

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Marie Hlavsová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory - úloha
radiologického asistenta

Marie Hlavsová

Bakalářská práce

2020

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Marie Hlavsová**
Osobní číslo: **Z17468**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory – úloha radiologického asistenta**
Zadávající 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:

1. KORANDA, Pavel (2014). *Nukleární medicína*. 1. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-802-4440-36.
2. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK (2012). *Radiofarmaka*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta. ISBN 978-80-7464-183-1.
3. KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK (2018). *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně: a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. 1. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-2162-5.
4. SEDLÁČKOVÁ, Eva a Viera BAJČIOVÁ (2016). *Neuroendokrinní nádory*. Praha: Maxdorf. ISBN 978-80-7345-468-5.
5. SHARP, Peter F., Howard G. GEMMELL a Alison D. MURRAY (2005). *Practical Nuclear Medicine*. 3rd edition. London: Springer. ISBN 978-1-85233-875-6.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. MUDr. Jiří Doležal, Ph.D.**
FNHK

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2020**

L.S.

doc. Ing. Jana Holá, Ph.D.
děkanka

Mgr. Jan Pospíchal, Ph.D.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ AUTORA

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

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. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10.06.2020

Marie Hlavsová

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce, doc. MUDr. Jiřímu Doležalovi, Ph.D. za vedení práce, cenné rady a konstruktivní kritiku, které mi pomohly při zpracování.

ANOTACE

Bakalářská práce se věnuje tématu s názvem SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory a je prováděno na oddělení nukleární medicíny. V teoretické části probíhá seznámení s oborem nukleární medicíny, radiační ochranou, přístrojovou technikou, metodami zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory a popisem těchto nádorů. V praktické části je popsána úloha radiologického asistenta při zobrazování nádorů s expresí somatostatinových receptorů. Poznatky, které byly přínosné pro tuto bakalářskou práci, byly získány při odborné praxi na oddělení nukleární medicíny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Radiologický asistent, SPECT/CT, somatostatinové receptory, ionizující záření, gamakamera, radiofarmakum

TITLE

SPECT/CT imaging of somatostatin receptor tumors - Role of radiology assistant

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with the topic called SPECT/CT imaging of tumors with somatostatin receptors and is performed in the department of nuclear medicine. The theoretical part introduces the field of nuclear medicine, radiation protection, instrumentation, methods of imaging tumors with somatostatin receptors and a description of these tumors. The practical part describes the role of a radiological assistant in imaging tumors with somatostatin receptor expression. The knowledge that was beneficial for this bachelor thesis was gained in the professional practice at the Department of Nuclear Medicine.

KEYWORDS

Radiological assistant, SPECT/CT, somatostatin receptors, ionizing radiation, gammacamera, radiopharmaceutical

OBSAH

Úvod.....	12
1 Cíl práce.....	13
2 Teoretická část	14
2.1 Nukleární medicína	14
2.2 Radiologický asistent	14
2.3 Základní fyzikální pojmy	15
2.3.1 Atom a jeho stavba	15
2.3.2 Radioaktivita.....	15
2.3.3 Aktivita a poločas přeměny	16
2.3.4 Interakce ionizujícího záření s látkou	16
2.3.5 Biologické účinky ionizujícího záření	17
2.3.6 Deterministické účinky	18
2.3.7 Stochastické účinky	20
2.4 Radiační ochrana.....	20
2.4.1 Radiační ochrana pracovníků v nukleární medicíně.....	21
2.4.2 Radiační ochrana pacientů v nukleární medicíně	22
2.4.3 Radiační limity.....	22
2.4.4 Klasifikace zdrojů a kategorizace pracovišť.....	22
2.4.5 Kontrolované a sledované pásmo	23
2.4.6 Monitorování	23
2.5 Přístroje využívané v nukleární medicíně	24
2.5.1 Gamakamera	24
2.5.2 Konstrukce a funkce gamakamery.....	25
2.5.3 Scintigrafie.....	25
2.6 Radiofarmakum.....	28
2.6.1 Výroba radionuklidů	28

2.7	Onkologická diagnostika se somatostatinovými receptory	29
2.7.1	Somatostatinové receptory	29
2.8	Zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory	30
2.8.1	¹¹¹ In-pentetreotyd	30
2.8.2	^{99m} Tc-tektrotyd	31
2.8.3	^{99m} Tc-depreotyd	31
2.8.4	Indikace vyšetření	31
2.8.5	Kontraindikace vyšetření	32
2.9	Tumory se somatostatinovými receptory	32
2.9.1	Neuroendokrinní tumory	32
2.9.2	Tumory CNS	36
2.9.3	Další nádory se somatostatinovými receptory	38
3	praktická část	41
3.1	OctreoScan	41
3.1.1	Příprava pacienta před vyšetřením	41
3.1.2	Příprava přístroje a pomůcek	42
3.1.3	Vlastní vyšetření	43
3.2	^{99m} Tc-Tektrotyd	49
3.2.1	Příprava pacienta před vyšetřením	49
3.2.2	Příprava přístroje a pomůcek	49
3.2.3	Vlastní vyšetření	50
4	Diskuze	52
5	Závěr	55
6	Použitá literatura	56
7	Přílohy	62

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 - detekce fotonového záření při vyšetření gamakamerou.....	24
Obrázek 2 - Akvizice a rekonstrukce SPECT obrazu.....	26
Obrázek 3 - Akvizice a rekonstrukce PET obrazu.....	27
Obrázek 4 - Dvouhlavá gamakamera.....	42
Obrázek 5 - Pomůcky pro i.v. aplikaci radiofarmaka.....	43
Obrázek 6 - Poloha pacienta.....	45
Obrázek 7 - Výběr nového protokolu a zadání údajů o pacientovi.....	46
Obrázek 8 - vyšetřovací protokol, OctreoScan.....	46
Obrázek 9 – celotělová scintigrafie.....	47
Obrázek 10 - Otáčení detektorů gamakamery při SPECT/CT vyšetření.....	47
Obrázek 11 - Získaná data z vyšetření odeslaná lékaři k vyhodnocení.....	48
Obrázek 12 - Vyšetřovací protokol, TEKTROTYD.....	50
Obrázek 13 - Polohy pacienta při vyšetření.....	51
Tabulka 1 - Klasifikace karcinoidů.....	33
Tabulka 2 - hodnoty faktoru F podle tělesné hmotnosti dětí a dospělých EANM.....	44

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ACTH	Adrenokortikotropní hormon
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
Bq	Becquerel
cm	centimetr
CNS	Centrální nervový systém
CT	Výpočetní tomografie
ČR	Česká republika
D	Absorbovaná dávka
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
EANM	European Association of Nuclear Medicine
EU	Evropská unie
^{18}F	18 Fluor
Gy	Gray
$^{67, 68}\text{Ga}$	67, 68 Galium
^+H	Vodíkový kationt
$^{125, 131}\text{I}$	125, 131 Jód
ICRP	International Commission on Radiological Protection
^{111}In	111 Indium
keV	Kiloelektronvolt
LET	Linear energy transfer
MBq	Megabecquerel
MR	Magnetická rezonance
mSv	MiliSievert

^{99}Mo	99 Molybden
NET	Neuroendokrinní tumory
^{13}O	13 Kyslík
OH^-	Hydroxidový aniont
ONM	Oddělení nukleární medicíny
PACS	Picture Archiving and Communication Systems
^{239}Pu	239 Plutonium
PET	Pozitronová emisní tomografie
PET/CT	Pozitronová emisní tomografie/výpočetní tomografie
SPECT/CT	Jednofotonová emisní tomografie/výpočetní tomografie
RA	Radiologický asistent
$^{81\text{m}}\text{Rb}$	81 Rubidium - metastabilní
RBÚ	Relativní biologická účinnost
RF	Radiofarmakum
RTG	Rentgenové záření
SÚJB	Státní úřad jaderné bezpečnosti
SSTR	Somatostatinový receptor
^{90}Sr	90 Stroncium
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	99 Technecium - metastabilní
TSH	Thyreotropní hormon
^{235}U	235 Uran
UZ	Ultrazvuk
VIP	Vazoaktivní intestinální polypeptid
WHO	World Health Organization

ÚVOD

Bakalářská práce je zaměřená na téma SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory a na úlohu radiologického asistenta, kterou plní při tomto vyšetření.

SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory je neinvazivní vyšetření a provádí se na oddělení nukleární medicíny. Somatostatinové receptory se nacházejí na povrchu mnoha nádorových buněk a tumorů neuroendokrinního původu. SPECT/CT je série obrazů vyšetřovaného místa, jež jsou snímány z mnoha různých úhlů a z těchto obrazů jsou počítačovou rekonstrukcí vytvořeny tomografické obrazy řezů vyšetřovaného objektu. Vzniká trojrozměrný obraz. Vyšetření odhaluje řadu patologických procesů a změn.

Česká společnost nukleární medicíny uvádí, že vyšetření SPECT/CT má daleko přesnější výsledky a doplňuje řadu vyšetření, díky kterým je stanoven přesný rozsah postižení. Nebýt tohoto vyšetření, pacient by mohl obdržet příznivější hodnocení, než ve skutečnosti je. Každé moderní pracoviště nukleární medicíny by mělo hodnotit dle SPECT/CT obrazů.

Teoretická část popisuje oddělení nukleární medicíny, radiologické asistenty, vybrané fyzikální pojmy a ionizující záření s účinky na živou tkáň. Další kapitolou je radiační ochrana personálu a pacientů. Zmínka je i o přístrojích, které se využívají na oddělení nukleární medicíny a princip SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory. V neposlední řadě jsou uvedeny příklady vybraných druhů nádorů.

V praktické části je podrobně vylíčena příprava pacienta, úloha radiologického asistenta při vyšetření a jeho průběh.

1 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je definovat náplň práce radiologického asistenta při SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory.

- 1) Popis vyšetření SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory.
- 2) Popis pracovních povinností, které má radiologický asistent při zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory.

K dosažení cílů v této práci je položena jedna výzkumná otázka.

- 1) Jaké činnosti radiologického asistenta jsou klíčové pro správně provedené vyšetření SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory?

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Nukleární medicína

Jedním z mnoha lékařských oborů je nukleární medicína. Oddělení nukleární medicíny (ONM) se zabývá diagnostikou a léčbou, kde je využíván radionuklidový zdroj ionizujícího záření, otevřený zářič, který může být ve formě kapalin, aerosolů, plynů nebo jako tuhá látka, tzv. radiofarmakum, které je aplikováno do organismu pacientům. [1, s. 7]

Rozlišují se dvě metody in vivo a in vitro. První metodou je in vivo, kdy je radiofarmakum aplikováno do organismu pacientům přímo, ve většině případů intravenózní cestou. Při scintigrafii a jiných diagnostických vyšetřeních jsou při přeměnách emitovány fotony elektromagnetického záření tj., záření gama a rentgenové záření charakteristické. Jde o záření velice pronikavé, v těle je absorbováno jen částečně a je registrováno vnějšími detektory. Je získán obraz distribuce radiofarmak v organismu a dochází k sledování a hodnocení fyziologických a patologických procesů. Při terapii jsou využívána radiofarmaka, která emitují korpuskulární záření, jež zahrnuje záření alfa a beta. Mají krátký dosah ve tkáni, a proto je radiofarmakum koncentrováno v cílové tkáni. Druhou metodou je in vitro, metoda radioimunoanalytická, stanovuje koncentraci tělních látek, pracuje se se vzorkem krevní plazmy nebo jiné tělní tekutiny. Pacient do styku s radioaktivní látkou nepřichází. [2, s. 7-9]

Zobrazovací metody v nukleární medicíně označované také jako molekulární zobrazovací metody, informují o funkci orgánů, charakteru tkání a o průběhu fyziologických a patologických procesů. Kombinací tomografického nukleárně medicínského a rentgenového zobrazení vznikne hybridní přístroj SPECT/CT (jednofotonová emisní tomografie/výpočetní tomografie) a PET/CT (pozitronová emisní tomografie/výpočetní tomografie), který umožňuje díky fúzi obrazů vytvořit anatomicko-funkční zobrazení. [3, s. 15]

2.2 Radiologický asistent

Radiologický asistent (RA) se řadí do nelékařské zdravotnické profese a uplatňuje se v oborech radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny. Náplň práce RA je popsána v zákoně č. 96/2004 Sb. Radiologický asistent provádí veškeré radiologické zobrazovací a kvantitativní postupy, léčebné aplikace ionizujícího záření a také specifickou ošetrovatelskou péči poskytovanou v souvislosti s radiologickými výkony. Dodržuje a provádí činnosti spjaté s radiační ochranou podle právních předpisů, je řazen do kategorie A, může být řazen i do kategorie B. Děleno podle obdržené efektivní dávky za rok. [4]

Radiologický asistent získává svou odbornou způsobilost vysokoškolským studiem, konkrétně vystudováním oboru Radiologický asistent se standardní dobou studia tří akademických let. Po úspěšných státních zkouškách obdrží student titul bakalář (Bc.). To je umožněno zákonem č. 201/2017 Sb. o podmínkách získání a uznání způsobilosti k výkonu nelékařského zdravotnického povolání a souvisejícími činnostmi s poskytováním zdravotní péče. [5, s. 1-3] Dále existuje akreditované specializační vzdělávání, ve kterém RA získává způsobilost k výkonu specializovaných činností pro nukleární medicínu, radioterapii nebo radiodiagnostiku. Zkoušky jsou skládány před atestační komisí a radiologický asistent obdrží diplom o specializaci. [6]

Na nukleární medicíně RA vykonává činnosti spojené s vyšetřením gamakamerou, SPECT a SPECT/CT, PET a PET/CT, připravuje a asistuje při aplikaci radiofarmaka a provádí terapii otevřenými zářiči. Radiologičtí asistenti mají široké uplatnění. Můžou pracovat na vysoce specializovaných pracovištích, ale i na spádových poliklinikách. [6]

2.3 Základní fyzikální pojmy

2.3.1 Atom a jeho stavba

V atomu se nachází jádro, které je kladně nabitě. Nachází se v něm kladně nabitě protony a částice bez náboje, neutrony. Elektrony, které mají záporný náboj, obíhají okolo jádra na energetických hladinách neboli slupkách v elektronovém obalu. Elektrony se váží v těchto hladinách vazebnou energií k jádru. Vyražení elektronu z atomu nebo přemístění ze slupky má za následek dodaná energie. Pokud je dodaná energie pro elektron větší, než je vazebná energie určité slupky, elektron následně vyrazí na vyšší slupku. Tento jev nazýváme excitace. Pokud elektron přeskóčí zpět na původní energetickou hladinu, rozdíl energií se vyzáří ve formě fotonu. Pokud dodaná energie je tak velká, že se elektron uvolní a vyletí z atomu jedná se o ionizaci. Atom je rozdělen na kladný iont a záporný elektron. [3, s. 17]

2.3.2 Radioaktivita

Radioaktivita je jev, ve kterém dochází k přeměně mateřských jader nestabilních prvků na jádra dceřiná, přičemž se emituje částice nebo záření. Radioaktivita se dělí podle druhu emitovaného záření na alfa (α), beta (β) a gama (γ). [3, s. 17]

Při přeměně α vylétá alfa částice z mateřského jádra. Alfa částici tvoří dva protony a dva neutrony. Když se odštěpí tyto části, vznikne nuklid a ten se v periodické soustavě prvků posune o dvě místa doleva. Přeměna alfa je nejčastěji u velmi těžkých jader, která jsou

schopna vyzářit takto těžkou částicí. Záření alfa je nejméně pronikavé. Dosah alfa záření ve tkáni je několik mikrometrů (μm). [3, s. 17]

Přeměna β zahrnuje přeměnu β^+ , β^- a elektronový záchyt. Přeměna β^+ je přeměna, kde dochází k tomu, že se z jádra emitují pozitrony. Tato přeměna je nejčastěji u radionuklidů, kde je větší počet protonů než neutronů. Proton se přemění na neutron, pozitron a neutrino. Mezitím co neutron zůstává v jádře, tak pozitron a neutrino jsou emitovány ven z jádra velkou rychlostí. Vznikne dceřiný prvek, který je v periodické tabulce o jeden nižší. Přeměna β^- je přeměna, kde dochází k tomu, že se z jádra emituje elektron. K tomu dochází u jader, které mají nadbytek neutronů. Neutron se přemění na proton, elektron a antineutrino. Dceřiný prvek se posune v periodické tabulce o jeden výše. Dosah ve tkáni činí několik mm. K elektronovému záchytu dojde u jader s nízkým počtem neutronů. Sloučí se proton a elektron za vzniku neutronu a neutrina. Neutron zůstává dál v jádře a na místo vyzářeného elektronu přistane elektron z vyšší slupky za vzniku RTG záření. [3, s. 17]

Záření γ je vedlejším jevem při přeměně alfa a beta. Jde o proud fotonů, který se vyzáří při deexcitaci jádra ve formě záření gama. Jedná se o nejpronikavější záření. [3, s. 18]

2.3.3 Aktivita a poločas přeměny

Aktivita udává počet radioaktivních přeměn za časovou jednotku. Jednotka aktivity je becquerel (Bq), který odpovídá jedné přeměně za sekundu. Aktivita klesá exponenciálně s časem. [3, s. 19]

Poločas přeměny je doba, za kterou se přemění přesně jedna polovina jader. Poločas přeměny nejde ovlivnit z fyzikálního ani chemického hlediska. U jednotlivých radionuklidů se liší tento poločas. Radionuklidy používané v nukleární medicíně mají poločas přeměny krátký, v rozmezí několika sekund, hodin až dnů. Například Technecium ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) má poločas přeměny 6 hodin, Galium (^{68}Ga) 68 minut, Indium (^{111}In) 2,8 dne, Jod (^{131}I) 8 dní. [3, s. 19]

2.3.4 Interakce ionizujícího záření s látkou

Každý typ záření interaguje s látkou jiným způsobem. Interakci ovlivňuje náboj částice, tím je ionizující záření rozděleno na přímo a nepřímo ionizující. Elektricky nabitě částice jako jsou částice α , β^- , β^+ , protony, deuterony, elektrony, tak přímo ionizují a předávají dostatečnou energii látce, a tak je elektron přímo vyražen elektrickými silami z atomu, dojde k ionizaci a excitaci látky. K nepřímo ionizujícímu záření dochází u nenabitých částic, jako jsou fotony a neutrony, ty svou energii předají nabitým částicím, elektronům někdy atomovým jádrům a ty poté přímými účinky na atomy látku ionizují. [7, s. 107-114]

Rentgenové a gama záření interaguje s prostředím fotoelektrickým a Comptonovým jevem nebo tvoří elektron-pozitronové páry. Fotoelektrický jev nastává při energiích do 150 keV. Při fotoefektu předá foton všechnu svou energii elektronu, který je pevně vázán na vnitřní slupku v elektronovém obalu. Elektron se uvolní a na jeho místo nasedá elektron z vyšší slupky. Přebytečná energie se uvolní ve formě charakteristického RTG záření. Ve tkáni dochází k úplné absorpci fotonu a vzniklý fotoelektron ionizuje a excituje okolí podél své dráhy. Comptonův jev nastává při energiích od 150-500 keV. Foton interaguje se slabě navázaným elektronem na vnější slupce elektronového obalu a předá mu jenom část svojí energie, zbytek energie předá nově vzniklému sekundárnímu fotonu, který dále interaguje a ztrácí energii buď fotoefektem nebo dalším Comptonovým rozptylem. Tvorba elektron-pozitronového páru, kdy interakce nastane jen za vysoké energie fotonu, je vyšší než 0,5 MeV. V nukleární medicíně je zaznamenáván fotoelektrický jev a Comptonův rozptyl, který je významnější. [7, s. 114-117]

2.3.5 Biologické účinky ionizujícího záření

Fotony gama a RTG záření při průchodu tkání mohou reagovat třemi způsoby. Tím prvním je fotoefekt, druhý comptonův rozptyl a třetí bez interakce, tedy bez žádné reakce s živou hmotou. [1, s. 37]

Biologické účinky jsou definovány veličinou absorbovaná dávka D. Je to množství absorbované energie v materiálu na hmotnostní jednotku. Rozměr je uveden v joulech na kilogram ($J \cdot kg^{-1}$), ale užívají se jednotky gray (Gy). K objasnění se ještě připojuje relativní biologická účinnost (RBÚ), protože různé druhy ionizujícího záření mají při stejné absorbované dávce různou biologickou účinnost. Udává kolikrát je biologická účinnost vyšší než referenční RTG záření. [1, s. 37]

Biologické účinky se dělí na tři stadia, podle mechanismu účinku, na fyzikální, chemické a biologické. První fyzikální stadium zachytí fotony ve tkáni a dojde k procesu ionizace nebo excitace atomů molekul. Jestliže k ionizaci dojde přímo v molekule deoxyribonukleové kyseliny (DNA), jedná se o přímý účinek záření. V druhém stadiu chemickém vznikají radikály H^+ a OH^- při radiolýze vody, ty mohou reagovat s biologickými molekulami zejména s DNA. Když dojde k poškození biomolekuly, díky reakcím radikálů, jedná se o nepřímý účinek záření. Ve třetím biologickém stadiu, se molekulární změny projevují již jako morfologické a funkční změny v buňce. Dochází k poruchám v jádře buňky, konkrétně ke zlomům dvojitých vláken DNA. Takové poškození vzniká při průchodu částice hustě ionizujícího

záření buněčným jádrem. Touto částicí je neutron a částice alfa. Vyznačovány jsou vysokou hodnotou lineárního přenosu energie (LET-linear energy transfer), tedy energie záření absorbovaného na jednotku dráhy částice. Nízké LET, průchod řídce ionizujícího záření, elektrony a RTG a gama záření, kde může vzniknout porucha v molekule DNA jen částečná, a to zlom jen jednoho vlákna. Při poškození molekuly DNA se naruší buněčné dělení a způsobí reprodukční smrt buňky. Další typ poruchy DNA je v genetické informaci buňky, tím dochází k jejímu zmutování. Mutace můžou být genetické nebo somatické. [1, s 37-39]

Každá buňka se vyznačuje určitou senzitivitou k ionizujícímu záření a ta vede ke vzniku klinických symptomů, tedy k projevení nemoci vznikající následkem patofyziologických jevů v lidském těle. Vysoká radiosenzitivita se objevuje u tkání s velkým počtem rychle se dělících a málo diferenciovaných buněk, mezi ně patří kostní dřev, pohlavní orgány, střevní epitel. V opačném případě nízkou radiosenzitivitu neboli radiorezistenci mají buňky, které jsou málo se dělící nebo nedělící diferenciované buňky, ke kterým řadíme nervové buňky a buňky myokardu. Kmenové buňky jsou nediferenciované buněčné typy a v průběhu růstu jsou nejcitlivější. [1, s. 39]

2.3.6 Deterministické účinky

Deterministické účinky se vyskytují na buněčné úrovni a mají vliv na všechny tkáně. Může nastat akutní nemoc z ozáření, akutní lokální poškození, katarakta a poškození plodu či embrya. U tkání určujeme dávkový práh. Účinek z ozáření se dostaví jen tehdy, pokud je překročena prahová hodnota. U každé tkáně je stanovena jiná, pro kůži 3 Gy, plíce 5 Gy, spermie 0,3 Gy. Účinky vznikají zanedlouho po ozáření, někdy za pár dní, ale i týdnů. Velký počet buněk se poškodí a organismus není schopen regenerace, tím dochází ke vzniku nemocí z ozáření. Čím větší dávka, tím závažnější poškození. Jsou čtyři fáze, které se s rostoucím ozářením zkracují nebo mohou úplně splynout. První fází je fáze prodromální, která se projevuje nauzeou, zvracením, nechutenstvím, bolestí hlavy a průjmem. Druhou fází nazýváme latentní, je závislá na dávce záření a dojde v ní k vymizení obtíží. Ve fázi manifestace se rozvíjí onemocnění a v příznivém případě nastupuje fáze rekonvalescence. V opačném případě fáze rekonvalescence nenastane a postižený umírá. [1, s. 40]

Akutní nemoc z ozáření je rozvíjena po jednorázovém celotělovém ozáření dávkou 1 Gy. Jsou rozlišeny tři formy akutní nemoci z ozáření. Forma dřevná nastává po celotělovém ozáření dávkou 1-6 Gy. V tomto období se vyskytuje nechutenství, zvracení a skleslost. Poté následuje období latence trvající 1-2 týdny. Vlastní onemocnění je vyznačeno

mikrobiálním rozsevem a krvácejícími stavy, v krevním obraze je viděn úbytek lymfocytů, ale i erytrocytů a trombocytů. Jestliže je dávka ozáření vyšší je průběh onemocnění mnohem bouřlivější a vede ke smrti. Další forma je gastrointestinální, je charakterizována krvácejícími průjmy, příznaky ileu anebo střevní perforací. Ke gastrointestinální formě dochází při dávce 5-15 Gy. Pokud postižený přežije déle než týden, projeví se u něho poškození krvetvorných orgánů. K poslední neurovaskulární formě dochází po dávkách v desítkách Gy. Po ozáření je postižený dezorientovaný a zmatený, má poruchu koordinace, křeče a upadá do hlubokého bezvědomí. Ke smrti dojde během několika hodin nebo dnů. [8, s. 285-286]

U akutních lokálních změn je důležité věnovat pozornost kůži, která je vstupním polem pro svazek záření. Prahová hodnota je 3 Gy. Několik hodin po ozáření mohou vznikat první stupně poškození kůže, tzv. časné erytémy, zarudnutí kůže, které zmizí po 24 hodinách. Poté nastává období klidu trvající 10–15 dnů. Pozdní erytém, u něhož dochází ke zduření kůže, přichází po klidovém období. Takto se projevuje akutní radiační dermatitida prvního stupně. Po dávce 6 Gy se ztrácí ochlupení natrvalo. Po ozáření dávkou nad 10 Gy vzniká radiační dermatitida druhého stupně, ta je charakterizována puchýři, které se mohou zahojit. Po 2-4 týdnech pozvolna dochází k obnově pokožky z okrajů defektů, anebo vzniká ložisková infekce a stav se tak zkomplikuje. U radiační dermatitidy třetího stupně dojde k těžkému poškození cév a k odumření tkáně, vznikne vřed, který se špatně hojí. Pokud začne růst nová pokožka, je tenká a náchylná k mechanické a termické zátěži. [1, s. 42]

Zákal oční čočky neboli katarakta se vyskytuje po jednorázovém ozáření dávkou 0,5-2 Gy a vyšší. Při profesionální dlouhodobé expozici je hodnota 2-4 Gy s dobou latence minimálně dva roky. [2, s. 58]

Poškození fertility u mužů je dočasné při dávkách 0,1-0,3 Gy, kdy je pozorováno snížení tvorby spermií a při dávkách nad 3 Gy, dochází k trvalé ztrátě plodnosti. U žen k trvalé sterilitě dochází při dávkách 2,5-8 Gy. [2, s. 58]

Závažnost poškození embrya a plodu je závislé na absorbované dávce v plodu a na uplynulé době mezi oplodněním a ozářením. Pokud dojde k ozáření plodu v prvních dvou týdnech gravidity, dojde buď k implantaci, nebo ke smrti zárodku. V období od 3. až 8. týdne, při dávce vyšší jak 100 mGy, se mohou vyskytnout malformace, abnormality CNS, katarakta nebo se zpomalí růst. Dávka 1 Gy, v období 8-15 týden gravidity, má za následek snížení IQ narozeného jedince o 30 bodů. Ozáření v každém týdnu gravidity je spjato se stochastickými účinky. [1, s. 42-43]

2.3.7 Stochastické účinky

Stochastické účinky jsou účinky pravděpodobnostní, protože jedinou ionizací může být způsobeno poškození DNA v jádře buňky. Při RTG a gama záření dochází k milionům ionizací. Stochastické účinky nemají dávkový práh. Čím větší dávka, tím se pravděpodobnost stochastických účinků zvyšuje, ale závažnost nikoliv. Mezi ně patří vznik zhoubných nádorů a genetické změny. Nedá se říci, že se nutně objeví u každého jedince. [1, s. 43]

2.4 Radiační ochrana

Ionizující záření má na člověka škodlivé účinky, které se odhalily krátce po objevu RTG paprsků a přírodní radioaktivity koncem 19. století. Postupně byla zaváděna pravidla radiační ochrany. [1, s. 37] Na ONM je klíčové dodržovat předpisy a zásady radiační ochrany. Ty jsou stanoveny v atomovém zákoně č. 263/2016 Sb., věnující se mírovému využívání jaderné energie a ionizujícího záření a ve vyhlášce č. 422/2016 Sb. zabývající se radiační ochranou a zabezpečením radionuklidového zdroje. V ČR jsou tyto dokumenty hlavními pilíři radiační ochrany, neboť vycházejí ze směrnic Evropské unie (EU) a jsou kompetentní i s mezinárodními doporučeními Mezinárodní komise radiologické ochrany (ICRP) a Světové zdravotnické organizace (WHO). Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB) pravidelně kontroluje pracoviště nukleární medicíny. [9, s. 9-11]

Cílem radiační ochrany je eliminovat deterministické účinky a stochastické účinky omezit na minimum, tedy na přijatelnou úroveň. Uvádějí se čtyři principy. Princip zdůvodnění, optimalizace, limitování a princip fyzické bezpečnosti zdrojů. [8, s. 293-294]

Princip zdůvodnění uvádí, že činnost vedoucí k ozáření osob, by se měla zdůvodnit přínosem. Riziko, které by mohlo vzniknout, by se mělo omezit na co nejnižší úroveň. Princip optimalizace popisuje, že při činnosti vedoucí k ozáření osob by se mělo postupovat tak, aby riziko ohrožení fyzické osoby a životního prostředí bylo za všech podmínek tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při zohledňování technických a ekonomických hledisek. Jiné označení pro tento princip je As Low As Reasonably Achievable (ALARA) – Tak nízké, jak je rozumně možné. Princip limitování pojednává o tom, že celkové ozáření by nemělo přesáhnout stanovené limity. Pro lékařské ozáření, tedy ozáření pacientů kvůli diagnostice nebo léčbě tento princip neplatí. Posledním principem je princip fyzické bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření. Zdroje musí být zabezpečeny, aby nad nimi nemohlo dojít ke ztrátě kontroly. Zamezit přístup neoprávněným osobám a odcizení je součástí principu ochrany

stejně jako předávání zdrojů jen držitelé platného povolení a zajištění dobrého technického stavu těchto zdrojů. [9, s. 63-64]

2.4.1 Radiační ochrana pracovníků v nukleární medicíně

Na pracovištích nukleární medicíny, kde se setkáváme s otevřenými zářiči je hlavní podmínkou dodržovat zásady ochrany personálu před zevním zářením a vnitřní kontaminací. Mezi zdroje zevní radiační zátěže patří příprava a vlastní aplikace radiofarmak. Dalším zdrojem jsou samotní pacienti s aplikovanými radiofarmaky pro diagnostiku i léčbu, protože záření gama je emitované z jejich těla. Radiační ochrana pracovníků před vnějším zářením je ochrana časem, vzdáleností a stíněním. [9, s. 96-97]

Při ochraně časem radiační zátěž pracovníka závisí na délce pobytu v blízkosti zdroje ionizujícího záření. Platí vztah, že dávka se rovná dávkovému příkonu, který se násobí časem pobytu. Pokud se zkrátí doba u zdroje záření, automaticky dojde ke snížení dávky. Snížování času, jež je potřebný pro přípravu radiofarmak a spolupráci s vážně nemocnými nebo nespolupracujícími pacienty, ale také umístování pacientů pod detektor a další činnosti, které jsou spjaty s časem, je tedy potřeba zkrátit na možné minimum. [9, s. 97]

Ochrana vzdáleností je stanovena dávkovým příkonem RTG a gama záření. Dávkový příkon klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření, tzv. čtvercový zákon. Pracovník by se měl zdržovat co nejdále od těchto zdrojů, na nukleární medicíně od pacientů nejméně 1 m je-li to možné a při práci se zářiči používat ochranné pomůcky jako například pinzety, manipulátory. [9, s. 97]

Ochrana stíněním je založena na používání vhodného stínícího materiálu, který zeslabuje svazek záření a tím i dávku. Pro ochranu personálu na pracovištích je vždy oddělena vyšetřovna od ovládací místnosti. [9, s. 97]

Při používání otevřených radionuklidů může dojít ke kontaminaci. Pracovník v kontrolovaném pásmu nesmí jíst, pít, a musí používat ochranné pomůcky. Hlavní cesta kontaminace pracovníků je rukami nebo různými částmi těla a z oděvů. Nejčastěji jsou radioaktivní látky přítomny na povrchu v laboratoři a vyšetřovně. Při potřísnění kůže je nutná dekontaminace. Personál je povinen dodržovat pravidla stanovená na ONM a používat ochranné pomůcky jako gumové rukavice, stínící zástěry, pinzety, kleště, pouzdra, ochranné obaly, kontejnery a další. [9, s. 98-100]

2.4.2 Radiační ochrana pacientů v nukleární medicíně

Chránit pacienty před ionizujícím zářením lze zvolením alternativní vyšetřovací metody, kterou je například ultrazvuk (UZ) nebo magnetická rezonance (MR). [2, s. 70] V nukleární medicíně musí být respektované diagnostické referenční úrovně a volené optimalizované aktivity radiofarmak. Důležité je využití co nejnižších dávek záření, zabránění průniku radiofarmak do kritických orgánů a užívání přípravků pro rychlejší únik radiofarmak ze tkání. Důležitá je také dostatečná edukace pacientů kvůli přípravě před a po vyšetření, například kvůli dostatečné hydrataci s požadavkem častého močení k vyloučení radioaktivní látky co nejrychleji z organismu pacienta. [10, s. 269-276]

2.4.3 Radiační limity

Limity jsou kvantitativní ukazatelé a jsou regulačním nástrojem radiační ochrany. Rozlišují se limity obecné, pro radiační pracovníky a pro studenty.

Limity obecné neboli limity pro obyvatelstvo, jsou stanoveny na hodnotu efektivní dávky 1 mSv za rok a za pět let může nabýt hodnoty 5 mSv. Ekvivalentní dávka pro oční čočku je stanovena na 15 mSv za rok a na kůži a končetiny 50 mSv za rok.

Limity pro radiační pracovníky mohou nabývat hodnot efektivní dávky 20-50 mSv za rok a 100 mSv za pět po sobě jdoucích let, ekvivalentní dávka pro oční čočku je 20 mSv za rok, 100-150 mSv za pět let, hodnota na kůži a končetiny může být až 500 mSv za rok.

Limity pro studenty jsou stanoveny na hodnotu efektivní dávky 6 mSv za rok a ekvivalentní dávka na oční čočku může činit 50 mSv za rok a na kůži a končetiny 150 mSv za rok. [9, s. 43]

2.4.4 Klasifikace zdrojů a kategorizace pracovišť

Zdroje ionizujícího záření se klasifikují podle stoupajícího rizika ohrožení zdraví a životního prostředí na pět skupin. Nevýznamné zdroje, do kterých je přiřazeno elektrické zařízení emitující ionizující záření do 5 kV. Drobné zdroje, kam patří generátory záření s příkonem dávkového ekvivalentu menší než 1 μ Sv/h. Jednoduché zdroje jako zubní rentgen a kostní denzitometr. Významné zdroje, kam patří urychlovače a otevřené radionuklidové zářiče ^{131}I a dále velmi významné zdroje, kam patří jaderné reaktory. [9, s. 49-50]

Klasifikace zdrojů je důležitá pro stanovení kategorií pracovišť. Rozdělujeme je na čtyři kategorie I., II., III., IV. Na oddělení nukleární medicíny se shledáme s I. až III. kategorií. Do I. kategorie patří pracoviště s kostním denzitometrem nebo místo s otevřenými

radionuklidovými zářiči. Ambulance nukleární medicíny a radiodiagnostická zařízení jsou v II. kategorii. Terapie radiojódem a urychlovače se nacházejí ve III. kategorii. Pracoviště IV. kategorie nejsou ve zdravotnictví, patří sem jaderná zařízení. [9, s. 50-51]

2.4.5 Kontrolované a sledované pásmo

Na pracovištích s ionizujícím zářením, kterým je ONM, se vymezuje kontrolované a sledované pásmo. Kontrolované pásmo je tam, kde efektivní dávka může být vyšší než 6 mSv/rok. Musí být vždy označeno na vchodu znakem radiačního nebezpečí. V tomto pásmu je důležité dodržovat určitá pravidla radiační ochrany a ochranný režim. Do tohoto pásma smí vstupovat jen poučené osoby, radiační pracovníci kategorie A, u kterých probíhá školení jednou ročně. Tento prostor musí být zneprístupněn cizím osobám, těhotným ženám a osobám mladším 18 let. Pobyt v kontrolovaném pásmu je spjat s používáním ochranných pomůcek. Do tohoto pásma vstupují pacienti, aby se podrobili lékařskému ozáření. Sledované pásmo je tam, kde efektivní dávka může být vyšší než 1 mSv/rok, tedy kde by mohlo dojít k překročení obecného limitu. Sledovaná pásma jsou prostory sousedící s kontrolovanými, tj. čekárny pro pacienty. [9, s. 53-54]

2.4.6 Monitorování

Monitoruje se pracovní prostředí, osoby, výpustě. Program monitorování získává data a údaje potřebné k hodnocení radiační situace na pracovišti. [9, s. 55]

Monitoring pracovního prostředí probíhá na všech kategorizovaných pracovištích. Kontroluje se povrchová kontaminace a aktivita radionuklidů v ovzduší. Pracovní prostředí se monitoruje vhodnými měřiči dávkového příkonu. Tyto přístroje dodává řada firem. Radioaktivní odpad, kontaminované pomůcky, se dávají do igelitových pytlů a ukládají se do vymírací místnosti, kde jsou, dokud aktivita neklesne na hodnotu, kterou je možné uvést do životního prostředí, komunálního odpadu. Využívá se pravidlo deseti poločasů přeměny. [10, s. 255-256]

Monitoring osob probíhá na každém pracovišti s ionizujícím zářením. Pracovníci jsou monitorováni osobními dozimetry, které nosí vždy při práci na levé straně hrudníku. Filmové dozimetry, nejčastější z používaných, jsou vyhodnocovány jednou za měsíc s hodnotami dávek v mSv. O hodnotách je informováno pracoviště a současně SÚJB. Někteří pracovníci jsou navíc vybaveni prstovým luminiscenčním dozimetrem. Sledování osob je zajištěno na lékařských prohlídkách. [9, s. 57]

Monitoring výpustí na pracovištích nukleární medicíny probíhá vždy, když je potřeba zajistit likvidaci radioaktivních odpadů řízeným vypouštěním. Jelikož by mohlo dojít k úniku odpadu

do okolí, musíme sledovat tyto výpustě, aby k tomuto problému nedošlo. Na pracovištích jsou zřízeny zachytné nádrže, které jsou vybaveny samostatnými kanalizačními rozvody. Výpusť tam musí být uložena tak dlouho, než aktivita klesne na hodnotu, kterou můžeme uvést do životního prostředí. [10, s. 256]

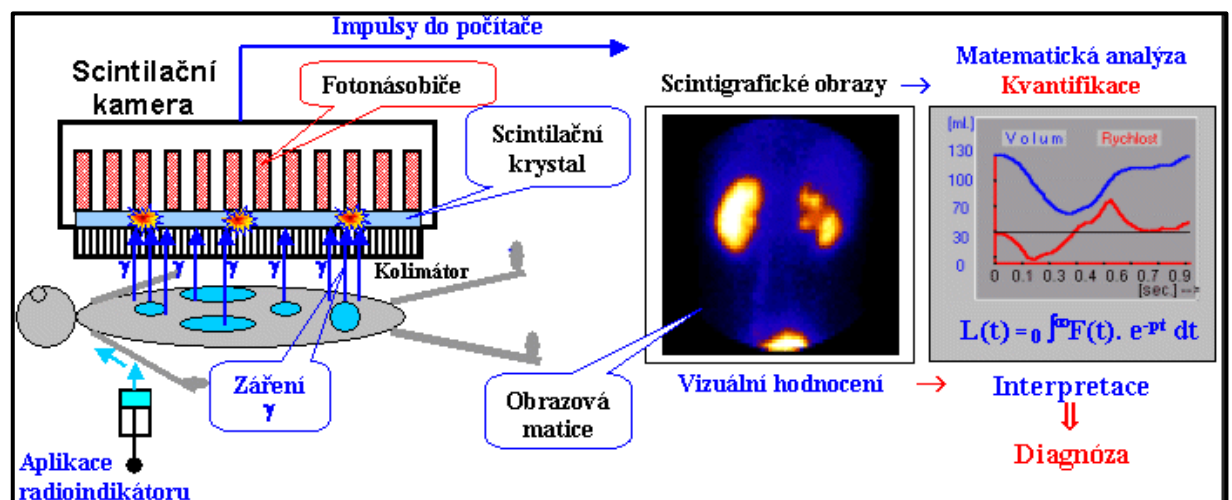
2.5 Přístroje využívané v nukleární medicíně

K zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory jsou potřeba přístroje, které nám znázorní distribuci radiofarmaka v organismu pacienta, lokalizují patologické ložisko a zajistí zobrazení funkčních a anatomických vlastností. [1, s. 148]

2.5.1 Gamakamera

Gamakamera je zobrazovací přístroj nukleární medicíny, její součástí je detekční systém, který je tvořen kolimátorem, scintilačním krystalem, fotonásobičem a počítačem. [3, s. 27]

U pacienta po aplikaci radiofarmaka, je zahájeno vyšetření gamakamerou, při čemž se radionuklid obsažený v radiofarmaku přemění na dceřiný produkt za současného vyzáření fotonu gama, který dopadne na detektor. Jen malá část fotonů pronikne kolimátorem do scintilačního krystalu, kde zanechá signál, scintilační záblesk. Síť fotonásobičů zachytí tento záblesk a ten je převeden na elektrický signál do elektroniky, kde je zpracován. Ve vyhodnocujícím počítači jsou zachyceny všechny impulzy a je zaznamenána jejich poloha do matice obrazu. V obrazu je zaznamenáno rozložení radiofarmaka v poli detektoru. [3, s. 27]



Obrázek 1 - detekce fotonového záření při vyšetření gamakamerou [1]

2.5.2 Konstrukce a funkce gamakamery

Detektor gamakamery, velký scintilační krystal s fotonásobiči, je vestavěn do speciálního pouzdra, jež zajišťuje světlotěsnost a radiační stínění proti vnějšímu ionizujícímu záření. Na detektor je také připevněn výměnný kolimátor těsně ke krystalu. V těchto místech jsou i dotykové senzory pro ochranu pacienta. [11]

Kolimátory gamakamery jsou clony ze stínícího materiálu. Vymezení směru fotonů dopadajících na scintilační krystaly a rovněž na zorné pole. Existuje několik typů kolimátorů rozlišovaných podle počtu, velikosti a konfigurace otvorů, dále pak podle energie záření a rozlišovací schopnosti či citlivosti. [11]

Vyšetřovací lehátko pro pacienta je umístěno pod detektorem a vjíždí do gantry. Přípustný posun je až 2 metry, aby bylo možné snímat celého pacienta. [11]

Infračervený body contouring je funkce, která zajišťuje opis těla. Nejlepšího rozlišení docílíme tak, že detektor, respektive kolimátor přiložíme co nejbližší k povrchu těla pacienta. U celotělových a SPECT vyšetření je funkce infračervený body contouring využívána při posunu lehátka a rotace kamery, díky elektronickým snímačům polohy, které jsou velmi důležité pro tuto funkci. Detektory jsou pomocí elektromotorků automaticky posunovány, aby kopírovaly tělo pacienta a přední část kolimátoru byla vždy co nejbližší povrchu těla pacienta. Body contouring je utvářen dvěma řadami infračervených LED diod a fotodiod, které jsou naproti sobě umístěny na detektorech. Elektronické obvody regulují polohu takovým způsobem, jež umožňuje přerušit infračervené paprsky z vnějších řad, ale z vnitřní řady nikdy. Vzdálenost detektoru je kontrolována a udržována v rozmezí mezi oběma řadami LED. [11]

2.5.3 Scintigrafie

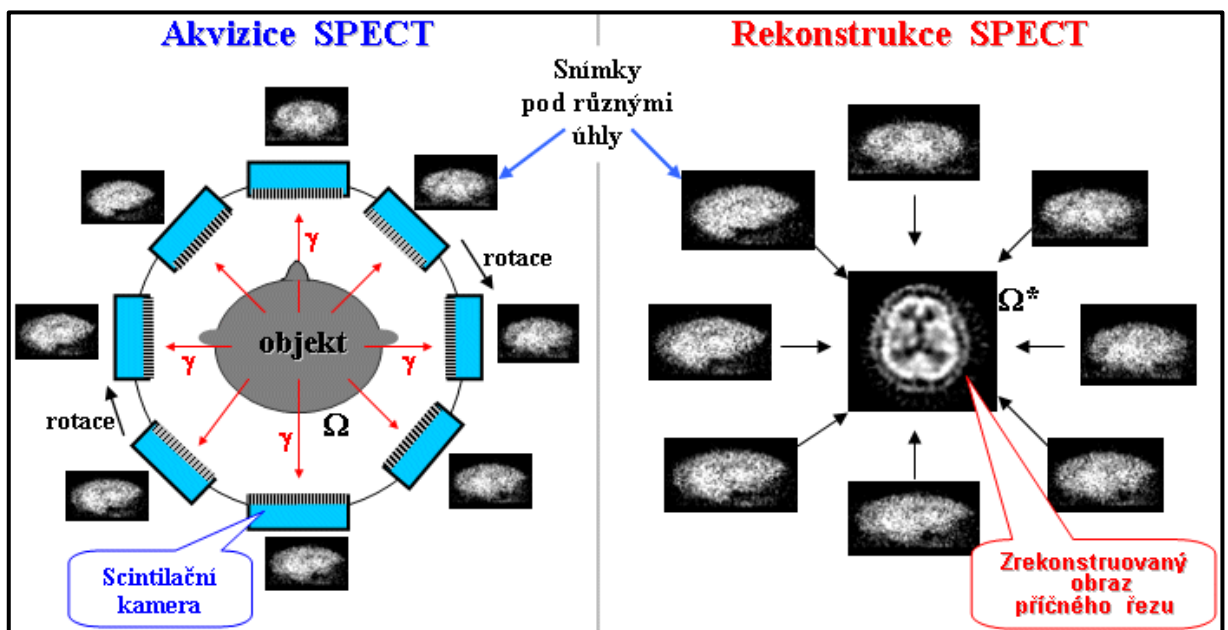
Scintigrafie je rozdělována na planární a tomografickou. Planární scintigrafie se rozlišuje na statickou nebo dynamickou. Tomografie může být jednofotonová SPECT a pozitronová PET. [1, s. 34-35]

Statická scintigrafie probíhá tak, že po aplikaci radiofarmaka pacient leží nebo sedí a kamerou je několik minut snímána vyšetřovaná oblast těla. Je vytvořen snímek podobný fotografii. Statickou scintigrafií získáme informace o funkci orgánů a tkání. Celotělová scintigrafie je využívána při zobrazování celého skeletu. Slouží k průkazu onkologických onemocnění a k průkazu případných metastáz. Detektorem gamakamery je snímáno celé tělo pacienta. Dynamická scintigrafie zachycuje průběh a kvantifikaci dynamických dějů. Detektor snímá jednu oblast těla a pořizuje sadu krátkých snímků jdoucích po sobě. Výsledkem je řada

planárních snímků podobných videofilmu, který ukazuje měnící se rozložení aktivity v čase pomocí dedikovaného softwaru. Způsoby záznamu jsou buď plynulé, maticové nebo intervalové (hradlované). [3, s. 29-31]

2.5.3.1 SPECT

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT) umožňuje nejen funkční zobrazení, ale i statické, dynamické a celotělové akvizice. Při této metodě se využívají radionuklidy emitující jeden foton na přeměnu. Nejčastěji využívaný je ^{99m}Tc . SPECT kamery jsou dvoudetektorové systémy vybaveny lůžkem a otočnými detektory. Princip je založen na zhotovení planárních projekcí z různých úhlů a k následné rekonstrukci transaxiálních řezů. Signál SPECT se určuje velikostí aktivity radiofarmaka. Po celou dobu vyšetřovaný pacient leží ve stejné poloze a detektory gamakamery obíhají okolo něho a snímají jednotlivé projekce. [3, s. 32-33]

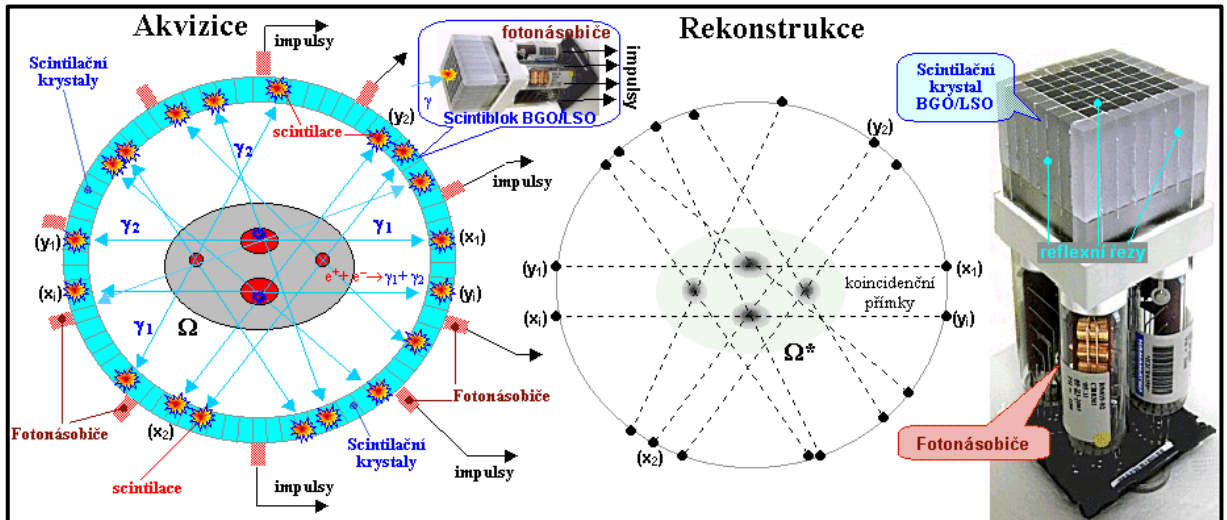


Obrázek 2 - Akvizice a rekonstrukce SPECT obrazu [2]

2.5.3.2 PET

Pozitronová emisní tomografie (PET) je nejsložitější zobrazovací metodou. PET kamery se konstruuji jako hybridní systémy. Gantry není pohyblivá a neobsahuje kolimátory. Snímání probíhá najednou v rozsahu 360° v zorném poli přístroje. Využívají se radiofarmaka značena pozitronovými zářiči, nejčastěji ^{18}F (Fluor), který při svých radioaktivních přeměnách emituje pozitron. Pozitron se v organismu pohybuje po trajektorii a ztrácí svou kinetickou energii. Na konci anihiluje s elektronem a vznikají dva anihilační fotony gama o energii 511 keV. Fotony vylétávají z pacienta opačným směrem a dopadají do detektoru současně. PET

detektor je prstenec okolo pacienta a detekuje jednotlivé anihilační fotony, skládá se z velkého počtu scintilačních krystalů, tvořených sloučeninami gadolinium oxyorthosilikát (GSO) a lutecium oxyorthosilikát (LSO). Přesná elektronika rozpozná dva fotony patřící k sobě, vzniká tak přímka odezvy, primární signál akvizice PET, který vstupuje do matematické rekonstrukce. Vznikají transaxiální řezy. [3, s. 33-34]



Obrázek 3 - Akvizice a rekonstrukce PET obrazu [3]

2.5.3.3 Hybridní systém SPECT/CT

SPECT/CT je metoda, při které se zjišťují funkční a anatomické vlastnosti současně. Nejdříve se provede vyšetření výpočetní tomografií (CT) a poté je spuštěn SPECT, pořadí je určeno dle zvyklosti oddělení. Vzniklé obrazy se spojují, zfúzují. Výhodou pro pacienta je absolvování pouze jednoho vyšetření na jednom místě. CT se využívá k přesné anatomické lokalizaci funkčního nálezu. Dalším důvodem je korekce na zeslabení. Záření vycházející z pacienta je zeslabeno absorpcí a rozptylem v jeho těle. Hluběji uložené tkáně se jeví jako méně aktivní než ty nacházející se blíž k povrchu. Konstrukce SPECT/CT přístrojů se mohou lišit. Buď může být CT přímo spojeno s rentgenkou ke gantry SPECT kameře, kde dochází ke zpomalení rotace rentgenky a provoz je pouze v nízko dávkovém režimu tzv. low dose s velmi malým rozlišením, nebo se jedná o konstrukci přístroje s rychlou rotací rentgenky, kde je možnost provozu v režimu diagnostickém s vysokým rozlišením, ale s větší radiační zátěží pro pacienta. [1, s. 30]

2.5.3.4 Hybridní systém PET/CT

PET/CT nám dává informace jak funkční, tak anatomické. Fúze PET a CT obrazu nakonec znázorní poměrně přesnou lokalizaci a stav tkáňových struktur na místech, kde je zvýšená

akumulace pozitronového radiofarmaka. Vyšetření PET/CT radiačně zatěžuje pacienta více než samotné PET vyšetření. [1, s. 31]

2.6 Radiofarmakum

Radiofarmakum (RF) je léčivý přípravek, který obsahuje jeden, ale i více radionuklidů. Radiofarmakum je složeno z farmaka neboli nosiče, zvoleného podle distribuce a podle jeho chování v organismu, a radionuklidu, účinné složky v RF, která je vázána na vhodně zvolený nosič, sloužící k detekci záření gama scintilačními detektory. Radionuklidy mohou být anorganické či organické sloučeniny. Nosič je biologické nebo chemické povahy. Nosičem mohou být molekuly anorganických a organických látek, sole, buňky, krevní elementy, peptidy, protilátky a imunoglobuliny. Účinek RF je závislý na aktivitě, jež klesá exponenciálně, protože ke snížení účinku dojde díky poločasu přeměny. Radiofarmakum je aplikováno pacientům do organismu za diagnostickým či terapeutickým účelem. Patří do skupiny léčiv, kdy při výrobě, přípravě, manipulaci a používání je důležité dodržovat pravidla a požadavky, které u jiných léčiv nejsou vyžadovány. Ideální RF je snadno dostupné za adekvátní cenu a s dostatečně vysokou aktivitou. [12, s. 7-9]

2.6.1 Výroba radionuklidů

Na ONM jsou využívány jen radionuklidy připravovány uměle. Radionuklidy jsou získávány z jaderných reaktorů, cyklotronů nebo z generátorových systémů. [1, s. 17]

Jaderným reaktorem a cyklotronem jsou produkovány radionuklidy v takové lékové formě, v které je vyžádána nemocnicemi a následně do nich rozesílána z určitého výrobního místa. Radionuklidový generátor je nejčastěji používaný zdroj sloužící k výrobě radionuklidů. Z radionuklidu s dlouhým poločasem přeměny vzniká radionuklid, který má krátký poločas přeměny. [13]

2.6.1.1 Jaderný reaktor

V jaderném reaktoru probíhá řetězová reakce nejčastěji z ^{235}U (Uran) a ^{239}Pu (Plutonium). Radionuklidy jsou vyráběny buď aktivací neradioaktivních látek neutronovým tokem jako jsou ^{131}I (Jód), ^{125}I , ^{51}Cr (Chrom), nebo izolací štěpných produktů uranu, například ^{99}Mo (Molybden) pro generátorový systém či ^{90}Sr (Stroncium). Z jaderných reaktorů jsou získány většinou radionuklidy s delším poločasem přeměny. [12, s. 13]

2.6.1.2 Cyklotron

Protony, heliová jádra a deuterony, kladně nabitě částice jsou v cyklotronech urychlovány v magnetickém poli na vysokou energii a směřují na terč. Z mateřských prvků dochází vyvolanou chemickou reakcí ve strukturách atomů ke změně protonových čísel, tak vznikne prvek dceřiný. Ve velkých cyklotronech jsou vyráběny radionuklidy ^{67}Ga (Galium), ^{111}In (Indium), ^{81}Rb (Rubidium), a to pro generátorové získávání $^{81\text{m}}\text{Kr}$ (Krypton). Na ONM slouží k detekci tumorů se somatostatinovými receptory ^{111}In , který má poločas přeměny 2,8 dne a je charakterizován zářením gama na dvou energetických hladinách 171 keV a 245 keV. V cyklotronech malých jsou vyráběny radionuklidy biogenních prvků jako ^{18}F (Fluor), ^{11}C (Uhlík), ^{15}O (Kyslík). [12, s. 13]

2.6.1.3 Generátorové systémy

Nejvyužívanější zdroj radionuklidů díky své jednoduchosti, velikosti a snadnému použití jsou generátorové systémy. Využívají mateřský radionuklid, který je rozpadem přeměňován na radionuklidy dceřiné, lze je od sebe separovat buď chemickými, nebo fyzikálními postupy. Výhoda generátorového systému spočívá ve využití radionuklidů s krátkým poločasem rozpadu a také díky možnosti transportu do vzdálených laboratoří, než je laboratoř výrobní. Poté ve farmaceutických laboratořích na ONM dochází k následnému zpracování radionuklidu, kdy spojením s nosičem vznikne RF, které je v požadované lékové formě a lze ho aplikovat pacientům do organismu. Nejpoužívanějším generátorem je molybden-techneciový $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Technecium má poločas přeměny 6 hodin, je nejpoužívanějším radionuklidem na ONM a nese energii 140 keV. Dalšími generátory jsou rubidium-kryptonový $\text{Ru}/^{81\text{m}}\text{Kr}$, germanium-galiový $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ a stroncium-yttriový $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$. [12, s. 14-16]

2.7 Onkologická diagnostika se somatostatinovými receptory

2.7.1 Somatostatinové receptory

Somatostatin je neuropeptid s převážně inhibičním působením, který je syntetizován a uvolňován endokrinními buňkami. Tento hormon je tvořen v hypothalamu, D buňkami pankreatu, žaludeční a střevní sliznicí. Vyskytuje se i v mnoha buňkách a tkáních těla, jež nejsou neuroendokrinního původu. Nachází se ve dvou formách. Kratší forma tvořena 14 aminokyselinami je produkována většinou v centrálním nervovém systému (CNS) a delší forma tvořena 28 aminokyselinami v řetězci, jsou secernovány v gastrointestinálním traktu. Liší se od sebe distribucí a délkou působení. [14, s. 458-464]

Somatostatin působí jako inhibitor růstového hormonu v hypothalamu, endokrinních a exokrinních hormonů pankreatu, inzulinu a glukagonu, ale i gastrointestinálních hormonů gastrinu a cholecystokininu. Somatostatin má také roli neurotransmiteru. Podle své lokalizace má odlišné funkce. Je zkoumán jako přirozený inhibitor růstu nádorů, ale pro jeho velmi krátký biologický poločas asi 180 sekund, jsou vytvořena syntetická somatostatinová analoga, příkladem je oktreetid, který má biologický poločas 2 hodiny. [15, s. 143-151]

Somatostatinové receptory se dělí na pět typů SSTR1, SSTR2, SSTR3, SSTR4 a SSTR5. Jsou si strukturálně velmi podobné, ale mají odlišnou distribuci ve tkáních. Somatostatinové receptory subtypu 2, 3, 5 lze zobrazit ^{111}In -pentetretydem a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tektrotydem. Somatostatinové receptory subtypu 4 a 5 se zobrazí $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -depretydem. [16, s. 167-176]

2.8 Zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory

Somatostatinové receptory se zobrazují značenými analogy somatostatinu, které se využívají k detekci řady neuroendokrinních nádorů. Vysoká koncentrace somatostatinových receptorů je v primárních nádorech, metastázách, ale i v některých nenádorových procesech. K dispozici jsou tři radiofarmaka, která nám pomáhají zobrazit nádory se somatostatinovými receptory a jsou to ^{111}In -pentetretyd, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tektrotyd, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -depretyd. [15, s. 80-82]

2.8.1 ^{111}In -pentetretyd

Scintigrafie s ^{111}In -pentetretydem se využívá od roku 1990. Má vysokou citlivost detekovat karcinoidy, endokrinní pankreatické tumory, ve více než 95 %. Pituiatární adenomy, pheochromocytomy, neuroblastomy, meningeomy a další tumory, má toto RF schopnost detekovat, ve více než 90 %. [15, s. 83-92] Pentetretyd je analog somatostatinu a váže se na somatostatinové receptory subtypu 2, 3 a 5. Je značen ^{111}In , který má poločas rozpadu 2,8 dne. Aktivita aplikovaného RF je 175-190 MBq podle diagnostické referenční úrovně, ta je určena ideální vahou pacienta, která činí 70 kg. Přepočtové tabulky European Association of Nuclear Medicine (EANM) zajišťují postup pro pacienty, kteří mají nižší nebo vyšší hmotnost a tím dochází k přepočítání aktivity RF, pro každý kilogram váhy je jiná aktivita RF. Radiofarmakum je podáno intravenózně. Je využíván kolimátor pro střední energie a provádí se celotělové scintigramy nebo série jednotlivých scintigramů, které se nahrávají za 4 a 24 hodin od aplikace RF nebo za 24 a 48 hodin od aplikace RF. Ve výjimečných případech za 72 nebo 96 hodin od aplikace RF. Celotělové scintigramy se dělají s posunem maximálně 6 cm za minutu. Snímky jsou doplněny o SPECT/CT zaměřené na cílovou oblast tj., dutinu břišní, hrudní nebo hlavu. SPECT pomáhá odlišit akumulaci RF

v tumorech od přirozeného hromadění RF např: v ledvinách, játrech, slezině a ve střevech. CT udává informace o lokalizaci funkčního nálezu. Vzniklé snímky jsou po 60 nebo 120 projekcích pod úhlem 3° až 6° na jeden krok, poté se zpracovává obraz a lékař vyhodnocuje záznam. Všechny výsledky vyšetření jsou uloženy v systému PACS. [17, s. 249-258]

Indium není optimální pro scintigrafické zobrazování, je drahé, má dlouhý poločas přeměny a vyšší radiační zátěž, ale i vysokou energii záření gama. Nyní jsou častěji používány analogy somatostatinu značené ^{99m}Tc , ten má kratší poločas přeměny, nižší cenu a menší radiační zátěž. [1, s. 149]

2.8.2 ^{99m}Tc -tektrotyd

Scintigrafie s ^{99m}Tc -tektrotydem má schopnost detekovat neuroendokrinní karcinomy a karcinoid. Tektrotyd je analog somatostatinu a váže se na somatostatinové receptory subtypu 2, 3, 5, je označen ^{99m}Tc , který má poločas rozpadu 6 hodin. Hodnota aplikovaného RF má aktivitu 740-800 MBq podle diagnostické referenční úrovně, určeno dle váhy pacienta a přepočtových tabulek EANM. Radiofarmakum je aplikováno intravenózně. Nevýhodou je fyziologická akumulace RF v játrech a střevech. Je využíván kolimátor pro nízké energie. Provedení spočívá v celotělových scintigramech nebo sérii jednotlivých scintigramů, které se nahrávají do 1 hodiny od aplikace RF a pacient musí po tuto dobu zůstat lačný. Druhý záznam se dělá za 4 hodiny. Celotělové scintigramy se dělají s posunem maximálně 12-16 cm za minutu. Doplnuje se SPECT/CT, které je zaměřeno na cílenou oblast. Snímky jsou po 60 nebo 120 projekcích pod úhlem 3° až 6° na jeden krok, poté se zpracovává obraz a lékaři vyhodnocují záznam. Všechny výsledky vyšetření jsou uloženy v systému PACS. [18, s. 7-12]

2.8.3 ^{99m}Tc -depreotydy

Scintigrafie s ^{99m}Tc -depreotydy má vysokou citlivost detekovat karcinomy plic, nejčastěji nemalobuněčné, a to ve více než 90 %. Depreotydy jsou analogy somatostatinu a váže se na somatostatinové receptory subtypu 4, 5 a je označen ^{99m}Tc , který má poločas přeměny 6 hodin. Hodnota aplikovaného radiofarmaka je 740-800 MBq, dle váhy pacienta a přepočtových tabulek EANM. Provádí se celotělová scintigrafie a SPECT/CT dutiny hrudní za 4 hodiny od aplikace RF, které je podáno intravenózně. [19, s. 295-302]

2.8.4 Indikace vyšetření

Důvod k indikacím je zjištění ložiskových tkání s expresí somatostatinových receptorů, nejčastěji neuroendokrinních tumorů méně často i k zjištění zánětů. Jsou vyznačovány stavy

se známkami hormonální nadprodukce. Pacient trpí záchvatovitým zarudnutím kůže tzv. flushem. Kožní flush se vyskytuje ve 25-75 % případech metastazujících karcinomů. [15, s. 218] Dále se objevuje fialové zbarvení kůže akrálních částí těla tzv. cyanóza, doprovázena křečemi v břiše, průjmy, dále problémy se srdečními chlopněmi, ale i astmatem a artropatií. Tyto příznaky jsou také charakteristické pro karcinoidový syndrom, který může vyústit v karcinoidovou krizi. Karcinoidová krize vyvolává stavy organismu ohrožující život. Dalším důvodem k indikaci a projevem je Zollinger-Ellisonův syndrom vyznačovaný nadbytkem gastrinu, ten způsobuje překyselení žaludku a vznik žaludečních a duodenálních vředů. Projev nemoci souvisí s vředovou chorobou způsobující nechutenství, průjmové stavy, krvácení do trávicího traktu a další. Vyjmenované příznaky mají záchvatovitý charakter s rychlým začátkem, ale i koncem. [1, s. 149]

2.8.5 Kontraindikace vyšetření

Hlavní kontraindikace je gravidita. V případě potvrzeného těhotenství u pacientky se lékař spojí s indikujícím lékařem ke konzultaci, zda je možné nahradit vyšetření, které by bylo bez využití ionizujícího záření. Vyšetření u gravidní pacientky se provádí jen z vitální indikace. Laktace se přerušuje na nezbytně dlouhou dobu. [10, s. 276-277] Ke kontraindikacím lze řadit i chronické onemocnění ledvin a dalším závažným problémem jsou klaustrofobie. Kvůli radiační zátěži by se měla zvažovat indikace u osob, kteří jsou mladší 18 let. [2, s. 71]

2.9 Tumory se somatostatinovými receptory

Somatostatinové receptory jsou na povrchu mnoha nádorových buněk a tumorů neuroendokrinního původu. Tumory se somatostatinovými receptory jsou rozděleny do tří skupin. První skupina jsou neuroendokrinní tumory jako karcinoidy, pituitární adenomy, pheochromocytomy, gastrinomy, glukagonomy, VIPomy. Druhá skupina je tvořena tumory CNS jako jsou meningeomy, astrocytomy, neuroblastomy. Třetí skupina nádorů zahrnuje medulární karcinomy štítné žlázy, malobuněčné a nemalobuněčné karcinomy plic, lymfomy, karcinomy prs, ale i ledvin a další, které mají nižší expresi somatostatinových receptorů než první dvě skupiny. [15]

2.9.1 Neuroendokrinní tumory

Neuroendokrinní tumory (NET) jsou rozděleny na biologicky aktivní a biologicky neaktivní NET. Mohou se projevovat nenápadnými symptomy, stavy ohrožující život, anebo žádné projevy nemají. Jsou to celkem vzácné tumory, které se liší svým biologickým chováním, histogenetickým nálezem i mikroskopickým obrazem. Charakterizuje je endokrinní

diferenciace buněk, jež je spojena se schopností produkovat, hromadit a uvolňovat biologicky aktivní látky hormonální povahy, kterých známe více než 30. Nádory mohou produkovat i větší počet těchto látek. [15, s. 20-21]

2.9.1.1 Karcinoid

Karcinoidy se vyskytují cca 1–2/100 tisíc obyvatel, jsou nejčastější z NET. Karcinoidy jsou nádory většinou malých rozměrů, které mohou být dlouho asymptomatické. Pokud nádor dosáhne větších rozměrů, může se manifestovat mechanicky na nádorové masy. [15, s. 199-200] V tabulce (Tabulka 1) je popsána klasifikace a lokalizace karcinoidů a jejich procentuální zastoupení, která vychází z koncepce Williamse a Sandlera. Tumory jsou rozděleny na tři skupiny podle horního, středního a dolního úseku embryonálního střeva. [15, s. 200-201]

Tabulka 1 - Klasifikace karcinoidů [15, s. 201]

	Lokalizace	Procento zastoupení
Foregut karcinoidy	Respirační trakt, thymus, žaludek, proximální duodenum, pankreas	10 – 15 % (15 – 25 %)
Midgut karcinoidy	Ileum, jejunum, apendix, proximální část tlustého střeva	50 – 70 % (40 – 50 %)
Hindgut karcinoidy	Distální část tlustého střeva, rektum	15 – 20 % (20 – 25 %)

Horní úsek gastrointestinálního traktu zahrnuje karcinoidy žaludku a duodena. Karcinoidy žaludku jsou vzácné a představují asi 4 % všech karcinoidů, duodenální představují asi 2 %. Žaludek je postižen při nadměrné produkci gastrinu. Karcinoidy jsou zapsány do souvislosti s jiným onemocněním žaludku jako je chronická atrofická gastritida spojená s enterální metaplazií žaludeční sliznice nebo hyperplazii endokrinních buněk, ale nemusí se vyskytovat jen v souvislostech s jinými žaludečními onemocněními. Lokalizace žaludečních karcinoidů je ve fundu a makroskopicky jsou nejčastěji polypózní. K humorálním působkům produkovaných karcinoidem žaludku patří somatostatin, serotonin, ACTH, glukagon a gastrin. Karcinoidy jsou atypické, mají špatnou diferenciaci, jsou buněčné a uspořádané solidně. Metastazují do regionálních lymfatických uzlin. Metastázy v jiných orgánech jsou velice vzácné. Duodenální karcinoidy jsou biologickým chováním podobné karcinoidům

žaludku. Vzniká Zollinger-Ellisonův syndrom, který se projevuje bolestmi břicha, krvácením z horní části gastrointestinálního traktu a může se objevit ikterus. [21, s. 11-12]

Do středního úseku gastrointestinálního traktu patří karcinoidy tenkého střeva, které tvoří nejpočetnější skupiny maligních nádorů. Nejčastěji jsou v ileu, méně často v jejunu a v Meckelově divertiklu se vyskytují vzácně. Většinou jsou mnohočetné. Mají charakter intramurálních modulů a jejich velikost je kolem 1-4 cm. Nádory produkují několik humorálních působků. Nejčastěji metastazuje do regionální lymfatické uzliny a jater. Ve středním úseku můžeme jmenovat karcinoidy céka a appendixu, které mají morfologické a biologické vlastnosti podobné s karcinoidy tenkého střeva akorát mohou dorůstat větších rozměrů. [21, s. 12-13]

Karcinoidy dolního úseku gastrointestinálního traktu jsou poměrně vzácné. Biologické vlastnosti u nádorů jsou méně příznivé, protože bývají dlouhou dobu asymptomatické, proto jsou schopny dorůstat větších rozměrů 5-8 cm. Karcinoidy nejčastěji produkují pankreatický polypeptid, glukagon a somatostatin, mohou produkovat i více humorálních působků. Karcinoidy rekta jsou menších rozměrů a jsou lokalizovány na předních nebo bočních stěnách. Brzy jsou vyvolány klinické symptomy, jako je krvácení, zácpa a bolest. [21, s. 13]

Dalšími jmenovanými karcinoidy jsou bronchopulmonální, ovariální a testikulární. Bronchopulmonální karcinoidy vycházejí z neuroendokrinních buněk sliznice bronchů. Plicní karcinoid může být dobře diferenciován NET. Nádor metastazuje do mediastinální lymfatické uzliny, do jater a vzácněji do kostí a kůže. U těchto nádorů, je pětileté přežití poměrně vysoké, skoro 90 %. Oproti tomu jsou maligní bronchiální karcinoidy, které se vyznačují agresivním růstem, vykazují vyšší proliferaci schopnost a schopnost metastazovat do uzlin v 50-60 %. Metastázy se objevují již v časném stadiu, a to v kostech a mozku. Kvůli produkci biologicky aktivních hormonů může vzniknout karcinoidový syndrom i bez přítomnosti metastáz, protože hormony se dostávají plicními žilami do velkého krevního oběhu. [22, s. 11-17]

2.9.1.2 Gastrinomy

Gastrinomy jsou druhými nejčastějšími NET. Nadměrná produkce gastrinu vede k hyperplazii žaludeční sliznice a k hloubkovým ulceracím žaludku, duodena i jejunu. Gastrinom je doprovázen Zollingerovým-Ellisonovým syndromem. K určení diagnózy se provádí odběr krve nalačno, ze vzorku se zjišťuje hladina gastrinu, která je vždy vysoká a dále se zjišťuje

pH žaludeční šťávy. Pro detekci jsou vhodná endoskopická vyšetření. Využívají se lokalizační metody OctreoScan a SPECT/CT, které nám slouží k předoperační lokalizaci tumoru a jeho stadiu. Více jak 90 % nádorů exprimuje somatostatinové receptory. [20, s. 235-236]

2.9.1.3 Glukagonomy

Glukagonomy jsou vzácné nádory z alfa buněk pankreatu, ty produkují velké množství glukagonu. Koncentrace v plazmě je až 30krát vyšší než normální hodnota. 60-75 % nádorů je maligních s metastázami v játrech. [20, s. 236] Objevují se kožní změny tzv. migrující nekrolytické erytémy, diabetes mellitus, anémie, váhový pokles, chudokrevnost a mohou vznikat žilní trombózy. Terapie analogy somatostatinu zlepšují klinické symptomy. [15, s. 255-260]

2.9.1.4 Inzulinomy

Inzulinomy jsou z 8-18% maligní nádory z beta buněk pankreatu, ty produkují velké množství inzulínu. Ve většině případů jsou uloženy ve tkáni slinivky, ale asi ve 2 % jsou lokalizovány ektopicky a rozsahem jsou velmi malé. Jsou vyznačovány neurologickými příznaky, jako je bolest hlavy, porucha soustředění, neklid, zmatenost, rozmazané vidění a také jsou přítomny poruchy psychické povahy. Deprese střídají euforii, tím dochází ke změně chování. Stav hypoglykémie může vést až k poškození mozku. Lokalizace nádorů je velmi obtížná, protože jsou velmi malé. 40 % tumorů neexprimuje receptory somatostatinu, proto je užití OctreoScanu problematické a je zde riziko hypoglykémie. [20, s. 232-234]

2.9.1.5 VIPomy

Tumor, který vychází z pankreatu a souvisí s nadprodukcí vazoaktivního intestinálního polypeptidu (VIP). Klinickým symptomem jsou sekreční průjmy. Venózní krví lze detekovat 100 % VIPomů o velikosti 3 cm. Rostou pomalu, ale mají většinou špatnou prognózu. Na OctreoScanu tyto tumory exprimují SSTR. Pro léčbu se volí radikální operace a užití analog somatostatinu, které inhibují uvolňování VIP. [20, s. 237]

2.9.1.6 Pheochromocytomy

Pheochromocytomy, nacházející se ve dřeni nadledvin, jsou obvykle benigní, ale mohou se vyskytovat i extraadrenálně, pak bývají většinou maligní. Dorůstají 5-6 cm, ale mohou být i několikrát větší. Vyznačují se nadprodukcí katecholaminů, zejména noradrenalinu. Klinický příznak je bolest hlavy, palpitace, dále tachypnoe, pocení, dušnost, nauzea a až v 98 % se objevuje hypertenze buď trvalá nebo paroxysmální. Vyšetřuje se vzorek moči a plazmy

a z nich hodnota metanefrinu. Využívají se zobrazovací metody. Při léčbě se chirurgicky odstraňuje nádor a probíhá terapie adrenergními blokátory. [20, s. 308-315]

2.9.1.7 Somatostatiny

Somatostatiny jsou velmi vzácné nádory, v 70 % se vyskytují v pankreatu a v 30 % ve střevě. Nádory dosahují velkých rozměrů a jsou spojeny se somatostatinovým syndromem, který má za následek steatoreu, cholelithiázu, porušenou glukózovou toleranci a diabetes mellitus, dále se projevuje anémií a váhovým úbytkem. Nádory produkují vysokou hladinu somatostatinu, kterou lze vyšetřit z krevního vzorku, norma na lačno 5-18 pmol/l. Pro diagnostiku se využívají zobrazovací metody a indikuje se radikální chirurgická léčba nebo paliativní léčba symptomatická, protože somatostatinom nereaguje na analoga somatostatinu. [15, s. 283-286]

2.9.1.8 Pituitární adenomy

10-15 % intrakraniálních nádorů tvoří adenomy hypofýzy. Většinou jsou to léze nezhoubné. Adenomy vyrůstají z adenohipofýzy, která tvoří hormony a ty poté ovlivňují endokrinní žlázy, laktaci a celkový růst, nebo jen růst některých částí těla. Je nutná mezioborová spolupráce. Podle schopnosti tvořit hormony dělíme adenomy na funkční a afunkční. Funkční adenomy se vyznačují hormonální nadprodukcí a nefunkční adenomy vykazují příznaky útlaku hypofýzy a okolních struktur, např. útlakem zrakového nervu. Máme šest typů pituitárních adenomů kortikotropní, somatotropní, thyrotropní, gonadotropní, laktotropní nebo null cell adenom, který je bez hormonální sekrece. Adenomy dostaly název podle hormonů, ty mohou způsobovat akromegalie, gigantismus, Cushingovu nemoc, hyperthyreózu, hypogonadizmus, galaktoreu, infertilitu nebo impotenci. [23, s. 240-253] Vždy je prováděna hormonální diagnostika, poté farmakologická léčba a v neposlední řadě chirurgické odstranění nádorů. K léčbě adenomů, které produkují růstový hormon (TSH) se využívají somatostatinová analoga. K dispozici jsou oktreotid a lanreotid, mají největší afinitu k somatostatinovým receptorům subtypu 2 a 5, tato léčba je nejčastěji využívána pro zvýšení efektu chirurgické léčby. [24, s. 218-220]

2.9.2 Tumory CNS

2.9.2.1 Meningeomy

Meningeom je nádor mozku, jež vychází z mozkových plen, ty přecházejí do míchy jako tzv., míšní obaly, proto jsou meningeomy lokalizovány i v páteřním kanálu. Vyskytují se častěji u žen a ve většině případů jsou nezhoubné, ale jsou schopny dorůstat větších rozměrů

a ohrožovat život pacienta. Podle lokalizace a velikosti nádoru se odvíjejí klinické příznaky. Meningeomy malých rozměrů mohou být asymptomatické, ale jak rostou, jsou utlačovány okolní struktury a ty způsobují různé neurologické projevy. Zapříčiní vznik epilepsie, poruchy hybnosti, vidění, inkontinenci moče a stolice, poruchy chování, až demenci. Může docházet k nitrolebnímu přetlaku. Pokud nádor svým růstem způsobí útlak míchy, dojde k ochrnutí trupu a dolních, někdy i horních končetin. Meningeomy se odstraňují operativně. [25, s. 221-225]

2.9.2.2 Astrocytomy

Astrocytom je mozkový nádor, který vychází z gliových buněk. Dá se o něm říci, že je to nejčastější gliom. Dle WHO rozlišujeme astrocytomy na dvě základní skupiny, gliomy nízkého stupně malignity (LGG) a gliomy vysokého stupně malignity (HGG). Nejagresivnější formou astrocytomy je maligní multifonní glioblastom. Klinické příznaky souvisí s růstem nádoru, jež zvyšuje nitrolební tlak, což se projevuje bolestí hlavy, nevolností, zvracením, závratěmi, poruchou rovnováhy a zhoršením psychiky. Další příznaky jsou ovlivněny místem vyvíjeného tlaku astrocytomy na mozek, nebo prorůstáním astrocytomy do konkrétní části mozku. Jsou charakterizovány epileptickými záchvaty. Diagnostika se provádí nejčastěji CT, MR a angiografickým vyšetřením. Základní léčba spočívá v chirurgickém odstranění, ale záleží na velikosti a lokalizaci. U zhoubných astrocytomů se chirurgie kombinuje s chemoterapií a radioterapií. [26, s. 214-217]

2.9.2.3 Neuroblastomy

Neuroblastom je maligní embryonální nádor, jež vychází ze sympatického nervového systému. Je to nejčastější maligní onemocnění dětského věku, u novorozenců, kojenců, batolat. Ve věku vyšší jak 10 let je výskyt neuroblastomu velmi raritní. Je diagnostikován v prenatálním nebo v postnatálním vyšetření UZ, ale může být zaznamenán i jako hmatná abdominální masa. Dále se vyšetřuje MR, scintigrafickými metodami a zjišťují se biochemické parametry z krve a moče. Neuroblastom je nejčastěji v nadledvinách, retroperitoneu, zadním mediastinu, pánvi a krku. Příznaky jsou ovlivněny lokalizací, syndrom míšní komprese se projevuje parézou nebo plegií končetin, poruchou vyprazdňování a močení, problémy s očima. Únava, nechutenství, slabost, změny chování, teploty, anémie, pocení, flushes a bolest patří do nespecifických projevů. Metastázy jsou časté, ve více než v 50 %, především v lymfatických uzlinách, kostech, orbitech, játrech, kostní dřeni a kůži. Malé neuroblastomy jsou bezpříznakové, proto mívají 2/3 dětí při stanovení diagnózy

metastázy. Léčba je chirurgická, může se kombinovat s chemoterapií, radioterapií. Je vyléčeno asi 40 % dětí s neuroblastomem. [27, s. 211-214]

2.9.3 Další nádory se somatostatinovými receptory

2.9.3.1 Medulární karcinom štítné žlázy

Medulární karcinom štítné žlázy je tvořen parafolikulárními C buňkami štítné žlázy, které produkují kalcitonin. Medulární karcinom se vyskytuje buď sporadicky, nebo familiárně jako autosomálně dominantní onemocnění a jako mnohočetné endokrinní neoplazie. Objevuje se struma, nebo uzел. Uzel je uložený ve středu, nebo v horních pólech štítné žlázy, jsou přítomny kalcifikace. Dále je doprovázen změnou hlasu, chrapotem, obtížemi s polykáním a dušností. Tyto nádory metastazují do jater, plic a skeletu. Nejčastěji se zobrazují UZ, CT, ale i scintigrafickými zobrazovacími metodami. Laboratorním vyšetřením imunochemie je zjišťovaná hladina kalcitoninu, tyreoglobulinu, chromograninu A, kdy ve všech případech medulárního karcinomu štítné žlázy jsou hodnoty zvýšené. Hladina kalcitoninu v séru je velmi vysoká, ale klesá po provedeném radikálním výkonu, při kterém je odstraňován celý nádor a okolní tkáň. Onkologické zajištění spočívá v zevní aktinoterapii na ložiska, chemoterapii, ale i v genové terapii. Pro paliativní léčbu je využíván somatostatin, který má dobré terapeutické účinky. [28, s. 336-339]

2.9.3.2 Malobuněčné a nemalobuněčné karcinomy plic

Malobuněčný karcinom plic je diagnostikován ve většině případů kuřákům, v pokročilém stádiu a vyznačuje se agresivním chováním. Vždy musí být doloženo výsledky z histologického a imunohistochemického vyšetření kvůli rozlišení možných variant karcinomu plic a následně díky laboratorním výsledkům a diagnostickým metodám se volí terapie. Volba terapie je kombinovaná, buď chemoterapie a radioterapie, nebo je-li to možné, se provádí chirurgické odstranění nádoru. [15, s. 215]

Nemalobuněčný karcinom plic je nejčastější z karcinomů plic. Vyznačuje se pomalejším růstem, metastazuje později a také je málo citlivý na léčbu chemoterapií a radioterapií, ale naopak léčba chirurgická může vést k úplnému uzdravení pacienta. Dále je ještě využívána cílená biologická léčba. U karcinomu plic počáteční stádium může být zcela bez příznaků, avšak v pokročilejších stádiích se projevy a příznaky různí. Příznaky se objevují pomalu a nenápadně. Řadíme k nim chrapot, teplotu, ztrátu chuti k jídlu a s ní spojenou ztrátu hmotnosti, obtíže při polykání nebo únavu. Kašel s vykašláváním krve, bolestí na hrudníku a celková schvácenost se objevuje v pozdějších stádiích. Dědičnost je jedním

z prokázaných faktorů a z toho důvodu se provádí screening genetickými testy v rodinách zatížených tímto onemocněním. [29, s. 151-158]

2.9.3.3 Lymfomy

Lymfomy, nádorové onemocnění lymfatického systému, jsou rozděleny do dvou skupin. První skupinou jsou Hodgkinovi lymfomy a druhou skupinou jsou Non-Hodgkinovi lymfomy. Hodgkinův lymfom je tvořen B-lymfocyty a non-hodgkinův lymfom je představen rozmanitější skupinou. Lymfomy z B-lymfocytů tzv. B-lymfomy tvoří 80 % a ostatní jsou z T-lymfocytů tzv. T-lymfomy. U buněk lymfatického systému dochází k nekontrolovatelnému množení a postižená uzlina nebo skupina uzlin se začíná zvětšovat a přestává plnit své funkce. Lymfatická tkáň je v celém těle, proto může postihnout i orgány, které se nacházejí mimo uzliny. [30, s. 9]

Stanovení přesného typu lymfomu je důležité, neboť se každý typ vyznačuje specifickým chováním v organismu, kde způsobuje jiné obtíže. Dále je přesná diagnóza důležitá pro další postup léčby, zda zahájit léčbu ihned, nebo prozatím sledovat pacienta a léčbu zahájit, až při obtížích. Lymfomy mají různé lokalizace, proto mají příznaky odlišné. Dochází ke zvětšení uzlin, a tak může dojít k možnému útlaku okolních struktur, který způsobí např. otok při blokování lymfatických cest a žil, kde může dojít k tvorbě krevních sraženin. Dále může dojít k útlaku dýchacích cest, na který navazuje dušnost, kašel, únava, horečka a svědění kůže. Později pacient ztrácí na hmotnosti, objevuje se anémie a mění se vzhled lymfocytů. Léčba je prováděna pomocí cytostatik a radioterapie, také se využívá autologní transplantace krvetvorných kmenových buněk z kostní dřeně. [31, s. 105-109]

2.9.3.4 Karcinomy prsu

Karcinom prsu je nejčastěji vyskytující se nádor u žen, výjimkou není ani výskyt u mužů. Incidence stoupá a nyní představuje asi 87/100 000 žen. Mortalita poklesla na polovinu, díky mamografickému screeningu. Karcinomy prsu jsou rozdělovány na dvě skupiny, a to duktální a lobulární. Podle schopnosti nádorů prorůstat do okolní tkáně jsou rozlišovány nádory na neinvazivní in situ rostoucí, které nejsou schopny metastazovat. Riziko v tomto případě spočívá v lokální recidivě. Naopak invazivní karcinomy mají schopnost metastazovat, nejčastěji do plic a kostní tkáně. Nejčastěji jsou zobrazovány mamografem a UZ, dále probíhá biochemické vyšetření a biopsie. Léčba karcinomu spočívá v chirurgickém odstranění v kombinaci s radioterapií, chemoterapií, hormonální nebo biologické léčbě. [32, s. 84-89]

2.9.3.5 Karcinomy ledvin

Karcinom ledvin se vyskytuje mezi 50-60 rokem života, častěji u mužů. Mohou se vyskytovat multicentricky, bilaterálně, ale i familiárně. Prognóza závisí na několika faktorech. Hlavním faktorem je zjištění histologického typu karcinomu. Některé karcinomy se vyznačují agresivním chováním a špatnou léčitelností, ale některé mají naopak příznivější průběh. Dále je důležité stadium nádoru. Tumor menší než 3 cm se chová většinou příznivěji, ale tumory větší než 12 cm jsou spojeny s horší prognózou. Velikost nádoru, kdy dochází k obvyklé diagnóze, bývá okolo 7 cm. Důležité je mikroskopické vyšetření, kdy je zjišťován vzhled nádorových buněk, tvar, velikost a jejich obsah. Některé typy karcinomů metastazují nejčastěji do plic, kostí, jater nebo do lymfatických uzlin. Příznaky onemocnění jsou hematurie, bolest v bederní krajině, může být i hmatný tumor v oblasti ledviny, dochází k poruchám průchodnosti žil, anémii a vysoké koncentraci vápníku v krvi, přítomný je úbytek váhy. Častá je hypertenze, zvýšená teplota a leukopenie. Objevují se zánětlivé reakce, tachykardie a extrasystolie. Důležitá je včasná diagnóza. Chirurgická léčba spočívá v odstranění celé ledviny nebo jen její části. Využívá se radioterapie a imunoterapie. [33, s. 80-82]

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část je zpracována na základě získaných poznatků na ONM v rámci praxe, kterou jsem absolvovala. V této části je popsán standardní postup vyšetření SPECT/CT zobrazující nádory se somatostatinovými receptory a pracovní náplň radiologického asistenta. Postup vyšetření je doplněn o fotografie. Na ONM jsou využívány dva vyšetřovací protokoly OctreoScan a Tektrotyd. V praktické části se neobjevují osobní údaje pacientů.

3.1 OctreoScan

3.1.1 Příprava pacienta před vyšetřením

Pacient se telefonicky nebo osobně objedná na vyšetření. Při vstupu na ONM se střetne s RA v kartotéce, k tomu se pacient hlásí a předkládá žádanku na vyšetření. Radiologický asistent kontroluje osobní údaje, tzn. jméno, příjmení, rodné číslo, pojišťovnu, typ vyšetření, diagnózu. Zjišťuje váhu, výšku pacienta a případné alergie. Pacient obdrží informovaný souhlas (Příloha A), k přečtení a vyplnění jména, rodného čísla, pojišťovny a v neposlední řadě ho potvrdí svým podpisem. Nezletilému pacientovi vyplňuje a potvrzuje informovaný souhlas zákonný zástupce. Pacientky ve fertlím věku podepisují prohlášení, že nejsou těhotné, pokud si ženy nejsou jisté, je na oddělení k dispozici těhotenský test.

Radiologický asistent podává všechny potřebné informace o přípravě a průběhu vyšetření pacientovi, ten obdrží informační list (Příloha B), kde jsou uvedeny údaje, kdy se má dostavit na vyšetření gamakamerou po aplikaci RF. Pokud pacient trpí klaustrofobií nebo má strach, je důležité, aby RA simuloval vyšetření před aplikací RF. Poté se rozhoduje, zda vyšetření zvládne či nikoliv. Pacient může jíst a dodržuje zvýšený pitný režim po celý den. Před vyšetřením je požádán, aby šel na toaletu vyprázdnit močový měchýř. Naplněný močový měchýř při vyšetření není vhodný, protože by ve větší míře akumuloval radiofarmakum, které by výrazně ovlivnilo čitelnost výsledného obrazu. Radiologický asistent si zavolá pacienta do vyšetřovny a požádá ho o odložení osobních věcí, bot, kalhot a šperků, jež by mohly způsobit artefakty výsledného obrazu. Pacient si lehne na záda na vyšetřovací stůl a je mu sděleno, že vyšetření bude trvat zhruba 45 minut. Po skončení vyšetření je pacientovi oznámeno, kdy má přijít na další snímkování. Dále je poučen o omezeném styku s těhotnými ženami, malými dětmi a o dostatečném příjmu tekutin, aby se RF co nejrychleji vyloučilo z organismu pacienta.

3.1.2 Příprava přístroje a pomůcek

Radiologický asistent obdrží z kartotéky pacientovu dokumentaci. Do počítače zadává údaje o pacientovi tj., jeho jméno a příjmení, rodné číslo, výšku a váhu. Dále RA vybere protokol vyšetření a dohlíží na správnost nastavení přístroje. Přístroj je dvoudetektorová scintilační SPECT/CT low dose gamakamera osazená kolimátorem pro střední energii. (Obrázek 4). Vyšetřovací protokol a jeho parametry jsou ve většině případů přednastaveny, ale je možné je pozměnit na žádost lékaře. Okénko analyzátoru je nastaveno na fotopík 171 keV anebo 245 keV. Akviziční parametry matice jsou 256x256 a čas je v rozmezí 10-15 minut pro jednotlivé planární scintigramy. U celotělových scintigramů je posun 6 cm za minutu a matice je 256x1024. SPECT/CT se zaznamenává v 60 nebo 120 projekcích v úhlu rotace 360°, jedna projekce je po 3° - 6°.



Obrázek 4 - Dvuhlavá gamakamera [4]

Radiologický asistent připravuje pomůcky pro intravenózní aplikaci RF v aplikační místnosti. Připravena je jehla, stříkačka, desinfekční čtverce, tampony, náplast, škrtidlo, ochranný kryt na stříkačku a gumové rukavice (Obrázek 5).



Obrázek 5 - Pomůcky pro i.v. aplikaci radiofarmaka [4]

3.1.3 Vlastní vyšetření

Radiologický asistent požádá pacienta, aby se došel na toaletu vymočit. Zanedlouho je pacient pozván do vyšetřovny, kde proběhne jeho aktivní identifikace zeptáním se na jeho jméno a datum narození. Pacient si v kabině odloží boty, kalhoty, šperky. Radiologický asistent si udržuje odstup od pacienta, kterému bylo v aplikační místnosti podáno RF ^{111}In -pentetretyd. Aktivita pro ideálního pacienta vážícího 70 kg je 175 MBq. Pokud má pacient váhu nižší nebo naopak vyšší musí být aktivita přepočítaná dle přepočtových tabulek European Association of Nuclear Medicine (EANM).

Vzorec pro výpočet aktivity RF je daný $A = A$ (ideální pacient 70 kg) \times F (faktor).

Tabulka 2 - hodnoty faktoru F podle tělesné hmotnosti dětí a dospělých EANM [34, s. 220]

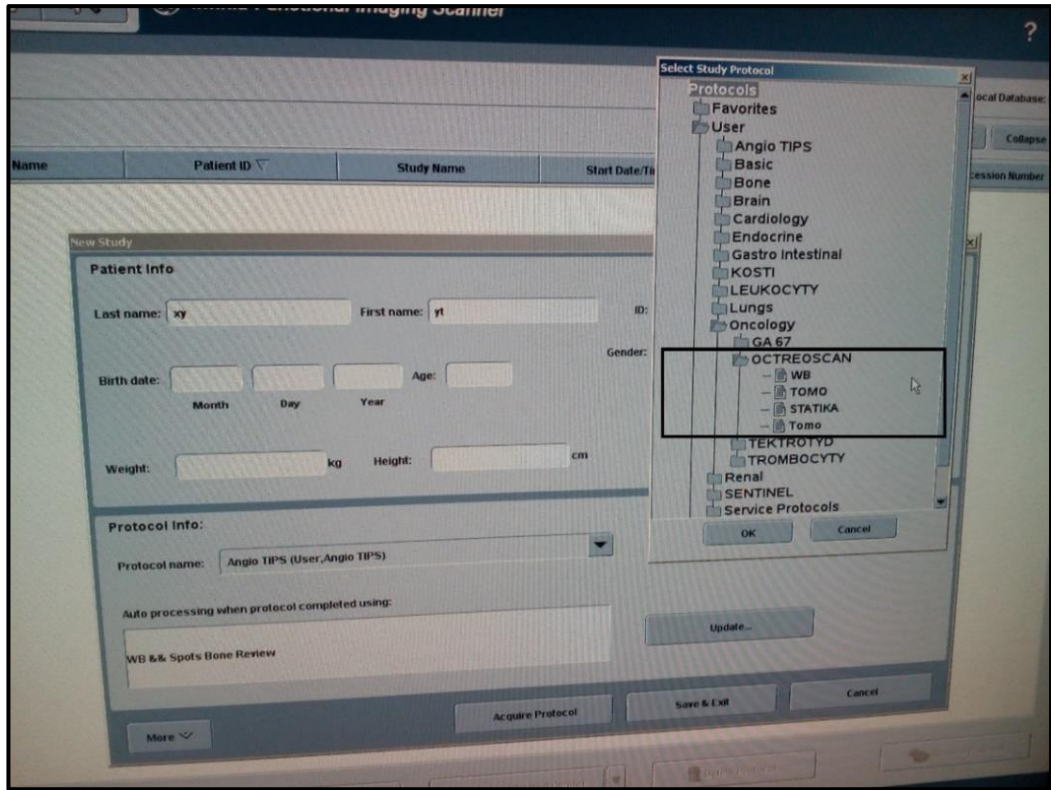
Pacienti s hmotností < 70 kg		Pacienti s hmotností \geq 70 kg	
Hmotnost pacienta [kg]	Faktor F	Hmotnost pacienta [kg]	Faktor F
4	0,14	70	1
5	0,17	75	1,05
6	0,19	80	1,10
7	0,21	85	1,15
8	0,23	90	1,19
9	0,25	95	1,24
10	0,27	100	1,28
11	0,29	105	1,33
12	0,32	110	1,37
13	0,34	115	1,41
14	0,36	120	1,46
15	0,38	125	1,50
20	0,46	130	1,54
25	0,54	135	1,58
30	0,62	140	1,62
35	0,69	145	1,66
40	0,76	150	1,70
45	0,81	155	1,74
50	0,88	160	1,78
52 – 54	0,90	165	1,82
56 – 58	0,92	170	1,86
60 – 62	0,96	180	1,94
64 – 66	0,98	190	2,01
68	0,99	200	2,085

V tabulce (Tabulka 2) je znázorněno, jakým způsobem lze vypočítat optimální aktivitu RF pro pacienta. Každý kilogram váhy určuje odlišnou hodnotu aktivity RF, kterou pacient obdrží. Přepočty se provádějí u každého pacienta, který nemá ideální váhu, tedy 70 kg. Aktivita aplikovaného RF se zapisuje do dokumentace. Radiofarmakum bylo aplikováno ráno v den vyšetření a za 4 hodiny se provádí první snímkování. Druhé kontrolní snímkování probíhá za 24 hodin eventuálně za 48 hodin od aplikace RF. Vyšetřovací protokol je dvoudenní. Radiologický asistent uloží pacienta na vyšetřovací stůl na záda s rukama uloženými podél těla. Pacienta fixujeme dvěma pásy na suchý zip okolo těla a edukujeme ho, aby se během vyšetření nehýbal (Obrázek 6).

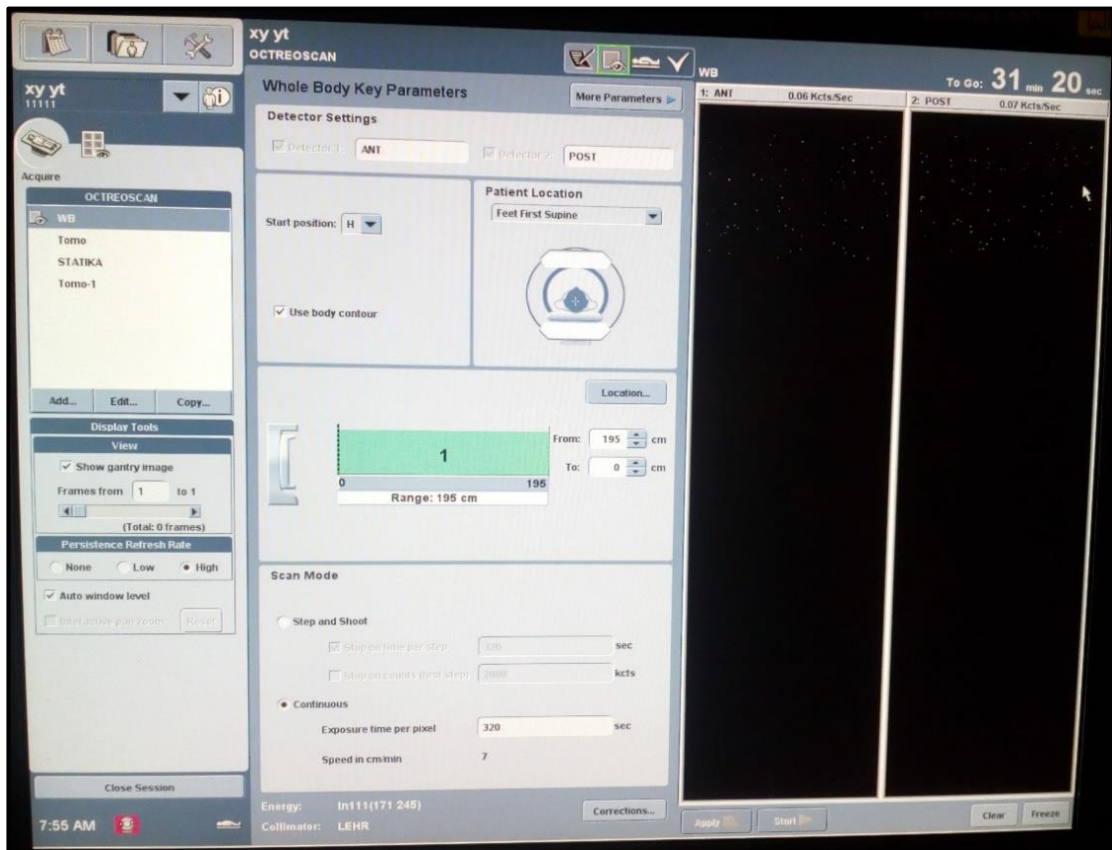


Obrázek 6 - Poloha pacienta [4]

Radiologický asistent předal pacientovi všechny potřebné informace o průběhu vyšetření a odchází do ovladovny, kde vyplňuje vyšetřovací protokol, OctreoScan. Vyplní jméno, příjmení, rodné číslo, váhu a výšku (Obrázek 7, 8).



Obrázek 7 - Výběr nového protokolu a zadání údajů o pacientovi [4]



Obrázek 8 - vyšetřovací protokol, OctreoScan [4]

Radiologický asistent vyplnil a připravil vše na počítači v ovladovně a odchází k pacientovi do vyšetřovny. Tam na ovladači stiskne tlačítko go a tím spustí vyšetření. Je nastavena funkce infračervený body contouring, která zajišťuje, aby detektor byl co nejbliž k tělu, čímž zabezpečí jeho opis. Celková doba vyšetření je přibližně 45 minut. Prováděna je celotělová scintigrafie tzv., průjezd. Rychlost průjezdu pacienta mezi detektory je 7-8 cm za minutu (Obrázek 9).



Obrázek 9 – celotělová scintigrafie [4]

Poté následuje SPECT/CT na cílenou oblast, kdy je pacient otočen hlavou do gantry a detektory se otáčejí kolem pacienta (Obrázek 10). Na žádanku se zapisuje dávka obdržena při CT.



Obrázek 10 - Otáčení detektorů gamakamery při SPECT/CT vyšetření [4]

Po skončení vyšetření je pacient uvolněn z fixační polohy, oblékne se a je informován o omezeném styku s dětmi a těhotnými ženami. Je poučený o zvýšeném pitném režimu, aby se RF vyloučilo co nejdříve z organismu pacienta. V neposlední řadě RA odesílá získaná data z vyšetření ke zpracování a vyhodnocení lékaři (Obrázek 11). V dokumentaci RA potvrdí svým podpisem a razítkem se jménem, že vyšetření provedl.



Obrázek 11 - Získaná data z vyšetření odeslaná lékaři k vyhodnocení [4]

3.2 ^{99m}Tc-Tektrotyd

3.2.1 Příprava pacienta před vyšetřením

Příprava pacienta před vyšetřením je téměř totožná jako u OctreoScanu. Když se pacient dostaví na vyšetření, RA řádně ověří údaje na žádance a předává informovaný souhlas (Příloha C). Probíhá edukace o přípravě, průběhu vyšetření a zvýšeném pitném režimu po celý den. Pacient podepisuje informovaný souhlas před aplikací RF a ženy ve fertilním věku podepisují prohlášení, že nejsou gravidní. V aplikační místnosti se pacientovi aplikuje intravenózní cestou RF ^{99m}Tc-Tektrotyd o aktivitě 740-800 MBq, přepočteno dle váhy pacienta, viz. Tabulka 2. Radiologický asistent aktivně ověřuje identitu pacienta a připravuje pomůcky pro i.v. aplikaci RF, odpovídá na všechny pacientovi otázky, přebírá podepsaný informovaný souhlas. Dále RA asistuje lékaři při aplikaci RF, kde pacientovi připevní škrtidlo na paži, dezinfikuje místo vpichu a lékař aplikuje RF, poté RA uvolní škrtidlo a přitlačí čtvereček na místo vpichu a přelepí náplastí. Po aplikaci RF se pacient stává zdrojem ionizujícího záření, a proto by si měl udržovat dostatečnou vzdálenost od malých dětí a těhotných žen. První snímkování proběhne za 1 hodinu po aplikaci RF, pacient po tuto dobu musí zůstat lačný. Druhé snímkování probíhá za 3-4 hodiny od aplikace RF, pacient se již může lehce najíst. Od RA pacient obdrží informační list (Příloha D), kde jsou uvedeny přesné časy, kdy se má dostavit na vyšetření gamakamerou. Pacient je požádán, aby vyčkal v čekárně před gamakamerou, kterou bude vyšetřován. Před snímkováním je pacient vyzván, aby se došel na toaletu vymočit a poté pozván do vyšetřovny. V kabině si odloží osobní věci, boty, kalhoty a šperky. Na vyšetřovací stůl si pacient lehne na záda hlavou na polštářek, nohama do gantry a ruce má položené podél těla. Pacientovu polohu zajistíme fixačními pásy na suchý zip. Vyšetření bude trvat zhruba 30 minut, může být i delší vzhledem k doplňujícím vyšetřením na cílené oblasti. Po skončení vyšetření je pacientovi sdělen čas dalšího snímkování.

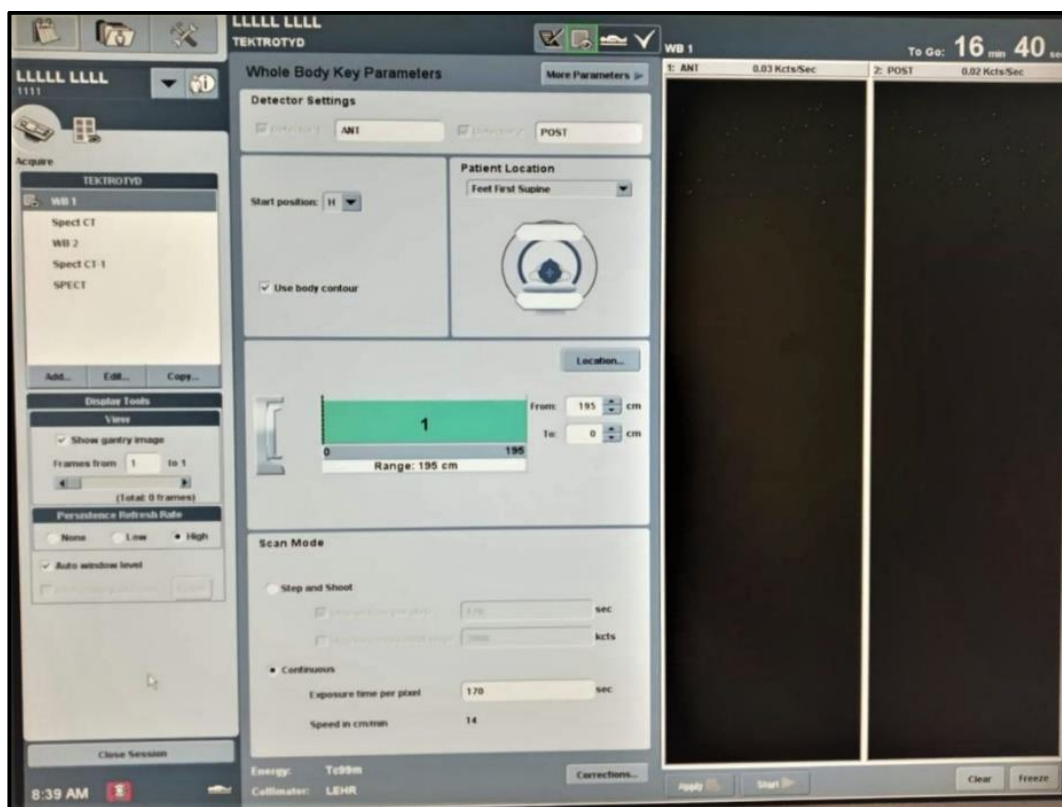
3.2.2 Příprava přístroje a pomůcek

Vyšetření je provedeno na dvouhlavé scintilační SPECT/CT low dose gamakameře, osazené nízkoenergetickým, paralelním kolimátorem s vysokým rozlišením. Radiologický asistent z kartotéky obdrží pacientovu dokumentaci a do počítače zadává osobní údaje a vybírá protokol vyšetření. Dohlíží na správnost nastavení přístroje. Vyšetřovací protokol a jeho parametry jsou přednastaveny, ale je tu možnost změny některých parametrů na žádost lékaře. Okénko analyzátoru je nastaveno na fotoník 140 keV. Akviziční parametry matice jsou 256x256 a časový interval je v rozmezí 10-15 minut pro jednotlivé planární scintigramy.

U celotělových scintigramů je posun 12-16 cm za minutu a matice je 256x1024. SPECT/CT se zaznamenává v 60 nebo 120 projekcích v úhlu rotace 360°, jedna projekce je po 3° - 6°.

3.2.3 Vlastní vyšetření

Radiologický asistent zve připraveného pacienta do vyšetřovny, aktivně ho identifikuje a požádá ho o odložení osobních věcí, bot, kalhot a šperků do kabinky. Pacient zaujme na vyšetřovacím stole polohu na zádech, nohy směřují do gantry, ruce má uložené podél těla a je fixován pásy na suchý zip (Obrázek 13), aby se během vyšetření nehýbal, o čemž je aktivně poučen RA. Pacientovi je oznámeno, že vyšetření bude trvat zhruba 30 minut a také, že se detektory budou přibližovat blízko k jeho tělu. Zapnuta je funkce infračervený body contouring. Radiologický asistent odchází do ovladovny a tam zapisuje všechny pacientovi údaje do počítače. Vybírá vyšetřovací protokol Tektrotyd (Obrázek 12).



Obrázek 12 - Vyšetřovací protokol, TEKROTYD [4]

Vyšetření začíná po stisknutí tlačítka go na ovladači gamakamery ve vyšetřovně. Provedena je celotělová scintigrafie tzv., průjezd. Rychlost průjezdu pacienta mezi detektory gamakamery je 7-8 cm za minutu a následně se doplňuje vyšetření SPECT/CT na cílenou oblast. Při SPECT/CT je pacient otočen hlavou do gantry (Obrázek 13) a je informován o tom, že se detektory budou otáčet kolem něho. Po skončení vyšetření je pacient uvolněn z fixační polohy, oblékne se. Radiologický asistent pacientovi připomene, aby dodržoval

zvýšený pitný režim a vyvaroval se kontaktu s malými dětmi a těhotnými ženami. Získaná data z vyšetření RA posílá ke zpracování a vyhodnocení lékaři. Radiologický asistent v dokumentaci potvrdí svým podpisem a razítkem se jménem, že vyšetření provedl.



Obrázek 13 - Polohy pacienta při vyšetření [4]

3.2.3.1 Výsledky vyšetření

Výsledky vyšetření hodnotí lékař. Lékařská zpráva se skládá z několika částí tj., administrativních dat. Součástí jsou indikace k vyšetření, popis vyšetření, vyšetřovací přístroj, RF a jeho aktivita, způsob vyšetření, případné komplikace, a zda byly využity doplňkové projekce. Dále se popisuje nález na scintigramu, zda byl pozitivní či nikoli. Klinický závěr je vyhodnocen ve vztahu k indikaci vyšetření, s kterým byl pacient odeslán na ONM. Lékař může doporučit další postup pro pacienta a poslat jej indukujícím lékařem přes PACS. V tomto systému jsou všechna data uchovávána. Dokumentace je také archivována na ONM po dobu 10 let. Důležité je dochovat všechny údaje a data, kvůli správnému a zpětnému odhadu radiační zátěže pro pacienta nebo pro kontrolu a k porovnání s novými výsledky vyšetření.

3.2.3.2 Zdroje chyb při vyšetření

Při vyšetření na ONM se mohou tvořit chyby podobně jako ve všech jiných zobrazovacích metodách. Typickými chybami, které ničí kvalitu vyšetření a negativně ovlivňují obraz, jsou pohyby pacienta, ale také doba začátku snímání, která může začít buď příliš brzo, nebo dlouho po aplikaci RF. Artefakty se mohou vytvořit v místě vpichu, z kovových implantátů, ale také z kontaminace kůže a oděvu tekutinami, které obsahují radioaktivní látky. Vzdálenost kolimátor-pacient, také negativně ovlivňuje kvalitu obrazu.

4 DISKUZE

Detekce nádorů se somatostatinovými receptory je prováděna molekulárními zobrazovacími metodami, zatímco v minulosti se odborníci spoléhali na méně účinné metody, jako jsou CT a MR. Molekulární zobrazovací techniky spojené v kombinaci se strukturálním zobrazováním tzv. hybridní zobrazování, nám poskytuje funkční a morfologické informace o nádoru. Nadměrná exprese somatostatinových receptorů na buněčné membráně byla základem pro vývoj somatostatinové receptorové scintigrafie, jež je doplňována o SPECT/CT, které slouží k detekci malých lézí. Ve studii H. Al-Chalabi uvedl, že v zobrazování nádorů se somatostatinovými receptory bylo přesné díky interpretaci nálezů ze SPECT/CT. [35, s. 527-534] Jiná studie, kde Inki Lee a Jin Chul Paeng srovnávali zobrazování nádorů se somatostatinovými receptory na SPECT/CT a PET/CT, odhalili, že PET/CT je daleko citlivější metoda pro zobrazování těchto nádorů, protože zobrazí o více než 45 % lézí. [36, s. 284-290] Martin Barrio a Johannes Czernin ve studii s 1561 pacienty uvedli, že provedené vyšetření SPECT/CT a následně provedené vyšetření PET/CT, změnilo výsledky u více než 1/3 pacientů, a proto muselo dojít ke změně ve vedení managementu léčby. [37, s. 756-761] V další studii Dorota Madrzak napsala, že přesnost metody SPECT/CT je 91,6 % a u 8,4 % osob se změnil protokol léčby po vyšetření PET/CT s ^{68}Ga -Dotatoc nebo Dotatate či jinými analogy zobrazující somatostatinové receptory. [38, s. 88-92] Z toho vyplývá, že nejlepší metoda pro zobrazování nádorů se somatostatinovými receptory je PET/CT metoda, která nabízí nejvyšší citlivost, ale v ČR PET/CT s ^{68}Ga -Dotatoc či jinými analogy, nemůžeme využívat, protože toto RF není registrované, a tak nemůže sloužit k zobrazování těchto nádorů. Nejčastější metodou zobrazující nádory se somatostatinovými receptory, je tedy metoda SPECT/CT, která zvyšuje kvalitu diagnostiky. Nabízí nám trojrozměrné obrazy a zjišťuje přesné umístění, velikost, povahu a rozsah nádorů kdekoli v těle. SPECT/CT vyšetření je také komfortnější pro pacienta, protože proběhnou obě vyšetření na jednom místě. Do budoucna si myslím, že se metody, přístroje, pomůcky, RF a další elementy na ONM budou zdokonalovat a nádory se somatostatinovými receptory se budou zobrazovat na PET/CT mnohem častěji.

Výběr správného vyšetřovacího protokolu je důležitý v diagnostice nádorů s expresí somatostatinových receptorů, subtypy 1-5. Somatostatinové receptory a jejich detekce v tumorech spočívá ve využívání analog se širším afinitním spektrem, protože každý nádor má jiné vlastnosti a obsahuje jiné množství a typ somatostatinových receptorů. K posouzení se zaměřím na společné a odlišné aspekty vyšetřovacích protokolů ^{111}In -pentetretyd,

^{99m}Tc -tektrotyd a ^{99m}Tc -depreotydy. Scintigrafie ^{111}In -pentetreotydy a ^{99m}Tc -tektrotyd mají vysokou citlivost detekovat karcinoidy a neuroendokrinní tumory až v 95 % a scintigrafické vyšetření s ^{99m}Tc -depreotydem je nejcitlivější k detekci karcinomů plic, ve většině případů nemalobuněčných. [39, s. 70-77]

Cílem bakalářské práce bylo charakterizovat úlohu radiologického asistenta při vyšetření pacienta na ONM. Úloha spočívá v přijetí pacienta, v řádné edukaci o postupu a průběhu vyšetření, v přípravě pacienta a pomůcek důležitých pro správně provedené vyšetření. Obstarává veškeré dokumenty od pacienta, podpis informovaného souhlasu a od žen potvrzení, že nejsou gravidní. V neposlední řadě RA připraví RF a asistuje lékaři při aplikaci. Přístrojem je dvoudetektorová scintilační SPECT/CT low dose gamakamera, osazená kolimátorem, kdy je pro ^{111}In použit kolimátor pro střední energie a pro ^{99m}Tc je použit kolimátor nízkoenergetický paralelní s vysokým rozlišením. Aktivita RF a čas jednotlivých snímání je odlišný. Pro ^{111}In -pentetreotydy je aplikovaná aktivita 175-190 MBq, vypočítaná dle váhy pacienta a snímkování probíhá za 4 hodiny a za 24 hodin po aplikaci RF, v případě potřeby za 48 hodin po aplikaci RF. Pro ^{99m}Tc -tektrotyd a ^{99m}Tc -depreotydy je aplikovaná aktivita 740-800 MBq, určena podle váhy pacienta. První snímkování se provádí za 1 hodinu a druhé za 4 hodiny od aplikace RF. U všech probíhá cílené vyšetření SPECT/CT na břicho, hrudník nebo hlavu dle lokalizace nádoru. Vyšetřovací protokol s ^{111}In je dvoudenní protokol, naopak s ^{99m}Tc je protokol pouze jednodenní. Před každým vyšetřením má pacient vyprázdněný močový měchýř, aby byl výsledný obraz dobře čitelný. Pacient nesmí mít na sobě žádné kovové věci. Na vyšetřovací stůl se pacient položí na záda a je fixován pásky na suchý zip. Po vyšetření je důležité dodržovat několik pravidel, jako je zvýšený pitný režim, aby se RF vyloučilo co nejrychleji z organismu pacienta a omezení kontaktu s těhotnými ženami a dětmi.

Emilio Bombardieri, Cumali Aktolun a spol. pod záštitou Onkologického výboru Evropské asociace nukleární medicíny vypracovali pokyny pro postup scintigrafie se somatostatinovými receptory. Hustota somatostatinových receptorů se mění, a proto jsou různé druhy nádorů jinak citlivé. Instrumentárium, způsoby akvizice, čas snímání a zpracování obrazu jsou v podstatě stejné jako v České republice, můžou se lišit dle zvyklostí oddělení v určité zemi nebo městě. Analýza je vyhodnocena lékařem nukleární medicíny podle navržené bodové vizuální absorpce na pětibodové stupnici, od žádného vycytávání po intenzivní absorpci. [40, s. 141-148] World Journal of Nuclear Medicine uvedl, že u vyšetřovacího protokolu ^{99m}Tc -tektrotyd je i.v. aplikované RF o aktivitě 740 MBq a časy

snímání jsou po 2 hodinách a 4 hodinách, zde je změna v čase prvního snímání, v ČR ho provádíme po 1 hodině od aplikace RF. [41, s. 137-142]

Po celá desetiletí se používal radioaktivně značený analog somatostatinu ^{111}In -pentetreotyd, který je špatně dostupný s vysokými náklady. Od roku 2005 se začal využívat $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tektrotyd a depreotyd, což vyřešilo problémy s dostupností a cenou. Celková kvalita obrazu je daleko lepší s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ než s ^{111}In . Rozdíly při SPECT/CT a PET/CT metodě jsou radiační zátěž pacientů a doba vyšetření. Nejvyšší odhadovanou efektivní dávku 12 mSv na celé tělo má ^{111}In -pentetreotyd SPECT/CT, zatímco $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tektrotyd a depreotyd SPECT/CT mají efektivní dávku 3-6 mSv a ^{68}Ga -Dotatoc či jiný analog zobrazující somatostatinové receptory na PET/CT má efektivní dávku 3 mSv. Nejdelsí doba vyšetření je u ^{111}In -pentetreotydu SPECT/CT a činí 24-48 hodin, u $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tektrotydu a depreotydu SPECT/CT je doba vyšetření 2-6 hodin a nejkratší doba 30-60 minut je u ^{68}Ga -Dotatoc či jiného analogu zobrazující somatostatinové receptory na PET/CT. [42, s. 47-80] Expozice pracovníků u ^{111}In je 4,4krát vyšší než u $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ale i u ^{68}Ga . V ČR jsou využívanější SPECT/CT vyšetřovací protokoly s $^{99\text{m}}\text{Tc}$. V zahraničí dnes řada center nukleární medicíny zobrazuje nádory se somatostatinovými receptory pomocí PET/CT s ^{68}Ga -Dotatoc, Dotatate či analogy co zobrazují somatostatinové receptory. [43, s. 146-154]

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce s názvem SPECT/CT zobrazení nádorů se somatostatinovými receptory – úloha radiologického asistenta, měla za cíl charakterizovat pracovní náplň a každodenní nasazení RA na ONM. Cílem bylo popsat úlohu RA a zobrazovací metodu SPECT/CT s vyšetřovacími protokoly ^{111}In -pentetreotyd, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tektrotyd a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -depreotyd, jimiž se nám zobrazují nádory se somatostatinovými receptory. Scintigrafická vyšetření a SPECT/CT jsou nenahraditelnými metodami v diagnostice nádorů s expresí somatostatinových receptorů. Somatostatinové receptory se nejčastěji nacházejí na povrchu mnoha nádorových buněk a v tumorech neuroendokrinního původu.

Klíčové činnosti RA spočívají v důkladné edukaci pacienta v přípravě a průběhu vyšetření, včetně edukace pacienta ohledně dodržení žádoucího chování během a po vyšetření. Radiologický asistent získává informovaný souhlas pacienta, asistuje při aplikaci RF, nastavuje parametry na gamakameře a ve vyšetřovacích protokolech v počítači. Dalším úkolem pro RA je zaznamenat celou požadovanou vyšetřovanou oblast v zorném poli gamakamery a zajistit výsledný obraz bez artefaktů. Správně provedené vyšetření nám zajistí potřebná data v dobré kvalitě, určené ke zpracování lékaři.

V teoretické části bakalářské práce jsou popsány vybrané fyzikální pojmy, RA a ONM. Dále se zabývám přístrojovou technikou a principem SPECT/CT zobrazující nádory se somatostatinovými receptory. Následná kapitola se zaměřuje na radiační ochranu, radiofarmaka a jejich výrobu a popis vyšetřovacích protokolů, které nám zobrazují tyto nádory. V poslední kapitole jsou popsány nádory.

V praktické části bakalářské práce je charakteristika vyšetření SPECT/CT zobrazující nádory se somatostatinovými receptory doplněná fotografiemi z ONM. Dále je zde popsána úloha radiologického asistenta. Jeho činnost je zachycena krok za krokem v průběhu celého vyšetření.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
- [2] MYSLIVEČEK, Miroslav, Václav HUŠÁK a Pavel KORANDA. Nukleární medicína. 2. vyd. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 2000. ISBN 80-244-0081-2.
- [3] 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.
- [4] ČESKO. Zákon č. 96/2004 Sb. In: Zákony pro lidi.cz [online]. Praha [cit. 2019-10-01]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-96>
- [5] ČESKO. Vyhláška č. 39/2005 Sb. Kvalifikační standard radiologický asistent [online]. In: Praha: Ministerstvo zdravotnictví s Ministerstvem školství, 2005, částka 8. [cit. 2019-10-10]. Dostupné z: http://www.mzcr.cz/Odbornik/dokumenty/kvalifikacni-standard-radiologicky-asistent_18392_947_3.html
- [6] MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY. Specializační vzdělávání. Ministerstvo zdravotnictví České republiky [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví České republiky, ©2010 [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: http://www.mzcr.cz/dokumenty/specializacni-vzdelavani_8883_3082_3.html
- [7] ULLMANN, Vojtěch. Jaderná a radiační fyzika. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.
- [8] PODZIMEK, František. Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření. 2. dotisk 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2017. ISBN 978-80-01-05319-5.
- [9] HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2350-0.
- [10] KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0168-9.
- [11] ULLMAN, Vojtěch. Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření. Radionuklidová scintigrafie-nukleární medicína: Scintilační kamery [online]. Ostrava: Ullmann Vojtěch, 2002 [cit. 2019-11-05]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/strana1.htm>

- [12] KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. Radiofarmaka. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012. ISBN 978-80-7464-183-1.
- [13] SHARP, Peter F., Howard G. GEMMELL a Alison D. MURRAY, ed. Practical Nuclear Medicine [online]. London: Springer London, 2005 [cit. 2019-11-20]. DOI: 10.1007/b136183. ISBN 978-1-85233-875-6.
- [14] ŠPIČÁK, J. Somatostatin a jeho využití. Gastroenterologie a hepatologie [online]. 2012, 66(6), 458-464 [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-gastro/2012-6/somatostatin-a-jeho-vyuziti-39520>
- [15] LOUTHAN, Oldřich. Neuroendokrinní nádory: klinické pohledy. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1162-1.
- [16] MIZUTANI, Gou, Yoko NAKANISHI, Noriko WATANABE, Taku HONMA, Yukari OBANA, Toshimi SEKI, Sumie OHNI a Norimichi NEMOTO. Expression of Somatostatin Receptor (SSTR) Subtypes (SSTR-1, 2A, 3, 4 and 5) in Neuroendocrine Tumors Using Real-time RT-PCR Method and Immunohistochemistry. ACTA HISTOCHEMICA ET CYTOCHEMICA [online]. 2012, 45(3), 167-176 [cit. 2019-12-06]. DOI: 10.1267/ahc.12006. ISSN0044-5991. Dostupné z: <http://japanlinkcenter.org/DN/JST.JSTAGE/ahc/12006?lang=en&from=CrossRef&type=abstract>
- [17] FERDA, Jiří, Eva FERDOVÁ, Alexander MALÁN a Jan ZÁHLAVA. Hybridní zobrazení SPECT/CT s 111In-oktreotidem. Česká radiologie [online]. 2010, 64(4), 249-258 [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1004_249_258.pdf
- [18] TÁBORSKÁ, Kateřina. Somatostatinová receptorová scintigrafie 99mTc-EDDA/HYNIC-TOC první klinické zkušenosti v České republice. Nukleární medicína [online]. 2012, 1(1), 7-12 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/nuklearni-medicina/2012-1/somatostatinova-receptorova-scintigrafie-99mtc-edda-hynic-toc-prvni-klinicke-zkusenosti-v-ceske-republice-39629>
- [19] AXELSSON, R., G. HERLIN, M. BÅÅTH, P. ASPELIN a K. G. KÖLBECK. Role of scintigraphy with technetium-99m depreotide in the diagnosis and management of patients with suspected lung cancer. Acta Radiologica [online]. 2008, 49(3), 295-302 [cit. 2020-01-17]. DOI: 10.1080/02841850701793777. ISSN 0284-1851. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1080/02841850701793777>

- [20] SEDLÁČKOVÁ, Eva a Viera BAJČIOVÁ. Neuroendokrinní nádory. Praha: Maxdorf, 2016. Jessenius. ISBN 978-80-7345-468-5.
- [21] PETRUŽELKA, Luboš. Karcinoid [online]. Praha: Maxdorf, 2003 [cit. 2020-1-21]. Dostupné z: <http://www.neuroendokrinni-nadory.cz/downloads/sbornik-karcinoid.pdf>
- [22] HANSON, Michael W. Scintigraphic Evaluation of Neuroendocrine Tumors. Applied Radiology [online]. 2001, 30(6), 11-17 [cit. 2020-01-22]. Dostupné z: <https://www.carcinoid.org/for-doctors/diagnosis-and-surveillance/scintigraphic-evaluation-of-neuroendocrine-tumors/>
- [23] NETUKA, D., V. MASOPUST a V. BENEŠ. Léčba adenomů hypofýzy. Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie [online]. 2011, 74/107(3), 240-253 [cit. 2020-01-24]. Dostupné z: <https://www.csnn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/2011-3/lecba-adenomu-hypofyzy-35340>
- [24] MÁCA, Karel, Václav VYBÍHAL a Martin SMRČKA. Komplexní léčba adenomů hypofýzy. Onkologie [online]. 2015, 9(5), 218-220 [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2015/05/03.pdf>
- [25] DUBA, Miloš, Andrej MARLIAN, Josef MUSIL, Martin SMRČKA a Marek BRADÁVKA. Komplexní léčba meningeomů mozku. Onkologie [online]. 2015, 9(5), 221-225 [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2015/05/04.pdf>
- [26] FADRUS, Pavel, Pavel ŠLAMPA, Radek LAKOMÝ a Martin SMRČKA. Komplexní terapie gliomů mozku. Onkologie [online]. 2015, 9(5), 214-217 [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2015/05/02.pdf>
- [27] MAZÁNEK, Pavel. Perinatální neuroblastom. Onkologie [online]. 2016, 10(5), 210-214 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2016/05/02.pdf>
- [28] VLČEK, Petr. Medulární karcinom štítné žlázy – diagnostické a léčebné možnosti. Onkologie [online]. 2011, 5(6), 336-339 [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2011/06/06.pdf>
- [29] SKŘIČKOVÁ, J., B. KADLEC, O. VENCLÍČEK a Z. MERTA. Karcinom plic – současná léčba. Kardiologická revue - interní medicína [online]. 2019, 21(3), 151-158 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.kardiologickarevue.cz/casopisy/kardiologicka-revue/2019-3-13/karcinom-plic-soucasna-lecba-115145>

- [30] BELADA, David a Marek TRNĚNÝ. Diagnostické a léčebné postupy u nemocných s maligními lymfomy [online]. 4., dopl. a přeprac. vyd. Hradec Králové: HK Credit, 2009 [cit. 2020-02-10]. ISBN 978-80-86780-42-9.
- [31] PYTLÍK, Robert, Adéla BERKOVÁ a Václav PTÁČNÍK. Moderní diagnostika a léčba nehodgkinských lymfomů. *Interní Medicína* [online]. 2013, 15(3-4), 105-109 [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2013/03/03.pdf>
- [32] CHOVANEC, Josef, Zuzana DOSTÁLOVÁ a Jana NAVRÁTILOVÁ. Karcinom prsu – aktuální problém. *Interní Med.* [online]. 2008, 10(2), 84-89 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2008/02/10.pdf>
- [33] PODHOLA, Miroslav. Karcinom ledvin dospělých. *Onkologie* [online]. 2009, 3(2), 80-82 [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2009/02/03.pdf>
- [34] ČESKO. Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky: Standardy zdravotní péče. [online] In: Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR-Redakce, 2016, ročník 2016, částka 2, číslo 2,s.364.[cit.2020-02-20].Dostupné z: <http://www.crs.cz/media/File/pdf/NRS/StandardyCT.pdf>
- [35] AL-CHALABI, H., A. COOK, C. ELLIS, C.N. PATEL a A.F. SCARSBROOK. Feasibility of a streamlined imaging protocol in technetium-99m-Tektrotyd somatostatin receptor SPECT/CT. *Clinical Radiology* [online]. 2018, 73(6), 527-534 [cit. 2020-02-20]. DOI: 10.1016/j.crad.2017.12.019. ISSN 00099260. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0009926018300084>
- [36] LEE, Inki, Jin Chul PAENG, Soo Jin LEE, et al. Comparison of Diagnostic Sensitivity and Quantitative Indices Between 68Ga-DOTATOC PET/CT and 111In-Pentetreotide SPECT/CT in Neuroendocrine Tumors: a Preliminary Report. *Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. 2015, 49(4), 284-290 [cit. 2020-02-21]. DOI: 10.1007/s13139-015-0356-y. ISSN 1869-3474. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s13139-015-0356-y>
- [37] BARRIO, Martin, Johannes CZERNIN, Stefano FANTI, et al. The Impact of Somatostatin Receptor-Directed PET/CT on the Management of Patients with Neuroendocrine Tumor: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Nuclear Medicine* [online]. 2017, 58(5), 756-761 [cit. 2020-02-25]. DOI: 10.2967/jnumed.116.185587. ISSN 0161-5505. Dostupné z: <http://jnm.snmjournals.org/lookup/doi/10.2967/jnumed.116.185587>

- [38] MADRZAK, Dorota, Renata MIKOŁAJCZAK a Grzegorz KAMIŃSKI. Influence of PET/CT ⁶⁸Ga somatostatin receptor imaging on proceeding with patients, who were previously diagnosed with ^{99m}Tc-EDDA/HYNIC-TOC SPECT. Nuclear Medicine Review [online]. 2016, 19(2), 88-92 [cit. 2020-02-25]. DOI: 10.5603/NMR.2016.0018. ISSN 1644-4345. Dostupné z: https://journals.viamedica.pl/nuclear_medicine_review/article/view/47068
- [39] CIHLO, J. a M. TRÁVNÍČEK. Radioaktivně značené peptidy v diagnostice a terapii nádorů. Česká a slovenská farmacie [online]. 2008, 57(2), 70-77 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-farmacie/2008-2/radioaktivne-znacene-peptidy-v-diagnostice-a-terapii-nadoru-1197>
- [40] BOMBARDIERI, Emilio, Valentina AMBROSINI, Cumali AKTOLUN, et al. ¹¹¹In-pentetreotide scintigraphy: procedure guidelines for tumour imaging. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging [online]. 2010, 37(7), 141-148 [cit. 2020-03-01]. DOI: 10.1007/s00259-010-1473-6. ISSN 1619-7070. Dostupné z: https://www.eanm.org/publications/guidelines/EJNMMI_111In-Pentetreotide_GL.pdf
- [41] AL BULUSHI, Naima, Badriya AL SUQRI, Marwa AL AAMRI, Aymen AL HADIDI, Hafidh AL JAHDAMI, Mohammed AL ZADJALI a Mimouna AL RISI. Diagnostic accuracy of technetium-^{99m}-octreotide in imaging neuroendocrine tumors, Oman hospital experience with literature review. World Journal of Nuclear Medicine [online]. 2019, 18(2), 137-142 [cit. 2020-03-01]. DOI: 10.4103/wjnm.WJNM_36_18. ISSN 1450-1147. Dostupné z: <http://www.wjnm.org/text.asp?2019/18/2/137/255502>
- [42] VELIKYAN, Irina. Prospective of ⁶⁸Ga-Radiopharmaceutical Development. Theranostics [online]. 2014, 4(1), 47-80 [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.7150/thno.7447. ISSN 1838-7640. Dostupné z: <http://www.thno.org/v04p0047.htm>
- [43] IVANIDZE, Jana, Michelle ROYTMAN, Arielle SASSON, Myrto SKAFIDA, Thomas J. FAHEY, Joseph R. OSBORNE a Silvina P. DUTRUEL. Molecular imaging and therapy of somatostatin receptor positive tumors. Clinical Imaging [online]. 2019, 4(1), 146-154 [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.1016/j.clinimag.2019.04.006. ISSN 08997071. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0899707119300725>

Seznam obrázků

[1] ULLMANN, Vojtěch. Detekce a aplikace ionizujícího záření. In: Astronuklfyzika.sweb.cz [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.sweb.cz/Scintigrafie4.gif>

[2] ULLMANN, Vojtěch. Radioisotopová rekonstrukce. In: Astronuklfyzika.sweb.cz [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.sweb.cz/Scintigrafie7.gif>

[3] ULLMANN, Vojtěch. Radioisotopová scintigrafie. In: Astronuklfyzika.sweb.cz [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.sweb.cz/Scintigrafie10-PET.gif>

[4] Foto autor

7 PŘÍLOHY

Příloha A - Informovaný souhlas OctreoScan, přední a zadní strana	63
Příloha B - Informační list OctreoScan.....	65
Příloha C - Informovaný souhlas TEKTROTYD, přední a zadní strana.....	66
Příloha D - Informační list TEKTROTYD	68

Příloha A - Informovaný souhlas OctreoScan, přední a zadní strana.



Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové - Nový Hradec Králové

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny - 6681

Tel.: 495 832 337

**Souhlas pacienta/ky – zákonného zástupce
s aplikací radiofarmaka a následným vyšetřením na gamakameře**

Pacient/ka:
příjmení jméno titul

Rodné číslo: Pojišťovna:

Zákonný zástupce:
(otec, matka) příjmení jméno titul

Doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:

.....
příjmení jméno titul pracovní zařazení
(zdravotní sestra, zřízenec)

Plánovaný výkon: **OctreoScan**

Radiofarmakum: ^{111}In

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Váš ošetřující lékař scintigrafické vyšetření na našem oddělení. Vyšetření se provádí na gamakameře po předchozí aplikaci radiofarmaka (léku označeného radioaktivním izotopem), obvykle nitrožilní. Zobrazení zachytu radiofarmaka umožňuje posoudit stav orgánů, přítomnost patologických ložisek apod.. Dle potřeby je scintigrafie doplněna nízkodávkovým CT. Interval mezi aplikací a vyšetřením závisí na typu výkonu. Vyšetření způsobuje nevelkou radiační zátěž organismu.

Nežádoucí vedlejší účinky (alergické reakce) se po aplikaci radiofarmak vyskytují zcela ojediněle. Pokud by se objevily po odchodu z našeho oddělení, obraťte se na svého ošetřujícího lékaře nebo pohotovost v místě bydliště, event. na Oddělení urgentní medicíny FN HK (495834120 nebo 495834130).

Před vyšetřením sdělte případné alergie v minulosti, u žen v reprodukčním věku těhotenství, podezření na těhotenství, kojení.

V den vyšetření je doporučen zvýšený příjem tekutin. Po vyšetření není nutné omezení obvyklého způsobu života, nedochází ke změně pracovní způsobilosti, není třeba měnit Váš léčebný režim. Po celý den vyšetření, je třeba omezit kontakt s malými dětmi a těhotnými ženami.

Podrobnější dotazy Vám ochotně zodpoví lékař aplikující radiofarmakum nebo jiný lékař oddělení.

Byl/a jsem srozumitelně seznámen/a s průběhem vyšetření. Byly mi zodpovězeny všechny mé otázky, a to srozumitelně, včetně všech rizik či komplikací.

Prohlašuji, že jsem lékařům nezamlčel/a žádné údaje o svém zdravotním stavu (včetně alergií), mně známé, které by mohly nepříznivě ovlivnit průběh vyšetření. Současně prohlašuji, že v případě výskytu neočekávaných komplikací, vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně mého života nebo zdraví souhlasím s tím, aby byly provedeny veškeré další potřebné a neodkladné výkony nutné k záchraně mého života nebo zdraví.

Souhlasím s plánovaným vyšetřením dne: v hodin

Podpis:



Aplikace radiofarmaka

Čas:

Způsob: i.v. s.c. jiný:

Místo: kubitální žíla vpravo vlevo

 předloktí vpravo vlevo

 dorsum ruky vpravo vlevo

 dorsum nohy vpravo vlevo

 jiné

Dle anamnestických údajů: Gravidita: ANO NE Kojení: ANO NE

Alergie:

Lékař/ka provádějící poučení a aplikaci radiofarmaka. Lékařské ozáření schválil/a lékař/ka:

– jmenovka a podpis:

Vyšetření provedl/a:

SCINTIGRAFIE - ¹¹¹In OCTREOSCAN

- Před snímkováním na oddělení nukleární medicíny můžete normálně jíst a v průběhu celého dne doporučujeme více pít.
- Snímky se provádějí nejdříve za 4 hodiny od aplikace.
- Před vyšetřením je potřeba se vymočit na WC, vyčkat přede dveřmi příslušné gamakamery na výzvu laborantky a sundat všechny šperky.
- Kontrolní snímkování se bude provádět za 24 hodin, eventuelně za 48 hodin po aplikaci.
- Po dobu 3 dnů omezte kontakty s malými dětmi a těhotnými ženami

Čas snímkování

Příloha C - Informovaný souhlas TEKROTYD, přední a zadní strana.



Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové - Nový Hradec Králové

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny - 6681

Tel.: 495 832 337

**Souhlas pacienta/tky – zákonného zástupce
s aplikací radiofarmaka a následným vyšetřením na gamakameře**

Pacient/ka:
příjmení jméno titul

Rodné číslo: **Pojišťovna:**

Doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:

.....
příjmení jméno titul pracovní zařazení
(zdravotní sestra, zřízenec)

Plánovaný výkon: **Celotělová scintigrafie distribuce somatostatinových receptorů**

Radiofarmakum: **^{99m}Tc-TEKTROTYD**

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Váš ošetřující lékař scintigrafické vyšetření k zobrazení distribuce somatostatinových receptorů. Vyšetření se provádí na gamakameře po předchozí nitrožilní aplikaci radiofarmaka (léku označeného radioaktivním izotopem). Zobrazení záchytu radiofarmaka umožňuje zobrazit přítomnost případných patologických ložisek ve vašem těle. Scintigrafie se provádí do 4 hod. po aplikaci, event. ještě za 20-24 hod. Vyšetření způsobuje nevelkou radiační zátěž organismu.

Radiofarmakum ^{99m}Tc-TEKTROTYD, které Vám má být podáno, není dosud v ČR registrováno, ale je hojně užíváno v zahraničí. Vyšetření se provádí v rámci specifického léčebného programu povoleného Ministerstvem zdravotnictví ČR.

Nežádoucí vedlejší účinky (alergické reakce) se po aplikaci radiofarmak vyskytují zcela ojediněle. Pokud by se objevily po odchodu z našeho oddělení, obraťte se na svého ošetřujícího lékaře nebo pohotovost v místě bydliště, event. na Oddělení urgentní medicíny FN HK (495834120 nebo 495834130).

Před vyšetřením sdělte případné alergie v minulosti, u žen v reprodukčním věku těhotenství, podezření na těhotenství, kojení.

V den vyšetření je doporučen zvýšený příjem tekutin. Po vyšetření není nutné omezení obvyklého způsobu života, nedochází ke změně pracovní způsobilosti, není třeba měnit Váš léčebný režim. Po celý den vyšetření, je třeba omezit kontakt s malými dětmi a těhotnými ženami.

Podrobnější dotazy Vám ochotně zodpoví lékař aplikující radiofarmakum nebo jiný lékař oddělení.

Byl/a jsem srozumitelně seznámen/a s průběhem vyšetření. Byly mi zodpovězeny všechny mé otázky, a to srozumitelně, včetně všech rizik či komplikací.

Prohlašuji, že jsem lékařům nezamlčel/a žádné údaje o svém zdravotním stavu (včetně alergií), mně známé, které by mohly nepříznivě ovlivnit průběh vyšetření. Současně prohlašuji, že v případě výskytu neočekávaných komplikací, vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně mého života nebo zdraví souhlasím s tím, aby byly provedeny veškeré další potřebné a neodkladné výkony nutné k záchraně mého života nebo zdraví.

Souhlasím s plánovaným vyšetřením dne: v hodin

Podpis:

Aplikace radiofarmaka

Čas:

Způsob: i.v. s.c. jiný:

Místo: kubitální žíla vpravo vlevo

 předloktí vpravo vlevo

 dorsum ruky vpravo vlevo

 dorsum nohy vpravo vlevo

 jiné

Dle anamnestických údajů: Gravidita: ANO NE Kojení: ANO NE

Alergie:

Lékař/ka provádějící poučení a aplikaci radiofarmaka. Lékařské ozáření schválil/a lékař/ka:

– jmenovka a podpis:

Vyšetření provedl/a:

SCINTIGRAFIE - TEKTROTYD

- Po aplikaci radiofarmaka se provádí 1. snímkování za 1 hodinu. Po tuto dobu zůstaňte lační.
- 2. záznam se provádí za další 3 – 4 hodiny, můžete se lehce najíst a více pijte až do večera.
- Před každým snímkováním je potřeba se vymočit na WC a sundat všechny šperky.

Čas 1. snímkování

Čas 2. snímkování