka díky podtlaku nashromáždí [18].



Obrázek 7 – Molybdentecnéciový generátor [24]

Na předem zakoupený kit se v místní laboratoři naváže technecistan sodný. Pod speciální digestoří v aseptických podmínkách je odebráno vygenerované množství technecistanu sodného a tento objem je doředěn fyziologickým roztokem tak, aby jeho celkové množství činilo 8ml. Toto množství je přidáno do kitu a v olověném stínění zahříváno v topném bloku 16 minut na 120 °C.

Jedná se o jedno z mála radiofarmak, která prochází varem. Po ochlazení na 25 °C je použitelnost farmaka přibližně 8 h.

Připravené radiofarmakum je umístěno v příslušném olovněném stínění do materiálové propusti. Jedná se o okénko určené k přenosu radiofarmak z laboratoře do aplikační místnosti. Zdravotní sestra si odstíněnou lahvičku s konkrétním radiofarmakem odebere, umístí ho pod digestoř a s nasazenými prstovými dozimetry odebere určité množství kapaliny do nestíněné stříkačky. Naplněná stříkačka je umístěna do speciálního odstíněného studnového detekčního měřiče aktivity. V případě že aktivita odpovídá předepsané hodnotě lékařem (tolerovaná odchylka je dle Věstníku až 25 %), stříkačku odstíníme k tomu přizpůsobeným obalem stínícím štítem, nejčastěji z olovnatého materiálu. Aplikace radiofarmaka probíhá až při samotném zahájení snímání na vyšetřovně. [18, 19]



Obrázek 8 - 1. materiálová propust', 2. digestoř, 3. stínící štít na ochranu personálu

### 3.4.2 Průběh vyšetření

Před samotným vyšetřením není potřebná žádná dlouhodobá příprava. Z hlediska té krátkodobé je nezbytné, aby byl pacient před vyšetřením hodně napitý. U dětí se doporučuje vypít 100 ml tekutin na 10 kg váhy. Kojenci se před vyšetřením nakojí, měli by dostat přibližně o jednu porci tekutin více ve srovnání se standardním režimem. Pokud nebude pacient správně napitý, může být akumulace radiofarmaka v ledvinách zpomalená a ledvina se může jevit jako by měla zhoršenou funkci.



Těsně před vyšetřením pacient vyprázdní močový měchýř. V případě malých dětí se jim vymění pleny a pokud je pacient zacévkován, vyprázdní se mu sáček. Ihned po mikci je pacient položen na lůžko gamakamery, ve vyšetřované oblasti nesmí mít žádné kovové předměty jako je třeba spona u pásku od kalhot. Personál si při příchodu dítěte ověří identitu a překontroluje osobní údaje. Zákonný zástupce dítěte podepíše souhlas s vyšetřením a je poučen, jak bude proces probíhat. V průběhu vyšetření může doprovod zůstat v přítomnosti dítěte. Pokud se jedná o hybridní přístroj a je požadovaná i počítačová tomografie, je doprovod v momentu tohoto vyšetření odveden. Doplnění CT ale nebývá v případě dynamické scintigrafie ledvin standardním požadavkem.

Pacient na lůžku leží na zádech, detektor je v zadní projekci umístěn co nejbližší k tělu pacienta. Žádoucí je zobrazení obou ledvin i močového měchýře. Detektor se tedy nachází pod spodní polovinou zad. Pro kvalitu vyšetření se snažíme zamezit pohybům dítěte v průběhu snímání kamery. Výraznou pomocí může být spolupráce s doprovodem, nebo použití fixačních pomůcek, v krajních situacích i utlumení sedativy či anestezie. U nespolupracujících dětí se dá zklidnění docílit použitím rozptylovacích pomůcek například tabletu, různých hraček případně lze počkat, dokud dítě neusne.



Obrázek 9 – Dětská fixační pomůcka, fixační pásy [22]



Je-li dítě správně nastaveno ke snímání, přichází zdravotní sestra a aplikuje radiofarmakum do připravené kanyly. Děti mívají hadičku obmotanou obvazem. Předem připravená kanyla je výhodná, protože pro dítě může být vpich jehly podnětem k neklidu a vyšetření by se mohlo komplikovat. Aplikovaná aktivita se vypočítá v závislosti na hmotnosti dítěte. Krev se do konu stříkačky neaspiruje, jelikož má tendenci se v prostředí radiofarmaka srážet. V momentě aplikace radiologický asistent v ovladovně, nebo přímo v místnosti na přístroji, zapíná dynamické snímání ledvin. Po aplikaci zdravotní sestra propláchne kanylu ještě fyziologickým roztokem, aby se aplikovalo i zbytkové množství farmaka zůstávající v hadičce. Po aplikaci je stříkačka vyhozena do stíněného kontejneru na drobný aktivní odpad.

Tabulka 1 – Aplikovaná aktivita radiofarmaka  $^{99m}\text{Tc-MAG3}$  v závislosti na hmotnosti pacienta[20]

Hmotnost pacienta (kg)	Aplikovaná aktivita (MBq)	Hmotnost pacienta (kg)	Aplikovaná aktivita (MBq)
3	11,9	28	41,3
4	13,3	30	43,4
6	17,5	32	44,9
8	20,4	34	46,2
10	23,1	36	47,6
12	25,9	38	49,7
14	28,0	40	51,1
16	30,1	42	52,5
18	32,2	44	53,9
20	34,3	46	55,3
22	36,4	48	56,8
24	37,8	50	58,1
26	39,9		

Při aplikaci se první snímá 60krát po 1 s, po uplynutí 60 s se po zbytek vyšetření nabírají data celkem 76krát a to v 15 s intervalech. V průběhu snímání radiologický asistent na některý z již pořízených snímků zakreslí ROI (region of interest) oblast zájmu. V této vymezené ploše jsou snímány takzvané county (jednotka signálu) jež odpovídají počtu zaznamenaných vyhodnocených impulsů na gamakameře. Podle počtu countů v jednotlivých ledvinách jsou

vytvořeny dvě křivky popisující vylučování radiofarmaka ledvinami a dutým systémem močových cest v závislosti na čase vyšetření. Graf neslouží pouze k finálnímu vyhodnocení funkce, ale na základě jeho průběhu se lékař rozhoduje o případné indikaci diuretického přípravku (Furosemid).

Po skončení dynamické fáze pacient vykoná mikci a vrací se na další snímání, tentokrát už na statický snímek. V případě nejmenších dětí se pouze vymění pleny. Po mikci dochází k vyprázdnění močového měchýře a k posunu radiofarmaka v močovém systému. Pokud je průběh i po mikční fázi atypický, může lékař indikovat furosemid. Jedná se o diuretikum sloužící ke zrychlení metabolických procesů v ledvinách. Po jeho podání se pacient opět umístí na lůžko gamakamery a dynamická i statická fáze se identicky zopakují, tentokrát bez další možnosti podání furosemidu.

Po aplikaci radiofarmaka je důležité dbát u pacientů s plenami na dodržování správného zacházení s odpadem. Jelikož je v moči obsaženo radiofarmakum, nemůžou se pleny daný den likvidovat jako běžný odpad. Doporučuje se kontaminovaný materiál uložit do igelitového pytle a uschovat alespoň do druhého dne nejlépe mimo domácnost (garáž, sklep atd.). Druhý den se mohou pleny vyhodit do běžného odpadu. [6, 13, 14, 17, 21]

## 3.5 Radiační ochrana

Vzhledem k neustálému rozvoji zdravotnictví dochází i k významnému nárůstu množství možností využití ionizujícího záření. Je třeba regulovat okolní záření jak celoplošně, tak místně, k tomu nám slouží poměrně rozsáhlý systém zákonu, předpisů a nařízení který, se snaží udržovat ozáření na akceptovatelné úrovni. Základními principy radiační ochrany je odůvodnění, optimalizace a dodržování limitů.

Hlavním stavebním kamenem radiační ochrany v celém odvětví radiologie je atomový zákon č.263/2016 Sb., ten určuje hlavní požadavky na zabezpečení všech pracovišť s ionizujícím zářením. Cílí na ochranu osob proti nežádoucím účinkům, zvláště vymezuje požadavky na medicínské ozáření. Kontrolním a dohlížejícím výkonným orgánem je v ČR Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Tento orgán se věnuje kontrole a zabezpečení zdrojů, dodržování limitů, ale i režimu správné likvidace radiačního odpadu. Na každém pracovišti musí být dokument zvaný Program zajištění radiační ochrany. V tomto spisu je detailně popsán celý systém kontroly radiační ochrany na konkrétním pracovišti od povinností, kompetencí a odpovědnosti určitých osob až po postupy přípravy radiofarmak, jejich uskladnění a likvidaci. Dokument se věnuje i sledování patientského ozáření. Důležité dokumenty jsou ještě Program monitorování obsahující sběr dozimetrických dat a Vnitřní havarijní plán řešící mimořádné události. [14]

Pracoviště nukleární medicíny je specifické v práci s otevřenými radionuklidovými zářiči. Otevřený radionuklid nemá žádný pevný obal, který by splňoval zkouškami ověřenou těsnost. Při práci s otevřenými zdroji jsou zvýšené nároky na izolační, ventilační a stínící zabezpečení pracoviště. Prostory oddělení musí ze zákona splňovat ještě přístrojové požadavky, dostatek a kvalitu přístrojů sloužících k monitorování a zabezpečení. Nesmí dojít k překročení limitů. Ty se liší, jedná-li se o kontrolované či sledované pásmo. Pro pásmo kontrolované platí přísnější opatření. Jedná se o prostory, v nich pracují pracovníci kategorie A a kde mohou ročně obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv. Ve sledovaném pásmu jsou pracovníci kategorie A i B a předpokládá se, že by efektivní dávka mohla být vyšší než 1mSv za rok.

Jelikož při přípravě a aplikaci radiofarmaka pacientovi je kontaminováno plno pomůcek, je podstatná i správná likvidace radioaktivního odpadu. Pevné odpady s relativně krátkým poločasem rozpadu jsou ukládány do speciálních stíněných boxů, které jsou pravidelně proměřovány. Ve chvíli, kdy dojde k dostatečnému poklesu aktivity, se materiál likviduje jako běžný nemocniční odpad. V případě delšího poločasu rozpadu kontaminovaných pomůcek jsou využívány tzv. vymírací místnosti. Proměření probíhá jednou za tři měsíce a likvidují se shodně jako odpad s kratším poločasem rozpadu. Poslední možností je likvidace odpadu výrobcem, distributorem. K tomu dochází například v případě molybdentechnéciového generátoru, kdy bývá následně dodavatelskou firmou generátor vyměněn za nový. [13, 14, 22]



Obrázek 10 – Stínící nádoba na kontaminované pomůcky v aplikační místnosti

### 3.5.1 Radiobiologický účinek

Důvodem, proč je kladen tak velký důraz na ochranu před ionizujícím zářením, jsou jeho účinky na organismus. Kromě mnohých přínosů, které pro nás radiace představuje, přináší také určitá rizika. Záření působí na naše tělo na několika úrovních, na částicové, molekulární, buněčné, orgánové či systémové.

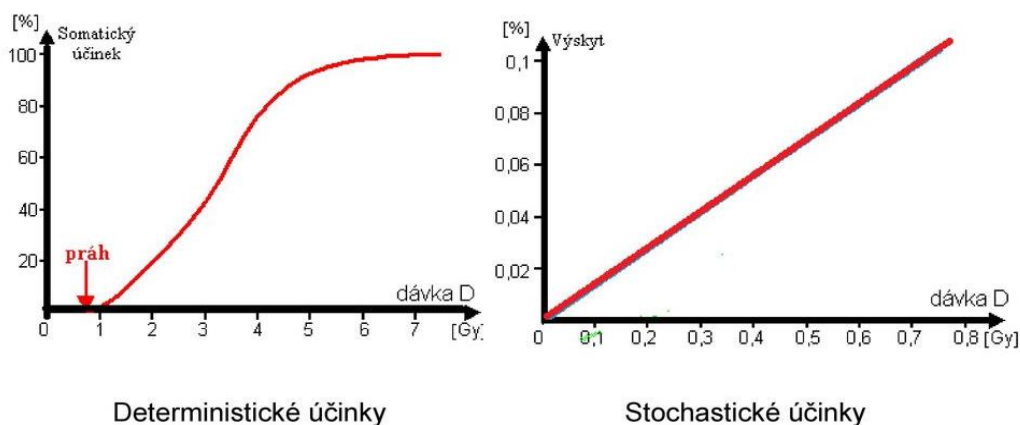
Jádro je základním řídicím orgánem buňky nesoucí genetickou informaci zakódovanou ve dvoušroubovici DNA. Při interakci záření s jádrem, konkrétně s chromozomy, dochází k porušení jejich stavby. Na vláknech DNA může dojít k přerušení řetězce, těmto změnám se říká buď jednovláknové nebo dvouvláknové zlomy. V případě že dojde pouze k narušení jednoho ze dvou řetězců, není to pro buňku tak velký problém, jelikož dokáže tuto změnu relativně snadno opravit. Při dvojitém zlomu už je problematika reparace větší a může nastat několik možných buněčných odpovědí.

