

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2024

Lenka Mrhová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Diagnostika onemocnění přístítných tělísek pomocí hybridních zobrazovacích
metod SPECT/CT a PET/CT
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lenka Mrhová**
Osobní číslo: **Z21218**
Studijní program: **B0914P360014 Radiologická asistence**
Téma práce: **Diagnostika onemocnění příštítných tělísek pomocí hybridních zobrazovacích metod SPECT/CT a PET/CT**
Téma práce anglicky: **Diagnosis of parathyroid diseases using hybrid SPECT/CT and PET/CT imaging methods**
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:

ČIHÁK, Radomír, 2013. *Anatomie 2*. Praha: Grada. 512s. ISBN 978-80-247-4788-0.
KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK, 2012. *Radiofarmaka*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta. 97s. ISBN 978-80-7464-183-1.
KORANDA, Pavel a kolektiv, 2014. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 201s. ISBN 978-80-244-4031-6.
KUBINYI, Jozef a kolektiv, 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně*. Praha: Grada. 308s. ISBN 978-80-271-0168-9.
KUPKA, Karel a kolektiv, 2015. *Nukleární medicína*. Praha: P3K. 169s. ISBN 978-80-87343-60-9.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Petr Vicherek**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. dubna 2024**

L.S.
doc. RNDr. ThLic. Karel Sládek, Ph.D., MBA v.r.
děkan

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

V Pardubicích dne 1. března 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem Diagnostika onemocnění příštítných tělísek pomocí hybridních zobrazovacích metod SPECT/CT a PET/CT jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše. Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 24. 04. 2024

Lenka Mrhová v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce, Mgr. Petrovi Vicherkovi, za odborné rady, připomínky a čas, který mi věnoval během psaní této práce. Další poděkování patří ochotnému kolektivu na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové za cenné rady a prostor pro zpracování mé praktické části. Také velké díky patří mé rodině a blízkým, kteří mě nejen při psaní bakalářské práce podporovali.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá radionuklidovými vyšetřeními onemocnění příštítných tělísek. V teoretické části jsou popsány základy nukleární medicíny, radiační fyziky a problematiky radiofarmak, rovněž je popsána anatomie, fyziologie a patologie příštítných tělísek. Praktická část práce je zaměřena na popis průběhu jednotlivých vyšetření příštítných tělísek na oddělení nukleární medicíny a na náplň práce radiologického asistenta.

KLÍČOVÁ SLOVA

Příštítná tělíska, adenom, hyperparatyreóza, nukleární medicína, scintigrafie, pozitronová emisní tomografie, radiofarmaka

TITLE

Diagnosis of parathyroid diseases using hybrid SPECT/CT and PET/CT imaging methods

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with radionuclide imaging of diseases of the parathyroid glands. The theoretical part describes the basics of nuclear medicine, radiation physics and radiopharmaceuticals, as well as the anatomy, physiology and pathology of the parathyroid glands. The experimental part of the thesis focuses on describing the course of individual examinations of the parathyroid glands at department of nuclear medicine and the duties of a radiological assistant.

KEYWORDS

Parathyroid, adenoma, hyperparathyroidism, nuclear medicine, scintigraphy, positron emission tomography, radiopharmaceuticals

OBSAH

Úvod.....	13
1 Cíle a metody práce.....	14
Teoretická část	15
2 Nukleární medicína	15
2.1 Charakteristika oboru	15
2.2 Radiologický asistent	15
3 Základní fyzikální pojmy a biologické aspekty ionizujícího záření	16
3.1 Uspořádání atomu.....	16
3.2 Radioaktivita	16
3.3 Interakce ionizujícího záření s látkou.....	17
3.4 Základní fyzikální veličiny.....	18
4 Zobrazovací metody v nukleární medicíně.....	19
4.1 Scintigrafie	19
4.1.1 Statická a dynamická scintigrafie	19
4.1.2 Jednofotonová emisní tomografie (SPECT)	20
4.1.3 Pozitronová emisní tomografie (PET)	21
4.2 Hybridní zobrazovací metody	22
4.2.1 SPECT/CT	22
4.2.2 PET/CT	23
4.2.3 SPECT/MR a PET/MR	23
5 Detekce záření u SPECT.....	24
5.1 Princip scintilačního detektoru	24
5.2 Přístroje pro nescintigrafická vyšetření	24
5.3 Scintilační kamera	25
5.4 Kolimátory.....	25

5.4.1	Kolimátory paralelní	26
5.4.2	Kolimátory konvergentní	26
5.4.3	Kolimátory divergentní	27
5.4.4	Kolimátor pinhole	27
5.4.5	Kolimátory rozdělené podle druhu energie	27
6	Radiofarmaka	28
6.1	Definice radiofarmak	28
6.2	Zdroje radionuklidů	28
6.2.1	Výroba v jaderných reaktorech	28
6.2.2	Výroba v cyklotronu	28
6.2.3	Získávání z generátorů	29
6.3	Lékové formy a způsob aplikace radiofarmak	30
6.4	Požadavky na radiofarmaka	30
6.5	Radiofarmaka používaná v nukleární medicíně	31
7	Radiační ochrana	32
7.1	Deterministické účinky ionizujícího záření	32
7.2	Stochastické účinky ionizujícího záření	32
7.3	Radiační ochrana pacientů v nukleární medicíně	32
7.3.1	Radiační principy	33
7.4	Radiační limity	33
7.5	Radiační ochrana pracovníků v nukleární medicíně	34
8	Příštítná tělíska	35
8.1	Anatomie příštítných tělísek	35
8.2	Fyziologie příštítných tělísek	36
8.3	Patologie a epidemiologie příštítných tělísek	36
8.3.1	Adenom	36
8.3.2	Hyperparatyreóza	36

8.3.3	Hypoparatyreóza	37
9	Možnosti zobrazení příštítných tělísek na oddělení nukleární medicíny	39
9.1	Radiofarmaka	39
9.2	Scintiografie příštítných tělísek	40
9.2.1	Indikace a kontraindikace	40
9.2.2	Subtrakční scintiografie	41
9.2.3	Dvoufázová scintiografie	41
9.3	Vyšetření příštítných tělísek pomocí PET/CT	41
	Praktická část	42
10	Vyšetření příštítných tělísek pomocí SPECT/CT	42
10.1	Objednání pacienta na vyšetření	42
10.2	Příchod a příprava pacienta na oddělení nukleární medicíny	42
10.3	Provedení vyšetření	43
11	Vyšetření příštítných tělísek pomocí PET/CT	49
11.1	Objednání pacienta na vyšetření	49
11.2	Příchod a příprava pacienta na oddělení nukleární medicíny	49
11.3	Provedení vyšetření	50
12	Diskuze	55
13	Závěr	57
14	Použitá literatura	58
15	Přílohy	61

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 - Princip snímání scintigrafických snímků vyšetřovaného objektu (Ullmann)	21
Obrázek 2 - Princip snímání a rekonstrukce pozitronové emisní tomografie (Ullmann)	22
Obrázek 3 - Principiální schéma scintilační kamery (Ullmann)	25
Obrázek 4 - Základní druhy kolimátorů scintilačních kamer (Ullmann)	26
Obrázek 5 - Schématický průřez generátorem $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Koranda, 2014, s. 18).....	29
Obrázek 6 - Příštítná tělíska (Pištorová, 2012)	35
Obrázek 7 - Zakládání nového vyšetřovacího protokolu (vlastní zdroj)	43
Obrázek 8 - Gama kamera (vlastní zdroj).....	44
Obrázek 9 - Radiofarmakum uložené v olověném krytu (vlastní zdroj).....	45
Obrázek 10 - Ovladač gamakamery s obrazovkou (vlastní zdroj).....	46
Obrázek 11 - Subtrakční scintigrafie příštítných tělísek, adenom dolního příštítného tělíska vlevo (vlastní zdroj)	47
Obrázek 12 - Scintigrafie příštítných tělísek, SPECT/CT fúze, adenom příštítného tělíska (vlastní zdroj)	48
Obrázek 13 - Připravený táč s pomůckami k zavedení kanyly (vlastní zdroj)	50
Obrázek 14 - Aplikační místnost s křeslem (vlastní zdroj).....	51
Obrázek 15 - Kabinka (vlastní zdroj).....	52
Obrázek 16 - PET/CT přístroj (vlastní zdroj)	52
Obrázek 17 - Vyšetření příštítných tělísek pomocí PET/CT (vlastní zdroj).....	54
Obrázek 18 - Výsledný obraz vyšetření na PET/CT (vlastní zdroj)	54
Tabulka 1 Přehled radiofarmak pro vyšetření příštítných tělísek (Giovanella, 2021)	40

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

[¹¹ C]CH	¹¹ C-trimethylethanami um
[¹¹ C]MET	¹¹ C-methionin
¹¹¹ In	Indium-111
¹²³ I	Jód-123
¹³¹ I	Jód-131
¹⁸ F	Fluor-18
⁹⁹ Mo	Molybden-99
^{99m} Tc	Technecium-99 metastabilní
A	Aktivita
Bq	Becquerel
CT	Výpočetní tomografie
F	Fluor
FDG	[¹⁸ F]fluorodeoxyglukosa
FCH	[¹⁸ F]fluorocholin
i. v.	Intravenózně
IZ	Ionizující záření
keV	Kiloelektronvolt
MBq	Megabecquerel
^{99m} Tc-MIBI	^{99m} Tc-Methoxyisobutylisonitril
mm	Milimetr
mmol/l	Milimol na litr
MR	Magnetická rezonance
mSv	Milisievert

Na ¹²³ I	[¹²³ I]jodid sodný
p. o.	Perorálně
PET	Pozitronová emisní tomografie
PHPT	Primární hyperparathyreóza
PT	Příštítná tělíska
PTH	Parathormon
RA	Radiologický asistent
RF	Radiofarmakum
RN	Radionuklid
RTG	Rentgenové záření
SPECT	Jednofotonová emisní tomografie
T _{1/2}	Poločas přeměny

ÚVOD

Tématem bakalářské práce je diagnostika onemocnění příštítných tělísek na oddělení nukleární medicíny. Nejspolehlivější výsledky v diagnostice onemocnění příštítných tělísek přináší právě metody nukleární medicíny. Díky nim jsme schopni lokalizovat dané postižené příštítné tělísko, ale také poskytují informace o jejich funkci.

Příštítná tělíska jsou čtyři párová tělíska, která jsou uložena na zadní straně štítné žlázy. Patří mezi endokrinní žlázy s vnitřní sekrecí, produkující parathormon, který má hlavní úkol zvyšovat hladinu vápníku v krvi. Adenom patří mezi nejčastější onemocnění příštítných tělísek, které může zapříčinit vznik tzv. hyperparatyreózy. Je to stav, kdy je hladina parathormonu zvýšená. Dochází tak k narušení hormonální rovnováhy a zároveň může způsobit velmi závažné poškození kostí, ledvin nebo střev.

Scintigrafie je radionuklidová diagnostická metoda, u které se k vyšetření používají různé druhy radiofarmak. Mají schopnost vstoupit do metabolismu konkrétního orgánu. Ten je následně zobrazen pomocí gamakamery a během vyšetření je emitováno radioaktivní záření. Neexistuje radiofarmakum, které by se vychytávalo pouze v příštítných tělískách, tudíž jsou využívána radiofarmaka, která akumulují jak štítná žláza, tak i příštítná tělíska. Mezi radionuklidová vyšetření příštítných tělísek patří subtrakční nebo vyplavovací scintigrafie. Příštítná tělíska se dají také zobrazit pomocí pozitronové emisní tomografie.

Praktická část je zaměřena na průběh jednotlivých vyšetření a popis činnosti radiologického asistenta na základě mé odborné praxe.

1 CÍLE A METODY PRÁCE

Cílem mé bakalářské práce je shrnutí problematiky onemocnění příštítných tělísek a diagnostických možností nukleární medicíny. V praktické části metodou přímého pozorování na základě vlastní praxe na pracovišti nukleární medicíny popsat průběh jednotlivých vyšetření příštítných tělísek pomocí SPECT/CT i PET/CT, porovnat je mezi sebou a ukázat, jak je důležitá činnost radiologického asistenta na oddělení nukleární medicíny.

TEORETICKÁ ČÁST

2 NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA

2.1 Charakteristika oboru

Nukleární medicína je rychle se rozvíjející lékařský obor, který se především zabývá diagnostikou a léčbou pomocí otevřených radioaktivních zdrojů. Jsou to, která se většinou aplikují přímo do těla pacienta. Tento obor využívá metody *in vivo* a *in vitro*. Během metody *in vivo* se radiofarmaka aplikují většinou intravenózně přímo do organismu pacienta. Při metodě *in vitro* pacient nepřijde do žádného styku s radiofarmakem, pouze se používá při rozboru vzorků krve nebo jiné tělní tekutiny (Koranda, 2014, s. 7).

2.2 Radiologický asistent

Radiologičtí asistenti (RA), někdy také nazýváni jako rentgenoví laboranti, se řadí mezi nelékařské zdravotnické pracovníky. Bez odborného dohledu může provádět hlavně praktickou část jednotlivého lékařského ozáření. Jsou to zejména nukleárně medicínské zobrazovací a nezobrazovací postupy, za které má zodpovědnost. Po vystudování tohoto oboru lze pracovat na radiodiagnostických klinikách, radioterapii nebo na oddělení nukleární medicíny. Jeho náplň práce je správné provedení daného vyšetření a ovládání přístrojů (Hušák, 2009, s. 96).

Podle zákona č. 96/2004 Sb. o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činností souvisejících s poskytováním zdravotní péče a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o nelékařských zdravotnických povolání) RA měl možnost od roku 2004 získat odbornou způsobilost k výkonu povolání třemi možnými způsoby. Absolvováním bakalářského studijního oboru pro radiologického asistenta, vystudováním tříletého studia v oboru diplomovaný radiologický asistent na vyšší zdravotnické škole nebo ukončením studia na střední zdravotní škole v oboru radiologický laborant. Avšak v současné době lze odbornou způsobilost nabýt pouze jedním způsobem a tím je bakalářské studium, ostatní možnosti již nepřicházejí v úvahu. Za náplň práce se považuje zejména konání radiologických zobrazovacích postupů a specifické ošetrovatelské péče, která souvisejí s radiologickými výkony. Také se mezi práci RA řadí činnosti související s radiační ochranou (Česko, 2004)

3 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ POJMY A BIOLOGICKÉ ASPEKTY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

3.1 Uspořádání atomu

Atom je nejmenší částice hmoty, která se skládá z jádra a elektronového obalu. Atomové jádro je tvořeno nukleony, tj. protony a neutrony. Protony jsou kladně nabitými částicemi a neutrony jsou bez náboje. Počet protonů v jádře vyjadřuje protonové (atomové) číslo Z . Počet neutronů v jádře vyjadřuje neutronové číslo N . Celkový počet nukleonů udává nukleonové (hmotnostní) číslo A . Atomy, které mají stejný počet protonů i neutronů se nazývají nuklidy. Izotopem nazýváme ty nuklidy, které se liší počtem neutronů (mají stejné protonové, ale rozdílné hmotnostní číslo. Rozlišují se nuklidy stabilní a nestabilní, které jsou radioaktivní. Označení pro radioaktivní nuklidy se používá termín radionuklid. V elektronovém obalu se nacházejí záporně nabitá částice elektrony. Ty se pohybují na energetických hladinách neboli slupkách (Kupka, 2015, s. 17; Beneš, 2015, s. 20).

3.2 Radioaktivita

Radioaktivita byla objevena roku 1896 fyzikem Antoinem Henrim Becquerelem, rok po objevení rentgenového záření (RTG). Přírozená radioaktivita je u těch jader, která se v přírodě samovolně přeměňují. Také se vyskytují jádra, která vznikají uměle v reaktoru jadernými reakcemi, a tak jsou uměle radioaktivními (Beneš, 2015, s. 191).

Jev, kdy se jádra atomů daného prvku samovolně přeměňují na jádra jiného prvku, se nazývá radioaktivita. Při tomto jevu je uvolněno záření nebo částice. Mateřským jádrem se označuje jádro, které se přeměňuje. Jádro, které vzniká, se nazývá dceřiné jádro. Radioaktivita se dále dělí podle druhu záření, které se emituje na α , β a γ (Kupka, 2015, s. 17).

Během přeměny α se uvolňuje z mateřského jádra částice alfa. Tvoří ji 2 protony a 2 neutrony. Částice α odnesou pouze rozdíl energií mezi mateřským a dceřiným jádrem, který je stálý. A z toho důvodu mají částice α během přeměny stejné kinetické energie (Kupka, 2015, s. 17).

Přeměnu β tvoří tři druhy: přeměna β^- , β^+ a elektronový záchyt. Během přeměny β^- se uvolňuje z mateřského jádra záporně nabitý elektron. Vzniká přeměnou v atomovém jádře neutronu na proton, tedy je to přeměna typická pro jádra s přebytkem neutronů a doprovází je emise elektronu a antineutrína. Na rozdíl od elektronu a antineutrína, které vyletí z jádra, proton v jádře zůstává. Energie, která se uvolnila během přeměny, se rozdělí mezi elektron

a antineutrino. Při přeměně β^+ se uvolňují kladně nabitě pozitrony, které jsou zároveň antičástice elektronu. Tato přeměna vzniká v jádře přeměnou protonu na neutronu, vyskytuje se tedy u radionuklidů s přebytkem protonů. Částice pozitronu a neutrina velkou rychlostí se uvolní z jádra, naopak neutron v jádře zůstává (Kupka, 2015, s. 17).

Při přeměnách α , β^- , β^+ vzniká dceřiné jádro v tzv. excitovaném stavu. Naopak při deexcitaci jádra se nadbytečná energie uvolní ve formě fotonu záření γ . Tyto fotony, které se uvolní během deexcitace mají stejnou energii (Kupka, 2015, s. 18).

3.3 Interakce ionizujícího záření s látkou

Každý druh záření má jiný způsob interakce s látkou. To, jaký má částice náboj, je hlavní faktor, který interakci ovlivňuje. Ionizující záření (IZ) se proto dělí na přímo IZ nebo nepřímo IZ. Do kategorie přímo IZ patří elektricky nabitě částice. Tedy záření α , β^- , β^+ nebo také protonové záření. Částice α , tedy jádro helia má velmi silné ionizační účinky. Dosah částice ve tkáni je velmi malý i přesto, že má vysokou kinetickou energii. Během průletu látkou částice β^- působí odpudivou silou na elektrony, které vyráží z obalu atomu, tudíž látky ionizuje. Elektron změní směr své dráhy v důsledku interakce. Na konci své dráhy ztrácí elektron energii a dochází tak k rekombinaci. Částice β^+ během interakce s látkou se pohybuje jako elektron. Poté až dojde k zabrzdění pozitronu, tedy ke ztrátě energie, dojde tak k anihilaci s elektronem. Obě částice zaniknou a vzniknou tak dva anihilační fotony s energií 511 kiloelektronvoltů (keV), které vylétají z místa opačným směrem. Do skupiny nepřímo IZ patří ty, co nemají elektrický náboj. Je to rentgenové, gama a neutronové záření. Hlavní rozdíl mezi rentgenovým a gama zářením je místo jejich vzniku. V jádře atomu vzniká záření gama, naopak záření rentgenové vzniká v elektronovém obalu. Rentgenové záření se větví na charakteristické a brzdné záření. Také sem patří dva důležité pojmy. Prvním z nich je tzv. fotoelektrický jev a druhým pojmem je Comptonův rozptyl. Při fotoelektrickém jevu (fotoefektu) foton záření gama nebo RTG interaguje s elektronem vázaným v atomovém jádru, předá elektronu veškerou svou energii a zaniká. Během Comptonova rozptylu foton při setkání s elektronem předá pouze část své energie, poté se pružně odrazí od elektronu a pokračuje ve svém pohybu se změněným směrem a nižší energií (Kupka, 2015, s. 18, 19).

3.4 Základní fyzikální veličiny

Mezi základní veličiny patří aktivita, poločas přeměny a biologický a efektivní poločas. Aktivita (A) je veličina, která vyjadřuje počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Jednotka aktivity je becquerel (Bq). Poločas přeměny ($T_{1/2}$) je veličina, která vyjadřuje dobu, za kterou dojde k rozpadu poloviny jader. Nelze ho nijak ovlivnit fyzikálními či chemickými vlastnostmi. Tato veličina, která se pohybuje v rozmezí od sekund po několik dní, se využívá u radionuklidů v nukleární medicíně (Kupka, 2015, s. 19).

4 ZOBRAZOVACÍ METODY V NUKLEÁRNÍ MEDICÍNĚ

Na rozdíl od metod radiodiagnostických, které zobrazují hlavně strukturu orgánu např. velikost a tvar, metody nukleární medicíny (scintigrafie, jednofotonová emisní tomografie a pozitronová emisní tomografie) zobrazují především funkci orgánů a tkání. Společně však používají k vyšetření elektromagnetické záření, které je tvořeno fotony. Nicméně zobrazovací metody nukleární medicíny využívají fotony záření gama a zdroj záření je umístěn uvnitř pacienta na rozdíl od diagnostických metod (Kupka, 2015, s. 15; Beneš, 2022, s. 339).

4.1 Scintigrafie

Scintigrafie též nazývána jako gamagrafie patří k základním diagnostickým metodám nukleární medicíny. Umožňuje sledování radiofarmaka v organismu pomocí scintilační neboli gama kamery. Také je možné provést jednofotonovou emisní tomografií (SPECT) a získat tím trojrozměrný obraz. Pomocí scintigrafie lze zhodnotit různé fyziologické, patofyziologické děje v těle. Také se získávají informace o uložení patologických ložisek. Radionuklidy, které se využívají během scintigrafie, uvolňují fotony elektromagnetického záření. To může být záření gama, charakteristické záření nebo záření, které bylo vytvořené při anihilaci pozitronů. Toto záření jde detekovat pomocí vnějších detektorů, jelikož se jedná o pronikavé záření a v těle se vstřebává jen z části. Scintigrafie se dělí na dvě skupiny. Rozložení radiofarmaka v těle do dvourozměrného zobrazení nazýváme planární scintigrafií. Druhým typem je tomografická scintigrafie, která umožňuje trojrozměrné prostorové zobrazení radiofarmaka v těle. Pro tuto metodu se využívají dva různé typy přístrojů. Je to kamera pro SPECT a PET (Šabata, 2019, s. 29; Koranda, 2014, s. 7).

4.1.1 Statická a dynamická scintigrafie

Statická scintigrafie je tím základním typem scintigrafie. Je to prostý dvourozměrný scintigram (obraz) dané vyšetřované oblasti bez závislosti na čas. Probíhá po aplikaci radiofarmaka a kamera poté snímá danou oblast zájmu. Výsledkem statické scintigrafie je nehybný planární snímek. Snímek statické scintigrafie je velmi obdobný snímku ze skiagrafického vyšetření, akorát s rozdílem, že nepodává informaci o anatomické struktuře, ale pouze funkční. U tohoto typu vyšetření je důležitá kvalita pořízených snímků. Příkladem tohoto vyšetření je např. statická scintigrafie ledvin (Kupka, 2015, s. 29, 30; Ullmann).

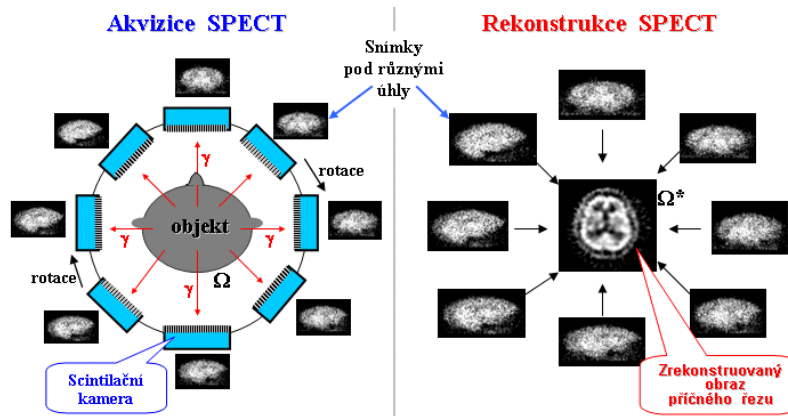
U statické scintigrafie lze také provést tzv. celotělovou scintigrafií, která obnáší snímání celého těla. Během tohoto vyšetření kamera plynule přejíždí přes celého pacienta a získává přední a zároveň i zadní projekci díky dvouhlavé gamakameře. Tím se také ušetří polovina času a je menší šance zbytečného pohybu pacienta během vyšetření. Celotělovou scintigrafií lze provést např. při zobrazení celého skeletu (Koranda, 2014, s. 34; Kupka, 2015, s. 30).

Dynamická scintigrafie je série dvourozměrných statických scintigramů vyšetřované oblasti, které jsou pořizovány postupně v různých časech. Tato metoda slouží k zachycení průchodu radiofarmaka dané vyšetřované oblasti. Konečné vyšetření je sada jednotlivých planárních snímků, která ukazuje rozložení aktivity radiofarmaka v čase (Kupka, 2015, s. 30-31; Ullmann).

4.1.2 Jednofotonová emisní tomografie (SPECT)

Jednofotonová emisní tomografie zaznamenává distribuci radiofarmaka (RF) při radioaktivní přeměně pouze jeden foton gama. Nejčastěji používaný radionuklid je technecium-99 metastabilní (^{99m}Tc). Během akvizice se registruje záření gama uvolněné radioaktivní látkou, která se nachází v těle pacienta. Tímto se liší od výpočetní tomografie (CT), kde výsledný obraz vzniká průchodem RTG záření tělem (Koranda, 2014, s. 29; Šabata, 2019, s. 37).

Základem pro vyšetření SPECT je detektor, který je stejný i pro planární scintigrafii. Na rozdíl od kamery pro jednoduchou planární scintigrafii má kamera pro SPECT kruhový otvor tzv. gantry, který slouží pro ukotvení detektoru. Můžeme se také setkat i se staršími kamerami jako jsou jednohlavé, ale i trojhlavé kamery. Avšak nejvíce jsou používané přístroje se dvěma detektory (dvouhlavé kamery). Během akvizice pacient leží ve stejné poloze a detektory kamery se otáčejí kolem něj po různých úhlech (detektory nasnímají obraz v jednom úhlu, dále se pootočí o předem zvolený úhel a probíhá další snímání) nebo plynule (v praxi se tato možnost používá jen zřídka). Počet získaných projekcí se pohybuje v rozmezí 30 až 120. Tyto získané obrazy se dále ukládají do počítače. Počítač z celé řady snímků vytvoří trojrozměrný obraz rozložení radioaktivní látky ve vyšetřované oblasti (Koranda, 2014, s. 29, 30; Šabata, 2019, s. 37).



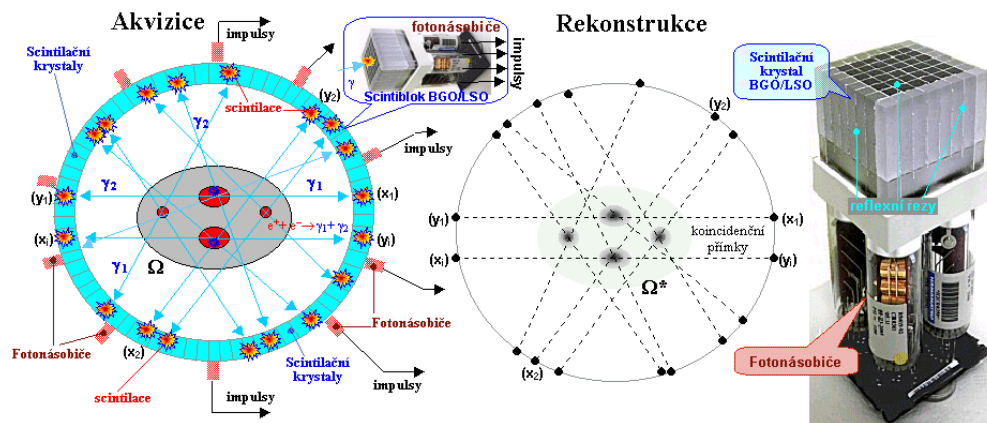
Obrázek 1 - Princip snímání scintigrafických snímků vyšetřovaného objektu (Ullmann)

4.1.3 Pozitronová emisní tomografie (PET)

Pozitronová emisní tomografie (PET) patří mezi nejnákladnější vyšetření nukleární medicíny. Přístroj pro pozitronovou emisní tomografii tvoří posuvné lůžko a soustavu drobných detektorů, které jsou kruhovitě seřazeny do prstenců obklopujících pacienta. Detektory jsou během vyšetření pevně umístěny, neotáčejí se kolem pacienta, a také nemají žádné kolimátory na rozdíl od kamery SPECT. Při PET vyšetření se využívají nejčastěji radiofarmaka značená pozitronovými radionuklidy. Nejčastěji je to Fluor-18 (^{18}F). Ty poté při své radioaktivní přeměně emitují pozitron (Koranda, 2014, s. 30; Kupka, 2015, s. 33; Šabata, 2019, s. 51).

Dvojice anihilačních fotonů s energií 511 keV vznikají při setkání pozitronu s elektronem v těle pacienta. PET se od klasické scintigrafie a SPECT liší tím, že se snímají oba dva fotony bez použití kolimátoru. K emisi pozitronu dochází během přeměny β^+ radioaktivního zářiče. Pozitron velmi rychle reaguje s elektronem v těle. Tím dochází k jeho zániku (anihilace). Z místa zániku odlétnou současně z těla pacienta dva fotony opačného směru s energií 511 keV a poté dopadají na detektor současně. PET detektor je konstruován do tvaru prstence, který obklopuje pacienta a detekuje jednotlivé anihilační fotony. Detektory jsou zapojené v tzv. koincidenčním obvodu, proto tedy PET detektor detekuje pouze ty impulzy, které přiletěly současně na dvojici protilehlých detektorů. Tím se obdrží informace o poloze dopadu fotonu, ale také o směru příletu na detektor. PET je primární tomografickou metodou, která na rozdíl od scintigrafie či SPECT nepracuje s planárním zobrazením. U PET není tedy nutné používat kolimátory, což je jeden z důvodů, proč PET poskytuje vyšší citlivost ve srovnání se SPECT (Kupka, 2015, s. 33; Koranda, 2014, s. 30-31; Votrubová, 2009, s. 13).

PET detektor má velké množství scintilačních krystalů, které musí být složeny z látek s větší hustotou, než obsahuje detektor z jodidu sodného využívaný především pro snímání jednoho fotonu, kvůli vysoké energii anihilačních fotonů. Mezi tyto látky patří např. germaniová sůl bismutu či fluorid barnatý. Ovšem nyní se používají materiály s lepšími vlastnostmi. Je to především lutecium oxyorthosilikát nebo také gadolinium oxyorthosilikát (Kupka, 2015, s. 33; Votrubová, 2009, s. 14).



Obrázek 2 - Princip snímání a rekonstrukce pozitronové emisní tomografie (Ullmann)

4.2 Hybridní zobrazovací metody

Zobrazovací metody nukleární medicíny poskytují pouze funkční informaci. Informace o struktuře a morfologii dané tkáně zcela chybí, proto je velmi výhodné fúzovat neboli propojit metody nukleární medicíny s jinou anatomickou zobrazovací technikou. Nejčastěji se jedná o kombinaci způsobů nukleární medicíny a CT ve formě SPECT/CT a PET/CT. Méně často se objevují také hybridní systémy s kombinací magnetické rezonance (MR). Jedna z výhod hybridních zobrazovacích systému je, že pacient absolvuje dvě vyšetření na jednom místě.

4.2.1 SPECT/CT

Scintigrafické obrazy poskytují pouze informaci o funkčním stavu, avšak nepodává informace o anatomické struktuře a přesném uložení patologického ložiska, tudíž se velmi často používají kombinované přístroje se SPECT kamerou i CT přístrojem. Některé CT přístroje mají rentgenku umístěnou přímo s gantry SPECT kamery. U těchto přístrojů je omezená rychlost rotace a tím mohou být provozovány pouze v tzv. nízkodávkovém režimu. CT přístroje,

kteře mají rentgenku s rychlou rotací, pracují v plně diagnostickém režimu s vysokým rozlišením. Poskytují velmi přesné anatomické informace, avšak nevýhodou je vyšší radiační zátěž pro pacienta. Po snímkování SPECT se vyšetřovací stůl i s pacientem přesouvá do gantry na určitou pozici, kde se provádí CT vyšetření. Vyšetření SPECT/CT se neprovádí vždy, ale jen tehdy, kdy je to třeba o doplnění CT. Také ne všechny SPECT přístroje jsou sjednoceny s CT systémem. Program poté umí oba tyto obrazy paralelně zobrazit nebo vytvořit tzv. fúzi obrazů SPECT a PET (Koranda, 2014, s. 30; Šabata, 2019, s. 39; Kupka, 2015, s. 35).

4.2.2 PET/CT

V současné době jsou všechna PET vyšetření prováděna vždy s kombinací s CT na rozdíl od SPECT/CT. PET kamera se již vyrábí jako hybridní systém PET/CT oproti SPECT přístrojům (Kupka, 2015, s. 35).

4.2.3 SPECT/MR a PET/MR

Kromě CT lze pro fúzi také použít obrazy z MR. Tyto hybridní systémy s MR nejsou zdaleka tak rozšířené a využívány jako varianta s CT. Problém je především se spojením silného magnetického pole a detektoru pro nukleární medicínu (Kupka, 2015, s. 35).

5 DETEKCE ZÁŘENÍ U SPECT

V nukleární medicíně se nejvíce uplatňují scintilační detektory a ionizační komory, Geiger- Müllerovy počítače a proporcionální detektory se využívají jen minimálně. Ionizační komora je součástí přístrojů, které měří a kontrolují aktivitu radiofarmak před vlastní aplikací pacientům. Je založena na ionizaci plynové náplně pod vlivem IZ. Nízká citlivost u těchto detektorů je značnou nevýhodou, tudíž se nepoužívají pro měření např. tělních tekutin (krev, moč), jelikož mají nízkou aktivitu. Na rozdíl od nich se scintilační detektory vyznačují právě vysokou citlivostí založené na převodu ionizujícího záření na světlo. U detekčních přístrojů používaných v nukleární medicíně při měření *in vivo* a *in vitro* jsou jejich součástí (Koranda, 2014, s. 24).

5.1 Princip scintilačního detektoru

Scintilační detektor se skládá ze tří částí - scintilačního krystalu, fotonásobiče a počítače. Ke vzniku záblesků viditelného světla dochází během vzájemného působení mezi fotonovým ionizujícím zářením a scintilačním krystalem. Jodid sodný je nejpoužívanější detekční látka ve scintilačním krystalu, která se využívá v nukleární medicíně pro zaznamenání záření gama. Na scintilační krystal dále nasedá velké množství fotonásobičů. Ty mají jako hlavní úkol detekci světla ze scintilačního krystalu a poté jeho převod na elektrický signál. Fotokatoda, která je součástí fotonásobiče, po dopadu světla uvolňuje elektrony a jejich počet se znásobí vlivem systému dynod s vysokým napětím. Tím vzniká velmi dobře měřitelný elektrický impulz. Tyto elektrické impulzy dále pokračují do tzv. amplitudového analyzátoru. Zde se hodnotí velikost impulzu podle jejich amplitudy (Koranda, 2014, s. 24; Šabata 2019, s. 30).

5.2 Přístroje pro nescintigrafická vyšetření

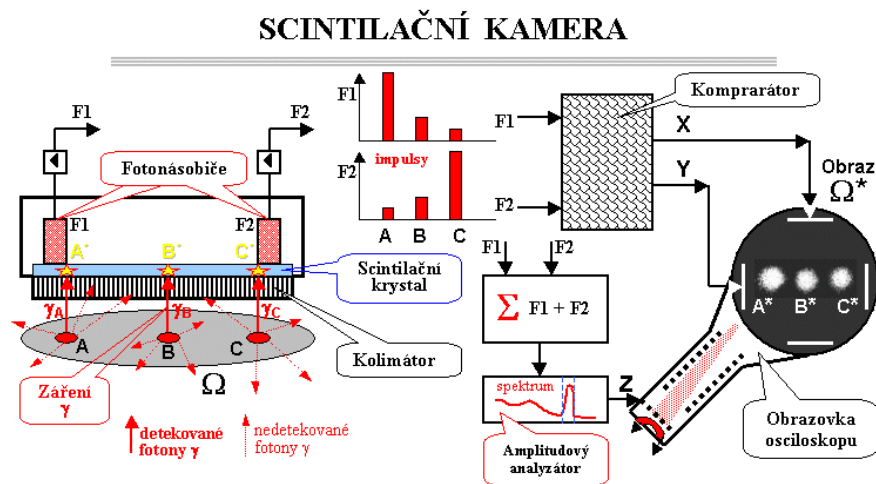
Tyto aparatury slouží k velmi citlivému měření a detekování aktivity v daném orgánu, ovšem neumožňují podat žádnou informaci o rozložení RF ve tkáni. Scintilační krystal, fotonásobič, stínění z olověného materiálu a kolimátor jsou součástí detekční jednotky tohoto přístroje. Scintilační krystal má válcovitý tvar. Kolimátor je zařízení vyrobené z těžkého kovu (olovo), jehož úkolem je zamezit detekci fotonového záření z okolních tkání. Správně se nastavuje tak, aby jeho zorné pole pokrývalo část nad vyšetřovanou oblastí (Koranda, 2014, s. 27).

Díky radiační navigované chirurgii se peroperačně lokalizují sentinelové lymfatické uzliny. Uzliny se zobrazí pomocí radiofarmaka, které je v nich přítomno (Koranda, 2014, s. 27).

5.3 Scintilační kamera

První scintilační byla sestrojena již v roce 1958. Kamery, které se používají nyní a pracují na stejném principu se nazývají Angerovy scintilační kamery (Šabata, 2019, s. 29).

Scintilační kamera též nazývána jako gamakamera je základním zobrazovacím přístrojem v nukleární medicíně. Ta slouží pro scintigrafii nebo také pro SPECT. Je to přístroj pro snímání fotonů záření gama z celého zorného pole a dále je převádí na elektrické impulsy, pomocí kterých se vytváří výsledný scintigrafický obraz. Detekční systém tvoří nejdůležitější část gamakamery. Ten slouží k vytvoření planárního obrazu a tvoří ho kolimátor, scintilační krystal, fotonásobič a zpracující elektronika (Kupka, 2015, s. 27).

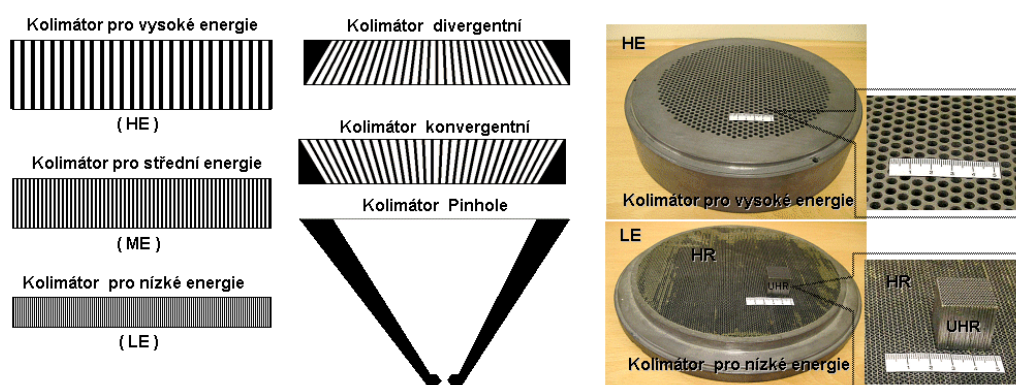


Obrázek 3 - Principiální schéma scintilační kamery (Ullmann)

5.4 Kolimátory

Kolimátory jsou velmi významnou součástí scintilační kamery. Jsou primárním optickým členem, kterým jako první prochází záření gama. Kolimátor je clona (filtr) vyrobená ze stínícího materiálu např. olovo nebo wolfram, která propouští pouze fotony, co dopadají na scintilační krystal. Je to deska, která obsahuje velký počet hustě a rovnoměrně rozmístěných otvorů. Ty mají určitý tvar a velikost. Kolimátor má za úkol vytvořit nejdokonalejší projekci distribuce

radioaktivity v dané vyšetřované oblasti, ovlivňuje tedy kvalitu výsledného obrazu. Kolimátory u scintilačních kamer jsou výměnné a rozlišuje se několik typů. Dělí se podle postavení otvorů na paralelní, konvergentní, divergentní a pinhole. Nejpoužívanějším typem je paralelní. Dále se rozdělují podle energie záření gama na vysoké energie, střední energie a nízké energie. Poslední rozdělení podle rozlišení a citlivosti se týká pouze kolimátorů pro nízké energie. Dělí se na kolimátory s vysokou senzitivitou, vysokým rozlišením a ultra vysokým rozlišením (Doležal, 2017; Koranda, 2014, s. 28; Šabata, 2019, s. 31).



Obrázek 4 - Základní druhy kolimátorů scintilačních kamer (Ullmann)

5.4.1 Kolimátory paralelní

Kolimátory s paralelními otvory jsou nejčastěji využívaným typem. Obraz vytvořen v detektoru má stejnou velikost jako zobrazovaný objekt. Tento typ kolimátoru propouští pouze fotony, které letí ve směru kolmém na detekční plochu krystalu. Fotony, které letí jiným směrem, jsou pohlcovány v přepážkách mezi otvory (Doležal, 2017; Koranda, 2014, s. 28; Šabata, 2019, s. 30).

5.4.2 Kolimátory konvergentní

Konvergentní kolimátory mají sbíhající otvory, které směřují do daného bodu, tzv. ohniska. Umožňuje zvětšení zobrazeného obrazu. V současné době se již moc nevyužívá. Dříve se používal pro zobrazení menších orgánů jako je např. mozek (Doležal, 2017).

5.4.3 Kolimátory divergentní

Divergentní kolimátory mají na rozdíl od těch konvergentních rozbíhající otvory. Tento typ naopak umožňuje zmenšení výsledného obrazu (Doležal, 2017).

5.4.4 Kolimátor pinhole

Kolimátor typu pinhole trychtýřovitého tvaru má pouze jeden otvor o průměru kolem 3–5 milimetrů (mm) a výsledný obraz je zvětšený a převrácený. Má malou účinnost v detekci, oproti tomu má vysoké rozlišení hlavně u malých orgánů. Zvětšení obrazu klesá s rostoucí vzdáleností objektu od čela kolimátoru. Pokud je zobrazovaný předmět v malé vzdálenosti, poskytuje obrazy s velmi dobrou rozlišovací schopností. Zkreslení obrazu a nízká citlivost je naopak velkou nevýhodou tohoto kolimátoru. Pinhole se využívá hlavně pro zobrazení štítné žlázy (Koranda, 2014, s. 28).

5.4.5 Kolimátory rozdělené podle druhu energie

Vysokoenergetické kolimátory se vyznačují tím, že mají velké otvory ve velikosti 4 mm a silné přepážky přibližně kolem 2 mm. U scintilačních gamakamer se tento typ kolimátory již nepoužívá, protože záření anihilačních pozitronů o energii 511 keV se detekuje PET skenery, které obsahují detektory uspořádané do prstence. Kolimátory pro střední energie mají stejně jako vysokoenergetické kolimátory robustní konstrukci. Přepážky mezi otvory jsou kolem 2-3 mm. Nejvíce se využívají pro scintigrafii s jodem-131 (^{131}I) s energií gama záření 364 keV. Také se používá pro scintigrafii s indiem-111 (^{111}In), proto se mu přezdívá indiový. Konstrukce nízkoenergetických kolimátorů mají velký počet drobných otvorů v průměru 2 mm, mezi kterými jsou také přepážky. Velikost těchto přepážek se pohybuje v rozmezí 0,2-0,5 mm. Standardně se tento typ kolimátoru používá pro scintigrafii $^{99\text{m}}\text{Tc}$ o energii gama záření 140 keV (Doležal, 2017; Šabata, 2019, s. 31).

6 RADIOFARMAKA

6.1 Definice radiofarmak

Radiofarmaka jsou léčivé přípravky, které obsahují radionuklid. Radionuklid (RN) je účinnou látkou a zdrojem ionizujícího záření. Kvůli již zmíněnému radionuklidu se odlišují od ostatních léčiv. Další složkou radiofarmak je biologicky účinná složka, která má funkci tzv. nosiče. Ta má odpovědnost za přítomnost radiofarmaka v místě, které chceme zobrazit. Také je tato radioaktivní látka vycytávána různými orgány a aplikována pacientovi na pracovišti nukleární medicíny buď k terapeutickým anebo diagnostickým účelům. Radiofarmakum musí být sterilní, apyrogenní, izotonické, minimálně toxické a antigenní (Kubinyi, 2018, s. 188).

6.2 Zdroje radionuklidů

Radionuklidy, které se používají v nukleární medicíně, jsou vždy umělé vytvořené a to buď výrobou v jaderném reaktoru či cyklotronu nebo jsou získávány z generátorů. Probíhají zde různé jaderné reakce. Mění se stavba jádra v atomu a vznikají jádra radioaktivní.

6.2.1 Výroba v jaderných reaktorech

Produkce radionuklidů v jaderných reaktorech je poměrně levná záležitost, jelikož je možné ozařovat velká množství materiálu. RN zde vznikají dvěma způsoby. První proces je ozáření terčového materiálu v reaktoru pomocí neutronového svazku. Ten aktivuje stabilní jádra. Tímto způsobem se získávají radionuklidy molybden-99 (^{99}Mo), ^{131}I , chrom-51 nebo fosfor-32. Druhý způsob výroby je separace štěpných produktů uranu-235. Zde vznikají také ^{99}Mo nebo ^{131}I a je to hlavní způsob jejich získávání (Koranda, 2014, s. 17).

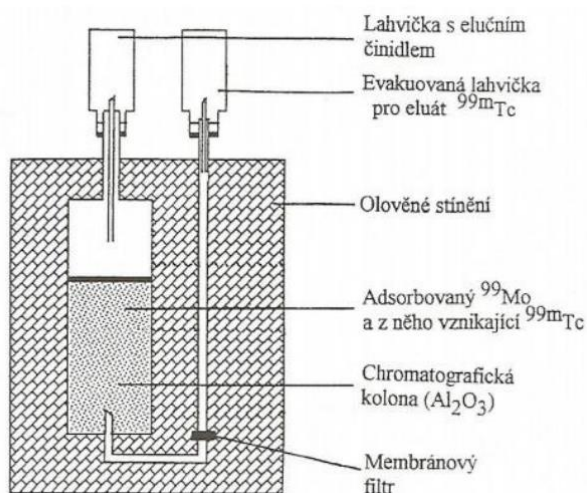
6.2.2 Výroba v cyklotronu

V urychlovačích neboli cyklotronu nabitých částic se terčový materiál ozáří pomocí protonů nebo alfa částicemi. Při výrobě v cyklotronu vznikají např. ^{111}In , thalium-201, jod-123 (^{123}I) nebo galium-67. Podle toho, jaký materiál obsahuje ozařovaný terč, mohou také vznikat pozitronové zářiče ^{18}F , uhlík-11, kyslík-15, dusík-13. Výroba v cyklotronu je však o dost dražší v porovnání s výrobou RN v jaderném reaktoru. Přímou na pracovištích nukleární medicíny se vyrábějí v malých a pro nukleární medicínu vhodných tzv. lékařských cyklotronech

pozitronové RN s krátkým poločasem přeměny. Takto se vyrábí i ^{18}F (Koranda, 2014, s. 17; Kraft, Pekárek, 2012, s. 13).

6.2.3 Získávání z generátorů

V radionuklidovém generátoru probíhá přeměna z mateřského RN, který má většinou delší poločas rozpadu, na RN dceřiný s kratším poločasem rozpadu. Dceřiný RN se odděluje nejčastěji elucí a díky svému krátkému poločasu rozpadu je vhodný pro použití v nukleární medicíně k přípravě radiofarmak. Pro nukleární medicínu jsou radionuklidové generátory velmi užitečným zdrojem RN. Podle konstrukce se radionuklidové generátory dělí na sublimační, extrakční a chromatografický (eluční). Eluční typ generátoru je nejjednodušší na obsluhu, tím pádem je také nejrozšířenějším generátorem. Nejpoužívanější generátor je $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, ze kterého se produkuje technecium, který se používá mimo jiné ke scintigrafickému vyšetření příštítných tělísek. Nejdříve se mateřský RN ^{99}Mo , který se vyskytuje ve formě molybdenanu amonného, se rozpadá na dceřiný RN technecium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) jako technecistanový aniont $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$. Ten se poté ze sloupce nosiče odloučí promytím generátoru pomocí sterilního fyziologického roztoku. Tento proces se nazývá eluce. Nejdůležitější a stále nejpoužívanější RN v nukleární medicíně je $^{99\text{m}}\text{Tc}$ s poločasem 6 hodin. (Koranda, 2014, s. 18; Kraft, Pekárek, 2012, s. 14).



Obrázek 5 - Schématický průřez generátorem $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Koranda, 2014, s. 18)

6.3 Lékové formy a způsob aplikace radiofarmak

Příprava radionuklidu a jeho další úprava do vhodné lékové formy je základem pro výrobu a přípravu radiofarmak. Radiofarmaka se vyrábějí hromadně nebo individuálně. Nejčastější způsoby podání radiofarmak jsou parenterální (intravenózní, injekční), perorální nebo inhalační.

Parenterální neboli injekční způsob aplikace radiofarmak je ten nejčastější. Aplikují se intravenózně (*i. v.*), subkutánně nebo intralumbálně. Podávají se ve formě pravých roztoků nebo se aplikují ve formě koloidních disperzí (^{99m}Tc -nanokoloid) nebo suspenzí (makroagregáty albuminu značené ^{99m}Tc).

Další metodou podání je perorální (*p. o.*). Nejčastějším radiofarmakem pro podání *p. o.* je ^{131}I u štítné žlázy. Méně častý je inhalační způsob podání, kterým se aplikují radioaktivní plyny (Koranda, 2014, s. 20).

6.4 Požadavky na radiofarmaka

Radiofarmaka se v nukleární medicíně dělí na diagnostická a terapeutická. Pro diagnostická vyšetření se používají radionuklidy, které emitují záření gama nebo pozitrony. Naopak u terapeutických vyšetření jsou to především zářiče α nebo β -. U radiofarmak jsou velmi důležité fyzikální vlastnosti daného radionuklidu (aktivita, fyzikální poločas, druh emitovaných částic nebo fotonů a energie). Poločas přeměny musí být tak dlouhý, abychom stihli detekovat požadovaný proces v organismu, ale zároveň co nejkratší, aby pacient nebyl vystaven zbytečnému ozáření. Nejvíce vyhovující poločas přeměny již zmíněného radionuklidu technecia ^{99m}Tc je přibližně 6 hodin. Poločas přeměny u pozitronového zářiče ^{18}F je 110 minut, což také stačí pro sledování metabolických dějů. Dalším velmi důležitým faktorem je energie záření. V nukleární medicíně je nutná taková energie záření fotonů gama, aby fotony nebyly až tak moc pohlceny ve tkáni a mohly být detekovány např. scintilační kamerou. Naopak účinnost detekce je snížena příliš vysokou energií fotonů. Optimální je energie (140 keV) technecia ^{99m}Tc (Kubinyi, 2018, s. 189, 190).

6.5 Radiofarmaka používaná v nukleární medicíně

Na pracovištích nukleární medicíny se používají radiofarmaka, která mají krátký poločas rozpadu (řádově jsou to hodiny). Pro PET vyšetření se využívají cyklotronová radiofarmaka, která mají velmi krátký poločas rozpadu (řádově minuty až desítky minut).

Radiofarmaka určená pro diagnostiku se využívají téměř ve všech radionuklidových vyšetřeních. Jsou tu zastoupeny vyšetření v pneumologii, kardiologii, hematologii, endokrinologii, genitourinárního systému nebo gastrointestinálního traktu. Také se zde můžeme setkat s lymfoscintigrafií lymfatické uzliny nebo dolních a horních končetin. Provádí se také scintigrafie skeletu, kostní dřeně, centrálního nervového systému, radionuklidová flebografie nebo zobrazení cévního řečiště (Koranda, 2014, s. 23).

Nejčastější radiofarmaka sloužící k diagnostickým účelům, patří zejména ty s obsahem ^{99m}Tc . Je to nejvýznamnější a nejpoužívanější RN v nukleární medicíně. Tento radionuklid splňuje všechny důležité vlastnosti, jako je fyzikální poločas, energie a druh emitovaných částic nebo fotonů. Navíc je relativně levný a snadno dostupný díky $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ generátoru (Kraft, Pekárek, 2012, s. 28,29; Koranda, 2014, s. 19).

Radiofarmaka používaná k terapii léčí nejčastěji hyperfunkci a karcinom štítné žlázy. Nejvíce používaným radiofarmakem je ^{131}I jodid sodný (Kraft, Pekárek, 2012, s. 28,29).

Pozitronová emisní tomografie (PET) využívá radiofarmaka s radionuklidy s velmi krátkým poločasem rozpadu. Nejvíce používaným radiofarmakem je ^{18}F fluorodeoxyglukosa (FDG), která slouží pro zobrazení metabolismu glukózy v místě zánětu (např. plicního). Také se využívá k zobrazení mozkových nádorů, cévní mozkové příhody, demence či epilepsie. Pro vyšetření karcinomu prostaty, hepatocelulárního karcinomu nebo příštítných tělísek pomocí PET metody se používá ^{18}F fluorocholin (FCH). Na rozdíl od FDG se neváže v místě zánětu (Kraft, Pekárek, 2012, s. 28, 29).

7 RADIAČNÍ OCHRANA

Obecné principy, zásady radiační ochrany a radiační ochrany se nevztahují pouze na pracoviště nukleární medicíny, ale platí všude tam, kde se pracuje s ionizujícím zářením. Tedy pracoviště radiodiagnostiky nebo radioterapie. Práce na pracovištích s IZ se v České republice v oblasti radiační ochrany řídí legislativními předpisy. Nejdůležitější pro tato pracoviště je vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (vyhláška č. 422/2016 Sb.) a také atomový zákon (zákon č. 263/2016 Sb.). Hlavním úkolem a cílem radiační ochrany je minimalizovat nebo zcela zabránit vzniku deterministických účinků IZ a omezit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků.

7.1 Deterministické účinky ionizujícího záření

Výskyt deterministických účinků je podmíněn dosažení prahové dávky. To znamená, že čím větší bude dávka, tak roste závažnost těchto účinků. Pokud se však prahové dávky nedosáhne, tak žádné účinky nenastanou. Objeví se po krátkém časovém úseku po ozáření, za několik dnů až týdnů. Riziko deterministických účinků vyjadřuje ekvivalentní dávka. Také se dají vyjádřit podle radiačního váhového faktoru. Prodromální, latentní a manifestní jsou tři fáze deterministických účinků. Mezi časné účinky patří dermatitida, sterilita a akutní nemoc z ozáření. Chronická dermatitida a katarakta se řadí mezi pozdní účinky (Kupka, 2015, s. 20,21).

7.2 Stochastické účinky ionizujícího záření

Stochastické účinky jsou bezprahové. S rostoucí dávkou roste pouze pravděpodobnost jejich výskytu. Na rozdíl od deterministických se objevují až po dlouhé době. Riziko stochastických účinků vyjadřuje efektivní dávka nebo podle tkáňového váhového faktoru. Tyto účinky mají čtyři fáze: fyzikální, fyzikálně-chemickou, chemickou a biologickou fázi. Při poškození somatických buněk může nastat kancerogeneze. Dědičná poškození vznikají při poškození gamet (Kupka, 2015, s. 21).

7.3 Radiační ochrana pacientů v nukleární medicíně

Celkově ochrana pacienta zahrnuje snahu o minimalizaci vlastního vnitřního ozáření, které je spojeno s diagnostickým či terapeutickým výkonem. Také je cílem minimalizovat nežádoucí

ozáření pomocí otevřených radionuklidových zdrojů. Mezi parametry, co ovlivňují ozáření pacienta, jsou fyzikální vlastnosti užitého radionuklidu a biologické či chemické vlastnosti radiofarmaka. Mezi fyzikální vlastnosti můžeme zařadit poločas přeměny a energie záření (Kubinyi, 2018, s. 269).

7.3.1 Radiační principy

Radiační ochrana je založena na třech základních principech. Prvním principem, kterým se pracovníci řídí, je princip zdůvodnění činnosti. Tento princip se uplatňuje při radiační ochraně pacientů. Je důležité dbát na to, aby zdravotnický přínos pro pacienta byl vyšší než radiační riziko poškození při ozáření. Druhým je princip optimalizace a zní tak, že každý, kdo provádí činnost vedoucí k ozáření je povinen dodržovat takovou úroveň radiační ochrany, aby dávka ozáření osob byla tak nízká, jak je rozumně dosažitelné. Posledním principem je nepřekročení limitů. Každý, kdo provádí činnost, která vede k ozáření je povinen omezovat ozáření osob tak, aby nedošlo k překročení stanovených limitů (Koranda, 2014, s. 46; Kupka, 2015, s. 23).

7.4 Radiační limity

Limity v radiační ochraně se dělí do třech základních kategorií, které se vždy udávají za kalendářní rok, ale nevztahují se pro lékařské ozáření. Rozlišujeme obecné, limity pro radiační pracovníky nebo pro učně a studenty.

Obecné limity jsou limity, které se uplatňují na jednotlivce z obyvatelstva. Pro součet efektivní dávky ze zevního i vnitřního ozáření je 1 miliSievert (mSv). Pro ekvivalentní dávku pro oční čočku je to 15 mSv a na kůži a končetiny je to 50 mSv bez ohledu na velikost ozařované plochy (Česko, 2016).

Limity pro radiační pracovníky nebo také profesní ozáření jsou následující. Pro součet efektivních dávek ze zevního a vnitřního ozáření je roční limit 20 mSv. Se svolením Státního úřadu pro jadernou bezpečnost může být hodnota až 50 mSv za rok, ale za pět po sobě jdoucích let nesmí překročit 100 mSv. Ekvivalentní dávka pro oční čočku je 50 mSv a zároveň 100 mSv za pět po sobě jdoucích let. A nakonec ekvivalentní dávka na kůži a končetiny je 500 mSv. Opět bez ohledu na velikost ozářené plochy (Česko, 2016).

Efektivní dávka ze zevního i vnitřního ozáření pro studentskou kategorii ve věkové kategorii od 16 do 18 let by neměla překročit 6 mSv. Ekvivalentní dávka v oční čočce je 15 mSv stejně jako pro obyvatelstvo a na kůži a končetiny je to 150 mSv (Česko, 2016).

7.5 Radiační ochrana pracovníků v nukleární medicíně

Ochrana časem, vzdáleností a stíněním patří mezi základní přístupy k ochraně pracovníků před vnějšími zdroji záření.

Ochrana časem neboli zkracování doby expozice je založena na skutečnosti, že pracovníci by měli omezit čas v prostoru s IZ, také práci s radioaktivními látkami provádět, co nejrychleji. Patří sem také střídání pracovníků, které provádí výkony, u kterých je vyšší expozice IZ (Kupka, 2015, s. 24; Koranda, 2014, s. 50).

Další způsob radiační ochrany je ochrana vzdáleností. Intenzita IZ klesá se čtvercem vzdálenosti. Pracovníci by tedy měli dodržovat největší možnou vzdálenost od zdroje záření. K uchopení lahviček s otevřenými zářiči (radiofarmaka) musí používat pinzety (Kubinyi, 2018, s. 260).

Nicméně ochrana vzdáleností platí také mezi pracovníkem a pacientem, kterému bylo aplikováno radiofarmakum. Jelikož ochrana časem a vzdáleností někdy nestačí, nejvíce se používá ochrana stíněním. Mezi zdroj záření a pacienta se umístí vrstva vhodného materiálu, která zeslabí svazek záření a dávku. Záření alfa má velmi malou pronikavost, tudíž ho lze snadno odstínit, stačí pouze list papíru. U beta záření je pronikavost o něco větší než u záření alfa. Pro odstínění beta záření se používají lehké materiály jako je plast. U rentgenového a gama záření se používají materiály s velkou měrnou hustotou. Nejvíce se používá olovo nebo wolfram, ten je však dražší.

Jelikož se na oddělení nukleární medicíny pracuje s otevřenými radionuklidovými zářiči, může dojít k vnitřní kontaminaci. Radionuklid může vstoupit do metabolismu pracovníka a vlivem záření poškodit některé z orgánů. Zabránit tomu mohou následujícím způsobem. Radiační pracovníci by měli používat osobní ochranné pomůcky, mezi které patří ochranné brýle, oděv či gumové rukavice. Dále činnosti, u kterých dochází k úniku radioaktivních látek, vykonávat pouze v uzavřených prostorách. Také v kontrolovaném pásmu je zakázáno pracovníkům jíst, pít a kouřit (Kupka, 2015, s. 24).

8 PŘÍŠTÍTNÁ TĚLÍSKA

8.1 Anatomie příštítných tělísek

Příštítná tělíska (PT) neboli *glandulae parathyroideae* jsou čtyři malá, kulovitá, epitelová a párově uspořádaná tělíska. Svým tvarem i rozměrem připomínají čočkové zrno, umístěné u obou laloků štítné žlázy. Dělí se na horní a dolní tělíska. Horní příštítná tělíska (*glandula parathyroidea superior*) jsou uložena ve výši dolního okraje prstencové chrupavky hrtanu. Dolní příštítná tělíska (*glandula parathyroidea inferior*) jsou uložena u dolního okraje štítné žlázy. Většina populace (84 %) má standardně čtyři PT. U 3 až 13 % jedinců se vyskytují také nadpočetné žlázy. Celkový počet nadpočetných žláz se pohybuje od 5 do 8. Výjimečně se vyskytují pouze 3 žlázy. Příštítné žlázy jsou obaleny tenkým vazivovým pouzdem, ze kterého vybíhají tenká septa, kde se vyskytují cévy a nervy. PT mají odlišnou barvu od tkáně štítné žlázy, jejich barva se s věkem mění. U mladých lidí se vyskytuje světle růžová. Ve vyšším věku jejich barva je žlutohnědá nebo žlutošedá, kvůli hromadění adipocytů (tuková tkáň). Parenchym příštítných tělísek obsahuje hlavní a oxyfilní buňky. Hlavní buňky představují tu hojnější část hmoty příštítných tělísek. V těchto buňkách se nacházejí sekreční granula, která obsahují parathormon. Oxyfilní buňky jsou rozměrově větší než buňky hlavní, ale jejich počet je mnohem menší. Obsahují velké množství mitochondrií a glykogenu. Na rozdíl od buněk hlavních, sekreční granula tyto buňky neobsahují. Začínají se objevovat až kolem 10. roku života (Čihák, 2013, s. 432, 433; Vajner, Uhlík, Konrádová, 2018, s. 125, 126).



Obrázek 6 - Příštítná tělíska (Pištorová, 2012)

8.2 Fyziologie příštítných tělísek

Příštítná tělíška mají velmi důležitou roli, neboť produkují hormon zvaný parathormon (PTH), který se následně uvolní do krve. Polypeptid zvaný parathormon je produkován hlavními buňkami příštítných tělísek. Je velmi potřebný pro život, neboť jeho hlavním úkolem je, že kontroluje množství hladiny vápníku v krevní plazmě (kalcémie). Vápník je důležitým prvkem v lidském těle, jelikož slouží pro udržování silných kostí, a také pro běžné fungování svalů, nervového a trávicího systému. Fyziologické hodnoty kalcémie jsou 2,25-2,75 milimolů na litr (mmol/l). PTH zvyšuje hladinu vápníku v krvi tak, že řídí odvápnování kostí a uvolňování vápníku do krve, snižuje jeho vylučování ledvinami a zvyšuje jeho vstřebávání v tenkém střevě. Hladina kalcémie ovlivňuje sekreci PTH z příštítných tělísek. Pokud nastane stav s vyšší hladinou kalcémie (hyperkalcémie), uvolňování hormonu se sníží nebo pozastaví. Nastane-li opačný stav s nižší hladinou kalcémie (hypokalcémie), jsou příštítná tělíška povzbuzena k tvorbě parathormonu (Rokyta, 2015, s. 359; Petřek, 2019, s. 765).

8.3 Patologie a epidemiologie příštítných tělísek

8.3.1 Adenom

Adenom je benigní čili nezhoubný nádor, který vzniká ze žlázoového epitelu. Jestliže zasáhne endokrinní orgány, může nastat nebezpečí, jelikož se vytváří nadměrné množství hormonů, které vede až k hormonální nerovnováze. Adenomy bývají příčinou primární hyperparatyreózy z 80 až 90 %. Vyskytují se mnohem více u žen než u mužů. Léčba adenomu se nejčastěji řeší chirurgickou operací, během které je pacient v celkové anestezii. Mohou se také objevit možné komplikace po operaci, např. podkožní emfyzém nebo pooperační chrapot, který sám po nějaké době odezní (Češka, 2020, s. 368; Adámek, 2006, s. 51).

8.3.2 Hyperparatyreóza

Hyperparatyreóza patří mezi poruchy sekrece PTH. Jde o dlouhodobou zvýšenou sekreci PTH a součástí projevu hyperparatyreózy je hyperkalcémie (zvýšená koncentrace vápníku). Patří sem např. snížená nervosvalová dráždivost, která se projevuje únavou a slabostí. Dále postižení centrálního nervového systému, které je projevováno depresemi nebo poruchami spánku. U těžší hyperkalcémie se mohou objevovat halucinace nebo dezorientace. Také se může objevit nefrokalcinóza, což je ukládání vápníku přímo v parenchymu ledvin nebo nefrolitiáza neboli tvorba ledvinových kamenů. Mezi časté projevy hyperparatyreózy

patří také osteoporóza. Postihnutý bývá gastrointestinální trakt. Vznikají peptické vředy, jelikož hyperkalcemie zvyšuje sekreci gastrinu a tím pádem i kyseliny chlorovodíkové. Hyperkalcemie také způsobuje poruchu srdečního rytmu nebo zvýšený krevní tlak jak systolický, tak diastolický (Rokyta, 2015, s. 360, 361).

Primární hyperparatyreóza (PHPT) je nejčastěji projevna adenomem příštítného tělíska. Je spojována také hyperplazií (zmnožení buněk, které vede ke zvětšení orgánu) všech čtyř tělísek. Vyměšování PTH v tomto případě je neovlivnitelné. Léčba je daná chirurgickým odstraněním tumoru PT (parathyreoidektomie). PHPT patří mezi tři nejčastější endokrinní onemocnění a postihuje pacienty v každém věku, avšak u dětí je výskyt velmi výjimečný. Nejvíce se PHPT objevuje ve věkové skupině 40-60 let. Na scintigrafické vyšetření PT chodí 2-3krát častěji ženy než muži. Incidence toho onemocnění v České republice je jeden případ na 1000 pacientů za rok. Léčba primárně spočívá v chirurgickém odstranění hyperfunkčního PT (Kršek, 2011, s. 48; Rokyta, 2015, s. 361; Adámek, 2006, s. 41).

Sekundární hyperparatyreóza je zvýšení sekrece, která je ovlivněna změnou koncentrace vápníku a fosfátů. U vápníku dochází ke snížení a u fosfátů ke zvýšení. Tyto změny vedou k nadprodukcí a sekreci PTH. Mezi příčiny vzniku sekundární hyperparatyreózy patří nedostatek vitamínu D a chronické onemocnění ledvin. Nejčastější způsob léčby je chirurgický zákrok. Terciární hyperparatyreóza vzniká ze sekundární hyperparatyreózy, jestliže nastane autonomní hyperplazie tělísek, která vyměšují PTH bez ohledu na hladinu vápníku. Chronické selhávání ledvin bývá nejčastější příčinou terciární hyperparatyreózy, která pak trvá dále i po transplantaci ledvin. U sekundární i terciární hyperparathyreózy je konzervativní léčba další možností (Rokyta, 2015, s. 361).

8.3.3 Hypoparatyreóza

Hypoparatyreóza patří mezi poruchy sekrece PTH a dochází ke snížené produkci nebo nedostatečnému účinku parathormonu. Snížená hladina parathormonu je vždy spojována s hypokalcemií (snížená koncentrace vápníku), která může ohrozit člověka na životě. Vzniká tzv. hypokalcemická tetanie, kdy dochází ke zvýšeným projevům křečí v obličeji nebo na končetinách. Avšak křečové stahy dýchacích svalů a hrtanu patří mezi ty nejnebezpečnější. Projevují se jako chraptivý zvuk v průběhu dýchání (inspirační stridor), postižený se dusí a jeho zbarvení kůže je namodralé (cyanóza). Terapie hypoparatyreózy je založena na rychlém podání

kalcitriolu, který se podílí na regulaci hladiny vápníku (Rokyta, 2015, s. 360; Bártová, 2022, s. 165).

Primární hypoparatyreóza je způsobena sníženou tvorbou a vyměšováním parathormonu. Primární hypoparatyreóza se dělí na vrozenou neboli familární a získanou, která se vyskytuje mnohem častěji než vrozená. Poškození příštítných tělísek během operace štítné žlázy (strumektomie) je velmi častá příčina. Pseudohypoparatyreóza je dalším typem hypoparatyreózy. Je to stav, kdy je funkce PT, tvorba a uvolňování hormonu PTH normální, ale vůči účinku PTH cílové tkáně jsou necitlivé. Neprojevují se žádné jeho účinky i přesto, že jeho koncentrace může být i vyšší. Poruchy metabolismu vápníku a fosfátů zapříčiní sníženou tvorbu a sekreci PTH a tím nastává sekundární hypoparatyreóza. Hypervitaminóza D zvyšující hladinu vápníku a tlumící sekreci PTH je jedna z příčin (Rokyta, 2015, s. 360).

9 MOŽNOSTI ZOBRAZENÍ PŘÍŠTÍTNÝCH TĚLÍSEK NA ODDĚLENÍ NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

Je mnoho metod, jak příštítná tělíska vyšetřit. Mezi základní vyšetření PT patří biochemická laboratorní stanovení. Tato vyšetření zjistí hladiny vápníku nebo fosfátů v krvi. Také stanoví, jaká je hladina PTH v séru. Onemocnění kostí odhalí RTG denzitometrické vyšetření. Zobrazení zvětšených PT se provádí za pomoci sonografie, CT nebo nukleárně magnetické rezonance, avšak nejspolehlivější jsou metody nukleární medicíny (Kupka, 2015, s. 88).

9.1 Radiofarmaka

Je velmi důležité si uvědomit, že zatím neexistuje radiofarmakum, které by se vychytávalo pouze v příštítných tělískách. Radiofarmaka, která se akumulují v PT, se totiž současně vychytávají také ve tkáni štítné žlázy. Dříve se používal chlorid [^{201}Tl]thalny pro subtrakční scintigrafii PT, kvůli ale jeho drahé výrobě, toxicitě a vysoké celotělové radiační zátěži se nyní již nepoužívá. Častěji se začal používat pro scintigrafii PT $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -methoxyisobutylisonitril ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI). Během scintigrafie PT se také využívá radiofarmakum [$^{99\text{m}}\text{Tc}$]technecistan sodný. Ten se ovšem vychytává pouze ve štítné žláze. Pro scintigrafii PT lze také použít RF [^{123}I]jodid sodný (Na^{123}I) nebo $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosmin, která se ovšem klinicky v České republice nepoužívají (Giovanella, 2021).

Jestliže se nepodaří zobrazit zvětšená PT pomocí $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI, další alternativou je vyšetření PET/CT s aplikovaným radiofarmakem FCH, které je dostupné i v České republice. Dalším radiofarmakem pro PET/CT vyšetření se používá např. ^{11}C -methionin ($[^{11}\text{C}]\text{MET}$) nebo ^{11}C -trimethylethanamium ($[^{11}\text{C}]\text{CH}$), ta v současné době nejsou v České republice využívána. Radiofarmaka pro vyšetření PT souhrnně shrnuje Tabulka 1 (Giovanella, 2021).

Tabulka 1 Přehled radiofarmak pro vyšetření příštítných tělísek (Giovanela, 2021)

Radiofarmakum	Druh vyšetření	Aplikovaná aktivita (MBq)	Energie (keV)	Fyzikální poločas rozpadu
[^{99m} Tc]technecistan sodný	Subtrakční scintigrafie	74 – 150	140	6,04 hod
^{99m} Tc-tetrofosmin	Subtrakční scintigrafie	400-900	140	6,04 hod
Na ¹²³ I	Subtrakční scintigrafie	7,4 – 14,8	159	13,2 hod
^{99m} Tc-MIBI	Subtrakční i dvoufázová scintigrafie	400 – 900	140	6,04 hod
[¹⁸ F]fluorocholin	PET	100 – 300	511	110 min
¹¹ C-methionin	PET	370 – 1100	511	20,3 min
¹¹ C- trimethylethanamium	PET	200 – 650	511	20,3 min

9.2 Scintigrafie příštítných tělísek

Scintigrafie příštítných tělísek je velmi užitečná pro zobrazení např. adenomů, karcinomů nebo hyperplázie PT. Za pomoci této metody lze s vysokou senzitivitou zobrazit pouze zvětšená PT. Také nám poskytuje informace nejen o poloze tělíška, ale i o jeho aktivitě.

9.2.1 Indikace a kontraindikace

Radionuklidové zobrazení PT v nukleární medicíně slouží zejména k odhalení hyperfunkčních PT, které jsou umístěny na typických i ektopických místech. Zobrazení se také používá pro předoperační lokalizaci hyperaktivních PT u pacientů, kteří mají zjištěnou primární hyperparatyreózu. Jedinou kontraindikací na vyšetření je těhotenství (gravidita).

9.2.2 Subtrakční scintigrafie

Subtrakční scintigrafie je založena na odečítání dvou scintigramů, které se vytvoří během vyšetření. Jako první se pacientovi podá *i. v.* [^{99m}Tc]technecistan sodný s aplikovanou aktivitou 70 Megabecquerelů (MBq). Přibližně za 15 minut po aplikaci RF probíhá planární scintigrafie z přední projekce a vytvoří se tak scintigrafický obraz pouze štítné žlázy. Radiofarmakum ^{99m}Tc-MIBI je aplikováno *i. v.* jako druhé s aktivitou 555 MBq, který je vychytáván právě v adenomech, karcinomech či hyperplastických PT. Planární scintigrafie z přední projekce probíhá také za 15 minut po aplikaci RF. Dále je možnost doplnění vyšetření o SPECT/CT. Poté dochází k odečtení prvního obrazu od druhého a zůstanou pouze ložiska se zvýšenou akumulací (adenomy, karcinomy nebo zvětšená příštítná tělíska) (Kupka, 2015, s. 89).

9.2.3 Dvoufázová scintigrafie

Dvoufázová nazývána též jako vyplavovací scintigrafie používá jako radiofarmakum pouze ^{99m}Tc-MIBI. Toto radiofarmakum se po *i. v.* aplikaci aktivitou 700 MBq velmi rychle dostává do tkáně štítné žlázy i příštítných tělísek. Poté dochází k vyplavování radiofarmaka. Z okolí tkáně štítné žlázy se RF vyplavuje velmi rychle na rozdíl od adenomů či hyperplastických PT, kde se vyplavuje velmi pomalu. Nejdříve snímání z přední projekce probíhá za 10 minut po aplikaci RF, poté za 2-3 hodiny. U této metody je také vhodné doplnění o SPECT nebo SPECT/CT, které poskytuje trojrozměrnou informaci (Kupka, 2015, s. 89).

9.3 Vyšetření příštítných tělísek pomocí PET/CT

Indikace FCH slouží k lokalizaci hyperfunkčních příštítných tělísek před operací. Také se PET/CT vyšetření používá jako doplňovací vyšetření ke standardnímu zobrazení, pokud se vyskytne podezření na zvětšení žlázy. Další možnost, kdy se PET používá, je po negativní scintigrafii PT nebo ultrazvuku krku. Relativní kontraindikací je opět gravidita (Kupka, 2015, s. 90).

PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část je vypracovaná na základě odborné praxe na Oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice Hradec Králové a doplněna fotografiemi. V praktické části bakalářské práce je popsána činnost radiologického asistenta při vyšetření příštítných tělísek pomocí metod SPECT/CT a PET/CT.

10 VYŠETŘENÍ PŘÍŠTÍTNÝCH TĚLÍSEK POMOCÍ SPECT/CT

10.1 Objednání pacienta na vyšetření

Pacient si zavolá na oddělení nukleární medicíny a objedná se na vyšetření. Pokud se jedná o subtrakční scintigrafii PT, radiologický asistent by měl pacienta upozornit na to, že by měl vysadit hormony štítné žlázy (tyroxin a trijodthyronin), konkrétně léčivé přípravky Syntroxine, Letrox nebo Euthyrox. A tyreostatické léky 1 týden před vyšetřením, jelikož by tyto léky mohly snižovat vychytávání RF ve štítné žláze. Také by měl pacient alespoň po dobu 2 týdnů zcela vyřadit potraviny bohaté na jód (kuchyňská sůl, mořské a mléčné produkty). Nesmí být podána jódová kontrastní látka také 2 týdny před vyšetřením. Pokud by se jednalo o dvoufázovou scintigrafii pomocí ^{99m}Tc -MIBI, tak žádná příprava před vyšetřením není potřeba.

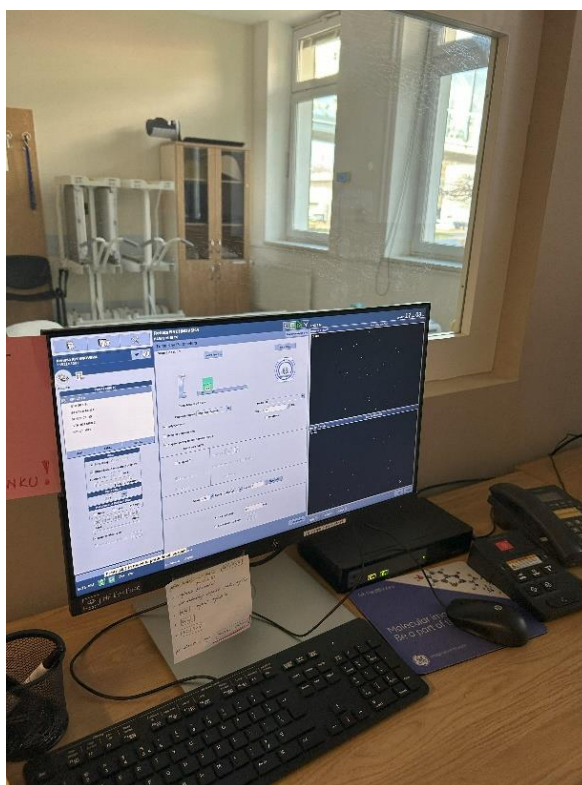
10.2 Příchod a příprava pacienta na oddělení nukleární medicíny

Po příchodu na oddělení nukleární medicíny jako první jde pacient do kartotéky, kde předává žádanku o vyšetření a RA zkontroluje údaje, tzn. jméno a příjmení pacienta, rodné číslo, pojišťovnu, žádané vyšetření, alergie a diagnózu. Karta pacienta také musí obsahovat údaj o výšce a váze pacienta, který se zapisuje do počítače během vyšetření. Pacient obdrží informovaný souhlas, tzv. Souhlas pacienta/tky – zákonného zástupce s aplikací RF a následným vyšetřením na gamakameře (Příloha 1, 2). Je zde uvedeno jméno pacienta, rodné číslo, pojišťovna, případně zákonný zástupce. Dále je tu popsán průběh vyšetření, jaké radiofarmakum se používá a možné nežádoucí reakce, které jsou ale minimální. Zapisuje se čas, způsob a místo aplikace RF. U žen v reprodukčním věku (15 – 50 let) se ještě dotazujeme na případné těhotenství či kojení. Těhotenství i kojení není však absolutní kontraindikací. Vyšetření se může provést, pokud zdravotní stav pacientky je životu ohrožující a není jiná

metoda bez použití IZ. Také je tu popsáno, jak by se měl pacient chovat po vyšetření, aby snížil radiační zátěž svého okolí (zvýšený příjem tekutin, omezit kontakt s těhotnými ženami a dětmi). Pokud pacient nemá žádné další doplňující otázky k vyšetření, podepíše informovaný souhlas a posadí se v čekárně, než ho RA zavolá na vyšetření.

10.3 Provedení vyšetření

Po obdržení žádanky radiologický asistent zadává do počítače potřebné informace (jméno, příjmení, rodné číslo, pohlaví a z nabídky vybere dané vyšetření). Poté může otevřít protokol ke konkrétnímu vyšetření, připravit vyšetřovací stůl a zavolat pacienta do vyšetřovny.



Obrázek 7 - Zakládání nového vyšetřovacího protokolu (vlastní zdroj)

Pacient je po příchodu do vyšetřovny vyzván, aby si odložil všechny kovové věci (řetízky, brýle, náušnice). Také není žádoucí, aby pacient během vyšetření měl na sobě např. mikinu se zipem nebo košili s knoflíky. Kovové předměty by totiž mohly stínit případné ložisko a snižovat množství zachycených impulsů. Zamezí se také vzniku případných artefaktů. Tím by se vyšetření znemožnilo, pokud by se na to nepřišlo včas, ale také by stoupla radiační zátěž

pro personál a pacienta, protože by se vyšetření muselo zbytečně znovu opakovat. Je tedy dobré si na tyto drobné, ale přesto velmi důležité poznatky dávat pozor.



Obrázek 8 - Gama kamera (vlastní zdroj)

Poté radiologický asistent opět informuje pacienta o tom, jak dlouho bude vyšetření probíhat a pacienta ukládá na vyšetřovací stůl. Pacient během vyšetření příštítných tělísek leží na zádech, hlavu má uloženou směrem do gantry a ruce jsou podél těla.

Téměř u každého vyšetření na oddělení nukleární medicíny se radiofarmakum aplikuje v aplikační místnosti. U radionuklidového vyšetření příštítných tělísek je výjimka a radiofarmakum se aplikuje přímo ve vyšetřovací místnosti.

Když je vše připravené a pacient leží ve správné poloze, radiologický asistent požádá lékaře, aby naaplikoval radiofarmakum, které je již připravené se škrtydlem ve vyšetřovně.



Obrázek 9 - Radiofarmakum uložené v olověném krytu (vlastní zdroj)

Jako první se aplikuje ^{99m}Tc -technecistan s aktivitou 70 MBq *i. v.* v čase aplikace. Nejčastěji se aplikuje do kubitální žíly, ale především záleží na celkovém stavu pacienta. Pokud by pacient měl moc slabou žílu, musí se velmi rychle vybrat jiné místo pro vpich, jelikož pacientovi není před vyšetřením zaváděna kanylka. Aplikuje se tzv. „z ruky“. Pracuje se s otevřeným radionuklidovým zdrojem ionizujícího záření, řídíme se podle pravidel radiační ochrany. Poté se stříkačka po radiofarmaku vyhodí do stíněného koše pro radioaktivní odpad. Radiologický asistent pomocí ovladače gamakamery nastaví stůl s pacientem mezi detektory, aby na obrazovce byla zřejmá akumulace radiofarmaka a oblast hlavy, krku a mediastina. Dále je důležité říct pacientovi, aby po celou dobu vyšetření zůstal v klidu a nehýbal se. Zapíše se čas, způsob a místo aplikace radiofarmaka. Za 10 minut po aplikaci prvního radiofarmaka se provede první SPECT štítné žlázy na cca 20 minut, poté radiologický asistent spustí statické snímání, které trvá 10 minut. Celkově první část vyšetření trvá přibližně 30 minut.



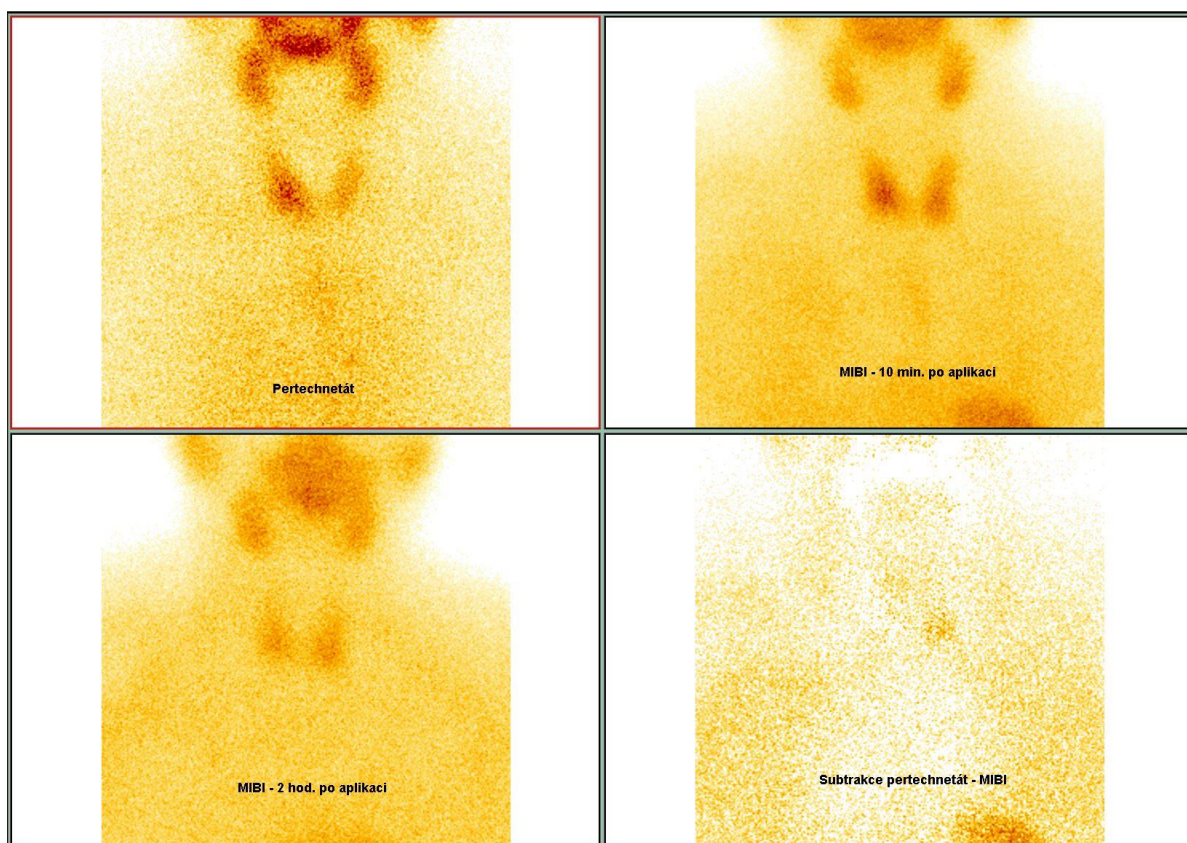
Obrázek 10 - Ovladač gamakamery s obrazovkou (vlastní zdroj)

Jakmile skončí první statické snímání, lékař pacientovi aplikuje opět *i. v.* druhé radiofarmakum ^{99m}Tc -MIBI o aktivitě 600 MBq. Pacient však musí zůstat ve stejné poloze. Opět se zapíše čas, způsob a místo aplikace radiofarmaka a čeká se 10 minut, radiologický asistent si otevře další protokol k vyšetření a spustí se statické snímání opět na 10 minut. Poté se vyšetření doplňuje o SPECT/CT, které trvá necelých 20 minut. Tímto je první část vyšetření ukončena. Radiologický asistent vyveze pacienta, oznámí mu, že první část je hotová s tím, ať přijde na poslední část vyšetření cca za 1,5 hodiny (pro zobrazení za 2-3 hodiny od aplikace ^{99m}Tc -MIBI). Pacient se může během volného času normálně pohybovat po nemocnici. Je dostatečně poučen, že by měl omezit blízký kontakt s lidmi, především s těhotnými ženami a dětmi.

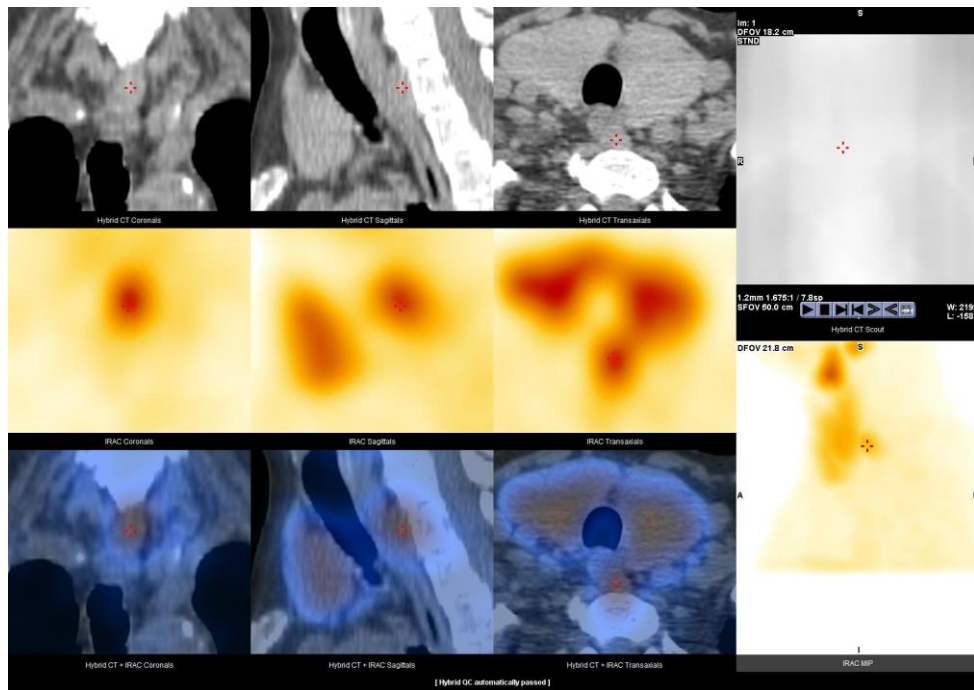
Jakmile pacient odejde z vyšetřovny, radiologický asistent může protokol zavřít, ale zatím ho nechává stále přístupný pro poslední vyšetření. Než uplyne požadovaná doba, lze vyšetřit dalšího pacienta na první část vyšetření příštích tělísek.

Když je další pacient hotov a zároveň uplynula požadovaná doba, radiologický asistent si zavolá prvního pacienta do vyšetřovny. Opět je pacient vyzván k tomu, aby si opět odložil všechny kovové věci z dané vyšetřované oblasti. Pacient si lehne na vyšetřovací stůl stejně jako v první části vyšetření, tedy pacient leží na zádech, hlavu má položenou směrem do gantry a ruce má

podél těla. Radiologický asistent si zvolí v počítači správný protokol a provede se statické snímání, které trvá 10 minut. Výjimečně se tato poslední část doplňuje o SPECT. V momentě, kdy skončí statické snímání, je celé vyšetření hotové. Po vyšetření by měl pacient dodržovat zvýšený pitný režim, jelikož se obě radiofarmaka vylučují močí. Po celý den by měl pacient omezit kontakt s těhotnými ženami a dětmi. Pacient odchází domů a radiologický asistent zavírá protokol a výsledky se odesílají ošetřujícímu lékaři. Protokol se automaticky odesílá do vyhodnocovacího počítače a do centrálního archivu. Vyšetření se provádí po třech úhlech, kde každý úhel trvá přibližně 14 vteřin. Celkový počet úhlů je 120 a matice jsou nastaveny na 128x128 pixelů.



Obrázek 11 - Subtrakční scintigrafie příštítných tělísek, adenom dolního příštítného tělíska vlevo (vlastní zdroj)



Obrázek 12 - Scintigrafie příštítných tělísek, SPECT/CT fúze, adenom příštítného tělíska (vlastní zdroj)

11 VYŠETŘENÍ PŘÍŠTÍTNÝCH TĚLÍSEK POMOCÍ PET/CT

11.1 Objednání pacienta na vyšetření

Pacient po objednání obdrží instrukce, které by měl před PET/CT vyšetřením dodržet. Týden před vyšetřením by si pacient měl zajistit (nejlépe u svého praktického lékaře) vyšetření urey, kreatininu a glomerulární filtrace a výsledky přinést s sebou na vyšetření. Nejméně 4 hodiny před vyšetřením by měl být pacient nalačno. Ovšem dostatečná hydratace neslazených nápojů velmi usnadňuje zavedení kanyly. Pacient si přinese vyplněný anamnestický dotazník (Příloha 3).

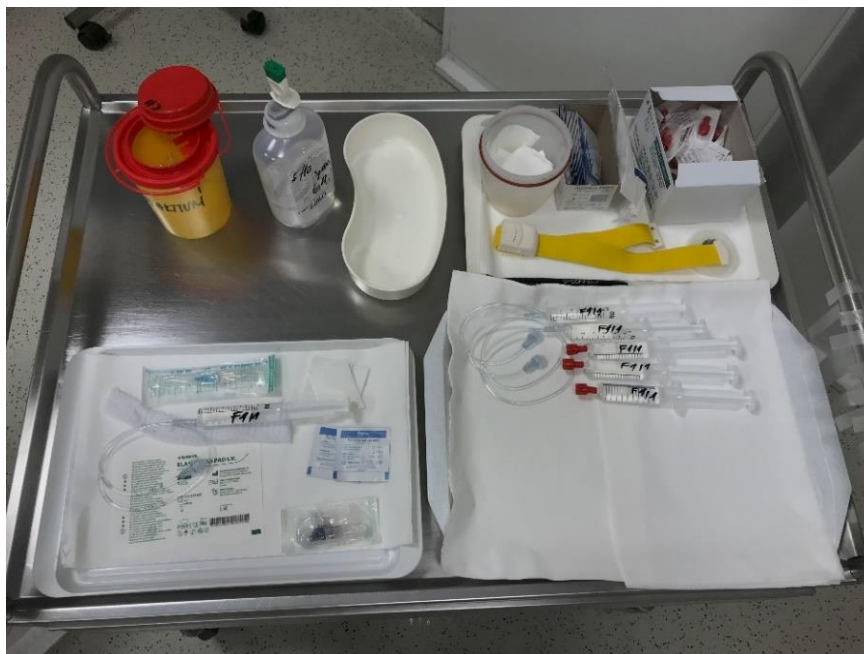
Vzhledem k nižší teplotě vyšetřovny PET/CT je pacientovi doporučeno pohodlné a teplejší volnější oblečení bez kovových zipů. Pacient je upozorněn, aby na vyšetření dorazil včas, jelikož výroba RF, která se při tomto vyšetření používá, je velmi drahá a jeho poločas přeměny velmi krátký. Pokud by tedy pacientovi nevyhovoval termín, je potřeba, aby se včas přeobjednal na jiný a tento přenechal jinému pacientovi. Také je mu doporučeno nebrat těhotné ženy nebo malé děti jako doprovod na vyšetření.

11.2 Příchod a příprava pacienta na oddělení nukleární medicíny

Po příchodu na oddělení nukleární medicíny jako první jde pacient do kartotéky, kde předává žádanku o vyšetření a RA zkontroluje údaje, tzn. jméno a příjmení pacienta, rodné číslo, pojišťovnu, žádané vyšetření, alergie a diagnózu. Karta pacienta také musí obsahovat údaj o výšce a váze pacienta, který se zapisuje do počítače během vyšetření. Ihned po příchodu do kartotéky by měl pacient také sdělit, pokud trpí klaustrofobií (chorobný pocit strachu před uzavřenými prostory). Pokud pacient trpí klaustrofobií, snažíme se s pacientem domluvit – ukážeme mu předem gantry PET/CT přístroje, aby zhodnotil, zda je schopen vyšetření zvládnout. Můžeme mu případně nabídnout podání anxiolytika (Lexaurin). Pacient obdrží informovaný souhlas, tzv. Souhlas pacienta/tky – zákonného zástupce s aplikací RF a následným PET/CT vyšetřením (Příloha 4, 5). Je zde uvedeno jméno pacienta, rodné číslo, pojišťovna, případně zákonný zástupce. Dále je tu popsán průběh vyšetření, a jaké RF se použije. Zapisuje se čas, způsob a místo aplikace RF. U žen v reprodukčním věku (15 – 50 let) zjišťujeme případné těhotenství či kojení. Také je tu popsáno, jak by se měl pacient chovat po vyšetření, aby snížil radiační zátěž svého okolí. Pokud pacient nemá žádné další doplňující otázky k vyšetření, podepíše informovaný souhlas a posadí se v čekárně, než ho RA zavolá na vyšetření.

11.3 Provedení vyšetření

Radiologický asistent si před zavoláním pacienta připraví aplikační místnost a táb s pomůckami pro zavedení kanyly. Jakmile má RA vše připravené, zavolá si pacienta dovnitř.



Obrázek 13 - Připravený táb s pomůckami k zavedení kanyly (vlastní zdroj)

Pacient po zavolání přichází do aplikační místnosti, RA ověří jeho jméno a datum narození a poté se může posadit na křeslo. RA mu vysvětlí, že mu bude do žíly zavedena kanyla (hadička), která slouží pro podání radiofarmaka. Záleží na tom, do jaké žíly kanyla bude zavedena, a jaký je celkový stav žil. Nejčastěji se zavádí kanyla do kubitální žíly, do žíly na předloktí nebo také na hřbet ruky. Nastávají ovšem i situace, že se RA nepodaří kanylu zavést ani po mnoha pokusech (i s pomocí dalších kolegů), kvůli špatnému stavu žil. V tomto případě se radiofarmakum podá přímo, „z ruky“. Poté zavoláme lékaře, aby přišel aplikovat radiofarmakum do zavedené kanyly. Lékař nejen aplikuje radiofarmaka, ale také si předem ověřuje ostatní údaje (alergie, výsledky laboratorních hodnot, případně klaustrofobii a schopnost pacienta vydržet vleže bez pohnutí po určitou dobu). Na zobrazení příštítých tělísek se při PET/CT vyšetření používá pozitronové radiofarmakum FCH, které se speciálně vyrábí v cyklotronu. Dováží se ráno na oddělení, kde je farmaceutem pomocí poloautomatického dávkovacího systému rozdělen do stříkaček individuálně každému pacientovi s ohledem na

jeho hmotnost a čas aplikace. Aplikuje se aktivita obvykle v rozmezí 100-200 MBq, v závislosti na hmotnosti pacienta (1,5-2,0 MBq na kilogram váhy).



Obrázek 14 - Aplikační místnost s křeslem (vlastní zdroj)

Po aplikaci pacienta posíláme do kabinky, kde 10-20 minut čeká. Tento časový interval je nutný, aby se dostatečně akumulovalo radiofarmakum. V kabině je zabudována kamera s mikrofonem. Radiologický asistent z ovladovny s pacientem může neustále komunikovat a dotazovat se, zda je vše v pořádku.



Obrázek 15 - Kabinka (vlastní zdroj)



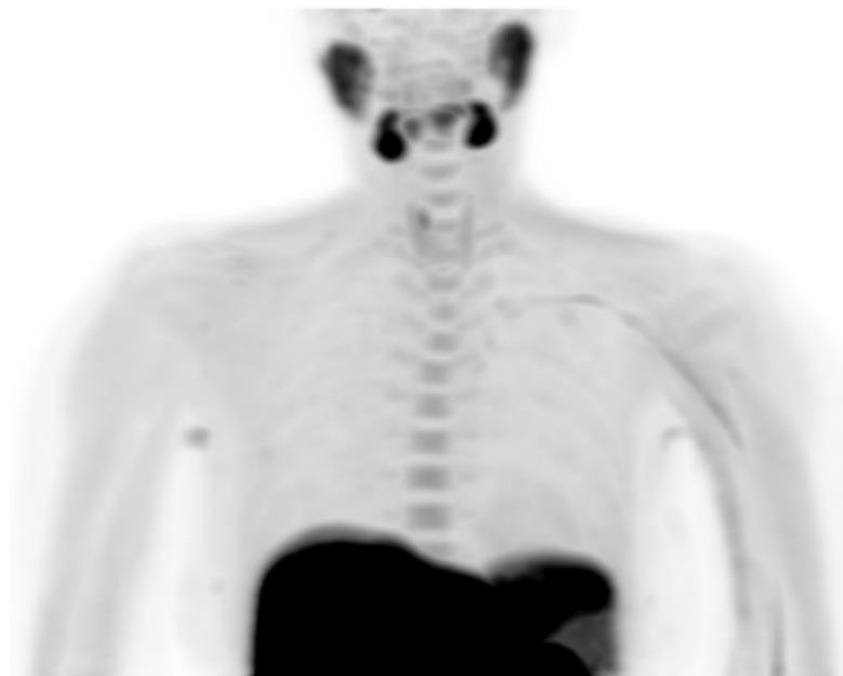
Obrázek 16 - PET/CT přístroj (vlastní zdroj)

Po uplynulé době RA zavolá pacienta do vyšetřovny a připomene mu, aby neměl na sobě nic kovového. Pacienta uložíme do polohy na zádech, podložena kolena a ruce podél těla. Akviziční parametry u PET probíhají v zorných polích, které se označují jako tzv. „postele“. Při vyšetření PT se obvykle provádějí 2 „postele“. Radiologický asistent si otevře nový protokol s pacientem a nastaví rozsah vyšetření od baze lební po bránici. Musí být vidět celý hrudník, kde by se příštítná tělíska mohla objevit. Ujistíme se, že pacient je v pořádku a upozorníme ho, aby po dobu vyšetření ležel bez hnutí. Vyšetření trvá přibližně 10 minut a CT část vyšetření probíhá bez podání *i.v.* jodové kontrastní látky. Pokud by se příštítná tělíska po prvním snímání nezobrazila, je možné vyšetření zopakovat za dalších 60 minut (mezitím pacient čeká zpátky ve své kabině). U většiny případů stačí pouze první snímání.

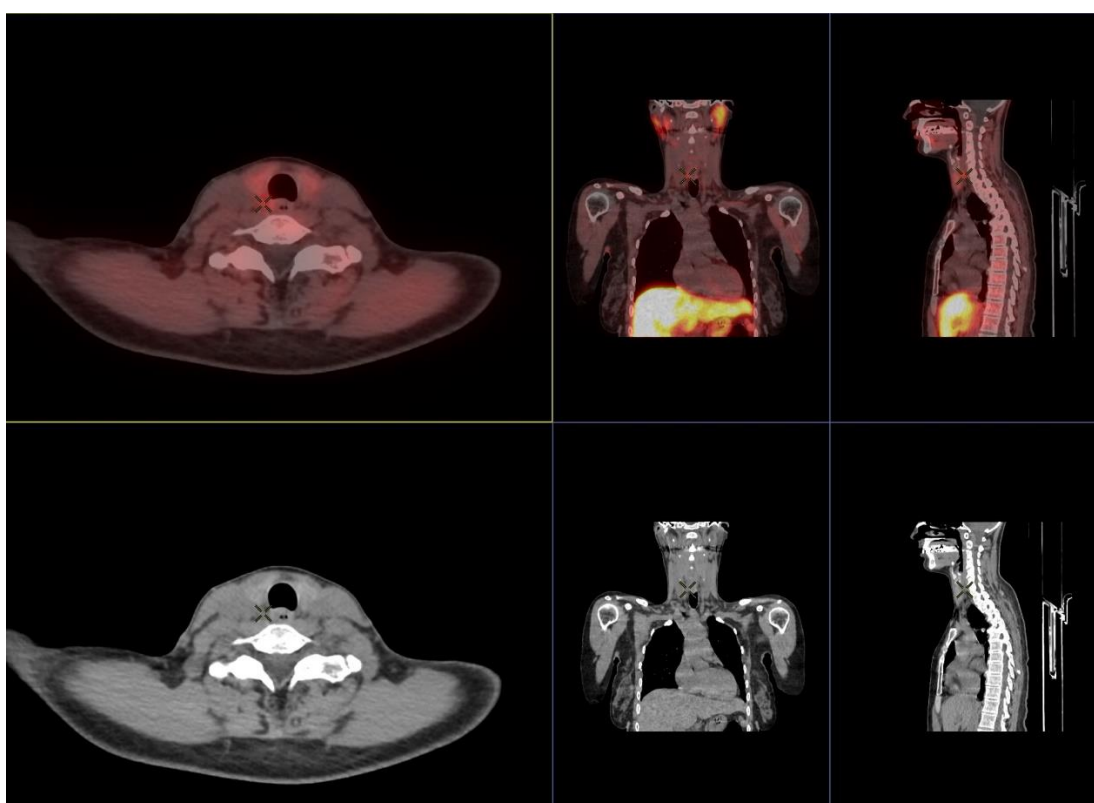
Pomocí FCH se současně provádí i vyšetření prostaty, které je mnohem častější než vyšetření příštítných tělísek. Aby se minimalizovaly prostoje na PET/CT a nedocházelo k časovým kolizím mezi pacienty, je třeba dodržet správné načasování aplikací i následných akvizic jednotlivých pacientů. Proto vyšetření prvního pacienta s PT probíhá před zahájením akvizice prvního prostatického pacienta a případní další pacienti s PT jsou aplikováni po aplikaci posledního prostatického pacienta. Je přitom předem zohledněna i varianta, že bude nutné opakovat akvizici PT po 60 minutách v případě nedostatečného zobrazení, s ohledem na možné prodlevy ve vyšetření prostatických pacientů.

Po ukončení vyšetření upozorníme pacienta, že by měl zvýšit příjem tekutin, protože se radioaktivní vylučuje ledvinami z těla a to do druhého dne. Po tuto dobu tedy se nedoporučuje kontakt s těhotnými a malými dětmi. Pokud pacient druhý den po vyšetření plánuje cestu do zahraničí letadlem, vyzvedne si potvrzení o aplikaci radioaktivní látky.

Po skončení vyšetření a vytažení kanyly RA pacient ještě setrvává 5 minut v čekárně a poté může odejít domů. Radiologický asistent uzavírá protokol a po popisu získaných snímků lékařem se výsledky odesílají ošetřujícímu lékaři. Protokol se automaticky odesílá do vyhodnocovacího počítače a do centrálního archivu.



Obrázek 17 - Vyšetření příštítných tělísek pomocí PET/CT (vlastní zdroj)



Obrázek 18 - Výsledný obraz vyšetření na PET/CT (vlastní zdroj)

12 DISKUZE

Cílem bakalářské práce bylo popsat úlohu radiologického asistenta během radionuklidových vyšetření SPECT/CT a PET/CT. Práce se dělí na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou obsaženy základní informace vycházející z odborné literatury. V praktické části jsou popsány vyšetření příštítných tělísek na Oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice Hradec Králové a činnost radiologického asistenta během těchto vyšetření. Během odborné praxe jsem měla mnoho příležitostí se podívat na obě možnosti vyšetření příštítných tělísek.

Na oddělení nukleární medicíny má radiologický asistent velmi rozmanitou práci. Od prvního momentu je v kontaktu s pacienty, objednává a doprovází je na dané vyšetření. Jeho úkolem je dostatečné vysvětlení průběhu vyšetření. Radiologický asistent by měl být empatický, trpělivý a ochotný. Mezi povinnostmi RA se řadí správná manipulace s přístrojovou technikou, přípravování RF a asistování při jeho aplikaci. Zejména je důležitá vzájemná komunikace s ostatním personálem, především s lékaři. Spolupráce mezi RA a farmaceuty je nezbytnou součástí na oddělení. Především kvůli radionuklidům, které mají různé poločasy rozpadu a jednotlivá vyšetření jsou časově velmi náročná, je důležité, aby RA vytvořil časový plán jednotlivých pacientů, který bude vyhovovat i ze strany farmaceuta. Zejména tato spolupráce je prospěšná u PET vyšetření, kde radionuklidy mají velmi krátké poločasy rozpadu (^{18}F).

Subtrakční scintigrafie, která se provádí na gamakameře, je nejvíce využívaným vyšetřením příštítných tělísek. Aplikují se dva druhy radiofarmak. První se aplikuje [$^{99\text{m}}\text{Tc}$]technecistan a jako druhé $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI, která mají energii 140 keV a poločas přeměny 6 hodin. Nevýhodou pro pacienta u této metody je celková doba v nemocnici. Pacient zde stráví přibližně 3 hodiny. Na rozdíl vyšetření na PET/CT pomocí FCH je mnohem méně častým, jelikož výroba radiofarmaka pro toto vyšetření je velmi drahá. Tento pozitronový radionuklid má energii 511 keV a poločas přeměny pouhých 110 minut. Výhodou je však rychlost vyšetření a pacient zde stráví přibližně pouze 1 hodinu.

Rozdílná je také stavba přístrojů a jejich princip. Základ pro SPECT je detektor a kamera, která má kruhový otvor tzv. gantry, které slouží pro upevnění detektoru. Během snímání se detektory otáčí kolem pacienta a zaznamenává rozložení radiofarmaka. Naopak přístroj pro PET má lůžko a detektory, které se ale během snímání neotáčejí kolem pacienta, také přístroj nemá žádné kolimátory, ale poskytuje vyšší citlivost a rozlišovací schopnost než SPECT.

V nukleární medicíně se běžně zobrazují příštítná tělíska pomocí $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI při podezření na adenom. Zobrazování pomocí FCH na PET/CT je poměrně nová technika k lokalizaci

hyperfunkčních tělísek a postupně se šíří do celého světa. Ze začátku se technika využívala pouze tehdy, kdy byla přesná lokalizace příštítného tělíska obtížná při konvenčním zobrazování.

Dle Sterna se tato metoda v Norsku čím dál tím více využívá a odstupuje se od konvenčních metod nukleární medicíny. Přesnost FCH na PET/CT je mnohem lepší, než se v praxi očekávalo, a to nejen z důvodu úspory času pro personál, ale hlavně pro pacienty. Přínosy tohoto radiofarmaka přesahují dokonce nad jeho vysokou cenou, jelikož se zkrátí čekací doba na další vyšetření, také je na lepší úrovni také chirurgická přesnost, nižší radiační zátěž pacienta a zejména snížené doplňovací vyšetření (Stern, 2023).

Podle další Beheshiho studie v sousedním Rakousku, ve které se porovnávala přesnost vyšetření v předoperační detekci adenomu PT u pacientů s primární hyperparatyreózou pomocí FCH na PET/CT s ^{99m}Tc -MIBI nebo ^{99m}Tc -tetrofosmin na SPECT/CT. Ke studii se použila data celkem od 82 pacientů, kteří splňovali všechny kritéria. Nakonec se v této studii prokázalo vyšetření s FCH, že je jednoznačně lepší než pomocí ^{99m}Tc -MIBI nebo ^{99m}Tc -tetrofosminu na SPECT/CT. Především je to v detekci a lokalizaci adenomů PT (Beheshti, 2018).

Dle Vestergaarda se v Dánsku srovnávalo skenování příštítných tělísek před operací primární hyperparatyreózy za pomoci ^{99m}Tc -MIBI a $[^{11}\text{C}]\text{MET}$. Studie zahrnovala celkem 27 pacientů (18 žen, 9 mužů) v průměrném věku 59 let. Nezávisle všechna tyto vyšetření hodnotili dva lékaři nukleární medicíny a závěrem je, že výsledek pomocí $[^{11}\text{C}]\text{MET}$ vyšel roven jako ^{99m}Tc - MIBI (Vestergaard, 2023).

13 ZÁVĚR

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Cílem mé teoretické části bylo shrnutí problematiky onemocnění příštítných tělísek a diagnostických možností nukleární medicíny. V praktické části jsem chtěla stručně popsat činnost radiologického asistenta na oddělení nukleární medicíny a průběh jednotlivých vyšetření příštítných tělísek pomocí SPECT/CT a PET/CT z poznatků z praxe na Oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Hradec Králové. Cíle mé bakalářské práce byly splněny.

Scintigrafie příštítných tělísek je velmi využívanou metodou, na rozdíl od vyšetření PET/CT, které je již méně časté. Rozdílnost je zejména ve druhu aplikovaného radiofarmaka, jak dlouho trvají jednotlivá vyšetření a na principu přístrojů pro SPECT a PET. Důležitou roli hraje také cenová dostupnost jednotlivých vyšetření.

Činnosti radiologického asistenta při vyšetření jsou zejména správná edukace pacienta, nastavení potřebných parametrů, manipulace s přístroji a zejména získání vyšetřované oblasti v zorném poli kamery.

Bakalářská práce má seznámit současné nebo budoucí studenty oboru radiologický asistent s problematikou nejen onemocnění příštítných tělísek. Je doplněna také obrázkovou dokumentací, díky které se snadněji pochopí činnost RA a praktické provedení těchto vyšetření.

14 POUŽITÁ LITERATURA

Odborné články:

GIOVANELLA, L. et al., 2021. The EANM practice guidelines for parathyroid imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* [online]. Berlín: Springer-Verlag Berlin, 48 (9), 2801–2822 [cit. 2024-02-20]. ISSN: 1619-7089. DOI: 10.1007/s00259-021-05334-y

STERN, N. M. et al, 2023. New nuclear medicine diagnostic method for parathyroid. *Tidsskr Nor Laegeforen* [online]. Chistiania: Alb. Cammermeyer, 143 (18) [cit. 2024-04-03]. ISSN: 0807-7096. DOI: 10.4045/tidsskr.23.0701

BEHESHTI, M. et al, 2018. ¹⁸F-Fluorocholine PET/CT in the assessment of primary hyperparathyroidism compared with ^{99m}Tc-MIBI or ^{99m}Tc-tetrofosmin SPECT/CT: a prospective dual-centre study in 100 patients. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* [online]. Berlín: Springer-Verlag Berlin, 45 (10), 1762-1771 [cit. 2024-04-09]. ISSN: 1619-7089. DOI: 10.1007/s00259-018-3980-9.

VESTERGAARD, S. et al, 2023. Head-to-Head Comparison of Tc-99m-sestamibi SPECT/CT and C-11-L-Methionin PET/CT in Parathyroid Scanning Before Operation for Primary Hyperparathyroidism. *Mol Imaging Biol* [online]. New York, NY: Elsevier Science, 25 (4), 720-726 [cit. 2024-04-09]. ISSN: 1860-2002. DOI: 10.1007/s11307-023-01808-7.

Internetové zdroje:

ČESKO, 2004. Zákon č. 96/2004 Sb., o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činnosti souvisejících s poskytováním zdravotní péče a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o nelékařských zdravotnických povoláních). Online. In: *Zákony pro lidi*. AION CS, ©2010–2024. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-96>

ČESKO, 2016. Zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon. Online. In: *Zákony pro lidi*. AION CS, ©2010–2024. [cit. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>

ČEŠKA, Richard a kolektiv, 2020. *Interna*. 3. vydání. Praha: Triton. 967 s. ISBN 978-80-7553-780-5.

DOLEŽAL, