

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Kristýna Kudláčková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Zvláštnosti radionuklidového zobrazování u dětí

Bakalářská práce

2023

Kristýna Kudláčková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kristýna Kudláčková**
Osobní číslo: **Z20106**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **Zvláštnosti radionuklidového zobrazování u dětí**
Téma práce anglicky: **Peculiarities of radionuclide imaging in children**
Zadávací katedra: **Katedra klinických oborů**

Zásady pro vypracování

1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- BENEŠ, J. et al., 2015. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada. 224 s. ISBN 978-80-247-4712-5.
KORANDA, P. et al., 2017. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Skripta. 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.
KUBINYI, J. et al., 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing. 304 s. ISBN 978-80-271-0168-9.
KUPKA, K. et al., 2015. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). Praha: P3K. 161 s. ISBN 978-80-87343-54-8.
ROSINA, J. et al., 2021. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. 2., doplněné vydání. Praha: Grada Publishing. 295 s. ISBN 978-80-271-2526-5.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. MUDr. Jiří Doležal, Ph.D.**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. dubna 2023**

doc. Ing. Jana Holá, Ph.D. v.r.
děkanka

L.S.

Mgr. Zuzana Červenková, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 2. března 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem *Zvláštnosti radionuklidového zobrazování u dětí* jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze 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, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 27. 04. 2023

Kristýna Kudláčková v. r.

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych ráda poděkovala vedoucímu práce doc. MUDr. Jiřímu Doležalovi, Ph.D. za ochotu, cenné připomínky, rady a čas strávený s pomocí a vedením mé bakalářské práce. Dále také děkuji své rodině za podporu během celého studia.

ANOTACE

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku zvláštností radionuklidového zobrazování u dětí. V rámci zpracování tématu půjde o teoretické vymezení řešené problematiky, a to základních fyzikálních pojmů, obecných informací o nukleární medicíně, radiační ochraně a anatomii. Následně bude provedena praktická část, která se bude zabývat popisem tří druhů vyšetření - dynamické scintigrafie ledvin, statické scintigrafie ledvin a scintigrafie Meckelova divertiklu. Součástí praktické části bude také věcná diskuze zaměřená na rozdílnost, respektive porovnávání postupů vyšetření dětských pacientů ve třech různých nemocnicích v České republice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nukleární medicína, radiační ochrana, děti, scintigrafie ledvin, Meckelův divertikl

TITLE

Peculiarities of radionuclide imaging in children

ANNOTATION

The bachelor thesis focuses on the specifics of radionuclide imaging in children. In the framework of the topic, the theoretical definition of the problem will be discussed, namely basic physical concepts, general information about nuclear medicine, radiation protection and anatomy. Subsequently, a practical part will be carried out, which will deal with the description of three types of examinations, dynamic renal scintigraphy, static renal scintigraphy and Meckel's diverticulum scintigraphy. The practical part will also include a substantive discussion focusing on the differences or comparisons of examination procedures for paediatric patients in three different hospitals in the Czech Republic.

KEYWORDS

Nuclear medicine, radiation protection, children, renal scintigraphy, Meckel diverticulum

OBSAH

Úvod.....	13
1 Cíle a metody práce	14
1.1 Cíl práce	14
1.2 Metody k dosažení cíle.....	14
2 Teoretická část	15
2.1 Základní fyzikální pojmy	15
2.1.1 Atom	15
2.1.2 Radioaktivita.....	15
2.1.3 Druhy radioaktivní přeměny	15
2.1.4 Poločas rozpadu	17
2.1.5 Aktivita	17
2.2 Nukleární medicína	18
2.2.1 Radionuklidy.....	19
2.2.2 Radiofarmaka.....	20
2.2.3 Detektory	22
2.2.4 Scintilační kamera.....	23
2.2.5 Scintigrafie.....	24
2.2.6 SPECT	24
2.2.7 PET	24
2.3 Radiační ochrana.....	25
2.3.1 Principy radiační ochrany	25
2.3.2 Limity v radiační ochraně.....	27
2.3.3 Radiační ochrana pracovníků.....	28
2.3.4 Radiační ochrana pracoviště	29
2.3.5 Radiační ochrana pacientů	30
2.4 Anatomie a fyziologie	31

2.4.1	Ledviny	31
2.4.2	Meckelův divertikl	32
	praktická část	33
3	Metodika praktické části	33
3.1	Dynamická scintigrafie ledvin	33
3.1.1	Indikace	33
3.1.2	Radiofarmaka	33
3.1.3	Příprava před vyšetřením	35
3.1.4	Provedení vyšetření dynamické scintigrafie ledvin	35
3.1.5	Zpracování a vyhodnocení výsledků	40
3.2	Statická scintigrafie ledvin	42
3.2.1	Indikace	42
3.2.2	Radiofarmakum	42
3.2.3	Příprava pacienta před vyšetřením	43
3.2.4	Provedení vyšetření	43
3.2.5	Zpracování a vyhodnocení výsledků	46
3.3	Scintigrafie Meckelova divertiklu	48
3.3.1	Radiofarmaka	48
3.3.2	Příprava před vyšetřením	49
3.3.3	Provedení vlastního vyšetření	49
3.3.4	Zpracování a vyhodnocení výsledků	50
4	Diskuze	51
5	Závěr	53
6	Použitá literatura	54
6.1	Primární zdroje	54
6.2	Sekundární zdroje	54
6.3	Odborné články	54

6.4	Internetové zdroje.....	55
6.5	Ostatní	55

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 - Schéma elučňního molybden-techneciového generátoru (Kupka et al., 2015)	21
Obrázek 2 - Kolimátory (Kupka et al., 2015, 28 s.)	23
Obrázek 3 - Anatomie ledviny (Dial-nefro, 2023)	32
Obrázek 4 - Pomůcky k vyšetření (zdroj vlastní, 2023)	37
Obrázek 5 - Pumpa na ^{99m} Tc-MAG3 (zdroj vlastní, 2023)	37
Obrázek 6 - Stříkačka s radiofarmakem (zdroj vlastní, 2023).....	38
Obrázek 7 - Gamakamera (zdroj vlastní, 2023).....	38
Obrázek 8 - Furosemid (zdroj vlastní, 2023).....	39
Obrázek 9 - Výsledek vyšetření dynamické scintigrafie ledvin: normální nález (Doležal, 2022)	41
Obrázek 10 - Výsledek vyšetření dynamické scintigrafie ledvin: patologický nález (Doležal, 2022).....	41
Obrázek 11 - Olověné stínění na stříkačce (zdroj vlastní, 2023)	44
Obrázek 12 - Poloha pacienta při statické scintigrafii ledvin (zdroj vlastní, 2023).....	45
Obrázek 13 - Gamakamera (zdroj vlastní, 2023).....	46
Obrázek 14 - Výsledek vyšetření statické scintigrafie ledvin: dystopie (Doležal, 2022).....	47
Obrázek 15 - Výsledek vyšetření statické scintigrafie ledvin: pyelonefritida (Doležal, 2022)	47
Obrázek 16 - Výsledek vyšetření statické scintigrafie ledvin: cysta (Doležal, 2022)	48
Obrázek 17 - Výsledek vyšetření Meckelova divertiklu: normální nález (Doležal, 2022)	50
Obrázek 18 - Výsledek vyšetření: Meckelův divertikl (Doležal, 2022).....	50
Tabulka 1 - Nejčastěji používané radionuklidy (Koranda et al., 2017, s. 15, upraveno autorem)	19
Tabulka 2 - Nejpoužívanější radiofarmaka v NM (Koranda et al., 2017, s. 23, upraveno autorem).....	20
Tabulka 3 - Příklady aplikovaných aktivit ^{99m} Tc-MAG3 (EANM, 2016).....	34

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

A	aktivita v becquerelech
ALARA	As low as reasonable achievable (tak nízké, jak je rozumně dosažitelné)
Bq	becquerel
cm ²	centimetr čtverečný
CT	počítačová tomografie
ČR	Česká republika
d	den
GBq	gigabecquerel
HCl	kyselina chlorovodíková
hod	hodina
i.v.	intravenózně
IZ	ionizující záření
kBq	kilobecquerel
keV	kiloelektronvolt
MBq	megabecquerel
mSv	milisievert
min	minuta
NaI(Tl)	jodid sodný aktivovaný thaliem
NM	nukleární medicína
PET	pozitronová emisní tomografie
RF	radiofarmakum
ROI	oblast zájmu
s	sekunda

SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
α	alfa
β	beta
γ	gama
^{111}I	Indium
^{123}I	Jod
^{131}I	Jod
^{18}F -FDG	fluorodeoxyglukóza značená fluorem
^{18}F	Fluor
^{67}Ga	Gallium
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	Krypton
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Technecium
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI	Technecium vázané na šest methoxyisobutylisonitrilových ligandů
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA	Technecium vázané na kyselinu dimeraptojantarovou
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3	Technecium vázané na merkptoacetyltriglycin
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO	Technecium vázané na hexamethylpropylenamin oxim

ÚVOD

Tato bakalářská práce je zaměřena na zvláštnosti při vyšetřování dětí radionuklidovými metodami. Zabývá se teoretickými znalostmi z oboru nukleární medicíny, ale hlavně praktickými zákonitostmi, kterými je nutné se řídit při vyšetřeních u všech pacientů, ale zvláště u těch dětského věku.

V teoretické části bakalářské práce jsou popsány základní fyzikální pojmy důležité pro pochopení principů nukleární medicíny. Dále teoretická část obsahuje obecné informace o nukleární medicíně, radiofarmakách, ale i o přístrojovém vybavení oddělení nukleární medicíny. Čtenář se dozví důležitost dodržování principů radiační ochrany, kterými se před ionizujícím zářením chrání pracovníci i pacienti. V neposlední řadě je popsána anatomie ledvin a Meckelův divertikl.

Praktická část se zabývá konkrétními radionuklidovými vyšetřeními, kterými jsou dynamická scintigrafie ledvin, statická scintigrafie ledvin a scintigrafie Meckelova divertiklu. Je zde vysvětlena příprava pacienta, postup vyšetření, druhy používaných radiofarmak i zhodnocení výsledků vyšetření. Součástí praktické části je také věcná diskuze zaměřená na rozdílnost, respektive porovnávání postupů vyšetření dětských pacientů ve třech různých nemocnicích v České republice.

1 CÍLE A METODY PRÁCE

1.1 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je seznámit čtenáře s problematikou zvláštností radionuklidového zobrazování u dětí, jak vyplývá z názvu práce. K tomu je provedeno teoretické vymezení problematiky převážně na základě literární rešerše, a to definováním základních pojmů spojených s nukleární medicínou. Na základě tohoto teoretického vymezení je provedena praktická část, která souvisí s detailním popisem tří typů vyšetření, a to dynamické scintigrafie ledvin, statické scintigrafie ledvin a Meckelova divertiklu. Vyšetření jsou dále porovnávána dle toho, jak jsou prováděna v uvedených nemocnicích ČR.

1.2 Metody k dosažení cíle

Podklady pro psaní teoretické části této bakalářské práce jsou získávány z odborné literatury od českých, ale i zahraničních autorů. Dále jsou využity odborné články nebo internetové stránky. Pro dosažení cílů praktické části jsou informace čerpány z praxí na odděleních nukleární medicíny. Je provedeno pozorování a poté následné srovnávání získaných informací. Na oddělení nukleární medicíny byla pořízena fotografická dokumentace pro přiblížení průběhu vyšetření.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Základní fyzikální pojmy

2.1.1 Atom

Atom je nejmenší částice, na kterou je možné hmotu rozdělit. Atomy se skládají z elektronového obalu a atomového jádra. Elektronový obal obsahuje záporně nabitě elektrony a udává chemické vlastnosti atomu. Atomové jádro je složeno z protonů a neutronů, proto má kladný elektrický náboj. Je v něm soustředěna téměř všechna hmotnost atomu a udává jeho fyzikální vlastnosti (Rosina et al., 2021).

Nukleonové číslo A udává počet nukleonů. Jako nukleony označujeme částice tvořící jádro – protony a neutrony. Protonové číslo Z udává počet protonů, kladně nabitých částic v atomovém jádře. Dále také udává pozici prvku v periodické soustavě prvků. Neutronové číslo N označuje počet neutronů, částic bez náboje. Nuklidy jsou látky, které se skládají z atomů se stejným protonovým, neutronovým i nukleonovým číslem (Benešová et al., 2014; Rosina et al., 2021).

2.1.2 Radioaktivita

Radioaktivita byla objevena v roce 1896 Antoinem Henrim Becquerelem. Radioaktivita je samovolná přeměna nestabilních atomových jader na jádra jiných prvků za současného vyzařování neviditelného radioaktivního záření (Benešová et al., 2014).

Radioaktivitu dělíme na přirozenou a umělou. Přirozená radioaktivita je samovolná přeměna jader v přírodě. Uměle radioaktivní jádra jsou vyrobena uměle vyvolanými jadernými reakcemi např. v urychlovačích částic. O uměle radioaktivitou se zajímali manželé F. Joliot-Curie a I. Joliot-Curierová (Beneš et al., 2015).

Přeměna nestabilních jader je doprovázena vyzařováním částic z atomového jádra. Podle vyzařované částice se dělí na několik druhů záření (Mareček, 2013).

2.1.3 Druhy radioaktivní přeměny

2.1.3.1 Přeměna α

U těžkých radioaktivních prvků dochází k přeměně jádra za současné emise částice α . Touto částicí bývá jádro helia se dvěma protony a dvěma neutrony. Dceřiné jádro se tedy v periodické soustavě prvků posouvá o dvě místa vlevo. Záření α má velmi krátký dosah a lze jej odstínit listem papíru či hliníkovou folií. Přeměna mateřského jádra probíhá podle následující rovnice (1):



kde,

A– nukleonové číslo,

Z– protonové číslo,

X– původní jádro,

Y– dceřiné jádro,

He– helium.