Není-li buňka schopná chybu opravit, je poškození buď letální a buňka ztrácí možnost reprodukce a po čase umírá, nebo si buňka zachová schopnost dělení a chybu předává dalším generacím. Poslední možností je stav, při němž je poškození tak rozsáhlé, že dojde k reprodukční smrti a buňka umírá nehledě na to v jaké fázi života se nachází. [22, 23]

V radiologii patří mezi nejužívanější členění radiačních účinků dělení na stochastické a deterministické. Stochastické účinky jsou obvykle pozdní, pravděpodobnost jejich výskytu je závislá na efektivní dávce, jedná se účinky vyvolávající změny genetické a nádorové. Jsou vysvětlovány jako působení na DNA buňky. Na rozdíl od stochastických účinků, ty deterministické mají práh, po jehož překročení se účinky objevují. Ty jsou typické pro tkáňovou úroveň postižení, projevují se v blízké době po ozáření. Při překročení prahové dávky dochází k poškození orgánů, nekrotám, zánětů kůže až k nemoci z ozáření. [14,15,16]

## Stochastické a deterministické účinky IZ

### Grafické znázornění



### 3.5.2 Ochrana personálu

Personál nejčastěji přichází do styku s vnější radiálním ozářením gama zářičem. K ozáření inhalací nebo ingescí většinou nedochází, nebo je míra zanedbatelná, proto se monitoruje především míra zevního ozáření. Každý zaměstnanec musí mít svůj vlastní osobní dozimetr umístěný viditelně na referenčním místě (levá strana hrudníku). Dozimetry jsou pravidelně jednou za měsíc vyhodnocovány a je kontrolováno, jestli nedochází k překročení limitů. Radiální pracovníci přicházejí do styku se zářením jak při přípravě radiofarmak, tak při podání a i při samotné práci s již aplikovaným pacientem. Nejvíce jsou při práci s radiofarmaky ozářeny končetiny, z toho důvodu se v nukleární medicíně používají prstýnkové dozimetry. Pozornost je věnována i ozáření oční čočky.

Základní tři pravidla ke snížení zátěži pracovníků je ochrana časem vzdáleností a stíněním. Čím kratší dobu se bude personál v blízkosti zdroje pohybovat, tím lépe. Proto se při práci s pacienty a s radiofarmaky snažíme o co nejrychlejší manipulaci. [13, 14]



Obrázek 12 – 1. prstýnkový dozimetr, 2. stínící nádoba na radiofarmaka

Tabulka 2 – Limity pro pracovníky s ionizujícím zářením [24, 25]

Limitovaná oblast	Efektivní dávka za rok	Efektivní dávka za 5 let
Oční čočka	20mSv	100mSv
Celková	50mSv	100mSv
Kůže a končetiny	500mSv	-

### 3.5.3 Ochrana pacientů a dalších osob

Zdrojem záření je radioaktivní látka, jelikož se aplikuje do organismu, jedná se o ozáření vnitřní. Ozáření pacienta je v první řadě přímo úměrné aplikované aktivitě. Množství aktivity se stanovuje podle Národních radiologických standardů, od kterých odvozujeme místní radiologické standardy typické pro konkrétní pracoviště. Aktivita by měla být vždy taková, aby bylo vyšetření provedeno s dostatečnou kvalitou. Neměla by být příliš nízká, aby se vyšetření nemuselo opakovat, ani příliš vysoká, abychom pacienta nadbytečně neozařovali (zákon ALARA – As Low as Reasonably Achievable). Jelikož je pacient ozařován po celou dobu rozpadu radioaktivní látky, závisí jeho ozáření i na poločasu rozpadu a na rychlosti vyloučení látky z organismu. Pacient může urychlit vylučování především zvýšeným příjmem tekutin. Radiofarmaka jsou z těla v největší míře vylučovány ledvinami, při zvýšeném příjmu tekutin se urychlí metabolismus jejich vylučování, což pozitivně ovlivní výslednou radiační zátěž.

Některá vyšetření se doplňují o CT obraz, takže se mohou setkat i s vnějším zdrojem radiace. Dalším možným vnějším zdrojem se ještě může stát sám pacient, a to jak pro ostatní pacienty, tak pro personál a lidi ve svém okolí. Záření z pacienta je zanedbatelné a výrazným způsobem nezvyšuje ozáření veřejnosti. Pacient bývá před vyšetřením poučen o zvýšeném pitném režimu a doporučení ohledně kontaktu s okolními osobami. Nedoporučuje se v den vyšetření pobývat delší dobu v blízkosti dětí a těhotných žen, které jsou na záření citlivější než dospělý organismus. Dalším doporučením je dočasné přerušování kojení. [14]

## 4 METODIKA

Realizace praktické části bakalářské práce byla prováděna na pracovišti Nukleární medicíny a endokrinologie 2. LF UK a FN v Motole. Většina informací pochází z vnitřních předpisů a interních dat oddělení.

Množina pacientů, u nichž byla data vyhodnocována, byla vybrána z textové a obrazové databáze FN Motol. V praktické části jsou zpracována data ze systému PACS, týkající se četnosti, pohlaví a věku jednotlivých vyšetření v časovém rozmezí od 7.1.2019 do 6.9.2020. K vyhodnocení dat byl použit program Microsoft Excel. Další část práce se zabývá měřením a vyhodnocením procentuálního poměru funkce pravé a levé ledviny v závislosti na změně jednotlivých vstupních parametrů.

Všem pacientům, kteří podstoupili dynamické vyšetření ledvin byla v první řadě v závislosti na hmotnosti předepsána aplikovaná aktivita. Aktivita je veličina charakterizující počet radioaktivních přeměn za jednotku času a značí se písmenkem A, jednotkou je becquerel Bq. V aplikační místnosti pak zdravotní sestra naměří přesnou aktivitu radiofarmaka (s přesností 10%, dle Věstníku MZČR tolerance až ±25 %) pro konkrétního pacienta.

$$A = \frac{dN}{dt} = \frac{[\text{počet}]}{[\text{čas v sekundách}]}$$

K vyšetření pacientů bylo použito radiofarmakum  $^{99m}\text{Tc}$ -MAG3, vyráběné v místním molybdentechnéciovém generátoru. Snímání probíhalo na gamakameře SPECT přístroje značky SIEMENS Symbia S. Pracoviště disponuje konkrétně čtyřmi detekčními přístroji značky SIEMENS a to konkrétně SPECT/LDCT Symbia Intevo 2015, SPECT/LDCT Symbia T 2006, SPECT Symbia S 2009 a SPECT Symbia S 2015.



Během vyšetření pacientů byly měněny vyšetřovací parametry gamakamery v závislosti na velikost pacienta. Volba parametrů je závislá na intuici radiologického asistenta, není pevně stanovena.

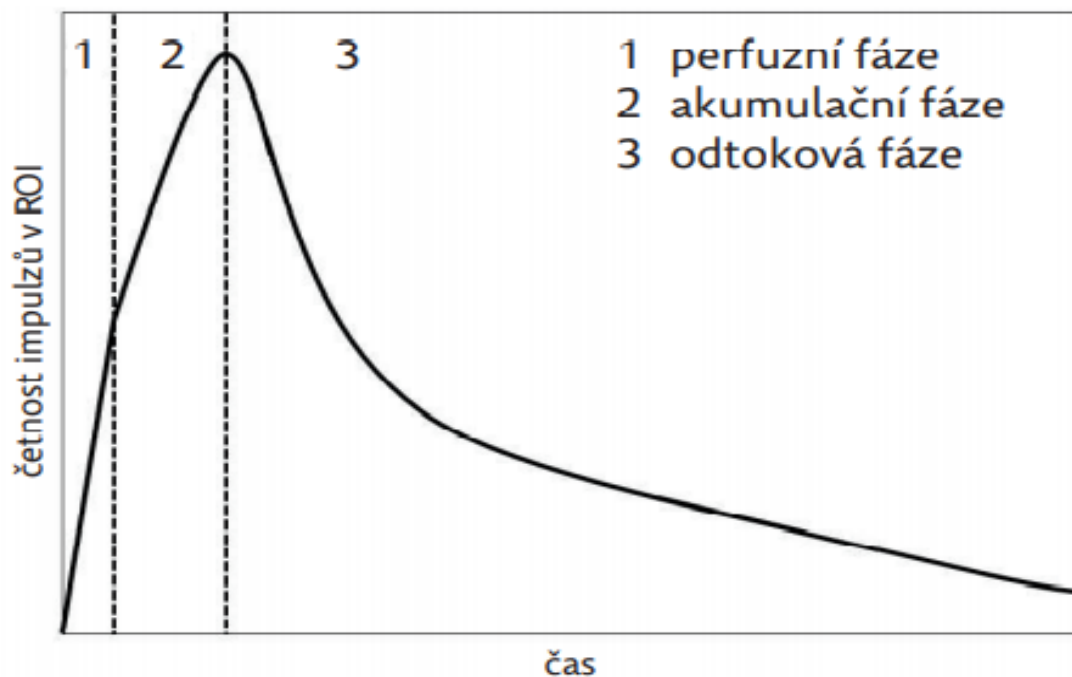
**Parametry u nejmenších dětí:** ZOOM 2, MATICE 64x64, detektor 2

**Parametry u větších dětí:** ZOOM 1,78 MATICE 64x64, detektor 2

Před příchodem pacienta se v programu nastaví vhodné parametry k vyšetření. Nastavení je zvolené podle věku a velikosti dítěte. V programu se uvádí jméno pacienta, pohlaví, věk a rodné číslo. Při nastavení bylo vybráno konkrétní vyšetření RENAL SCAN, v kategorii MOTOL RENAL, kde je přednastavená první dynamická fáze trvající 60 s sbírající snímky po jedné sekundě, následně se automaticky spustí další dynamické snímání, při kterém se po 15 sekundách zobrazí jeden konkrétní obraz, fáze se opakuje 76 krát.

Po předběžném nastavení programu vyšetření přichází na řadu nastavení pacienta v supinační poloze nohama do gantry. Po položení je lůžko s pacientem umístěno tak, aby byla v oblasti detektorů oblast břicha. Na SPECT přístroji je detektor číslo dvě přibližně co nejvíce ke spodní straně pacienta. Detektor byl přibližně 2 cm od lůžka. Detektor číslo jedna při tomto druhu vyšetření nevyužíváme, protože k hodnocení je dostatečné snímání pouze z dorzální projekce, kde jsou ledviny nejbližší k detektoru. Po nastavení pacienta do patřičné pozice vůči kameře je sestrou aplikováno intravenózně radiofarmakum, současně s aplikací spouštím z ovladovny snímání.

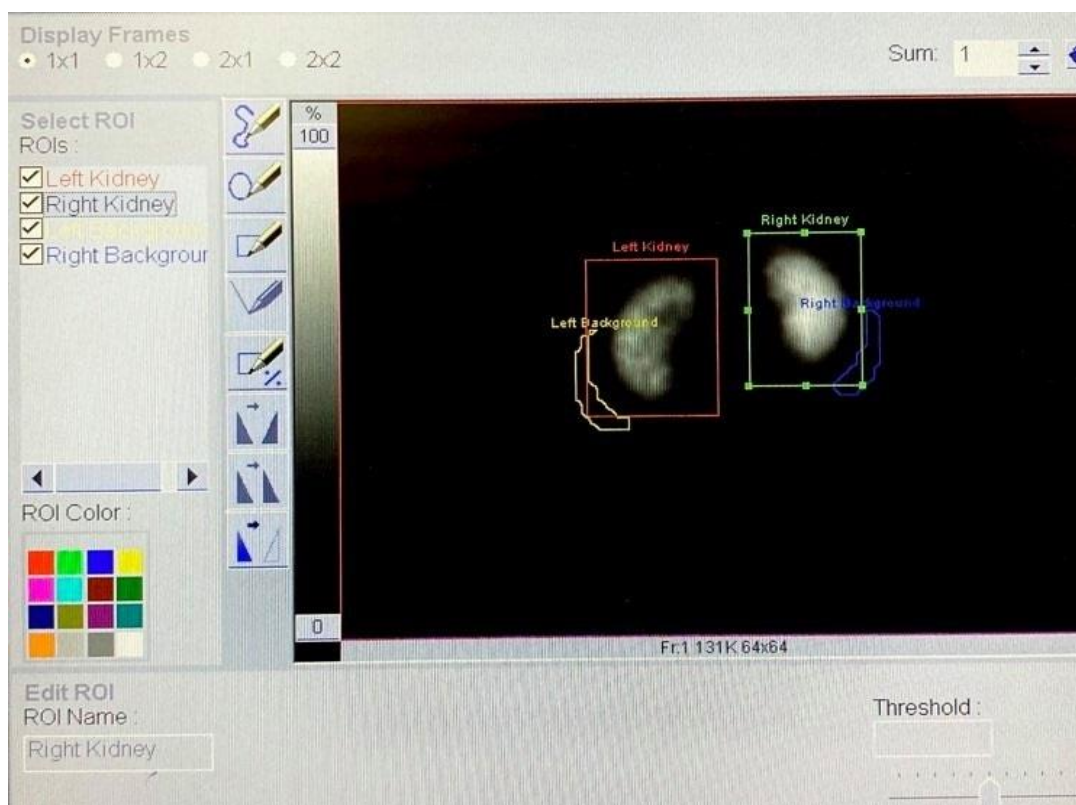
Do programu je ještě v průběhu vyšetření třeba zakreslit ROI, sloužící k průběžnému zobrazení křivek znázorňujících četnost impulsů ve vyznačených oblastech zájmu. V tomto kroku vidíme všechny doposud nasnímané obrazy i s vyznačenými ROI oblastmi. Současně s přibývajícimi obrazy dochází k tvorbě grafu závislosti zaznamenaných impulsů na čase měření (viz obrázek 13). Z průběhu křivek většinou již bývá patrné případné zhoršení funkce. Po nasnímání dynamické fáze je pacient vyzván k mikci a po návratu z toalety (u malých dětí po výměně plíny) je proveden snímek statický trvající 60 s.



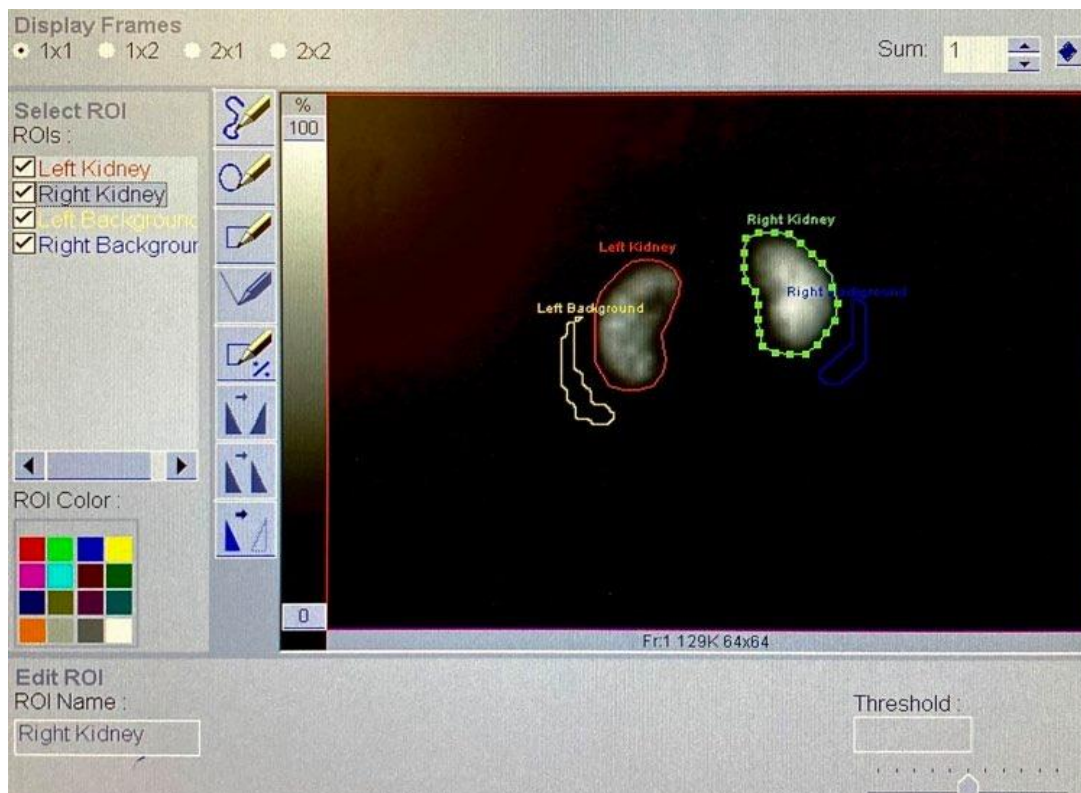
Obrázek 13 – Normální renogram znázorňující tři fáze plnění ledvinového parenchymu radiofarmakem [3]

V tento moment se lékař rozhoduje podle průběžných zjištění o ukončení vyšetření, nebo případném podání diuretika. Pokud je diuretikum (v našem případě furosemid) pacientovi podáno, celý proces vyšetření jak dynamické, tak statické fáze probíhá ve stejné posloupnosti znovu.

V rámci vyhodnocení poměru tubulárních funkcí ledvin bylo zpracování výsledků prováděno z lékařského počítače. V systému je podle rodného čísla možno vyhledat konkrétního pacienta. Ze seznamu provedených vyšetření byl zvolen konkrétní den a druh vyšetření, který se dále zpracovával čtyřmi odlišnými způsoby. Při prvním a druhém vyhodnocení bylo vymezení oblasti zájmu bez korekce na pohyb. ROI měl v jednom případě obdélníkový tvar (viz obrázek 14) a při druhém zakreslení bylo k vyznačení použito ruční obkreslení obvodu ledviny (viz obrázek 15). Ve třetím a čtvrtém případě již byla provedena korekce pohybu a ROI zakreslen shodnými způsoby jako v předešlém případě.



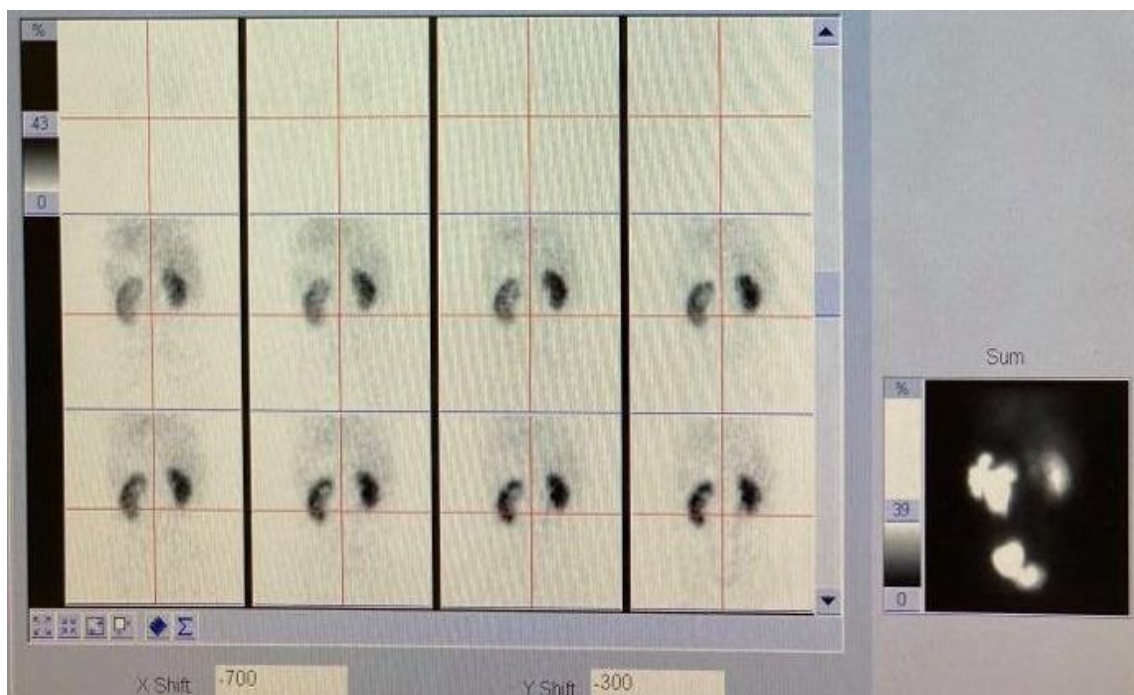
Obrázek 14 – ROI rámcově ohraničený



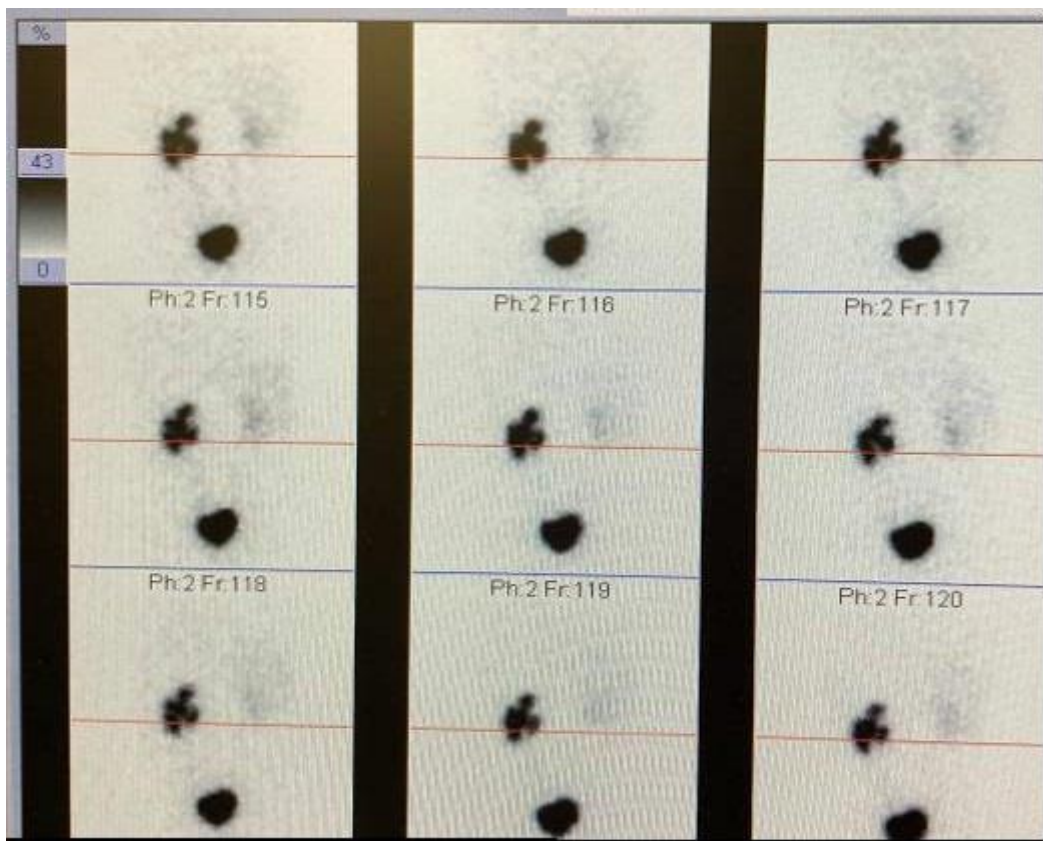
Obrázek 15 – ROI podle obvodu ledviny

Provádí-li se korekce na pohyb, je jí třeba provést před vyznačením oblasti zájmu. V programu se zobrazí řada všech zhotovených snímků. V každém políčku se zobrazí dvě na sebe kolmé osy, které si posuneme tak, aby se v prvním políčku každá dotýkala kraje jedné z ledvin. Osy si zafixujeme a následně si procházíme další obrazy, u kterých provedeme posun dle vzoru prvního nastavení. Každý následující snímek v řadě se posune stejně, jako právě upravovaný obraz. Tento proces je časově nejnáročnější částí zpracování obrazu. Vedle série jednotlivých obrazů nám program zobrazuje i sumační výsledný obrázek, na němž bývá dobře znatelné, pokud se pacient v době vyšetření pohyboval (viz obrázek 16, 17).

Po nastavení námi požadovaných parametrů je obraz vyhodnocen a program nám dává informaci o průběhu křivky renogramu, o množství impulzů v oblasti ROI v konkrétním čase (viz obrázek 18, 19). Je možno přehrávat zrychlenou animaci plnění ledvin a močového měchýře i porovnat mezi sebou jednotlivé fáze snímání například před a po mikci nebo před a po podání diuretika (viz obrázek 21).

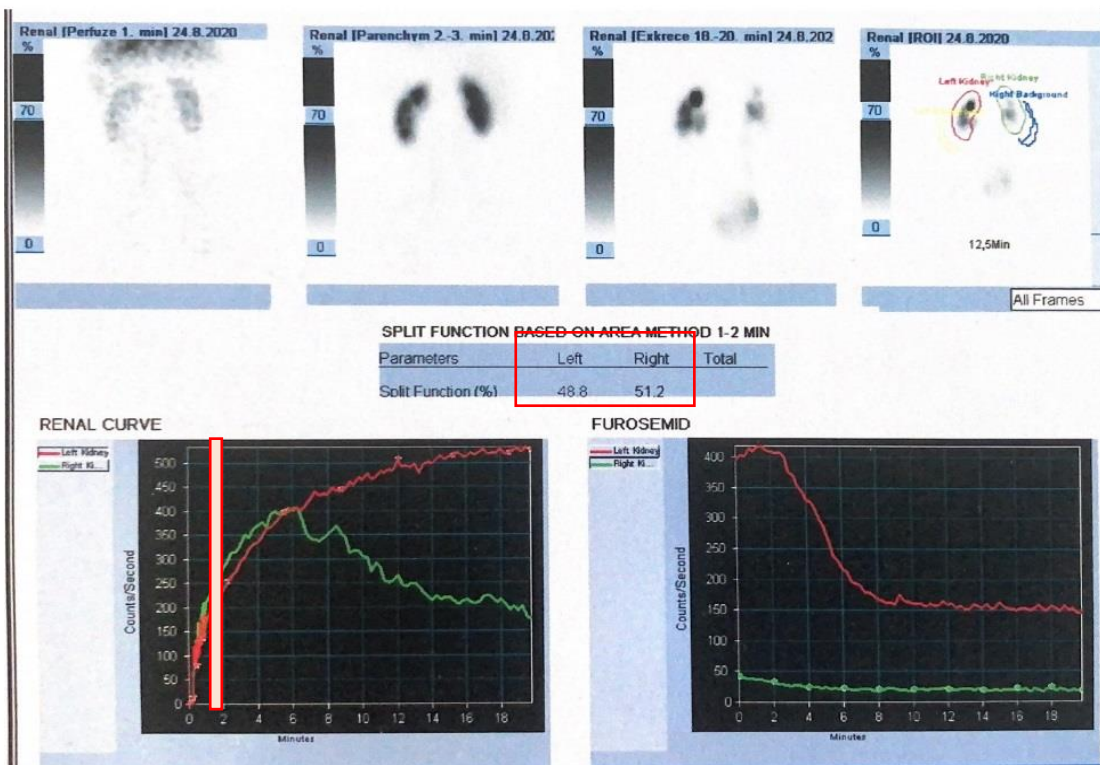


Obrázek 16 – Program sloužící ke korekci pohybu, před korekcí na pohyb, v pravé části sumovaný obraz bez provedené pohybové korekce

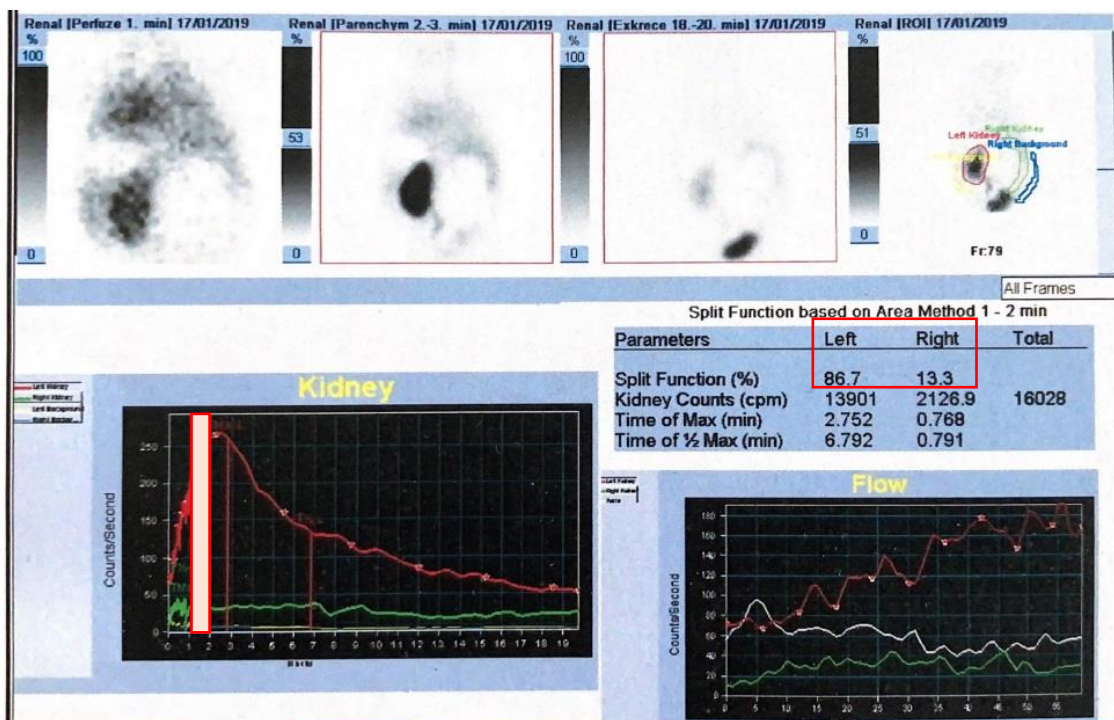


Obrázek 17 – Srovnané obrazy po korekci na pohyb

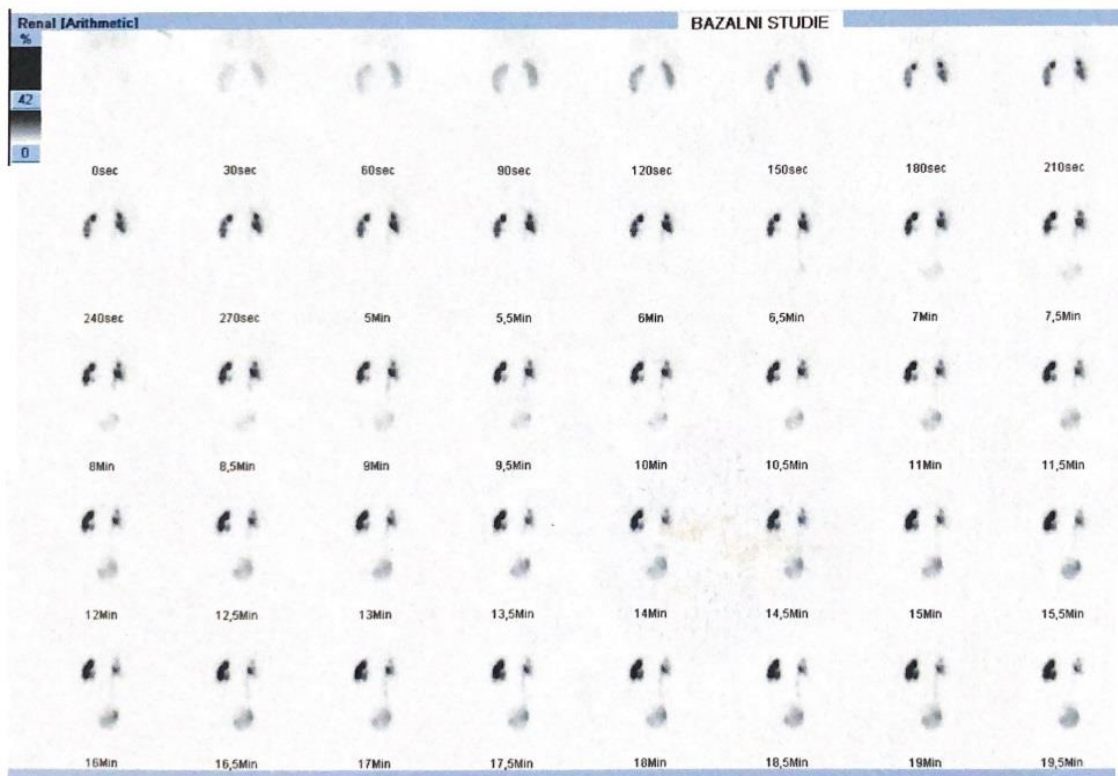




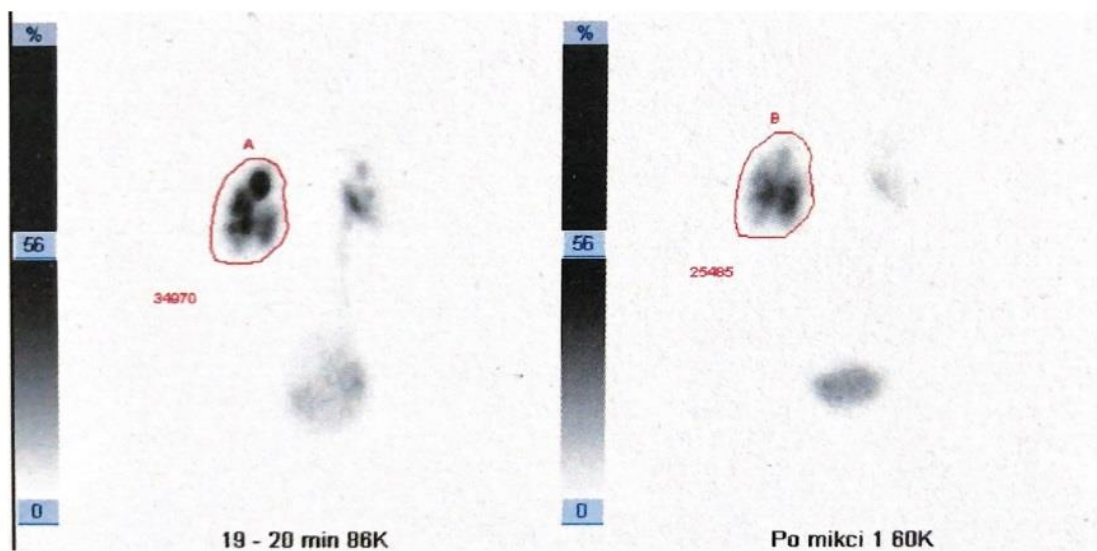
Obrázek 18 – Vyhodnocované parametry pacientů s furosemidem: Left (levá) and Right (pravá) ledvina, renogram



Obrázek 19 – Vyhodnocované parametry pacientů bez furosemidu: Left (levá) and Right (pravá) ledvina, renogram



Obrázek 20 – Série planárních snímků močových cest



Obrázek 21 – Snímek před a po mikci, počet K jednotek v ROI

Při porovnání výsledných hodnot vyhodnocených čtyřmi různými způsoby zpracování, považuji za ideální a směrodatné hodnocení v praxi aktuálně používanou metodu vyznačení ROI podle obvodu ledviny s korekcí na pohyb, se kterou srovnávám ostatní možnosti zpracování. Vyhodnocení touto metodu budu považovat za reálný poměr funkce ledvin. Hodnocení je procentuální poměr celkové tubulární funkce pravé a levé ledviny založený na principu Area Method, který hodnotí funkci v časovém intervalu mezi 1. a 2. minutou snímání. Křivka četnosti impulsů v ROI v závislosti na čase je pro každou ledvinu zvlášť znázorněna v grafu. Při této metodě je vyhodnocena plocha pod renografickou křivkou v daném časovém intervalu samostatně v obou oblastech ROI a výsledné plochy jsou následně převedeny do procentuálního poměru.

Pro měření byli vybráni pacienti, jenž byli vyšetřeni v časovém intervalu od 4.3.2019 do 16.11.2020. V množině použitých dat jsou vyhodnoceni vždy tři pacienti z každé věkové kategorie od 0 do 6 let života. Jeden ze tří pacientů byl vyšetřen s použitím furosemidového přípravku a všechny skupiny zahrnují měření na pacientech obou pohlaví. Jelikož je hlavním vyhodnocovacím parametrem poměr tubulární funkce mezi pravou a levou ledvinou, vybraní pacienti museli mít obě ledviny, při čemž ani jedna nebyla afunkční. Z naměřených dat byl z konečného zpracování výsledků vyčleněn jeden pacient, jelikož data se ve velké míře vychylovaly od normálu. Vyhodnocování dat a tvorba tabulek byla provedena prostřednictvím programu Microsoft Excel. Z naměřených hodnot byla vytvořena tabulka a odečtením vypočteno, o kolik se číselně liší výsledky jednotlivých metod ve srovnání s námi zvolenou ideální metodou. Výsledek byl poté převedla na procentuální odchylku a pro oba případy zpracování byla spočtena průměrná hodnota výsledků. Průměrné hodnoty jednotlivých metod jsou dále srovnávána prostřednictvím tabulky.

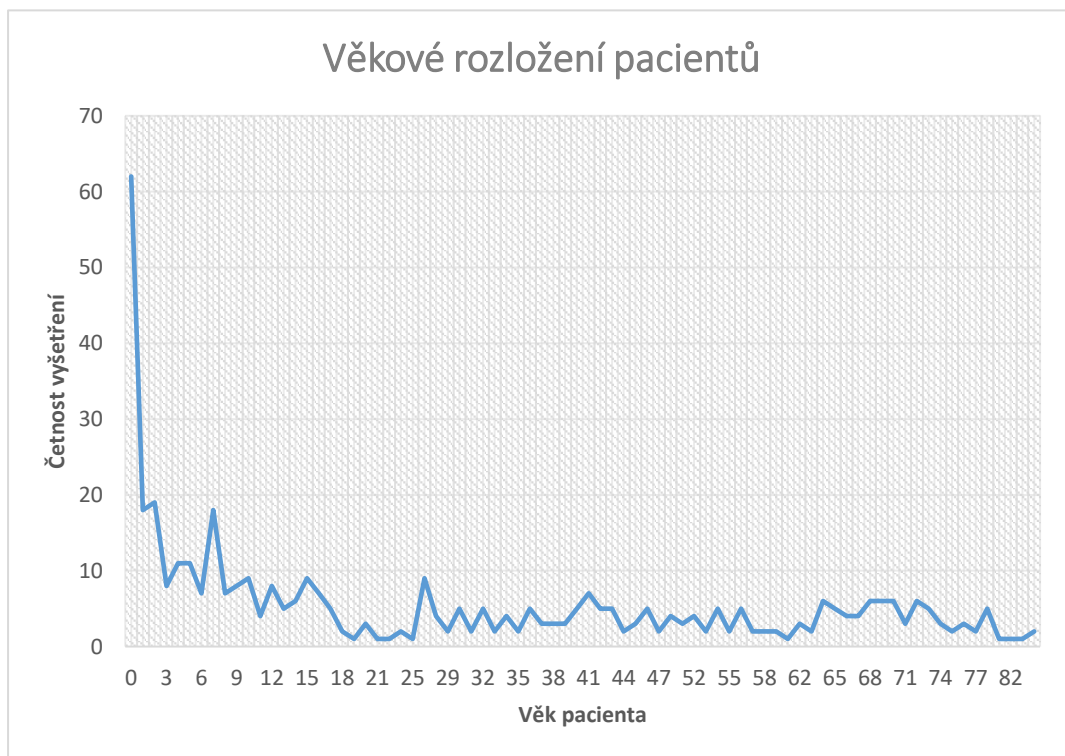
K dalšímu zpracování dat byl použit program Statistics Kingdom. Jelikož testované hodnoty nemají normální rozložení, bylo vyhodnocení provedeno pomocí neparametrického párového Wilcoxonova Signed-Rank testu. Srovnávány byli metody na hladině významnosti 5% a 1% a následně s vyčleněním výrazně odchýlených dat i bez něj. V tabulkách je porovnána p hodnota, kterou lze definovat jako nejmenší hladinu významnosti testu, při níž ještě zamítneme nulovou hypotézu. Čím nižší je p hodnota testu, tím menší



má tento test pravděpodobnost, že platí nulová hypotéza. Nulová hypotéza  $H_0$  je v našem případě tvrzení, že naměřené hodnoty jednotlivých metod jsou si rovny.

## 5 VÝSLEDKY

První graf je z časového období od 7.1.2019 do 6.9.2020. Data byla sbírána na pracovišti Nukleární medicíny a endokrinologie fakultní nemocnice v Motole. Hodnoceno bylo množství všech pacientů s dynamickým vyšetřením ledvin. Z grafu je patrné, že nejvíce je vyšetření indikováno u dětských pacientů, v dospělosti je četnost vyšetření výrazně nižší. V dětském věku se četnost vyšetření s rostoucím věkem snižuje, v dospělosti na rostoucím věku nezáleží a rozložení četnosti je téměř konstantní. Nejzastoupenější věkovou kategorií jsou děti do 1 roku, kde bylo provedeno 62 vyšetření. Druhou nejpočetnější skupinou jsou dvouleté děti se zastoupením 19 vyšetření a třetí početná skupina je ve věku 1 a 7 let s provedením 18 vyšetření. Věkové kategorie čtyř a pětiletých dětí mají četnost 11 vyšetření, zbytek věkových kategorií má zastoupení nižší než 10 vyšetření.



Obrázek 22 – Graf věkového rozložení pacientů s vyšetřením dynamické scintigrafie ledvin (ve FN Motol v časovém období od 7.1. 2019 do 6.9. 2020)

V následujícím grafu srovnávám rozložení četnosti vyšetření tří skupin ze 424 pacientů. První skupina je dětí do 6 let, jejichž dalším zpracováním se ve své práci zabývám. Druhá skupina je dětí od 6 do 18 let a třetí zahrnuje dospělé tudíž nad 18 let.



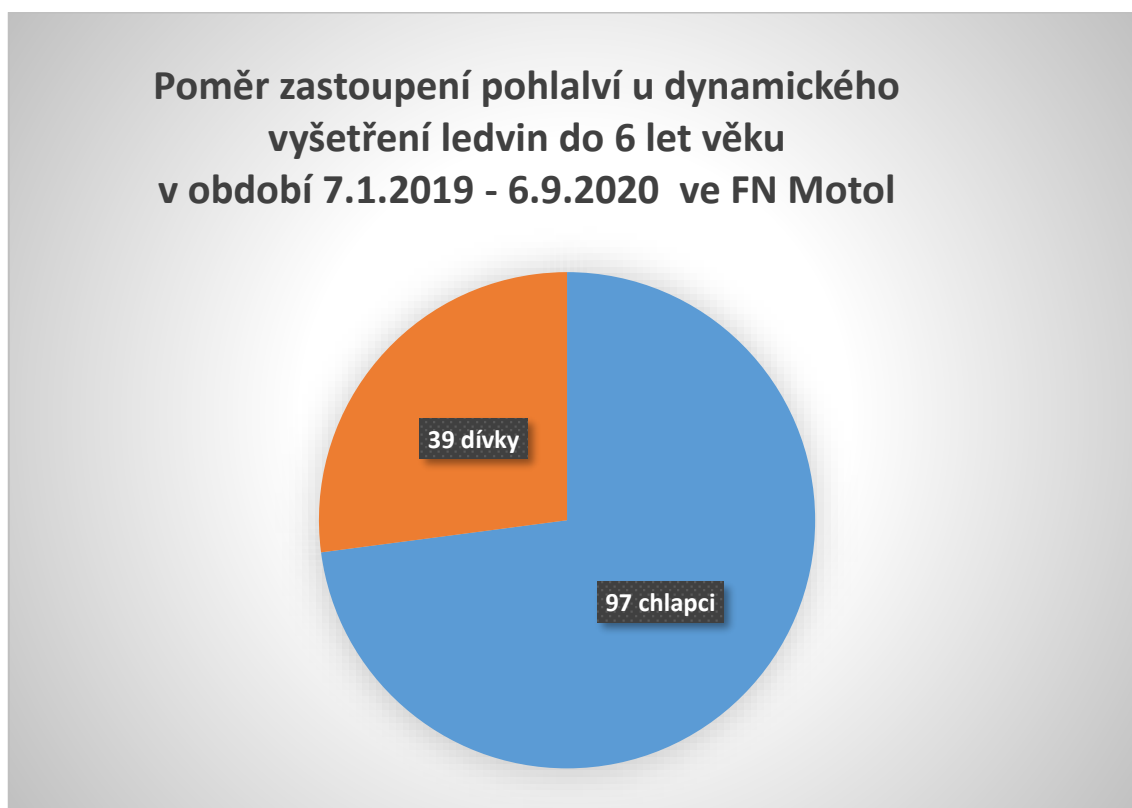
Obrázek 23 – Graf věkového rozložení 424 pacientů s vyšetřením dynamické scintigrafie ledvin (v období od 7.1. 2019 do 6.9.2020 ve FN Motol)

Ve třetím grafu je znázorněna četnost vyšetření u pacientů do 6 let, jelikož se v další části této práci zaměřuji především na tyto věkové kategorie.



Obrázek 24 – Graf četnosti vyšetření dynamické scintigrafie ledvin v závislosti na věku u dětí do 6 let (ve FN Motol v časovém období od 7.1.2019 do 6.9.2020)

Čtvrtý graf zobrazuje poměr mezi pohlavími ve skupině pacientů do 6 let. Graf vypovídá, že 72 % vyšetřovaných dětí byli chlapci a 28 % dívky.



Obrázek 25 – Graf poměru zastoupení pohlaví u dynamické scintigrafie ledvin do 6 let (v období 7.1.2019 do 6.9.2020 ve FN Motol)

Tabulka 3 shrnuje všechny diagnózy u pacientů do 6 let v daném časovém období a jejich četnost. Ze 137 hodnocených dětí bylo diagnostikováno vrozené onemocnění až u 104 pacientů, 76 pacientů mělo nějaký druh hydronefrózy. Konkrétně pak z dat vyplývá, že nejčastějším onemocněním je vrozená hydronefróza s četností 64 dětí. Druhou nejčetnější diagnózou je vrozený megalourether v 18 případech, třetí je vesicoureální reflux zastoupený 13krát. Zbytek diagnostikovaných onemocnění byl zastoupen 3krát a méně.

Tabulka 3 – Četnost jednotlivých vyšetření u dětí do 6 let v časovém rozmezí od 7.1. 2019 do 6.9.2020 ve FN Motol

Diagnóza	Onemocnění	Počet výskytů
Q620	Vrozená hydronefroza	64
Q622	Vrozený megaloureter	18
Q627	Vrozený vesicoureální reflux	13
N133	Jiná a neurčitá hydronefroza	7
N130	Hydronefroza s obstrukcí pelviureterického spojení	3
Q639	Vrozené vady ledvin nespecifické	3
Q642	Vrozená zadní uretrální chlopeč	3
C64	Zhoubný novotvar ledvin mimo pánevku	2
N131	Hydronefroza se strikturou ureteru nezařazená jinde	2
N309	Cystitida nespecifické	2
N310	Dráždivý neuroplastický měchýř, nezařazený jinde	2
N319	Nervově svalové dysfunkce močového měchýře, nespecifické	2
Q420	Vrozené chybění, atrézie, stenóza konečníku s píštělí	2
Q437	Přetrvávající kloaka	2
Q614	Dysplazie ledviny	2
Q625	Zdvojení močovodu	2
C679	Zhoubný nádor močového měchýře	1
I159	Sekundární hypertenze	1
I740	Embolie a tromboza břišní aorty	1
I771	Zužení striktua tepny	1
N110	Neobstrukční chronická pyelonefritida spojená s refluxem	1
N137	Uropatie spojená s vesikouretrálním refluxem	1
N390	Infekce močového ústrojí neurčité lokalizace	1
Q628	Jiné vrozené vady močovodu	1

Tabulka 4 znázorňuje poměr ledvin na celkové tubulární funkci při provedení čtyřmi různými metodami. První metoda A je provedena pomocí rámcového ohraničení ledviny bez korekce na pohyb, druhá B též bez korekce, ale s ROI kolem obvodu ledvin. Třetí C a čtvrtá D metoda je vyhodnocena s korekcí na pohybové artefakty, oblast zájmu je volena rámcově a v posledním případě podle obvodu. Aktuálně se ve FN Motol používá k hodnocení metoda D s korekcí na pohyb a s ROI kolem obvodu. Tyto hodnoty jsou v následujících tabulkách statisticky zpracovány a hodnoceny. Při hodnocení postupně srovnávám první tři metody A, B, C s metodou D.

Tabulka 4 – Procentuální poměr tubulární funkce pravé a levé ledviny při dynamické scintigrafii ledvin u dětí do 6 let v závislosti na změně vstupních parametrů. L – levá ledvina, P – pravá ledvina

Bez korekce na pohyb (%)				S korekcí na pohyb (%)			
Rámcové ohraničení		ROI kolem obvodu ledviny		Rámcové ohraničení		ROI kolem obvodu ledviny	
L	P	L	P	L	P	L	P
51,6	48,4	50,7	49,3	51,5	48,5	51,5	48,5
49,5	50,5	48	52	48,5	51,5	48,4	51,6
58,8	41,2	43,7	56,3	44,5	55,5	42,3	57,7
53,4	46,6	55,1	44,9	52,3	47,7	55,6	44,4
42,7	57,3	42,7	57,3	44,6	55,4	44,9	55,1
42,9	57,1	31,1	68,9	43,8	56,2	44,6	55,4
49,2	50,8	45,7	54,3	46,5	53,5	46,4	53,6
42,8	57,2	47,7	52,3	42,9	57,1	41,8	58,2
42	58	48,5	51,5	44,3	55,7	47,2	52,8
46	54	46,2	53,8	44,4	55,6	48	52
40,1	49,9	40,1	59,9	44,1	55,9	42,5	57,5
42	58	36,9	63,1	39,7	60,3	38,3	61,7
52,2	47,8	53,4	46,6	51,7	48,3	54,3	45,7
47,9	52,1	44,1	55,9	46,3	53,7	42,3	57,7
50,7	49,3	51,7	48,3	50,5	49,5	51	49
47	53	46,1	53,9	40,6	59,4	48,7	51,3
39,6	60,4	47,6	52,4	45,5	54,5	49,5	50,5
83,4	16,6	82,5	17,5	84,7	15,3	81,5	18,5
65	35	65,5	34,5	66	34	63,3	36,7
47,2	52,8	50,7	49,3	48,7	51,3	48,8	51,2

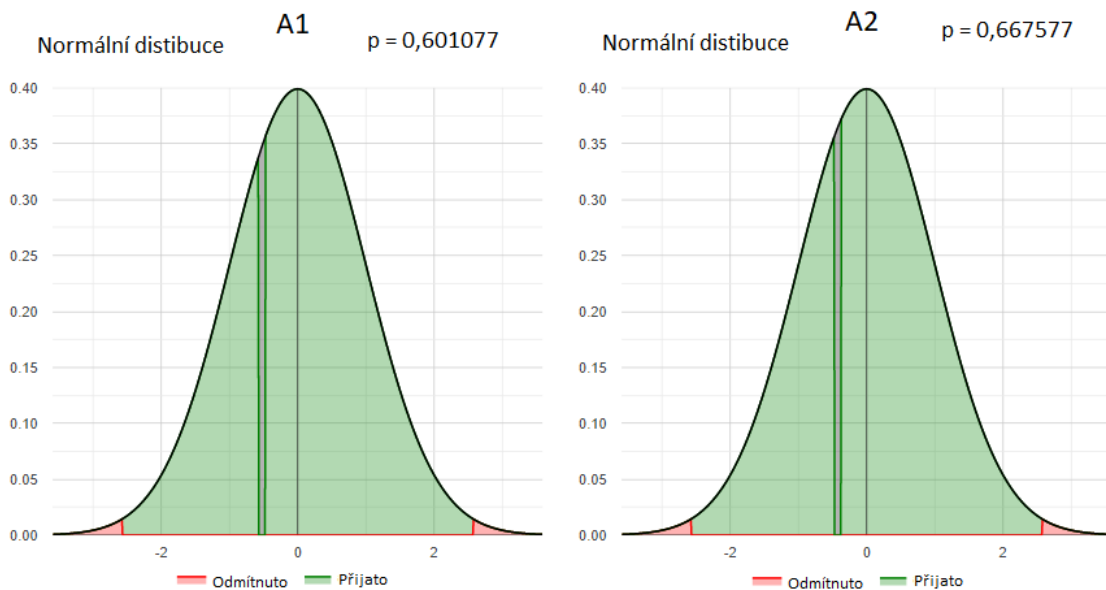
## METODA A

Srovnání výsledných hodnot metody A s metodou D je zachyceno v tabulce 5. Jako průměrný rozdíl ve výsledném hodnocení obou metod je 3,285. Průměrná procentuální odchylka je 7,1 %.

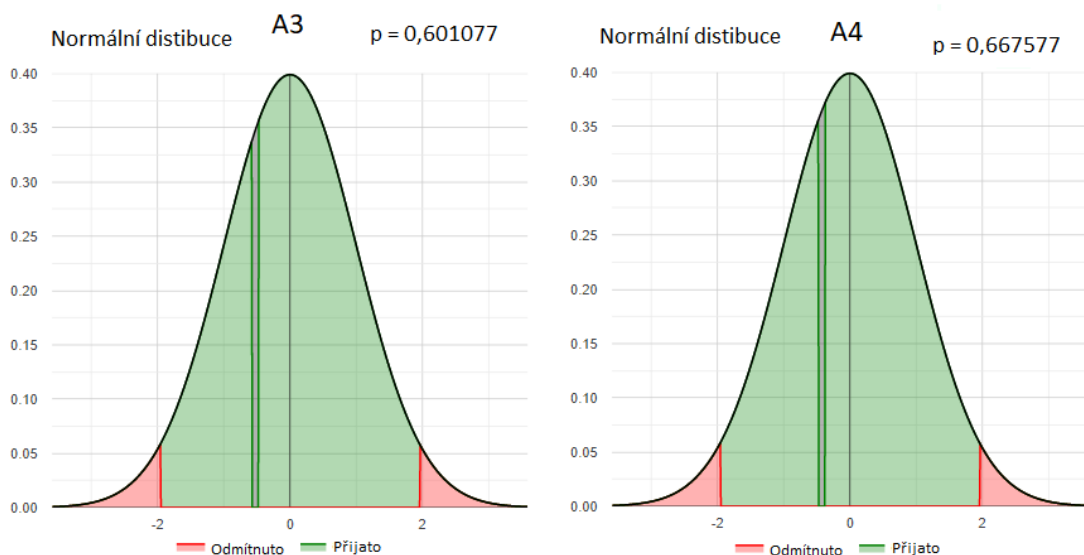
METODA A		METODA D		Průměrný číselný rozdíl mezi metodou A a D je 3,285 Průměrná odchylka je 7,1 %	
Bez korekce na pohyb (%)		S korekcí na pohyb (%)			
Rámcové ohraničení		ROI kolem obvodu ledviny			
L	P	L	P	Rozdíl mezi metodou A a D	Procentuální odchylka
51,6	48,4	51,5	48,5	0,1	0,2%
49,5	50,5	48,4	51,6	1,1	2,3%
58,8	41,2	42,3	57,7	16,5	39,0%
53,4	46,6	55,6	44,4	2,2	4,0%
42,7	57,3	44,9	55,1	2,2	4,9%
42,9	57,1	44,6	55,4	1,7	3,8%
49,2	50,8	46,4	53,6	2,8	6,0%
42,8	57,2	41,8	58,2	1	2,4%
42	58	47,2	52,8	5,2	11,0%
46	54	48	52	2	4,2%
40,1	49,9	42,5	57,5	2,4	5,6%
42	58	38,3	61,7	3,7	9,7%
52,2	47,8	54,3	45,7	2,1	3,9%
47,9	52,1	42,3	57,7	5,6	13,2%
50,7	49,3	51	49	0,3	0,6%
47	53	48,7	51,3	1,7	3,5%
39,6	60,4	49,5	50,5	9,9	20,0%
83,4	16,6	81,5	18,5	1,9	2,3%
65	35	63,3	36,7	1,7	2,7%
47,2	52,8	48,8	51,2	1,6	3,3%

Tabulka 5 – Srovnání metody A (bez korekce na pohyb a rámcovým ohraničením ledviny) s metodou D (s korekcí na pohyb a ROI kolem obvodu ledviny)

Grafické znázornění pravděpodobnosti, že námi stanovená nulová hypotéza platí je znázorněn na obrázcích A1–A4. Na obrázku A1 a A2 na hladině významnosti 1 %, na grafu A3 a A4 je hladina významnosti 5%. V grafu A1 a A3 byla ze zpracování vyloučena data přílišně se lišící od normálu. V grafech A2 a A4 je výsledná p hodnota určena včetně využití všech dvaceti naměřených hodnot.



Obrázek 26 – Testování na hladině významnosti 1%, A1 – kromě, A2 – včetně



Obrázek 27 – Testování na hladině významnosti 5%, A3 – kromě, A4 – včetně



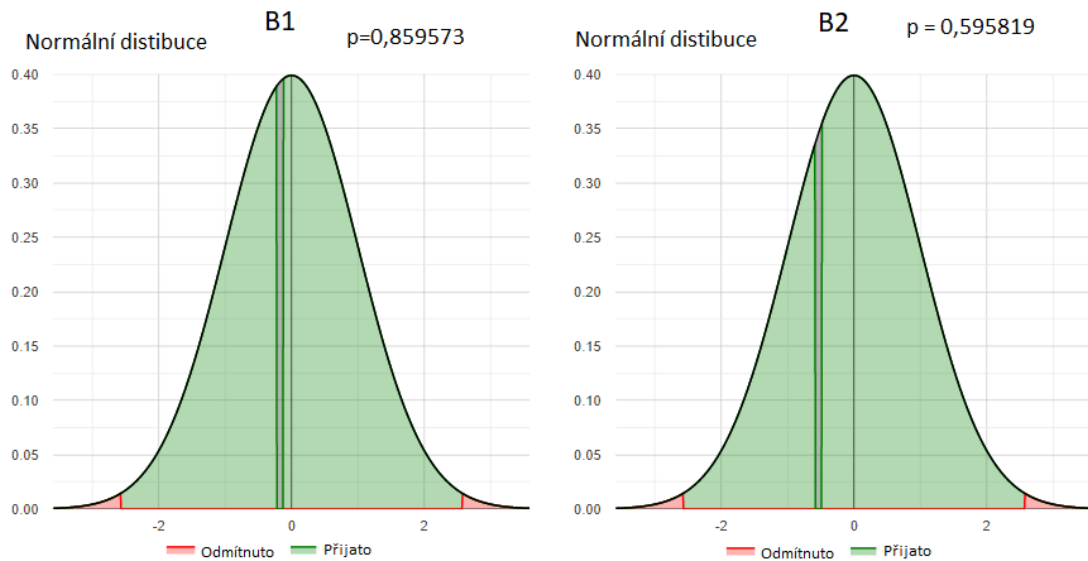
## METODA B

Srovnání výsledných hodnot metody B s metodou D je zachyceno v tabulce 6. Jako průměrný rozdíl ve výsledném hodnocení obou metod je 2,265. Průměrná procentuální odchylka je 4,9 %.

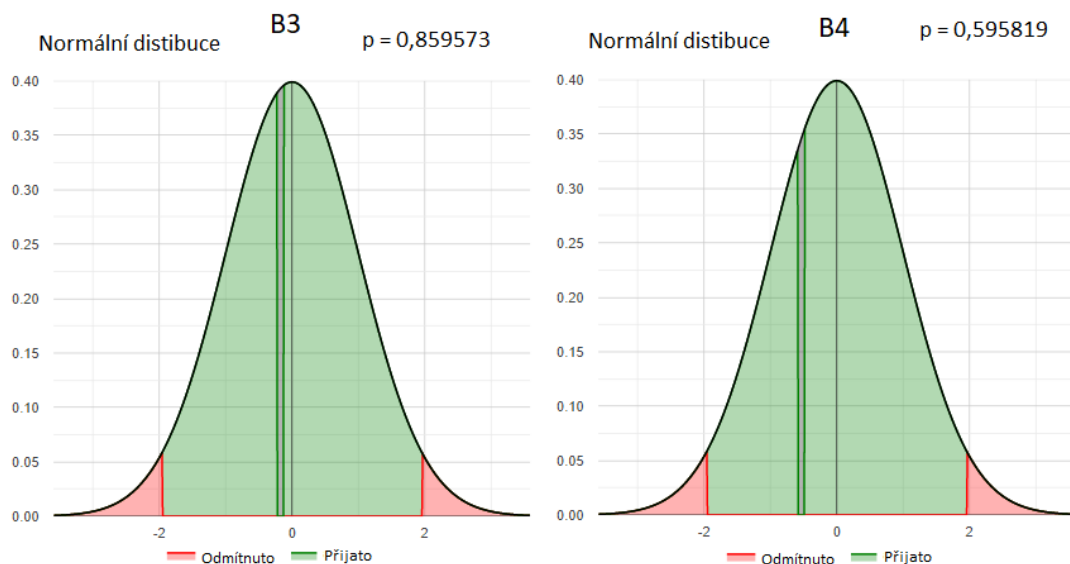
Tabulka 6 – Srovnání metody B (bez korekce na pohyb a ROI kolem obvodu) s metodou D (s korekcí na pohyb a ROI kolem obvodu ledviny)

METODA B		METODA D		Průměrný číselný rozdíl mezi metodou B a D je 2,265 Průměrná odchylka je 4,9 %	
Bez korekce na pohyb (%)		S korekcí na pohyb (%)			
ROI kolem obvodu ledviny		ROI kolem obvodu ledviny		Rozdíl mezi metodou B a D	
L	P	L	P	Procentuální odchylka	
50,7	49,3	51,5	48,5	0,8	1,6%
48	52	48,4	51,6	0,4	0,8%
43,7	56,3	42,3	57,7	1,4	3,3%
55,1	44,9	55,6	44,4	0,5	0,9%
42,7	57,3	44,9	55,1	2,2	4,9%
31,1	68,9	44,6	55,4	13,5	30,3%
45,7	54,3	46,4	53,6	0,7	1,5%
47,7	52,3	41,8	58,2	5,9	14,1%
48,5	51,5	47,2	52,8	1,3	2,8%
46,2	53,8	48	52	1,8	3,7%
40,1	59,9	42,5	57,5	2,4	5,6%
36,9	63,1	38,3	61,7	1,4	3,7%
53,4	46,6	54,3	45,7	0,9	1,7%
44,1	55,9	42,3	57,7	1,8	4,3%
51,7	48,3	51	49	0,7	1,4%
46,1	53,9	48,7	51,3	2,6	5,3%
47,6	52,4	49,5	50,5	1,9	3,8%
82,5	17,5	81,5	18,5	1	1,2%
65,5	34,5	63,3	36,7	2,2	3,5%
50,7	49,3	48,8	51,2	1,9	3,9%

Grafické znázornění pravděpodobnosti, že námi stanovená nulová hypotéza platí je znázorněn na obrázcích B1 – B4. Na obrázku B1 a B2 na hladině významnosti 1 %, na grafu B3 a B4 je hladina významnosti 5 %. V grafu B1 a B3 byla ze zpracování vyloučena data přílišně se lišící od normálu. V grafech B2 a B4 je výsledná p hodnota určena včetně využití všech dvaceti naměřených hodnot.



Obrázek 28 – Testování na hladině významnosti 1%, B1 – kromě, B2 – včetně



Obrázek 29 – Testování na hladině významnosti 5%, B3 – kromě, B4 – včetně

## METODA C

Srovnání výsledných hodnot metody C s metodou D je zachyceno v tabulce 7. Jako průměrný rozdíl ve výsledném hodnocení obou metod je 2,13. Průměrná procentuální odchylka je 4,3 %.

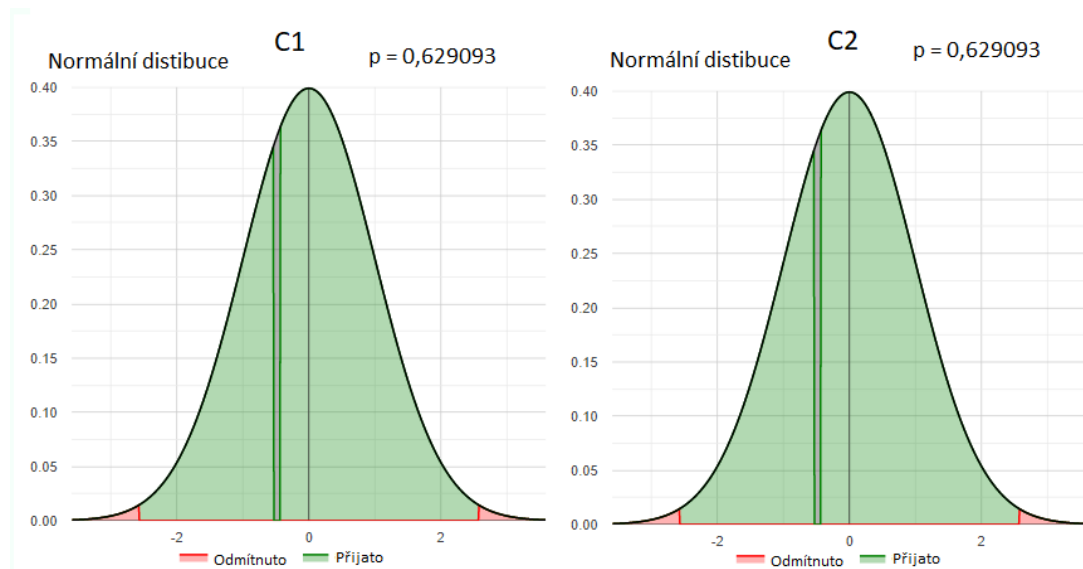
Tabulka 7 – Srovnání metody C (s korekcí na pohyb a rámcovým ohraničením ledviny) s metodou D (s korekcí na pohyb a ROI kolem obvodu ledviny)

METODA C		METODA D	
S korekcí na pohyb (%)			
Rámcové ohraničení		ROI kolem obvodu ledviny	
L	P	L	P
51,5	48,5	51,5	48,5
48,5	51,5	48,4	51,6
44,5	55,5	42,3	57,7
52,3	47,7	55,6	44,4
44,6	55,4	44,9	55,1
43,8	56,2	44,6	55,4
46,5	53,5	46,4	53,6
42,9	57,1	41,8	58,2
44,3	55,7	47,2	52,8
44,4	55,6	48	52
44,1	55,9	42,5	57,5
39,7	60,3	38,3	61,7
51,7	48,3	54,3	45,7
46,3	53,7	42,3	57,7
50,5	49,5	51	49
40,6	59,4	48,7	51,3
45,5	54,5	49,5	50,5
84,7	15,3	81,5	18,5
66	34	63,3	36,7
48,7	51,3	48,8	51,2

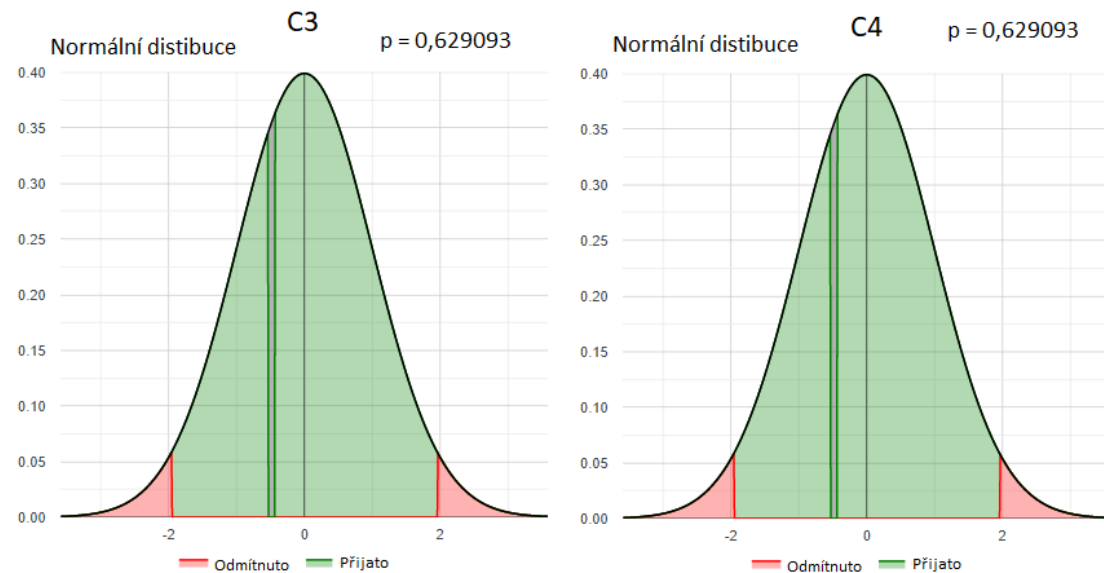
  

Průměrný číselný rozdíl mezi C a D je 2,13 Průměrná odchylka je 4,3 %	
Rozdíl mezi metodou C a D	Procentuální odchylka
0	0,0%
0,1	0,2%
2,2	5,2%
3,3	5,9%
0,3	0,7%
0,8	1,8%
0,1	0,2%
1,1	2,6%
2,9	6,1%
3,6	7,5%
1,6	3,8%
1,4	3,7%
2,6	4,8%
4	9,5%
0,5	1,0%
8,1	16,6%
4	8,1%
3,2	3,9%
2,7	4,3%
0,1	0,2%

Grafické znázornění pravděpodobnosti, že námi stanovená nulová hypotéza platí je znázorněn na obrázcích C1 – C4. Na obrázku C1 a C2 na hladině významnosti 1%, na grafu C3 a C4 je hladina významnosti 5 %. V grafu C1 a C3 byla ze zpracování vyloučena data přílišně se lišící od normálu. V grafech C2 a C4 je výsledná p hodnota určena včetně využití všech dvaceti naměřených hodnot.



Obrázek 30 – Testování na hladině významnosti 1%, C1 – kromě, C2 – včetně



Obrázek 31 – Testování na hladině významnosti 5%, C3 – kromě, C4 – včetně

Podle hodnot uvedených v tabulce číslo 8 je nejvyšší p hodnota a tudíž největší pravděpodobnost na potvrzení nulové hypotézy u metody A1 a A3. Druhou nejvyšší hodnotu má metoda A2 a A3, následuje metoda C a A1 a A2. Poslední a nejméně pravděpodobná je metoda B2 a B3.

*Tabulka 8 – Srovnání p hodnot jednotlivých metod*

METODA	A	B	C
1	p = 0,6010777	p = 0,859573	p = 0,629093
2	p = 0,667577	p = 0,595819	p = 0,629093
3	p = 0,6010777	p = 0,859573	p = 0,629093
4	p = 0,667577	p = 0,595819	p = 0,629093

Při srovnání rozdílů hodnot procentuálního poměru funkce ledvin množiny 20 naměřených pacientů (*Tabulka 4*) je průměrný číselný rozdíl největší u metody A vymezení oblasti zájmu bez korekce na pohyb s rámcovým vymezením ROI a nejmenší u metody C s korekcí na pohyb s rámcovým ohraničením ledviny. Metoda B s vymezením oblasti zájmu podél obvodu ledviny bez korekce na pohyb je nepatrně vyšší výsledek srovnatelný s metodou C. Průměrná procentuální odchylka je u metody A 7,1 % a u metody B 4,9 % a C 5 %.

*Tabulka 9 – Srovnání průměrného číselného rozdílu při použití jednotlivých metod a průměrné procentuální odchylky*

	A	B	C
Průměrný číselný rozdíl	3,285	2,265	2,13
Průměrná odchylka	7,10%	4,90%	4,3%

## 6 DISKUZE

V praktické části je jako první vyhodnoceno věkové rozložení všech pacientů, kteří podstoupili vyšetření dynamické scintigrafie ledvin od 7.1.2019 do 6.9.2020. Z výsledků vyplývá, že nejčetnější jsou vyšetření u dětí. Očekávaným výsledkem bylo, že nejhojněji je vyšetření prováděno u pacientů do 1 roku života. Předpoklady jsou zakládány na faktu, že u dětí bývají diagnostikovány především vrozená onemocnění ledvin, k jejichž diagnostice dochází v prvních letech života dítěte. Očekávání se potvrdilo a ze 424 vyšetření připadlo 62 na pacienty do jednoho roku. Bylo vyšetřeno celkem 201 dospělých a ve věku do 18 let 223 dětí. Z vyšetřovaných dětí bylo 136 pacientů ve věku do 6 let a 87 pacientů od 6 do 18 let.

Dalším předpokladem je, že větší část vyšetřovaných ve věku do 6 let budou tvořit chlapci. Tato hypotéza byla potvrzena, překvapující však bylo zjištění, že vyšetření chlapců tvoří po zaokrouhlení až 71 %. K podobnému závěru došla i bakalářská práce z roku 2013 z Brněnské nemocnice [26], kde autorka došla k výsledku, v němž vyšetření chlapců tvořilo 63 % z množiny dětí do 18 let.

Ohledně četnosti diagnostikovaných onemocnění u dětí do 6 let bylo vyhodnocením zjištěno, že se v 76 % jednalo o onemocnění vrozená. Nejčastějším onemocněním ledvin byla hydronefróza. Jedná se o fyziologické rozšíření ledvinové pánvičky a kalichů v důsledku městnání moči. Při dlouhodobém tlaku může hydronefróza vést až k ledvinové atrofii. Tato nemoc byla diagnostikována u 55 % pacientů. Téměř stejný výsledek vyšel ve studii z výše zmiňované Brněnské nemocnice a to konkrétně 56 % u pacientů do 18 let. Dalším často se vyskytujícím onemocněním je v 15 % megalourether neboli rozšíření močovodu. To může vznikat v důsledku špatného vyústění močovodu do močového měchýře nebo jeho zúžení v blízkosti tohoto vyústění. Důsledkem vyššího tlaku nad zúžením je rozšíření trubice močovodu [27]. V 11 % byl ještě zastoupen vesicourethrální reflux, zjednodušeně se jedná o zpětný tok moči z močového měchýře do močovodu.

Hlavní zkoumanou problematikou této práce bylo výsledné vyhodnocování poměru tubulárních funkcí ledvin metodou plochy pod křivkou mezi 1. a 2. minutou snímání. Při řešení bylo na vyhodnocování pohlíženo z více úhlů pohledu a měněny způsoby statistického zpracování dat. Srovnáváme-li číselnou a procentuální odchylku naměřených výsledků od reálné hodnoty funkce, kterou dostaneme při zpracování dat s použitím korekce na pohyb a vyznačením oblasti zájmu kolem obvodu ledviny, tak nám nejlépe vyšla metoda zakreslení oblasti zájmu pomocí rámcového ohraničení s korekcí na pohyb. Odchylka byla ve srovnání s reálnou hodnotou poměru funkce v průměru 2,13, což je z hlediska diagnostického hodnocení zanedbatelné, procentuálně byl rozdíl v průměru o 4,3 %. Metoda bez korekce na pohyb s ROI kolem obvodu se lišila o 2,265 tudíž o 4,9 %, což není pořád tak významný rozdíl. Největší rozdíl byl při srovnání s metodou bez korekce na pohyb s rámcovým ohraničením. Hodnoty se lišili v průměru o 3,285, tudíž o 7,1 % odchýleno od reálné hodnoty.

Při statistickém testování dat byla ve všech případech potvrzena nulová hypotéza, že se testované hodnoty rovnají, se směrodatnou odchylkou 5 % i 1 %. Pravděpodobnost a významnost tohoto výroku dále určuje hodnota  $p$ . V rámci hodnocení je snaha najít metodu s nejvyšší hodnotou  $p$ , která určuje nejpravděpodobnější pravdivost hypotézy. V případě srovnání  $p$  hodnot vyšla nejlépe metoda bez korekce na pohyb s ROI kolem obvodu ledviny. Tento výsledek, kdy  $p$  hodnota je 0,859573 dostaneme pouze pokud do vyhodnocení nezapočteme hodnoty, jejichž rozdíl se výrazně lišil od zbytku dat. V důsledku pohybu dochází při vyhodnocení k velkým odchýlkám. Při pohybu pacienta se může ledvina dostávat mimo vyznačenou oblast zájmu, proto ve výsledném hodnocení dostaneme menší počet zaznamenaných impulsů, nebo může dojít k sumaci impulsů z ledviny s náplní odvodného systému či dalšími strukturami, což vede naopak k nadhodnocení funkce, případně může jedna ledvina zasahovat do ROI druhé. Při určení  $p$  hodnoty touto metodou nejsou do hodnocení zahrnuty výsledky u pacientů s významným pohybem, z tohoto důvodu nelze považovat tento způsob zpracování za všeobecně vhodný. Použití této metody bude na místě pouze za předpokladu, bude-li například ze sumačního snímku patrné, že se pacient v průběhu vyšetření znatelně nepohyboval. Pokud zahrneme do zpracování všechny dostupné číselné hodnoty a pacienty s pohybovými artefakty, tak  $p$  hodnota 0,595819 vychází nejméně. To znamená že je nulová hypotéza vzhledem k ostatním nejméně

relevantní a metoda zpracování je ve srovnání s ostatními testovanými metodami nejméně přesná.

V rámci hodnocení bez korekce na pohyb s rámcovým ohraničením nebyly p hodnoty, včetně a kromě zahrnutí odchýlených hodnot tolik odlišné. P hodnoty byly 0,6010777 a 0,667577. Jelikož je pole, ze kterého jsou impulzy brány větší, je to z hlediska pohybových artefaktů výhodnější. Díky větší ploše pole se při menších pohybech ledvina neodchýlí z vyznačené oblasti zájmu vůbec, nebo pouze její část a nedochází k tak významné ztrátě vyhodnocovaných impulsů jako u vyznačení ROI kolem obvodu ledviny bez korekce na pohyb. Při této metodě je však nevýhodou, že v ROI oblasti mohou být vyhodnocovány i struktury v okolí ledviny ovlivňující výsledný poměr díky zvýšené četnosti impulsů.

Při použití korekce na pohyb a rámcového ohraničení ledviny nebyly díky korekci žádné hodnoty, jež by bylo třeba kvůli odchýlkám vyčlenit z hodnocení. P hodnota vyšla 0,629093. Díky korekci na pohyb nedochází ke ztrátě impulsů z ledvin, ale v některých případech může odlišnost výsledku způsobovat to, že do rámcového pole zasahuje i jiná struktura, v níž se radioaktivní složka vyskytuje. Z výsledků však vyplývá, že je tento rozdíl při hodnocení ledvin metodou plochy pod křivkou mezi 1. a 2. minutou snímání zanedbatelný.

Z výsledků vyplývá, že pokud se pacient znatelně při vyšetření pohyboval, může lékař použít korekci na pohyb s rámcovým ohraničením a vyznačení oblasti kolem obvodu ledviny není z diagnostického hlediska nezbytné. Nejhorším způsobem zpracování by v tomto případě bylo korekci neprovést a nastavit ohraničení kolem obvodu ledviny. To neplatí, je-li viditelné, že obraz například na sumačním zobrazení je statický. V tomto případě je podle výsledků metoda vymezení oblasti zájmu kolem obvodu ledviny bez korekce na pohyb nejvhodnější volbou vyhodnocení.



## 7 ZÁVĚR

Z vyhodnocení výsledků vyplývá, že nejčastěji je vyšetření dynamické scintigrafie ledvin prováděno u pacientů ve věku do jednoho roku. Ve větší míře je vyšetření indikováno u chlapců. Nejčtenější diagnostikované onemocnění u dětí do 6 let je hydronefróza, časté jsou také megalourether a vesicourethrální reflux.

Při srovnání metod vyhodnocujících poměr tubulární funkce ledvin byla brána jako reálná hodnota v běžné praxi využívaný poměr ledvin získaný po korekci obrazu na pohyb a s vyznačením oblasti zájmu kolem parenchymu ledvin vyhodnocována metodou plochy pod křivkou mezi 1. a 2. minutou studie. Při této metodě jsme schopni registrovat většinu impulzů získaných při snímání ve správné oblasti zájmu a vyhneme se nadhodnocení funkce díky sumaci s potencionálním obsahem radioaktivní moči v dutém systému ledvin. S touto metodou byli porovnány jiné metody ohraničení zájmových oblastí a poté opět vyhodnoceny metodou plochy pod křivkou.

Nejmenší zanedbatelný rozdíl ve vyhodnocení vychází při použití metody s rámcovým ohraničením s korekcí na pohyb. Toto může v praxi urychlit zpracování dat. Vliv náplně dutého systému bývá mezi 1. a 2. minutou ještě zanedbatelný. Nejméně se osvědčila metoda vymezení oblasti zájmu rámcově bez korekce na pohyb. Pohyb dítěte je tedy nejvýznamnější složkou ovlivňující kvalitu zpracování dat, protože může významně změnit počty impulsů v jednotlivých oblastech zájmu sumací. Orientačně můžeme významné pohybové artefakty poznat již ze sumačních snímků z celé studie. Pokud je na první pohled znatelné, že se pacient v průběhu vyšetření téměř nepohyboval, může se osvědčit jako dostatečná pro zpracování metoda s vymezením ROI kolem obvodu ledviny bez korekce na pohyb.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

---

Zkratka	Význam
$^{99}\text{Mo}$	Molybden
$^{131}\text{I}$	Jod
$^{18}\text{F}$	Fluor
$^{11}\text{C}$	Uhlík
$^{111}\text{In}$	Indium
SPECT	Jednofotonová emisní počítačová tomografie (Single Photon Emission Computer Tomography)
3D	Trojrozměrný
PET	Pozitronová emisní tomografie (Positron Emission Tomography)
$^{99\text{m}}\text{TcDMSA}$	$^{99}$ metastabilní radionuklid technecia
DMSA	Kyselina dimerkaptojantarová
DTPA	Kyselina diethylentriaminpentaocetová
MAG3	Merkakptoacetyltriglycin
FN	Fakultní nemocnice
NaCl	Chlorid sodný
$\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}^-$	Sodný pertechnát
ROI	Oblast zájmu (region of interest)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
ALARA	As Low as Reasonably Achievable
PACS	Obrazový archivační a komunikační system (Picture Archiving and Communication System)
LDCT	Nízkodávková počítačová tomografie (Low dose Computer Tomography)

---

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NAVRÁTIL, Leoš. *Vnitřní lékařství pro nelékařské zdravotnické obory*. 2., zcela přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0210-5. nedatováno.
- [2] HUDÁK, Radovan a David KACHLÍK. *Memorix anatomie*. 4. vydání. Ilustroval Jan BALKO, ilustroval Šárka ZAVÁZALOVÁ. Praha: Triton, 2017. ISBN 978-80-7553-420-0. nedatováno.
- [4] SUCHARDA, Petr a Lukáš ZLATOHLÁVEK. *Základy klinické medicíny*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, nakladatelství Karolinum, 2015. ISBN 978-80-246-3091-5. nedatováno.
- [5] FONTANA, Josef. *Funkce buněk a lidského těla - multimediální skripta pro výuku lékařské biochemie, fyziologie a histologie člověka. Laboratorna diagnostika. 15. Vedecko-pedagogická konferencia učiteľov biochemických odborov lekárskech fakúlt v SR A ČR: 21. - 23. mája 2015: prednášky, abstrakty, in extenso články: časopis pre pracovníkov diagnostických laboratórií*. Bratislava: Slovenská spoločnosť klinickej biochémie, 2015, 20(1), 39-40. ISSN 1335-2644. nedatováno.
- [6] JAROSLAV PEŘKA. *Vylučovací soustava II - nefron a tvorba moči* [online]. 2021 [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=P8LRb3jW0wY>
- [7] *Renin* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.vaselaboratore.cz/seznam-vysetreni/imunochemie/item/renin>
- [8] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie. Třetí, upravené a doplněné vydání*. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-4788-0.
- [9] DYLEVSKÝ, Ivan. *Anatomie dítěte: nipoanatomie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05094-1.
- [10] *Radionuklidová scintigrafie - nukleární medicína* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm#5>
- [11] *Jaderná energie* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k22.htm>
- [12] 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.
- [13] FERDA, Jiří, Hynek MÍRKA, Jan BAXA a Alexander MALÁN. *Základy zobrazovacích metod*. Praha: Galén, [2015]. ISBN 978-80-7492-164-3.
- [15] ROSINA, Jozef, Hana KOLÁŘOVÁ a Jiří STANEK. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1383-7.

- [16] MUDr. MICHALOVÁ, Kateřina, *Statická scintigrafie ledvin, MRS č. 16 verze 2. FN Motol klinika nukleární medicíny a endokrinologie.*
- [17] MUDr. MICHALOVÁ, Kateřina, *Dynamická scintigrafie ledvin, MRS č. 16 verze 2. FN Motol klinika nukleární medicíny a endokrinologie.*
- [18] D.O.O, Modra Jagoda. *TECHNESCAN MAG 3 IMG Kit pro radiofarmakum — Databáze léčiv* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://mediately.co/cz/drugs/6xJTR8utf0BjHzvHWcmYjEzp5pE/technescan-mag-3-lmg-kit-pro-radiofarmakum>
- [19] *TechneStan MAG3 kit, Místní laboratorní standardy FN Motol, Klinika nukleární medicíny - radiofarmaceutická laboratoř*
- [20] *EANM Dosage Card\_040214.pdf* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: [https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/2017/01/EANM\\_Dosage\\_Card\\_040214.pdf](https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/2017/01/EANM_Dosage_Card_040214.pdf)
- [21] *Vyšetření ledvin a vylučovacího systému* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: [https://www.kntb.cz/userfiles/I\(1\).pdf](https://www.kntb.cz/userfiles/I(1).pdf)
- [22] *Radiační ochrana při využívání radiačních a jaderných technologií - ppt stáhnout* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/13184645/>
- [24] *1 sledovani\_a\_hodnoceni\_davek\_RP\_petrova\_2014.pdf* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/seminare/1\\_sledovani\\_a\\_hodnoceni\\_davek\\_RP\\_petrova\\_2014.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/seminare/1_sledovani_a_hodnoceni_davek_RP_petrova_2014.pdf)
- [25] *Radiační ochrana pro vybrané pracovníky.pdf* [online]. [vid. 2021-03-25]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/2020/02/zoz\\_sluzbyx\\_20200201.pdf](https://www.cez.cz/webpublic/file/edee/2020/02/zoz_sluzbyx_20200201.pdf)
- [26] SEMENOVÁ, Lada. *Bakalářská práce dynamická scintigrafie ledvin u dětí, 2013.pdf* [online]. [vid. 2021-04-27]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/vuxmp/BC\\_6.4.2013.pdf](https://is.muni.cz/th/vuxmp/BC_6.4.2013.pdf)
- [27] CAMPBELL, Meredith F., Alan J. WEIN a Louis R. KAVOUSSI, ed. *Campbell-Walsh urology: editor-in-chief, Alan J. Wein ; editors, Louis R. Kavoussi ... [et al.]*. 9th ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 2007. ISBN 978-0-7216-0798-6.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Stavba ledviny .....	13
Obrázek 2 - Stavba nefronu a znázornění látkové výměny .....	14
Obrázek 3 - Kolimační systémy .....	22
Obrázek 4 - Kolimační systémy .....	23
Obrázek 5 - SPECT .....	25
Obrázek 6 - PET .....	26
Obrázek 7 - Molybdentechnéciový generátor .....	30
Obrázek 8 - 1. materiálová propust', 2. digestoř, 3. stínící štít .....	31
Obrázek 9 - Dětská fixační pomůcka, fixační pásy .....	32
Obrázek 10 - Stínící nádoba na kontaminované pomůcky .....	36
Obrázek 11 - Pravděpodobnost výskytu účinků IZ v závislosti na dávce.....	37
Obrázek 12 - 1. prstýnkový dozimetr, 2. stínící nádoba na radiofarmaka.....	38
Obrázek 13 - Normální renogram, tři fáze plnění ledvinového parenchymu radiofarmakem .....	42
Obrázek 14 - ROI rámcově ohraničený .....	43
Obrázek 15 - ROI podle obvodu ledviny .....	43
Obrázek 16 - Program sloužící ke korekci pohybu, před korekcí na pohyb, v pravé části sumovaný obraz bez provedené pohybové korekce.....	44
Obrázek 17 - Srovnané obrazy po korekci na pohyb.....	45
Obrázek 18 - Vyhodnocované parametry pacientů s furosemidem.....	46
Obrázek 19 - Vyhodnocované parametry pacientů bez furosemidu .....	46
Obrázek 20 - Série planárních snímků močových cest.....	47
Obrázek 21 - Snímek před a po mikci, počet K jednotek v ROI.....	47
Obrázek 22 - Graf věkového rozložení pacientů s vyšetření dynamické scintigrafie ledvin (ve FN Motol v časovém období od 7.1. 2019 do 6.9. 2020) .....	50
Obrázek 23 - Graf věkového rozložení 424 pacientů s vyšetření dynamické scintigrafie ledvin (v období od 7.1. 2019 do 6.9.2020 ve FN Motol) .....	51

<b>Obrázek 24</b> - Graf četnosti vyšetření dynamické scintigrafie ledvin v závislosti na věku u dětí do 6 let ve FN Motol v časovém období od 7.1.2019 do 6.9.2020. ....	51
<b>Obrázek 25</b> - Graf poměru zastoupení pohlaví u dynamické scintigrafie ledvin do 6 let věku v období 7.1.2019 do 6.9.2020 ve FN Motol .....	52
<b>Obrázek 26</b> - Testování na hladině významnosti 1%, A1, A2.....	56
<b>Obrázek 27</b> - Testování na hladině významnosti 5%, A3, A4.....	56
<b>Obrázek 28</b> - Testování na hladině významnosti 1%, B1, B2.....	58
<b>Obrázek 29</b> - Testování na hladině významnosti 5%, B3, B4.....	58
<b>Obrázek 30</b> - Testování na hladině významnosti 1%, C1, C2.....	60
<b>Obrázek 31</b> - Testování na hladině významnosti 5%, C3, C4.....	60

## 11 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

<b>Tabulka 1</b> - Aplikovaná aktivita v závislosti na hmotnosti pacienta .....	33
<b>Tabulka 2</b> - Limity pro pracovníky s ionizujícím zářením .....	39
<b>Tabulka 3</b> - Četnost jednotlivých vyšetření u dětí do 6 let v časovém rozmezí od 7.1.2019 do 6.9.2020 ve FN Motol.....	53
<b>Tabulka 4</b> - Procentuální poměr tubulární funkce pravé a levé ledviny při dynamické scintigrafii ledvin u dětí do 6 let v závislosti na změně vstupních parametrů.....	54
<b>Tabulka 5</b> - Srovnání metody A ( <i>bez korekce na pohyb a rámcovým ohraničením ledviny</i> ) s metodou D ( <i>s korekcí na pohyb a ROI kolem obvodu ledviny</i> ).....	55
<b>Tabulka 6</b> - Srovnání metody B ( <i>bez korekce na pohyb a ROI kolem obvodu</i> ) s metodou D ( <i>s korekcí na pohyb a ROI kolem obvodu ledviny</i> ).....	57
<b>Tabulka 7</b> - Srovnání metody C ( <i>s korekcí na pohyb a rámcovým ohraničením ledviny</i> ) s metodou D ( <i>s korekcí na pohyb a ROI kolem obvodu ledviny</i> ).....	59
<b>Tabulka 8</b> - Srovnání p hodnot jednotlivých metod.....	61
<b>Tabulka 9</b> – Srovnání průměrného číselného rozdílu při použití jednotlivých metod a průměrné procentuální odchylky .....	61