(Mareček, 2013)

2.1.3.2 Přeměna β^-

K přeměně β^- dochází u jader nuklidů, které vybočují z „řeky stability“ počtem neutronů. Záření β^- je tvořeno proudem záporně nabitých elektronů. Má větší pronikavost látkami než α záření. Dochází zde k přeměně neutronů na proton a elektron. Kdy vzniklý nuklid se oproti původnímu posouvá v periodické soustavě prvků o jedno místo vpravo. Celý děj popisujeme následující rovnicí (2):



kde,

A– nukleonové číslo,

Z– protonové číslo,

X– původní jádro,

Y– dceřiné jádro,

e– elektron.

(Mareček, 2013)

2.1.3.3 Přeměna β^+

K přeměně β^+ dochází u jader nuklidů s nadbytkem protonů v jádře. Konkrétně dochází k přeměně protonů na neutron a pozitron. Při této přeměně vzniká nuklid, který se posouvá v periodické soustavě prvků o jedno místo vlevo. Děj lze definovat následující rovnicí (3):



kde,

A– nukleonové číslo,

Z– protonové číslo,

X– původní jádro,

Y– dceřiné jádro,

e– pozitron.

(Mareček, 2013)

2.1.3.4 Přeměna γ

Kvanta elektromagnetického vlnění, záření γ , jsou emitována jádry atomů. K přeměně γ dochází vždy za současného záření α a β . Jde o nepřímou ionizující záření. Ve vzduchu má γ záření dosah několik set metrů a v zemině či betonu několik centimetrů (Beneš et al., 2015).

2.1.4 Poločas rozpadu

„Poločas rozpadu je doba, za kterou se rozpadne polovina přítomných jader radioaktivního nuklidu.“ (Mareček, 2013, s. 31) Poločas rozpadu závisí na radionuklidu a na rozpadové konstantě. Udáváme ho v jednotkách času (Mareček, 2013).

Pro diagnostická vyšetření v nukleární medicíně se používají radiofarmaka složená z radionuklidů s vhodně dlouhým fyzikálním poločasem rozpadu. Poločas rozpadu nesmí být moc krátký, aby se stihlo vyšetření provést a nedošlo ke zkreslení výsledků časnou akumulací v potřebných orgánech. Nejpoužívanějším radionuklidem je tedy ${}^{99m}\text{Tc}$ s poločasem rozpadu 6 hodin, který se získává z radionuklidového generátoru přímo na pracovišti. Existují, ale i radionuklidy, které mají větší poločas rozpadu, a to třeba až desítky hodin, což může představovat výhodu při přepravě z výrobního centra na oddělení. Značná nevýhoda nastává u radionuklidů s fyzikálním poločasem rozpadu v řádu desítek dnů až stovek dnů, kdy dochází k vysoké radiační zátěži naaplikovaného pacienta (Koranda et al., 2017).

2.1.5 Aktivita

Aktivita je veličina znázorňující počet přeměněných atomů za jednu sekundu neboli rychlost přeměny. Jednotka aktivity je becquerel (Bq). Aktivitu určujeme podle následující rovnice (4):

$$A = \lambda \cdot N \quad (4)$$

kde:

A – je aktivita v becquerelech,

λ – je rozpadová konstanta v s^{-1} ,

N – je počet atomů.

(Beneš et al., 2015)

Hodnoty aktivity jsou vysoké, a proto se pro její snadnější vyjádření využívají jednotky násobné, např. kBq, MBq a GBq. V diagnostice nukleární medicíny se aplikované dávky radiofarmak pohybují v řádu stovek kBq až MBq. Zákon radioaktivní přeměny popisuje pokles aktivity radioaktivních látek. Podle tohoto zákona se aktivita stejně jako počet radionuklidů s časem exponenciálně zmenšuje. Hodnoty aktivity radiofarmak můžeme vypočítat nebo zjistit pomocí tabulek (Koranda et al., 2017).

2.2 Nukleární medicína

Nukleární medicína je definována jako samostatný lékařský obor využívaný k diagnostice i terapii pomocí otevřených radioaktivních zářičů. Propojuje mnoho klinických oborů, jako je například onkologie, kardiologie, urologie, ale i další nelékařské profese – fyziku, farmacii, radiační ochranu. Obor nukleární medicíny vznikl na počátku dvacátého století. V tuto dobu proběhly první experimentální pokusy zkoumající radon a další radioaktivní prvky. Od konce 40. let probíhaly první klinické aplikace. K dalšímu vývoji NM došlo především po rozvoji radiofarmacie a přístrojové techniky (Kupka et al., 2015).

V nukleární medicíně rozlišujeme dvě metody vyšetření, a to *in vivo* a *in vitro*. **In vivo** značí aplikaci radiofarmaka přímo do pacienta, nejčastěji intravenózní injekcí. Metoda **in vitro** vyšetření se využívá ke stanovení koncentrace látek v tělních tekutinách. Při této analýze se pracuje především se vzorky plazmy nebo se vzorky jiných tekutin.

Obecně se dá říci, že při porovnání zobrazovacích metod jsou metody nukleární medicíny vůči např. sonografii méně vhodné pro zachycení anatomických detailů. Naproti tomu, ale poskytují dostatek informací o funkci orgánů, charakteru tkání či průběhu patofyziologických dějů v těle (Koranda et al., 2017).

2.2.1 Radionuklidy

Radionuklidy, či radioizotopy, představují nestabilní formy chemických prvků, jež se postupně rozpadají a při procesu rozpadu uvolňují radioaktivní záření (NZIP, 2023).

Radionuklidy se obecně vyskytují přirozeně v přírodě, v oboru nukleární medicíny se však využívají radionuklidy umělé, laboratorně vytvořené. Tyto laboratorně vytvářené radionuklidy se produkují v reaktorech a urychlovačích. Přeměna uměle vytvářených radionuklidů na jiné nuklidy (stabilní či také radioaktivní) se vyznačuje využíváním různých fyzikálních charakteristik, díky nimž je možné radionuklidy následně používat právě pro medicínské účely, a to především v diagnostice, terapii, nukleární medicíně nebo radioterapii (Koranda et al., 2017).

K tomu, aby bylo možné radionuklidy využívat pro nukleární medicínu, je zapotřebí charakterizovat hlavní fyzikální charakteristiky. Jedná se především o fyzikální charakteristiky v podobě:

- druhu emitovaného záření,
- energie emitovaného záření,
- fyzikálního poločasu přeměny.

Mezi nejvýznamnější radionuklidy, které se v nukleární medicíně ustálily po dlouhých letech vývoje a výzkumů, patří především díky své využitelnosti, praktičnosti a cenové dostupnosti radionuklidy, které jsou vyobrazeny na následující tabulce č. 1 (Koranda et al., 2017).

Tabulka 1 - Nejčastěji používané radionuklidy (Koranda et al., 2017, s. 15, upraveno autorem)

Název radionuklidu	Druh záření	Energie	Poločas rozpadu
^{99m} Tc	γ	140 keV	6 hod
¹¹¹ In	γ	171, 245 keV	2,8 d
¹²³ I	γ	159 keV	13 hod
⁶⁷ Ga	γ	93, 185, 300 keV	78 hod
¹⁸ F	β+	511 keV	109 min
¹³¹ I	β-, γ	364 keV	8 min
^{81m} Kr	γ	190 keV	13 s

Jak již bylo zmíněno, pro využití v nukleární medicíně se využívají především radionuklidy uměle připravené. Obecně se dá říci, že takto vytvořené radionuklidy se připravují pomocí rychle letících částic s vhodným nuklidem, při čemž dochází k bombardování terčíku. K tomuto procesu v praxi dochází třemi různými způsoby, respektive přípravě:

- V jaderném reaktoru – zde dochází k aktivaci látek ozářením neutrony, načež navazuje následná separace štěpných produktů. V reaktoru se připravuje například radionuklid molybden ^{99}Mo nebo jód ^{131}I .
- V cyklotronu – částice se urychluje elektrickým polem, na které je orientováno kolmo magnetické pole. To stáčí dráhu urychlované částice v kruhu po spirále s rostoucím poloměrem. Terčik je na konci této dráhy ozařovaný nuklidem, kde následně dojde k přeměně neaktivního prvku na radionuklid. Takto připravovaný je například radionuklid fluor ^{18}F , uhlík ^{11}C či indium ^{111}In .
- V generátorových systémech – v těchto systémech dochází k rozpadu mateřského nuklidu na dceřiný radionuklid. Generátorové systémy umožňují tvořit na odděleních nukleární medicíny zásobu radiofarmaka, případně se využívají přímo pro vyšetření (Kupka et al., 2015).

2.2.2 Radiofarmaka

Radiofarmaka (RF) jsou přípravky využívané jak pro diagnostiku, tak i pro terapii na oddělení nukleární medicíny. Ideální radiofarmaka musí mít přiměřenou cenu, snadnou dostupnost a dostatečně vysokou aktivitu. RF se skládají ze dvou složek:

- tzv. kit neboli nosič – jde o chemické sloučeniny, peptidy, nebo krevní elementy,
- radionuklid – účinná část RF, která se váže na určitý neradioaktivní nosič.

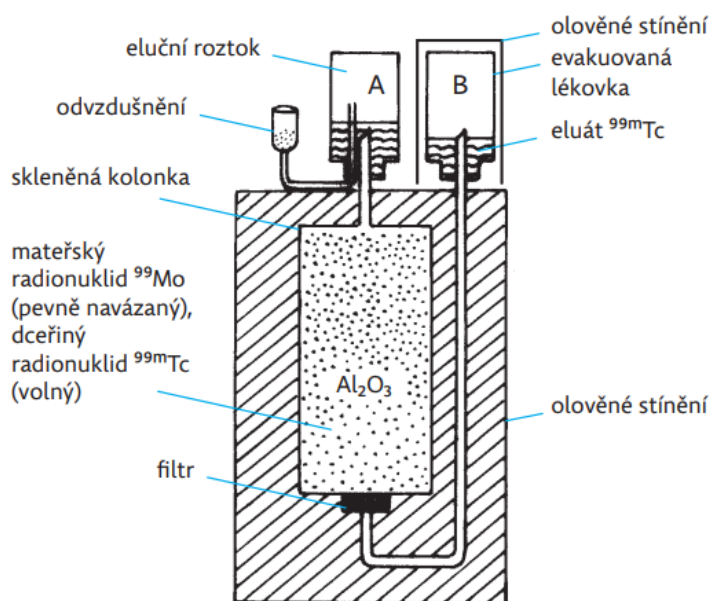
V následující tabulce č. 2 je uveden přehled v současnosti nejpoužívanějších radiofarmak v nukleární medicíně. K názvům radiofarmak jsou přiřazeny druhy odpovídajících radionuklidových vyšetření při, kterých se využívají. Tabulka obsahuje radiofarmaka používaná k diagnostice i terapii.

Tabulka 2 - Nejpoužívanější radiofarmaka v NM (Koranda et al., 2017, s. 23, upraveno autorem)

Název radiofarmaka	Druhy vyšetření
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -fosfonáty	scintigrafie skeletu
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI	perfuzní scintigrafie myokardu
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG3	dynamická scintigrafie ledvin
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA	statická scintigrafie ledvin
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -nanokoloidy	scintigrafie sentinelových uzlin
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO	perfuzní scintigrafie mozku
^{131}I	terapie hypertyreózy a karcinomu štítné žlázy
^{18}F -FDG	PET detekce zánětů a nádorů
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	ventilační scintigrafie plic

2.2.2.1 Příprava radiofarmak

Hromadně vyráběná RF se mohou připravené dovážet z laboratoří podle počtu objednaných pacientů na konkrétní vyšetření. Objemová aktivita je následně na oddělení upravována dle váhy pacienta a typu vyšetření. K úpravě aktivity radiofarmak dochází například ředěním přímo před aplikací pacientovi. Další možností je označování neaktivních látek (kitů) přímo na oddělení v radiofarmaceutických laboratořích pomocí nejčastěji využívaného technecia ^{99m}Tc , která se získává z elučního molybden-techneciového generátoru, viz následující obrázek 1 (Kupka et al., 2015).



Obrázek 1 - Schéma elučního molybden-techneciového generátoru (Kupka et al., 2015)

Poslední možností je inkubace biologického materiálu, vhodnou formou radionuklidu. Tato metoda se využívá např. k označování krvinek (Koranda et al., 2017).

Při přípravě radiofarmak se musí mnohem více dbát na správné zacházení a bezpečnost, než u ostatních farmak. Tyto zásady jsou formulované jako správná praxe při přípravě radiofarmak. Dalším specifikem je i uspořádání pracoviště, zvláštní dokumentace, dokonce i skladování radioaktivního odpadu, v tzv. vymíracích místnostech (Koranda et al., 2017).

2.2.2.2 Druhy aplikace radiofarmak

Podle způsobu aplikace radiofarmak je můžeme rozdělit na:

- parenterální podání – jedná se o injekční aplikaci pravých roztoků, koloidních disperzí, nebo suspenzí,

- inhalační podání – příkladem je radioaktivní plyn ^{81m}Kr , který se využívá při ventilační scintigrafii plic,
- perorální podání – jodid sodný (^{131}I), který se podává ve formě vodných roztoků, anebo jako tuhá látka v želatinové tobolce.

(Koranda et al., 2017)

2.2.2.3 Kvalita radiofarmak

U radiofarmak musí probíhat kontrola jejich kvality, stejně jako u ostatních léčiv. Mezi ně řadíme kontrolu chemické čistoty, sterility, apyrogenity, pH. Kvůli obsahu radioaktivních látek u nich musíme provádět i další testy, kterými jsou radionuklidová čistota a radiochemická čistota.

Radionuklidová čistota: měření se provádí pomocí spektrometrie a zjišťuje se podíl aktivity deklarovaného radionuklidu k celkové aktivitě vzorku.

Radiochemická čistota: stanovuje se podíl deklarované chemické sloučeniny na celkové aktivitě. Ke stanovení výsledku této zkoušky se využívá chromatografie (Koranda et al., 2017).

2.2.3 Detektory

Rozlišujeme několik typů detektorů pomocí, kterých snímáme ionizující záření. Ve zdravotnictví se nejčastěji setkáváme s ionizační komorou nebo scintilačními detektory, ale také s již méně používaným Geiger-Müllerovým počítačem (Koranda et al., 2017).

2.2.3.1 Ionizační komora

Princip ionizační komory stojí na ionizaci plynu uvnitř komory pomocí ionizujícího záření. Nemá velkou citlivost, a proto se především používá pro kontrolní měření aktivit jednotlivých radiofarmak (Koranda et al., 2017).

2.2.3.2 Scintilační detektor

Scintilační detektor má, na rozdíl od ionizační komory, mnohem větší citlivost. Je součástí všech detekujících soustav při vyšetřeních na odděleních nukleární medicíny. Skládá se ze tří hlavních částí, kterými jsou scintilační krystal, fotonásobič a elektronická aparatura. Funguje na principu přeměny ionizujícího záření na viditelné světlo. Fotony dopadají na scintilační krystal, kde dochází ke scintilaci (záblesku) viditelného světla. Scintilační krystal obsahuje detekční látku, kterou je většinou jodid sodný aktivovaný thaliem $\text{NaI}(\text{Tl})$. Další částí je fotonásobič, jež je fotovodivě připojen k scintilačnímu krystalu. Fotonásobič detekuje a převádí záblesky světla na elektrický signál. Při tomto ději dochází na fotokatodě k uvolnění elektronů,

kdy se jejich počet mnohonásobně zvětší pomocí vysokého napětí. Na konci nastává měření elektrických impulsů a dojde k hodnocení jejich amplitud (Koranda et al., 2017).

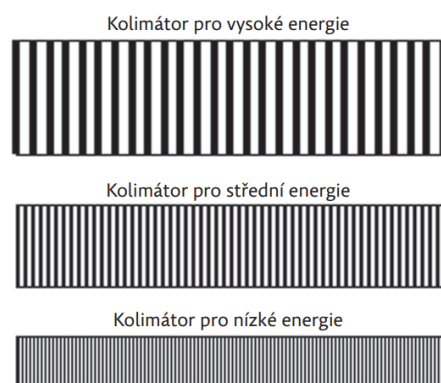
2.2.4 Scintilační kamera

Scintilační kamera, či gamakamera, je jedním z hlavních zobrazovacích přístrojů nukleární medicíny. Využívá se pro zobrazování distribuce aplikovaného radiofarmaka v lidském těle, tedy pro scintigrafii. Gamakamera se skládá z detektorů a vyhodnocovacích přístrojů. Detektory se skládají ze scintilačního krystalu, kolimátoru a fotonásobičů (Kupka et al., 2015).

2.2.4.1 Kolimátor

Kolimátor je možné si přestavit jako olovenou desku s mnoha malými otvory, sloužící jako filtr. Kolimátor filtruje fotony gama záření letící nesprávným směrem a propouští pouze ty fotony, které dopadají kolmo na detektor a projdou těmito otvory. Kolimací dochází k vytvoření přehledného obrazu rozložení radiofarmaka (Kupka et al., 2015).

Kolimátory se rozdělují na mnoho typů, například podle energie záření gama, citlivosti, počtu otvorů a konfigurace. Kolimátory podle energie fotonů radionuklidu dělíme na: kolimátory pro vysoké energie, pro střední energie a pro nízké energie, viz obrázek 2.



Obrázek 2 - Kolimátory (Kupka et al., 2015, 28 s.)

Nejčastěji využívaným kolimátorem bývá paralelní, nízkoenergetický a s vysokým rozlišením, sloužící k zobrazování především ^{99m}Tc . Pinhole je jednootvorový kolimátor, který zobrazuje obraz zvětšený a převrácený. Má dobré rozlišení, ale nízkou citlivost. Proto se používá pro zobrazování malých orgánů v krátké vzdálenosti, například štítné žlázy. Dalším používaným druhem je kolimátor pro střední energie, který je vhodný pro radiofarmaka značená ^{111}In (Koranda et al., 2017).

2.2.5 Scintigrafie

Scintigrafie představuje diagnostickou metodu, pomocí níž získáváme obraz distribuce aplikovaného radiofarmaka pomocí gamakamery. Planární scintigrafií lze dvojrozměrně zobrazit funkční stavy orgánů, jejich metabolické aktivity nebo další patologické změny, tumory, či záněty (FNHK,2023).

Planární scintigrafie má dva základní režimy:

- statická scintigrafie – výsledkem jsou jednotlivé scintigramy vyšetřované oblasti,
- dynamická scintigrafie – jedná se o sérii scintigramů na sebe časově navazujících.

Zobrazování určitých vrstev tkání se nazývá tomografická scintigrafie. V NM se odlišují dvě základní modalities SPECT a PET, které jsou podrobněji popsány v následujících podkapitolách (Koranda et al., 2017).

2.2.6 SPECT

Jednofotonová emisní tomografie, zkráceně SPECT, se skládá z detektoru, v dnešní době převážně již dvou protilehlých detektorů. Detektory se otáčejí kolem pacienta položeného na vyšetřovacím stole. Při otáčení dochází k vytvoření a následnému uložení obrazů z přibližně 120 projekcí během jedné celé 360° otáčky. Počítač poté tyto projekce rekonstruuje ve trojrozměrný obraz vyšetřované oblasti pacienta, z něhož lze lehce získat obraz řezu určitých tkání. Spojením SPECT a přístroje CT vzniká hybridní SPECT/CT, které umožňuje zobrazení anatomického a funkčního obrazu vyšetřované oblasti. CT přístroje mohou mít rentgenku pevně spojenou s gantry SPECT kamery, a to nám umožňuje získat pouze CT obraz s nižším rozlišením v tzv. nízkodávkovém režimu (Koranda et al., 2017).

2.2.7 PET

Pozitronová emisní tomografie, PET, představuje soustavu velkého počtu menších detektorů uspořádaných do kruhu (prstence) okolo pacienta. Gantry PET přístroje je nepohyblivé. V současnosti se v nemocnicích setkáváme převážně s hybridními systémy, tedy PET/CT, kdy získáváme funkční data společně s anatomickými obrazy z CT části přístroje.

Princip se odvíjí od přeměny pozitronového zářiče, kdy dojde k emisi pozitronu. Tyto pozitrony v těle ihned reagují s elektrony a dojde k následné anihilaci. Po anihilaci opačným směrem odlétají dvě kvanta fotonů o energii 511 keV. Při současném dopadu těchto dvojic fotonů na detektory dochází k předání informací o poloze dopadu fotonů, tak i směru příletu. Poté dochází k matematické rekonstrukci počítačem a vzniká trojrozměrný obraz vyšetřované oblasti. PET

nevyužívá klasických olověných kolimátorů, citlivost vyšetření zlepšuje elektronická kolimace (Koranda et al., 2017).

Při vyšetřeních se nejčastěji používá radiofarmakum ^{18}F -FDG, které se akumuluje v nádorech, jejich metastázách, či zánětech (Kupka et al., 2015).

2.3 Radiační ochrana

Radiační ochrana představuje systém organizačních a technických opatření k tomu, aby došlo k omezení ozáření osob ionizujícím zářením, a stejně tak k zabránění a šíření radioaktivní kontaminace. Pro dosažení cílů radiační ochrany je zapotřebí, aby každé nezbytné ozáření vykonané při vyšetření, bylo tak nízké, jak je jen nezbytně nutné. Dále je důležité, aby dávkové ekvivalenty u ozařovaných osob nepřesáhly závazně stanovená omezení v dokumentech pro radiační ochranu (MVČR, 2023).

V rámci dodržování standardů radiační ochrany figuruje v České republice Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Ten, mimo jiné, vykonává ze zákona řadu činností v oblasti ochrany zdraví a životního prostředí před vlivy a účinky ionizujícího záření. Z činnosti SUJB se jedná především o tyto činnosti:

- vykonávání státní správy a dozoru v oblasti radiační ochrany v celé škále pracovišť, ze kterých pramení zdroj ionizujícího záření,
- monitoring, posuzování a usměrňování ozáření osob,
- plánování a koordinace celostátní monitorovací radiační sítě,
- dodržování evidence o zdrojích ionizujícího záření na území celého státu,
- dohled nad dodržováním předpisů subjektů a prosazování předpisů radiační ochrany.

(SUJB, 2023)

2.3.1 Principy radiační ochrany

Principy radiační ochrany existují celkově čtyři. Účelem těchto principů je vštípení důležitosti jejich dodržování z důvodu udržení ozáření populace na přijatelné úrovni. Mezi čtyři principy radiační ochrany patří:

- princip odůvodnění,
- princip optimalizace,
- limitování dávek,
- bezpečnost zdrojů.

(Kubinyi et al., 2018)

Princip odůvodnění představuje každou činnost, která musí být odůvodněna přínosem plynoucím z provedení ionizačního záření, které převáží riziko z této činnosti plynoucí. V nukleární medicíně to znamená především to, že ozáření pacienta ionizujícím zářením musí být zdůvodňováno jeho očekávaným zdravotním prospěchem. Indikace je vždy posuzována individuálně. V praxi je tak zapotřebí přemýšlet nad nutností a přínosem radiologického vyšetření pro stanovení léčby a diagnózy, stejně tak dochází k zamýšlení nad jinými zobrazovacími metodami.

Princip optimalizace pramení z toho, že definuje optimalizaci radiační ochrany jako neustálý proces k dosažení a udržení takové úrovně radiační ochrany, aby ozáření osob a okolního prostředí bylo natolik nízké, jak jej lze rozumně dosáhnout při uvážení všech hospodářských a společenských hledisek. Cílem optimalizace tedy není dosažení minimální dávky ozáření, ale nezbytně nutné dávky ozáření tak, aby nedošlo k porušení kvality obrazu snímků. Anglicky se pro tento proces optimalizace využívá zkratka ALARA. Dále jsou k tomuto účelu zavedeny diagnostické referenční úrovně pro jednotlivá vyšetření.

Princip limitování dávek vychází ze skutečnosti, že ozáření osob nesmí překročit pevně stanovené limity. Limitování neplatí pro ta lékařská ozáření, která se řídí především principy odůvodnění a optimalizace. Také je zapotřebí zohlednit, že do limitování se nezapočítává ozáření, které vychází z přírodních zdrojů. Stanovení principu limitování je zajištěno třemi druhy ochran, a to:

- **ochranou časem** – při diagnostice se usiluje o dodržení co nejkratší doby ozáření, neboť radiační zátěž roste s dobou, po kterou je osoba záření vystavena,
- **vzdáleností** – při ozařování se dodržuje minimální akceptovatelná vzdálenost 2,5 metru,
- **stíněním** – je dáno vrstvou materiálu, která je umístěna mezi zdrojem záření a pacientem. Samotní radiologičtí asistenti se při vyšetření schovávají za zeď či za zástěnu (Mediprofi, 2013).

Limity dávek stanovené pro ozařování budou blíže popsány v další části této bakalářské práce, konkrétně v podkapitole Limity v radiační ochraně 2.3.2.

Princip bezpečnosti souvisí se zajištěním bezpečného průběhu vyšetření pacienta. Zahrnuje veškeré činnosti spojené s dodržováním BOZP, stejně tak i zabezpečení samotného zdroje ionizujícího záření v průběhu činnosti, i před jeho odcizením. Princip činnosti také definuje podmínky pro technické kontroly stavu zdroje ionizujícího záření. Na tento poslední princip

není kladen takový důraz jako na předchozí, jelikož nepředpokládáme závažnější problém, kvůli relativně nízkým dávkám radionuklidů používaných na odděleních (Kubinyi et al., 2018).

2.3.2 Limity v radiační ochraně

Systém limitů pro omezení ozáření osob vystavených ionizujícímu záření je jedním z nejzásadnějších prvků radiační ochrany. Radiační limity se rozdělují na tři základní skupiny: obecné limity, limity pro radiační pracovníky a limity pro žáky a studenty. Tyto skupiny se dají v určitých případech doplnit tzv. odvozenými limity, které mají své využití v prokazování nepřekročení limitů pro radiační pracovníky. Při započítávání dávek limitů se nesmí zapomenout, že ozáření z přírodního pozadí se nezahrnuje (Kubinyi et al., 2018).

Obecné limity jsou platné pro obyvatelstvo, vypočítávají se pro průměrnou dávku ozáření v reprezentativní skupině obyvatel. Obecné limity za jeden kalendářní rok se vymezují takto:

- pro součet efektivních dávek 1 mSv,
- pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv,
- pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže 50 mSv.

(Kubinyi et al., 2018)

Limity pro radiační pracovníky slouží převážně k omezení profesního ozáření. Limity za jeden kalendářní rok nesmí přesáhnout tyto hodnoty:

- pro efektivní dávku 20 mSv,
- pro ekvivalentní dávku v oční čočce 150 mSv,
- pro průměrnou ekvivalentní dávku na končetiny 500 mSv,
- pro průměrnou dávku na 1 cm² kůže 500 mSv.

Limity pro radiační pracovníky se pohybují o řád výše než obecné limity. Důvodem je započítání dětí do celkové populace, zatímco radiační pracovníci mohou být pouze osoby starší 18 let (Koranda et al., 2017).

Limity pro žáky a studenty se vztahují na studenty ve věku od 16 do 18 let, kteří pracují se zdrojem IZ a vymezují se takto:

- pro součet efektivních dávek 6 mSv,
- pro ekvivalentní dávku v oční čočce 15 mSv,
- pro průměrnou dávku na 1 cm² kůže 150 mSv,
- pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí, na nohy od chodidel po kotníky 150 mSv.

(Kubinyi et al., 2018)

2.3.3 Radiační ochrana pracovníků

Radiační ochrana pracovníků v nukleární medicíně, pro práci s ionizujícím zářením, je zakotvena především v legislativě atomového zákona č. 18/1997, a dále také v navazujících vyhláškách (Astronukfyzika, 2023).

Obecně je možné uvést, že každý držitel povolení pro práci s ionizujícím zářením, musí na pracovišti zajistit takové podmínky, aby byly dodržovány dávkové limity. Tyto limity již byly zmíněny v předchozí podkapitole této bakalářské práce. Důležité je, aby při veškerých podmínkách nikdy nebylo dosaženo pevně stanovených maximálních limitů. Pokud by k takovému překročení u pracovníka došlo, je nutné daného pracovníka z pracoviště vykázat na dobu, než dojde k posouzení jeho zdravotní způsobilosti k další práci s ionizujícím zářením.

Dle výše rizika ohrožení na zdraví ionizujícím zářením se pracovníci dělí zejména do dvou kategorií:

- Radiační pracovníci kategorie A – jedná se o ty pracovníky, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně, případně ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv na oční čočku, nebo 3/10 limitu ozáření pro končetiny či kůži.
- Radiační pracovníci kategorie B – veškerí ostatní pracovníci, u nichž z předpokladu nedojde k překročení limitu 1 mSv/rok.

Jak již bylo zmíněno, mezi hlavní možnosti ochrany pracovníků, kromě jejich pravidelného školení a dodržování požadovaných standardů, patří především dodržování potřebné **vzdálenosti, stínění** a maximalizace ochrany minimalizací **času** stráveným v blízkosti zdroje záření. Vzdálenost a čas však není možné využívat vždy, proto je hlavním prvkem ochrany právě stínění. U stínění dochází ke stínění radioaktivních zářičů, se kterými pracovník manipuluje – díky tomu je možné výrazně eliminovat riziko celotělového, tak i lokálního ozáření. Stíněné jsou také přepravní nádoby pro radionuklidy, boxy pro přípravu radiofarmak, stříkačky a dále zařízení určená pro aplikaci radiofarmak pacientovi. Využívá se také zástěn, skla a vložek do dveří. Stínění je hlavně vyráběno z kvalitního materiálu, nejčastěji z olova či wolframu.

S ohledem na to, že k určitému ozáření i přes veškerá opatření dochází vždy, je zapotřebí kontrolovat radiační zátěž personálu na základě monitorovacího programu autorizovanou dozimetrickou službou. V praxi to znamená, že každý pracovník je vybavený osobním

dozimetrem, který nosí na levé straně hrudníku. Využívá se také dozimetr prstový, který v řadě případů poskytuje vyšší možnost ochrany a kontroly nad celkovým ozářením hlavně při práci s radiofarmaky (Kubinyi et al., 2018).

2.3.4 Radiační ochrana pracoviště

V zásadě jako každá činnost, tak i radiační ochrana musí podléhat potřebné dokumentaci. Konkrétně ve spojitosti s radiační ochranou na pracovišti, vystupuje v popředí řada dokumentů, mimo jiné i již zmíněný atomový zákon, standardy i požadavky SÚJB, kterými je zapotřebí se řídit. Jedná se hlavně o:

- organizační řád – základní dokument, díky němuž dochází k charakterizaci samotné struktury organizace,
- provozní řád – uvádí především charakteristiku a zaměření pracoviště a důležité informace o provozu, kterými se musí personál řídit,
- program zajištění radiační ochrany – obsahuje podrobný systém celé radiační kontroly na pracovišti,
- program monitorování – určuje, jakým způsobem a jak často bude docházet k radiačním kontrolám,
- vnitřní havarijný plán – souvisí s plány vedoucími k zavedení pořádku v případě mimořádných událostí.

(Kubinyi, 2018)

Na pracovišti je především nutné vymezit dva nejdůležitější prostory, a to kontrolované a sledované pásmo. Kontrolované pásmo se zpravidla vymezuje všude, kde by efektivní dávka ozáření mohla být vyšší než 6 mSv ročně, případně tam, kde by ekvivalentní dávka mohla překročit 3/10 limitu ozáření u očních čoček, končetin či kůže. Pásmo musí být také zajištěno proti vstupu nepovolaných osob, stejně tak osob těhotných či nezletilých. Do tohoto pásma smí vstoupit pouze pracovníci kategorie A, kteří disponují potřebným vybavením v podobě dozimetrů a dalších ochranných pomůcek v případě potřeby. Po vstupu do kontrolovaného pásma musí být také provedena důkladná dekontaminace, kdy se využívají dekontaminační sprchy pro pacienty a hygienické smyčky pro personál (TZB-info, 2016).

Sledované pásmo se naopak vymezuje na místech, kde se očekává, že by efektivní dávka mohla být vyšší než 1 mSv ročně nebo by ekvivalentní dávka překročila 1/10 limitu ozáření u radiačních pracovníků u očních čoček, na kůži či u končetin. Dále se sledované pásmo

vymezuje všude tam, kde je zapotřebí zajistit monitoring radiační ochrany. Na pracovišti se v prostorech sledovaného pásma mohou pohybovat pracovníci kategorií A i B, neboť do tohoto pásma spadají téměř veškeré prostory nukleární medicíny s výjimkou těch, které spadají do pásma kontrolovaného (Kubinyi et al., 2018).

2.3.5 Radiační ochrana pacientů

Jak již vyplynulo z předchozí části této bakalářské práce, vše je vykonáváno tak, aby vyšetření pacientů bylo v souladu se stanovenými pravidly a došlo k minimalizaci rizika z nadměrného ozáření pacientů. K tomu se využívá především již zmíněných principů radiační ochrany, a to principu odůvodnění, optimalizace, limitování a bezpečnosti zdrojů.

Dalším důležitým faktorem je zejména také to, aby došlo k maximálně možnému snížení radiační zátěže pacienta. Tohoto snížení je možné při vyšetření dosáhnout několika různými způsoby, a to:

- stanovením a hodnocením dávek,
- napětím na rentgence,
- usměrňováním elektrického množství,
- kontrolou velikosti ozářeného pole,
- fixací pacienta,
- správným a důkladným poučením pacienta.

Stanovení a hodnocení dávek vychází z toho, že je zapotřebí zaznamenávat relevantní údaje s ohledem na znalost technických a fyzikálních parametrů ozáření. Zároveň je nutné stanovit hodnoty parametrů, respektive veličin, aby bylo možné dávky hodnotit a určit jejich limity. Hodnocení dávek již souvisí s kontrolou jak samotných technických zařízení pro ozáření využívaných, tak i pro hodnocení dávek, které pacienti při vyšetření obdrží (Kubinyi et al., 2018).

Velikost ozářeného pole je jedním z nejdůležitějších aspektů snížení radiační zátěže u pacienta. Co nejmenší radiační pole, které je v konečném důsledku v souladu s vyšetřovanou oblastí, znamená menší radiační zátěž (SUJB, 2023).

Fixace pacienta snižuje radiační zátěž eliminací pohybu pacienta, což je důležité zejména při vyšetření dětí, ale také u neklidných a nespolupracujících pacientů. Díky fixaci pacienta do potřebné polohy a zamezení pohybu nedochází k tvorbě rušivých elementů na snímcích (Linkos, 2019).

Poučení pacienta v nukleární medicíně je dáno především tím, že pacient musí být dostatečně informován o průběhu a případných následcích samotného vyšetření. Nejjednodušší způsob, jak dosáhnout snížení radiační zátěže u pacienta, je jeho poučení o důležitosti pití velkého množství tekutin, které napomáhají k rychlejšímu vylučování radiofarmaka z těla ven, pomocí glomerulární filtrace ledvin, tedy močí. (Kubinyi et al., 2018).

2.4 Anatomie a fyziologie

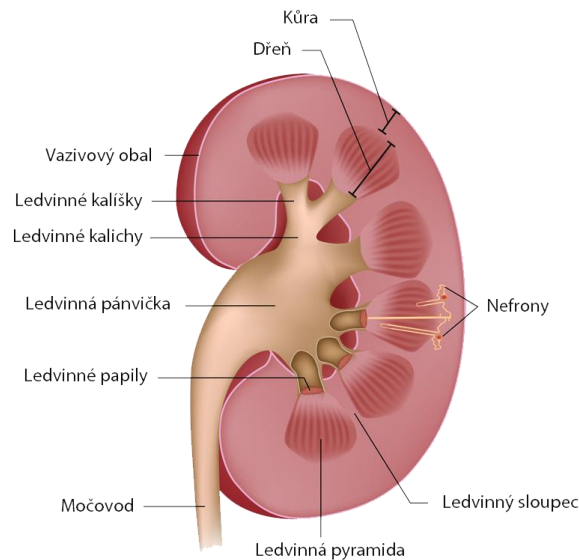
2.4.1 Ledviny

Ledviny společně s močovými cestami tvoří močový systém. Do močových cest řadíme ledvinové kalichy, ledvinnou pánvičku, močovody, močový měchýř a močovou trubici. Ledviny (renes, nephros) jsou párový orgán ležící v retroperitoneu. Pravá ledvina je uložena vždy o kousek níže než levá, kvůli poloze jater. Jedná se o bohatě prokrvený orgán s velkým průtokem krve (Havlíček et al., 2019).

Mezi hlavní funkce ledvin můžeme řadit především filtraci plazmy, sekreci a resorpci vody nebo iontů, tvorbu hormonů. Ledviny mají hlavní význam pro funkčnost portálního cévního řečiště. Kdy dochází k filtraci plazmy přes membránu glomerulů a vzniká tím primární moč (Hudák et al., 2017).

Základní funkční jednotkou ledvin je nefron. Nefron začíná Malpighiho tělískem, které se skládá z Bowmanova pouzdra a glomerulu. Glomerulus je označení pro cévní klubíčko, přívodné a odvodné cévy. Z Malpighiho tělíska vychází tubulus renalis, který se dělí na proximální tubulus, Henleovu kličku a poslední část nazývanou distální tubulus. Na papilách ústí sběrné kanálky, které vznikají spojením distálních tubulů. Jedna ledvina obsahuje přibližně 1,6 milionů Malpighiho tělísek (Havlíček et al., 2019).

Následující obrázek ukazuje základní popis anatomie ledviny.



Obrázek 3 - Anatomie ledviny (Dial-nefro, 2023)

2.4.2 Meckelův divertikl

Jedná se o kongenitální vychlípeninu tenkého střeva, převážně v jeho dolní části. Meckelův divertikl je jednou z nejčastějších vrozených vad trávicího traktu a je pozůstatkem pupečníku. V populaci se vyskytuje až u 3 %, příznaky se objevují jen u malého počtu lidí. Lokalizuje se asi 20 – 60 cm orálně od Bauhinské chlopně. Příznaky se obvykle objevují u dětí do jednoho roku, ale mohou se projevovat u starších dětí nebo i v dospělosti. Mezi nejčastější příznaky se řadí: bolesti, křeče, krev ve stolici, obstrukce střev, vředy. Výstelka Meckelova divertiklu může obsahovat buňky žaludeční sliznice, které produkují kyselinu chlorovodíkovou. HCl způsobuje poškození sliznice tenkého střeva. Léčba nastává, až v případě komplikací a řeší se chirurgickým zákrokem, při kterém dojde k odstranění tohoto divertiklu (Clevelandclinic, 2020).

PRAKTICKÁ ČÁST

3 METODIKA PRAKTICKÉ ČÁSTI

Radionuklidová zobrazení genitourinárního systému, patří k nejčastěji prováděným vyšetřením dětí v nukleární medicíně. Mezi tyto vyšetření se zejména řadí statická scintigrafie ledvin a dynamická scintigrafie ledvin. Scintigrafické snímky poskytují informace především o funkčnosti ledvin a močových cest. Pro snadnější diagnózu poruch či onemocnění se scintigrafie doplňuje vyšetřeními, ze kterých se dostává přesnější anatomický popis např. sonografie.

Dalším typickým vyšetřením dětí je scintigrafie Meckelova divertiklu, který je diagnostikován nejčastěji pacientům nízkého věku.

Právě těmto třem vyšetřením se bude podrobněji věnovat praktická část mojí bakalářské práce.

3.1 Dynamická scintigrafie ledvin

3.1.1 Indikace

Dynamické scintigrafii ledvin se používá k diferenciální diagnostice poruch odtoku moče z pánvičky ledvin. Pomocí scintigrafie lze určit, zda se jedná o hypotonickou pánvičku bez obstrukce, nebo o obstrukci ledvinové pánvičky. Obstrukce může být způsobena hydronefrózou či ureterohydronefrózou. Renální onemocnění způsobují poruchy odtoku moče a cílem dynamických snímků ledvin je určení závažnosti obstrukce. Závažná obstrukce způsobuje až destrukci a redukci renálního parenchymu. V závažných případech může dojít ke ztrátě funkce ledviny. Obstrukci mohou způsobovat tumory, lithiázy, malformace nebo infekce. U dětí se často hydronefróza objevuje z příčiny vezikoureterálního refluxu. Mezi další základní a nejčastější indikace patří ledvinové kameny a obtíže s vysokým krevním tlakem. Mezi dalšími indikacemi se může objevit např. dilatace kalichů nebo pánvičky a úrazy ledvin. Indikací k dynamické scintigrafii ledvin je také hodnocení funkce transplantované ledviny. U tohoto typu vyšetření je důležité si uvědomit několik změn. Snímkování probíhá z přední projekce a centruje se na oblast pravé jámy kyčelní, kde se transplantovaná ledvina nachází (Kupka et al., 2015).

3.1.2 Radiofarmaka

Nejpoužívanější radiofarmaka používaná při dynamické scintigrafii ledvin jsou $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ a $^{99m}\text{Tc-MAG3}$. $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ je jedním z nejpoužívanějším radiofarmakem, především kvůli

jeho nízké ceně v porovnání s ostatními alternativními radiofarmaky. Je však méně vhodné pro využívání u malých dětí, protože jeho vysoká aktivita v pozadí může zkreslovat výsledky vyšetření a tím by mohlo docházet k nejednoznačné diagnóze. ^{99m}Tc -DTPA se z krve vylučuje glomerulární filtrací. Aplikace ^{99m}Tc -DTPA se provádí intravenózně do periferní žíly a aplikovaná aktivita je 185 MBq pro normálního pacienta se 70 kg. ^{99m}Tc -MAG3 je v současné době nejdoporučovanějším radiofarmakem pro dynamické vyšetření ledvin u dětských pacientů. ^{99m}Tc -MAG3 se vylučuje tubulární sekrecí, kdy z plazmy dochází k rychlému vychytávání tubulárními buňkami v ledvinách a vylučování do proximálního tubulu. Aktivní tubulární sekrece umožňuje vysoce kvalitní snímky i u menších dětí, a to i při dozrávání buněk. 95% ^{99m}Tc -MAG3 se z těla pacienta s normální funkcí ledvin vyloučí do 3 hodin po aplikaci. Aplikovaná aktivita pro pacienta o hmotnosti 70 kg je 185 MBq intravenózně (Mansi et al., 2016).

U vyšetření dětí je jedním ze zásadních rozdílů přepočítání dávky aplikovaného radiofarmaka. Aktivita se stanovuje podle tzv. přepočtových tabulek, které se odvíjí od místních diagnostických referenčních úrovní. Ty se samozřejmě musí řídit národními diagnostickými referenčními úrovněmi. Výpočet vychází vlastně z univerzálního modelového příkladu, který se zabývá právě pacientem o hmotnosti 70 kg. Takový pacient bude mít vždy, jak již bylo řečeno, aplikovanou aktivitu o hodnotě 185 MBq. Za účelem přepočtu na jinou hmotnost pacienta, v souvztáhnosti k této bakalářské práci dítěte, se aplikovaná aktivita u dynamické scintigrafie ledvin dětských pacientů přepočítává dle F faktoru určeného pro jednotlivé hmotnosti vyšetřovaných pacientů. Tento přepočítání je provedeno na základě vynásobení konkrétní hodnoty F faktoru s optimální aplikovanou aktivitou pacienta, tedy 185 MBq. Hodnoty po přepočtení aplikované aktivity pomocí F faktoru u různých hmotností dětských pacientů jsou zobrazeny v následující tabulce č. 3.

Tabulka 3 - Příklady aplikovaných aktivit ^{99m}Tc -MAG3 (EANM, 2016)

Váha dětského pacienta (kg)	Faktor F	Aplikovaná aktivita RF (MBq)
5	0,17	31,45
10	0,27	49,95
15	0,38	70,3
20	0,46	85,1
40	0,76	140,6
50	0,88	162,8

3.1.3 Příprava před vyšetřením

Základní přípravu pacienta před dynamickou scintigrafií ledvin tvoří dostatečná hydratace a vymočení těsně před vyšetřením. U starších dětí je nejlepší volbou pití vody či džusu, u kojenců se před vyšetřením maminkám doporučuje kojení. V případě špatného zdravotního stavu se pacient může hydratovat pomocí intravenózní infuze. Infuze se, ale využívá jako poslední možnost. Dostatečná hydratace je důležitá, kvůli správnému odtoku moči. V opačném případě dochází ke hromadění koncentrované moči v kalichopánvičkovém systému ledviny, a to má za důsledek zhoršování podmínek následného vyhodnocování vyšetření (Koranda et al., 2017).

Před vyšetřením ledvin není další jiná domácí příprava. Pacient může normálně jíst i pít. Po objednání na konkrétní vyšetření se pacient dostaví na oddělení nukleární medicíny v předepsaný čas. Nezbytností je mít s sebou žádanku od indikujícího lékaře a kartičku pojištěnce. Dětské pacienti většinou do věku 6 let jsou nejprve odesláni na dětské oddělení, kde jim je do periferní žíly zavedena kanyla. Kanyla poté slouží k aplikaci radiofarmaka a případně dalších látek. Na dětském oddělení jsou k zavádění kanyl malým dětem více přizpůsobeni a zavádění provádí vyškolená zdravotní sestra. Využívají se menší jehly, mohou se použít další pomůcky, jako jsou hračky na odvedení pozornosti, či lokální znecitlivující gel. Zavádění na jiném oddělení má i dobrý vliv na psychiku dětí. Ty si poté nespojují bolestivý či nepříjemný zážitek z jehly se samotným vyšetřením, a to poté vede k lepší spolupráci během vyšetření jak s dítětem, ale i s rodiči a celkově přispívá k urychlení scintigrafie a lepším výsledkům.

3.1.4 Provedení vyšetření dynamické scintigrafie ledvin

Objednaný pacient se dostaví na kartotéku oddělení v dostatečném časovém předstihu, a to hlavně kvůli jasně stanoveným časům vyšetření pro poločasy rozpadu radionuklidů, ze kterých se radiofarmaka skládají, a jejich postupnému snižování aktivity. Radiologický asistent na kartotéce od pacienta převezme žádanku na radionuklidové vyšetření, pomocí kartičky pojištěnce provede aktivní identifikaci. Dále založí účet a doplní či zkontroluje všechny osobní údaje. Poté pacient, nebo u dětí doprovázející zákonný zástupce, obdrží informovaný souhlas k radionuklidovému vyšetření. Pacient se posadí do čekárny a vyčká na vyzvání radiologického asistenta s lékařem k samotnému vyšetření. Kam přichází s již podepsaným souhlasem.

Lékař vysvětlí celý podrobný postup vyšetření rodičům. Vyzdvihne výhody získaných informací, které převyšují možná rizika spojená s aplikací radioaktivní látky. Nesmí se zapomínat, ale ani na komunikaci s dětským pacientem. Ta se ale samozřejmě musí odvíjet od

jeho věku a schopnostem vnímat a všemu porozumět. Před samotným vyšetřením odebere lékař osobní a rodinnou anamnézu. U všech pacientů je důležitou součástí těsné přípravy před vyšetřením zjištění psychologických aspektů. Mezi problémy, které se mohou objevit, patří klaustrofobie a úzkost z vyšetření. Úzkostem a strachem se musí věnovat hlavně u dětí, které mají často nemocniční prostředí spojené s bolestí a nepříjemnými zážitky. Starším dětem je vše vysvětlováno lehkou formou, a to například demonstrací na plyšových hračkách. Zdůrazní se, že scintigrafie nebolí. Dítě je položeno a budou se pořizovat „speciální fotky jeho břicha velkým fotoaparátem“. Po celou dobu snímkování jsou rodiče přítomni. Rodičům je doporučeno dětem donést jejich oblíbené hračky, tablet s pohádkou nebo jen držet za ruku a povídat si. U malých miminek je důležitá asistence právě rodičů, kteří musí miminko po celou dobu držet, aby se nehýbalo a vyšetření mělo nezkrácené výsledky pro správnou diagnózu onemocnění. Nejčastěji se držení provádí pevným uchopením a fixací přeloženým prostěradlem přes nožičky. Proto se rodičům doporučuje přinést vlastní dudlík, kousátka, hrkačky, které děti zaručeně zabaví. Oddělení je vybaveno hračkami, které se dají případně vypůjčit a odvést pozornost plačícího dítěte. Pro uklidnění dětí se dá použít i lehká analgosedace, ale tento postup se moc často nevolí. V nemocnicích se sedaci snaží ve většině případů vyhnout, protože může ovlivňovat kvalitu získaných výsledků. Klíčem pro správné provedení celého radionuklidového vyšetření je tedy psychický klid a pomoc doprovázejících rodičů.

Po vysvětlení průběhu vyšetření je pacient poslán na toaletu, aby se vymočil. U miminek je důležité přebalení do suché pleny.

Těsně před opětovným příchodem pacienta do vyšetřovací místnosti radiologický asistent nachystá vypočítané množství radiofarmaka $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ do injekční stříkačky. Natažení odpovídajícího množství probíhá pomocí specializované pumpy, která je umístěna v těsné blízkosti gamakamery. Uspořádání pomůcek, nádob na radioaktivní odpad a pumpy je vyobrazeno na následujících obrázcích (obrázek 4 a 5).



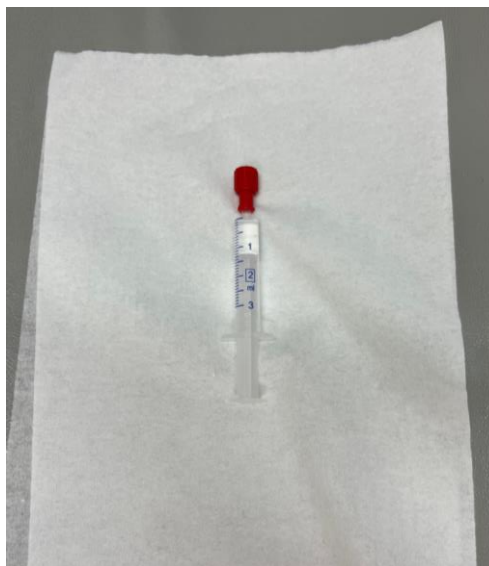
Obrázek 4 - Pomůcky k vyšetření (zdroj vlastní, 2023)



Obrázek 5 - Pumpa na ^{99m}Tc -MAG3 (zdroj vlastní, 2023)

Po natažení potřebného množství se provede minutový statický záznam patřičné injekční stříkačky s ^{99m}Tc -MAG3. Připravená injekční stříkačka naplněná RF na stole gamakamery je vyobrazena na obrázku č. 6. Tento záznam společně se samotnou scintigrafií a záznamu prázdné

injekční stříkačky na konci vyšetření poté slouží k porovnání výsledků a vytvoření záznamu odtoku moči pomocí grafu.



Obrázek 6 - Stříkačka s radiofarmakem (zdroj vlastní, 2023)

Pacient je vyzván, aby si odložil věci a položil se na záda na vyšetřovací stůl gamakamery. Detektor jednohlavého přístroje se umístí pod záda pacienta, přesněji na oblast ledvin až močového měchýře. Jednohlavá gamakamera, která si využívá při této scintigrafie je vyobrazena na následujícím obrázku č. 7.



Obrázek 7 - Gamakamera (zdroj vlastní, 2023)

Gamakamera je osazena paralelním, vysokoenergetickým kolimátorem s vysokým rozlišením. Lékař naaplikuje radiofarmakum přímo do žíly (případně u malých dětí do předem připravené kanyly). Dynamická scintigrafie ledvin ze zadní projekce je zahájena bezprostředně po aplikaci, která se provádí přímo na stole gamakamery a trvá přibližně 30 minut. Skládá se z většího množství jednotlivých snímků s krátkou expozicí. Snímky se během první minuty snímají po 1 sekundě, dále pokračuje ve snímkování po 10 vteřinách.

V polovině dynamická scintigrafie tedy přibližně v 15 minutě se může provádět tzv. diuretický neboli furosemidový test. Diuretikum se podává v případě hromadění moči v ledvinné pánvičce. Po aplikaci dojde k zvýšené tvorbě moči a tím pádem i zvýšení tlaku v renální pánvičce. Diuretikum Furosemid se podává i.v. a jeho množství se přepočítává na hmotnost pacienta, 1mg/kg. Pomůcky k aplikaci a samotný Furosemid je vyobrazen na následujícím obrázku č. 8.



Obrázek 8 - Furosemid (zdroj vlastní, 2023)

V přítomnosti anatomické obstrukce pánvičky nedochází k odtoku moči, či je odtok výrazně zpomalený. V opačném případě, kdy dochází k rychlému odtoku moče po aplikaci Furosemidu, výsledek nenaznačuje přítomnost žádné překážky.

Po skončení dynamického snímkování může být opět pacient poslán se vymočit, u dětí s plenou je potřeba přebalit a mokrou plenu vyměnit za suchou. Plena s radioaktivní močí se vyhazuje

do odpadkových košů na oddělení, které podléhají speciální likvidaci z důvodu radiační ochrany. Pacient se opět položí zády na vyšetřovací stůl gamakamery a je provedena krátká postmikční scintigrafie, kde se nám ukáže i vyprázdněný močový měchýř. Pacient i se svým doprovodem je poučen o chování po radionuklidovém zobrazování. Pacient by se měl po dobu 24 hodin vyhybat blízkému kontaktu s dětmi nebo těhotnými ženami. Dále je důležité dostatečné pití tekutin, které vede k častějšímu močení, tím pádem i k rychlejšímu vylučování radiofarmaka z těla a snížení radiační zátěže.

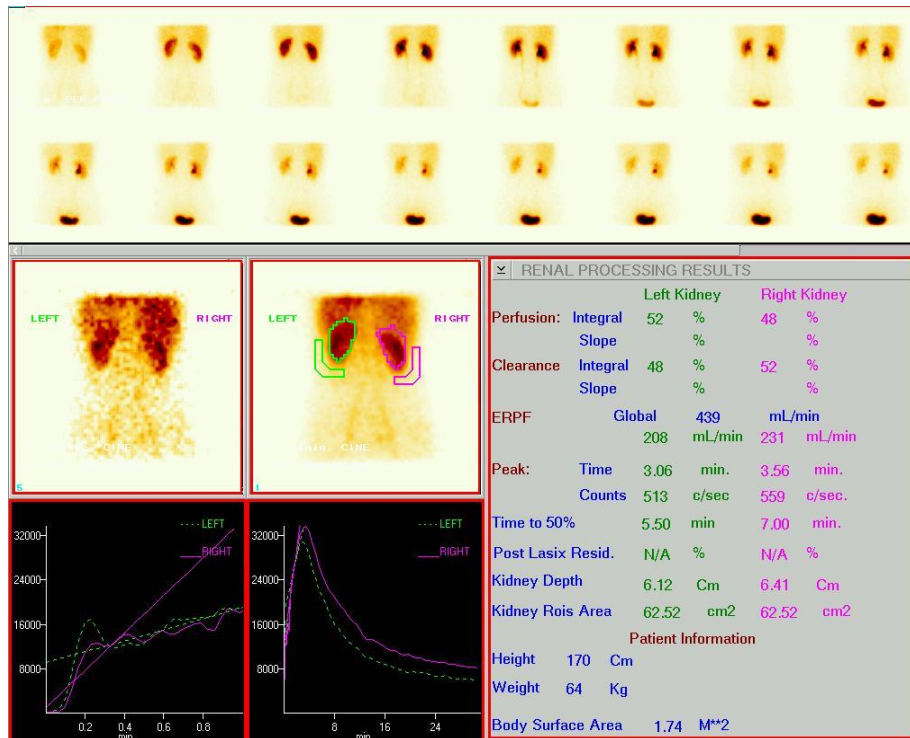
Jako poslední je proveden snímek prázdné injekční stříkačky, ve které bylo použité radiofarmakum. Jak již bylo zmíněno, toto později slouží k porovnávání a vyhodnocování výsledků.

3.1.5 Zpracování a vyhodnocení výsledků

Snímky se po dokončení celého protokolu upravují, sčítají a vyhodnocují podle speciálního vyhodnocovacího programu. Na výsledcích se podílí všechny části vyšetření – perfúzní fáze, fáze s radiofarmakem v parenchymu, ale také fáze, kdy už moč odtéká močovými cestami. Speciálním programem se vytváří histogram, který lékařům zobrazuje nefrografické křivky ukazující časový průběh radiofarmaka $^{99m}\text{Tc-MAG3}$ vychytávaného v ledvinách a jeho následné odtékání (Koranda et al., 2017).

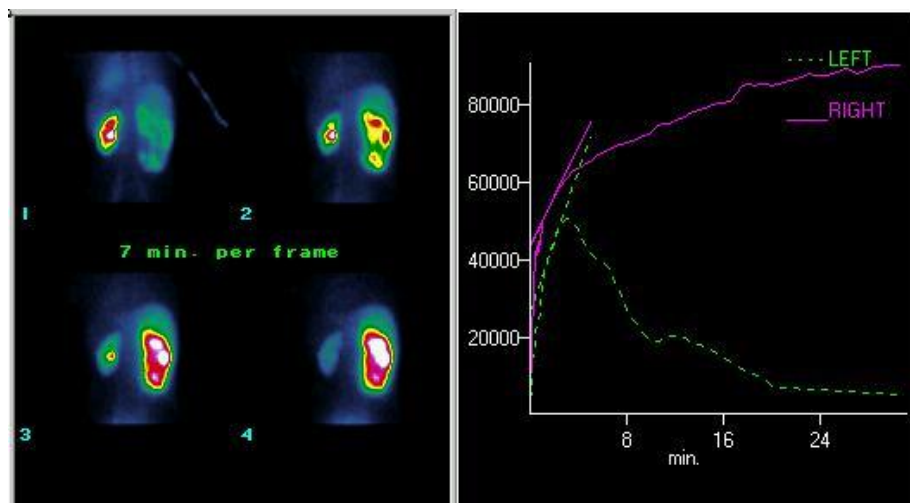
V systému se všechny pořízené snímky sčítají a dochází k přesnějšímu vyhodnocování morfologie. Zakreslí se oblasti zájmu (ROI), kterými jsou samozřejmě obě ledviny. Oblasti zájmu i s okolními tkáněmi jsou důležité pro získání křivek grafu, kde je čas závislý na aktivitě vylučovaného radiofarmaka. Výsledkem je diferenciální funkce ledvin, která nám v procentech vyjadřuje vychytávání radiofarmaka v pravé i levé ledvině. Norma hodnot tohoto vyšetření se pohybuje v rozmezí 45% až 55% (Mansi et al., 2016).

Na obrázku č. 9 je viditelný výsledek vyšetření dynamické scintigrafie ledvin. Výsledek vyšetření v tomto případě představuje normální nález. To znamená, že v rámci výsledku dochází k normálnímu odtoku moči z obou ledvin močovody do močového měchýře. Vzhledem k normální funkci nebylo tedy potřeba v průběhu vyšetření aplikovat diuretikum, které slouží k zvýšení tvorby moči a jejímu následnému odtoku.



Obrázek 9 - Výsledek vyšetření dynamické scintigrafie ledvin: normální nález (Doležal, 2022)

Následující obrázek č. 10 představuje výsledek vyšetření dynamické scintigrafie ledvin s patologickým nálezem. V rámci nálezu dochází k hydronefróze pravé ledviny. Tento nález znamená stagnaci moči v dilatované pánvičce pravé ledviny. Růžová křivka, která zobrazuje funkci pravé ledviny, ukazuje negativní odezvu na podané diuretikum Furosemid. Tím pádem je jednoznačně patrné, že se v pravé ledvině nachází překážka, která brání odtoku moči.



Obrázek 10 - Výsledek vyšetření dynamické scintigrafie ledvin: patologický nález (Doležal, 2022)

3.2 Statická scintigrafie ledvin

3.2.1 Indikace

Děti jsou k tomuto vyšetření ve většině případech posílány z dětských oddělení nebo přímo z nefrologických poradén. Zejména u dětí je častou indikací podezření na patologické uložení ledviny, či její vrozené anomálie, kdy se zkoumá celkový vzhled, tvar a velikost ledvin. Díky vychytávání RF v parenchymu ledvin se využívá k detekci ložisek v korovém parenchymu. Mezi časté indikace statické scintigrafie řadíme potvrzení nejasné akutní pyelonefritidy a hodnocení postpyelonefritických jizev, které se mohou vytvořit po prodělání zánětu. Statická scintigrafie se dá využít jak alternativa rentgenových vyšetření, kdy pacient trpí alergií na rentgenovou kontrastní látku. Dále nachází uplatnění k získání informací o renální tkáni při poranění ledvin (Kupka et al., 2015).

Vhodnou indikací se stává stanovení poměru funkce obou ledvin při jejich ektopickému uložení, kdy dynamická scintigrafie má nepřesné výsledky. Nebo například stanovení funkce jednotlivých částí konkrétní ledviny, výsledek poté určuje další terapeutický krok a rozhoduje především o typu a průběhu operace. Při onemocnění ledvin má v současné době největší přínos sonografie, která má výhodu v absenci ionizující záření. Statická scintigrafie je, ale nenahraditelná, jestliže se jedná o zobrazení funkčních vlastností parenchymu ledvin (Koranda et al., 2017).

3.2.2 Radiofarmakum

Nejlepším a nejpoužívanějším radiofarmakem pro statickou scintigrafii ledvin je $^{99m}\text{Tc-DMSA}$, které vykazuje velmi vysoké vychytávání v ledvinách, ale zároveň pomalé vylučování močí. Proto se hodí pro zobrazování ledvinné kůry (Mansi et al., 2016).

$^{99m}\text{Tc-DMSA}$ se z krve dostává do tubulárních buněk, kde se ireversibilně váže v plazmě tubulární fixací a nevylučuje se. Malá část aplikovaného radiofarmaka se vylučuje močí a při poruše drenáže ledviny se hromadí v kalichopánvičkovém systému delší dobu. Což způsobuje rušení skenovaných snímků. Proto se scintigrafie obvykle provádí za 2 až 3 hodiny po aplikaci do periferní žíly. Zhruba 40% aplikované aktivity se váže v proximálních tubulech již během první hodiny po aplikaci, za dalších pět hodin dochází k maximální akumulaci, která je kolem 60%. U dětí se aktivita pohybuje v řádech desítek MBq. Větší množství se podává v případech, kdy je využít kolimátor pinhole (Kupka et al., 2015; Koranda et al., 2017).

Aktivita aplikovaná pacientovi s hmotností 70 kg je 185 MBq intravenózně do periferní žíly. Při vyšetření prováděného u dětí je důležité přepočítání aplikované aktivity RF podle hmotnosti

pacienta. Tento přepoččet se řídí přepoččtovou tabulkou č. 3, která je již uvedena v předchozí podkapitole 3.1.2.

3.2.3 Příprava pacienta před vyšetřením

Při přípravě pacienta na vyšetření statické scintigrafie ledvin není zapotřebí žádných zvláštních požadavků. I v tomto případě jsou zejména důležité aspekty, které byly již zmiňovány při přípravě pacienta na vyšetření dynamické scintigrafie ledvin, jak již bylo vysvětleno v podkapitole 3.1.3 této části bakalářské práce.

Platí tedy i nadále, že pacient může před vyšetřením normálně jíst a pít. S tím také souvisí to, že je zapotřebí, aby se pacient včas dostavil na závazný termín daného vyšetření. Důležitou součástí přípravy pacienta je tedy také nezbytnost předložení žádanky od indukujícího lékaře a vlastní kartičky pojištěnce. Co se týče dětských pacientů, i těm je do věku 6 let zavedena kanyla do periferní žíly – ta se však před samotným vyšetřením zavádí přímo na dětské klinice. Stejně i v tomto případě slouží kanyla k aplikaci radiofarmaka. K hladkému průběhu vyšetření a komfortu dětských pacientů napomáhají nadále využívání menších jehel při zavádění, hračky pro odvedení pozornosti či lokální znecitlivující gel. Samozřejmostí je vhodný způsobem komunikace s dětským pacientem za účelem zajištění optimálního stavu psychiky dítěte. Tomuto napomáhá také přítomnost rodičů. Klidný stav dětského pacienta je totiž důležitý pro správné provedení vyšetření a získání kvalitních výsledků.

3.2.4 Provedení vyšetření

Jako před každým vyšetřením na nukleární medicíně se pacient po telefonické domluvě či osobním objednání dostaví na stanovené vyšetření. Daný termín i čas objednání je nezbytné dodržet. Radiologický asistent několik dní před objednaným termínem ověří, zda pacient nezapomněl a dostaví se.

Po příchodu se pacient nahlásí na kartotéce a s radiologickým asistentem provede prvotní administrativní úkony. Tyto úkony zahrnují především zkontrolování žádanky a vytvoření účtu, čímž dojde k zadání pacienta do nemocničního systému. Dále se nadepíše papírová karta, do které se zakládají všechny tištěné výsledky vyšetření. Přední strana desek karty obsahuje celé jméno pacienta i s jeho případnými tituly, rodné číslo, číselný kód zdravotní pojišťovny, aktuální váhu a výšku pacienta, a také seznam uplynulých vyšetření. Dalším krokem je podepsání informovaného souhlasu se statickou scintigrafií ledvin.

Pacient se posadí do čekárny a vyčkává na vyzvání od radiologického asistenta do aplikační místnosti. Jestliže se jedná o dětského pacienta, rodič ho doprovází po celou dobu vyšetření.

Lékař vysvětlí pacientovi, i jeho případnému doprovodu, jakým způsobem bude vyšetření probíhat. Odebere rodinnou i osobní anamnézu. Zeptá se na aktuální fyzický i psychický stav pacienta

a vyžádá si informace o tom, zda pacient užívá dlouhodobě či krátkodobě nějaké léky. Na otázky ohledně aktuálního fyzického i psychického stavu dětských, ale i dospělých pacientů, je zapotřebí brát ohled zejména proto, aby vyšetření proběhlo v pořádku. V rámci vyšetření může dojít k úzkostem nebo například klaustrofobii. Úzkostem a strachu lze předejít zvolením vhodného rozhovoru uzpůsobeného věku pacienta. Odvést pozornost se dá komunikací například o rodině, zájmech či počasí. V momentu, kdy si pacient není jistý, zda netrpí klaustrofobií, je nutné pacienta ještě před aplikací RF zkusit nanečisto položit do gamakamery.

Před samotnou aplikací radiofarmaka se nesmí zapomínat na kontrolu totožnosti pacienta. Poté nastává čas samotné aplikace radiofarmaka ^{99m}Tc -DMSA intravenózně do periferní žíly. Radiofarmakum o správné aktivitě je připraveno radiofarmaceutkou v laboratoři a následně radiologickým asistentem nataženo do injekční stříkačky, která je samotná chráněná olověným krytem. Stříkačka i s krytem je ještě umístěna v obalu, který okolí chrání před ionizujícím zářením, viz obrázek č. 9.



Obrázek 11 - Olověné stínění na stříkačku (zdroj vlastní, 2023)

Připravená stříkačka se označuje štítkem se jménem pacienta, druhem radiofarmaka a jeho aktivitou. Vše se zapisuje do aplikační knihy. Jak už bylo zmíněno u předchozího vyšetření, dětem do 6 let se RF aplikuje pouze do předem zavedené kanyly z dětské kliniky. Starším pacientům se aplikuje přímo do žíly. Pacient je poučen o dostatečné hydrataci. Může se

libovolně pohybovat po okolí a jíst. Ve stanovený čas však musí být pacient zpětně přítomen v čekárně.

Statická scintigrafie ledvin se zahajuje nejdříve dvě hodiny po aplikaci RF. Těsně před začátkem vyšetření je zapotřebí, aby se pacient vymočil. Opět se aktivně zkontroluje jméno pacienta. Pacient se položí na záda na vyšetřovací stůl gamakamery. Ruce má zvednuté a položené za hlavou, které je položena na polštářku. Poloha pacienta je demonstrována na následujícím obrázku č. 12.



Obrázek 12 - Poloha pacienta při statické scintigrafii ledvin (zdroj vlastní, 2023)

Během vyšetření je velmi důležité, aby pacient byl v naprostém klidu a co nejméně se hýbal. K fixaci pacienta slouží pásy na suchý zip. U menších dětí se využívá přidržování, hlavně nohou doprovodem třeba pomocí prostěradla. Vzhledem k délce vyšetření se rodičům doporučuje, aby dětem donesly oblíbené hračky pro uklidnění.

Vyšetření se provádí na dvouhlavé kameře, jelikož se zhotovují snímky z přední i zadní projekce. To, jak dvouhlavá kamera vypadá, znázorňuje obrázek č. 13. Shodně s předcházejícím vyšetřením popisovaným v podkapitole 3.1.4. gamakameru osazujeme paralelním, nízkoenergetickým kolimátorem s vysokým rozlišením. Centruje se na oblast ledvin. Nejprve se provádí krátký statický snímek. Poté následuje SPECT, který trvá přibližně 15 minut.

Po skončení vyšetření je doporučeno, aby se pacient vyhýbal dětem a těhotným ženám, z důvodu vyzařování ionizujícího záření. S ohledem na vyloučení radiofarmaka z těla, je nutný dostatečný příjem tekutin za účelem častějšího močení.



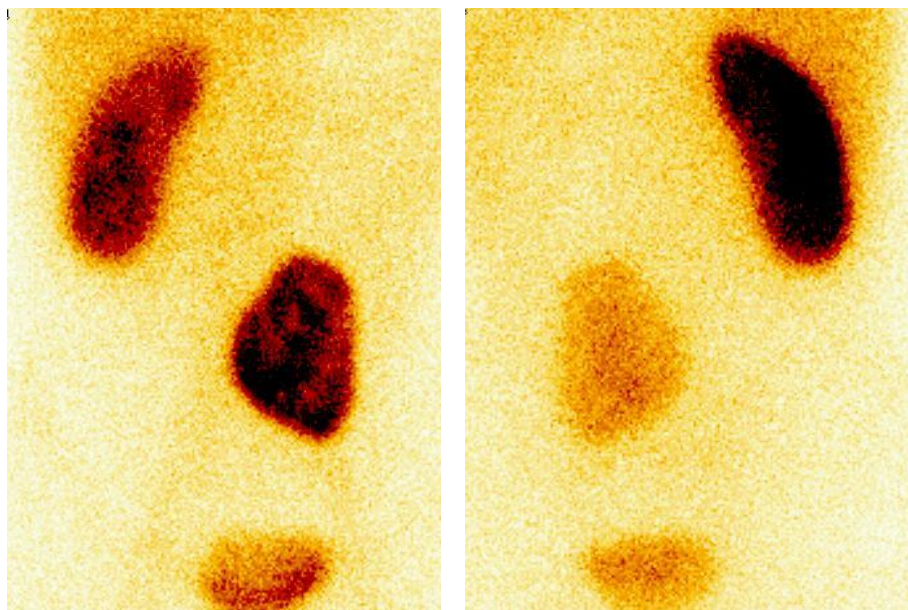
Obrázek 13 - Gama-kamera (zdroj vlastní, 2023)

3.2.5 Zpracování a vyhodnocení výsledků

Po skončení všech projekcí je soubor snímků uložen do nemocničního systému. Popis vyšetření je vytvořen lékařem na oddělení a je elektronicky nebo poštou zaslán indikujícímu lékaři.

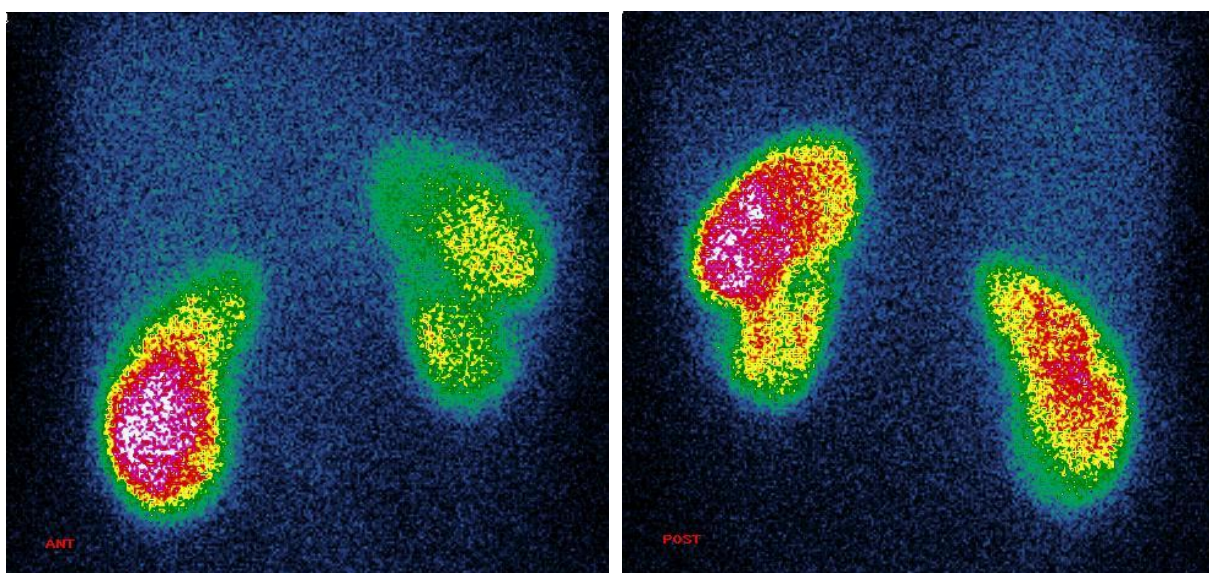
Snímky se přednostně vyhodnocují v monochromatické stupni šedi na základě oblasti zájmu (ROI). Diferenciální funkce ledvin se vyjadřuje v procentech a vypočítává se pomocí geometrických průměrů z přední a zadní projekce. Při zobrazování ledvin normální morfologie, rozměrů a polohy, lze za určitých podmínek opomenout snímky z přední projekce (Mansi et al., 2016).

Snímky ze statické scintigrafie ledvin prováděné pomocí radiofarmaka ^{99m}Tc -DMSA z přední a zadní projekce jsou zobrazeny na následujícím obrázku č. 14. Jedná se o 9letého chlapce trpícího dystopií levé ledviny. Patologický nález z vyšetření statické scintigrafie ledvin představuje vrozené nesprávné uložení ledviny mimo obvyklé místo. Uložena bývá nejčastěji v oblasti pánve, jak je vidět i na tomto zmíněném obrázku.



Obrázek 14 - Výsledek vyšetření statické scintigrafie ledvin: dystopie (Doležal, 2022)

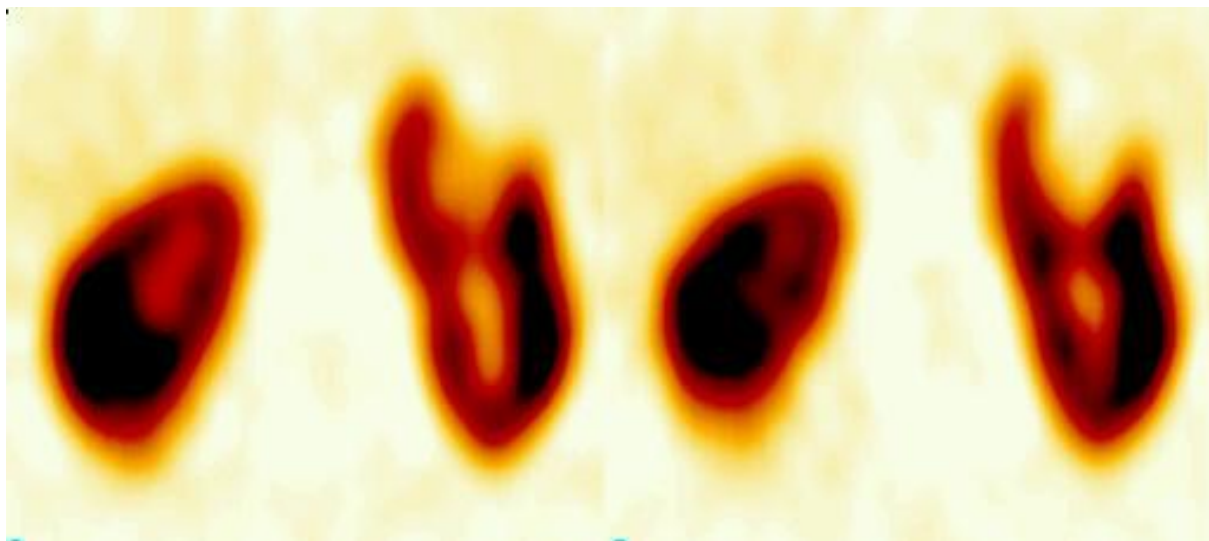
Obrázek č. 15 zobrazuje přední a zadní projekci ze statické scintigrafie ledvin prováděné u 17leté dívky. Patologický nález na levé ledvině ukazuje známky akutní pyelonefritidy (bakteriálního zánětu) v dolní části, zobrazující se jako fotopenické ložisko akumulace radiofarmaka.



Obrázek 15 - Výsledek vyšetření statické scintigrafie ledvin: pyelonefritida (Doležal, 2022)

Další patologický nález, zobrazený na obrázku č. 16, představuje kortikální cystu. Z výsledku vyšetření statické scintigrafie a SPECT u 13letého chlapce je viditelné fotopenické ložisko

v horní části levé ledviny, které představuje právě cystu v kůře ledviny. Cysta dosahuje průměru 32 mm.



Obrázek 16 - Výsledek vyšetření statické scintigrafie ledvin: cysta (Doležal, 2022)

3.3 Scintigrafie Meckelova divertiklu

Meckelův divertikl je, jak již bylo zmíněno v teoretické části, vrozená anomálie trávicího traktu. Ve velké části divertiklů je přítomna ektopická žaludeční sliznice. Tento fakt je odpovědný za základní princip tohoto vyšetření. A to tedy, že scintigrafií se prokazuje ektopická žaludeční sliznice v Meckelově divertiklu.

Scintigrafie Meckelova divertiklu je jediná neinvazivní diagnostická metoda, které dokáže ektopickou žaludeční sliznici detekovat (Koranda et al., 2017).

3.3.1 Radiofarmaka

Průkaz ektopické žaludeční sliznice v Meckelově divertiklu se provádí pomocí ^{99m}Tc -pertechnetátu sodného. Fyziologická akumulace pertechnetátu sodného je v 1. a 2. mozkové komoře, v mucinózních buňkách žaludeční sliznice a ve slinných žlázách.

Podávaná aktivita ^{99m}Tc -pertechnetátu sodného je 1,85 MBq na kilogram hmotnosti pacienta. Toto radiofarmakum se aplikuje intravenózně do periferní žíly. Minimální dávka však musí být alespoň 9,25 MBq a maximální dávka 370 MBq (Mansi et al., 2016).

Pro vyšetření může být případně využit také technecistan ($^{99m}\text{TcO}_4^-$), který se shodně vychytává v žaludeční sliznici a je podáváno intravenózně (Koranda et al., 2017). Pro účely této bakalářské práce se nadále bude zabývat pouze prvním zmíněným radiofarmakem.

3.3.2 Příprava před vyšetřením

Při přípravě pacienta na scintigrafii Meckelova divertiklu se obecně doporučuje, aby byl pacient alespoň 4 hodiny nalačno. V naléhavých případech však může být vyšetření provedeno i bez lačnění. Dále je také důležité, aby bylo pacientovi toto vyšetření provedeno pouze v případech, kdy nedošlo k žádnému jinému významnému vyšetření podobného typu. To by totiž mělo za následek to, že by výsledky scintigrafie Meckelova divertiklu nebyly relevantní.

V některých případech se může doporučovat premedikace, která zvyšuje citlivost testů, ale však není podmínkou pro provedení vyšetření. Taková premedikace může představovat využití antagonisty histaminových H₂ receptorů. Může se jednat o tyto receptory: famotidin, cimetidin a ranitidin (Mansi et al., 2016).

Co se týče dalších prvků přípravy pacienta, vše se především řídí již zmíněnými postupy přípravy, které byly v této bakalářské práci uvedeny u předchozích dvou příprav na vyšetření, a to u dynamické scintigrafie ledvin (podkapitola 3.1.3) a statické scintigrafie ledvin (podkapitola 3.2.3). V rámci přípravy tedy platí, že:

- dojde k předložení žádanky od indikujícího lékaře a kartičky pojištěnce,
- dětem do věku 6 let je opět zavedena kanyla do periferní žíly,
- důležitý je klidný psychický stav pacienta, případě dětských pacientů klidnému psychické stavu nadále napomáhá součinnost s rodiči (doprovodem) dítěte, klidný způsob komunikace a doplňky pro odvedení pozornosti – například hračky.

3.3.3 Provedení vlastního vyšetření

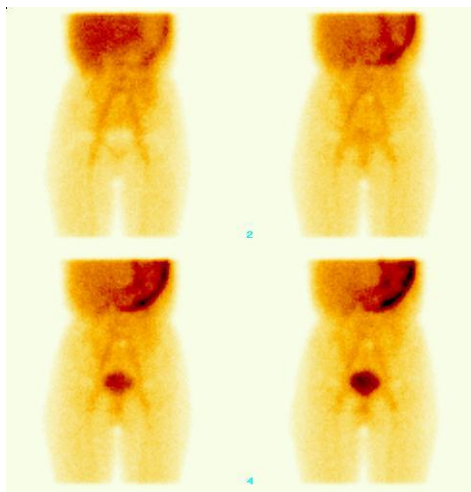
Provedení vlastního vyšetření se nijak zásadně neliší od prováděná předchozích dvou vyšetřeních zmíněných v této bakalářské práci, a to v podkapitolách 3.1.4 a 3.2.4. Opět se provedou již zmíněné administrativní úkony a hlavně podpis souhlasu s radionuklidovým vyšetřením. Vysvětlí se průběh vyšetření a provede se ověření psychického a fyzického stavu pacienta. Zásadním krokem, který je potřeba zopakovat je aktivní identifikace pacienta a kontrola přípravy a aplikace správného radiofarmaka.

Průkaz ektopické žaludeční sliznice se provádí jako dynamická scintigrafie dutiny břišní. Pacient se uloží na záda na stůl gamakamery a zacentruje se na oblast břicha. Radiofarmakum ^{99m}Tc-pertechnetát sodný se podává přímo do žíly těsně před spuštěním vyšetřovacího protokolu. Dynamická scintigrafie Meckelova divertiklu z přední projekce trvá 20 až 60 minut. Jako u většiny radionuklidových vyšetření je kamera osazena paralelním, nízkoenergetickým kolimátorem s vysokým rozlišením.

3.3.4 Zpracování a vyhodnocení výsledků

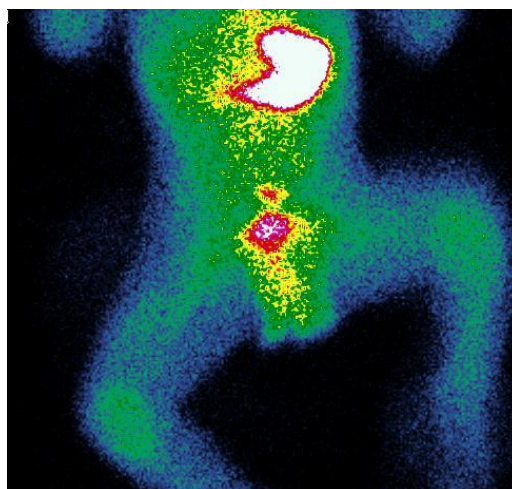
Ektopická žaludeční sliznice Meckelova divertiklu se na výsledných snímcích zobrazuje jako ložisko zvýšené akumulace radiofarmaka, a to ve stejnou chvíli jako se zobrazuje sliznice žaludku. Při zvolení vhodných parametrů se spolehlivost vyšetření uvádí kolem 90% (Kupka et al., 2015).

Normální nález z vyšetření scintigrafie Meckelova divertiklu je na obrázku č. 17. Z obrázku je patrné, že v rámci normálního nálezu není patrná ektopická žaludeční sliznice. Fyziologicky zvýšená akumulace ^{99m}Tc -pertechnetátu sodného je viditelná v žaludku a v močových cestách, jelikož je radiofarmakum z těla vylučováno močí.



Obrázek 17 - Výsledek vyšetření Meckelova divertiklu: normální nález (Doležal, 2022)

Z obrázku č. 18 je patrný patologický nález v podobě zvýšené akumulace radiofarmaka ^{99m}Tc -pertechnetátu sodného v ektopické žaludeční sliznici Meckelova divertiklu uloženém nad močovým měchýřem.



Obrázek 18 - Výsledek vyšetření: Meckelův divertikl (Doležal, 2022)

4 DISKUZE

Diskuze této bakalářské práce bude založena na porovnávání postupů radionuklidových vyšetření dětských pacientů ve třech různých nemocnicích v České republice. Pro přehlednost při porovnávání se budou označovat jako nemocnice A, nemocnice B a nemocnice C. Při porovnávání se bude postupovat od obecných poznatků z oddělení nukleární medicíny v nemocnicích ke konkrétním rozdílům a zvláštnostem radionuklidových vyšetření.

Nemocnice A a nemocnice C se snaží neklidu a pohybu dětí zamezit nebo ho omezit na přijatelnou úroveň asistencí rodičů (doprovodu) v průběhu celého vyšetření. Rodičům je doporučováno přinesení vlastních hraček na odvedení pozornosti. Důležitým krokem je přidržování dětí rukama, či s pomocí přeloženého prostěradla. Nemocnice B velmi často volí mírnou analgosedaci, hlavně z důvodu správného průběhu celého vyšetření, zhotovení kvalitních výsledků a vyhnutí se nutnosti vyšetření opakovat kvůli pohybům vyšetřovaných dětí. Volba, zda je analgosedace nutná, závisí na věku dětského pacienta i na jeho psychickém stavu a schopnosti vyšetření zvládnout. Při využití analgosedace se dítě musí hospitalizovat na dětském oddělení v den plánovaného vyšetření, protože se po skončení vyšetření musí na pokoji dostat. Když je vše v pořádku, odchází s rodiči za několik hodin domů. Vyšetření s analgosedací se kromě radiologických asistentů účastní primář oddělení nukleární medicíny i primář z dětského oddělení, který analgosedaci provádí. Dalším rozdílem v nemocnici B je používání vakuové dlahy, do které se pacient pokládá a ta se následně vyfoukne a utáhne páskami na suchý zip. Dítěti je poté zamezeno výraznému pohybu nohou, který by mohl zhoršovat kvalitu vyšetření.

Ve všech nemocnicích je samozřejmostí podpis souhlasu se vstupem do kontrolovaného pásma. Tento souhlas podepisují doprovázející osoby, u dětí převážně rodiče. Tento postup je u všech nemocnic stejný, ale v nemocnici B je ještě zapůjčován dozimetr pro kontrolu získané dávky.

Všechny nemocnice mají nastavené, že děti přicházejí s již zavedenou kanylou z dětského oddělení. V nemocnici A je jasně daná hranice věku, do které dítě musí mít zavedenou kanylu z dětského oddělení. Tato podmínka je tedy nastavena u dětí do 6 let. U ostatních dvou nemocnic se o zavedení kanyly na dětském oddělení rozhoduje především podle fyzického a psychického stavu, schopnosti spolupráce, či velikosti vyšetřovaného dítěte.

Průběh dynamické scintigrafie ledvin se v jednotlivých popisovaných nemocnicích odlišuje. V první řadě je porovnávána rozdílnost mezi nemocnicí A a nemocnicí C. V nemocnici C se nejprve provádí dynamické snímky vleže na zádech po dobu 20 minut, následně dynamické

snímkování trvající 5 minut ve svislé poloze, kdy dítě stojí, či je rodiči drženo zády k detektoru. Poslední krátké snímky dynamiky vleže jsou prováděny po 30 až 60 minutách a také trvají přibližně 5 minut. Před touto poslední fází vyšetření ledvin je nutné vymočení a u nejmenších dětí přebalení do suché pleny, která není znečištěna radioaktivní močí. Dále v nemocnici C se také pro co největší přiblížení ledvin, tedy zad, k detektoru u větších dětí i dospělých používá molitanový válec pod kolena. Zatímco v nemocnici A se pacient, pro účel této bakalářské práce přesněji dětský pacient, položí na záda na stůl gamakamery a je provedena série několika snímků ze zadní projekce po dobu 30 minut pouze ve vodorovné poloze vleže s detektorem pod zády.

V porovnávaných nemocnicích se v současné době pro dynamickou scintigrafii ledvin výhradně používá radiofarmakum $^{99m}\text{Tc-MAG3}$.

U statické scintigrafie ledvin je na různých odděleních rozdíl v aplikované aktivitě normálnímu pacientovi o hmotnosti 70 kg. V nemocnici A je podle místních diagnostických referenčních úrovní aplikovaná aktivita o hodnotě 185 MBq. V nemocnici B se přepočítání aktivity pro děti podle přepočtových tabulek odvíjí od aplikované aktivity 250 MBq pro pacienta o hmotnosti 70 kg.

Posledním vyšetřením konkrétně popsáním v praktické části bakalářské práce je scintigrafie Meckelova divertiklu a průkaz jeho ektopické žaludeční sliznice. Toto radionuklidové vyšetření má ve všech zmiňovaných nemocnicích shodně nastavené standardy a nevykazuje žádné diametrální rozdíly jak v přípravě vyšetření, tak ani v celém jeho průběhu.

Rozdíly při jednotlivých vyšetřeních se tedy prakticky odvíjejí hlavně od možností oddělení. Zohledňují velikost, uspořádání zařízení a provozní možnosti. Dále také zvyklosti lékařů a radiologických asistentů.

5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na zvláštnosti při vyšetřování dětí radionuklidovými metodami. Zabývala se teoretickými znalostmi z oboru nukleární medicíny, ale hlavně praktickými zákonitostmi, kterými je nutné se řídit při vyšetřeních u všech pacientů, ale zvláště u pacientů dětského věku.

V teoretické části bakalářské práce byly popsány základní fyzikální pojmy důležité pro pochopení principů nukleární medicíny. Teoretická část obsahovala obecné informace o nukleární medicíně, radiofarmakách, ale i o přístrojovém vybavení oddělení nukleární medicíny. Čtenář se dozvěděl o důležitosti dodržování principů radiační ochrany, kterými se před ionizujícím zářením chrání pracovníci i pacienti. V neposlední řadě byla popsána anatomie ledvin a Meckelův divertikl.

Praktická část se zabývala konkrétními radionuklidovými vyšetřeními, kterými byly dynamická scintigrafie ledvin, statická scintigrafie ledvin a scintigrafie Meckelova divertiklu. Byla zde vysvětlena příprava pacienta, postup vyšetření, druhy používaných radiofarmak i zhodnocení výsledků vyšetření. Součástí praktické části byla také věcná diskuze zaměřená na rozdílnost, respektive porovnávání postupů vyšetření dětských pacientů ve třech různých nemocnicích v České republice.

V praktické části této bakalářské práce byly zjištěny rozdíly při vyšetřeních u jednotlivých nemocnic ČR. Tyto rozdíly pramenily především z odlišnosti v postupech při fixaci dětských pacientů u jednotlivých vyšetřeních a z aplikovaných aktivit radiofarmak u statické scintigrafie ledvin. U vyšetření Meckelova divertiklu nebyly zjištěny zásadní rozdíly v průběhu vyšetřeních u jednotlivých nemocnic.

Obecně se dá říci, že obor nukleární medicíny je rychle se rozvíjejícím oborem, u kterého se dá očekávat, že s příchodem nových technologií budou zmiňovaná vyšetření prováděna s přesnějším diagnostickým výsledkem a ještě s vyšší úrovní péče o pacienty. Lze tedy očekávat, že rozdílů při postupu jednotlivých vyšetření ve zmiňovaných nemocnicích bude přibývat, avšak s ohledem na dostupnost nových technologií, bude kvalita zdravotnické péče na vyšší úrovni, než je nyní.

S ohledem na teoretické vymezení řešené problematiky a následné provedení praktické části lze chápat významnost tohoto tématu, díky němuž byl naplněn stanovený cíl práce v podobě seznámení čtenáře se zvláštnostmi radionuklidového zobrazování u dětí.

6 POUŽITÁ LITERATURA

6.1 Primární zdroje

BENEŠ, J. et al., 2015. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada. 224 s. ISBN 978-80-247-4712-5.

HUDÁK, R. et al., 2017. *Memorix anatomie*, 4. vydání. Nakladatelství TRITON. 632 s. ISBN 978-80-7553-420-0.

KUBINYI, J. et al., 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing. 304 s. ISBN 978-80-271-0168-9.

KUPKA, K. et al., 2015. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). Praha: P3K. 161 s. ISBN 978-80-87343-54-8.

MANSI, L. et al., 2016. *Clinical Nuclear Medicine in Pediatrics*. Švýcarsko: Springer International Publishing Switzerland. 380 s. ISBN 978-3-319-21371-2.

ROSINA, J. et al., 2021. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. 2., doplněné vydání. Praha: Grada Publishing. 295 s. ISBN 978-80-271-2526-5.

6.2 Sekundární zdroje

BENEŠOVÁ, M. et al., 2014. *Odmaturuj z chemie*. Druhé, přepracované vydání. Brno: Didaktis. 192 s. ISBN 978-80-7358-232-6.

HAVLÍČEK, K. et al., 2019. *Anatomické listy*. 4. doplněné vydání. Pardubice: Univerzita Pardubice. 135 s. ISBN 978-80-7560-242-8.

HAVLÍČEK, K. et al., 2019. *Stručná anatomie lidského těla*. Pardubice: Univerzita Pardubice. 135 s. ISBN 978-80-7560-192-6.

MAREČEK, Aleš a Jaroslav HONZA. *Chemie pro čtyřletá gymnázia* 1. díl. Brno, 2013. Třetí opravené vydání. ISBN 80-902402-0-8.

6.3 Odborné články

KOVÁČIK, A. et al., 2021. *Technologie a příprava radiofarmak na odděleních nukleární medicíny*. *Praktické lékařství* [online]. Solen, 17(3), 171-174 [cit. 2023-03-21]. ISSN 1803-5329.

6.4 Internetové zdroje

CLEVELAND CLINIC, 2020. Meckel's Diverticulum. In: *Clevelandclinic.org* [online]. [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/14738-meckels-diverticulum>

DIAL-NEFRO, 2023. Funkce ledvin. In: *dial-nefro.cz* [online]. [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.dial-nefro.cz/funkce-ledvin/>

EANM, 2016. Dosage card. In: *eanm.org*. [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/2017/01/EANM_Dosage_Card_040214.pdf

FNHK, 2023. Scintigrafie. In: *fnhk.cz* [online]. [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.fnhk.cz/onm/scintigraficke-metody/scintigrafie>

MEDIPROFI, 2013. Principy ochrany před nežádoucími účinky ionizujícího záření. In: *mediprofi.cz* [online]. [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: https://www.mediprofi.cz/33/principy-ochrany-pred-nezadoucimi-ucinky-ionizujiciho-zareni-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4ElMAVc_29gcm80Go3HSj2zRqEM3TRLOvJQ/

MVČR, 2023. Radiační ochrana. In: *mvcr.cz* [online]. [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/pojmy-radiacni-ochrana.aspx>

NZIP, 2023. Radionuklid. In: *nzip.cz* [online]. [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/3004>

SUJB, 2023. Dozor nad radiační ochranou. In: *sujb.cz* [online]. [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/uvod>

6.5 Ostatní

DOLEŽAL, Jiří. 2022. Diagnostický kvíz. In: *Portal IS/STAG UPCE*. [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html?pc_pagenavigationalstate=AAAAAQAEOTU2NxMAAAAAAA**

DOLEŽAL, Jiří. 2022. GIT. In: *Portal IS/STAG UPCE*. [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html?pc_pagenavigationalstate=AAAAAQAEOTU2NxMAAAAAAA**

DOLEŽAL, Jiří. 2022. Ledviny. In: *Portal IS/STAG UPCE*. [online]. [cit. 2023-04-02].
Dostupné z: https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html?pc_pagenavigationalstate=AAAAAQAEOTU2NxMAAAAAAA**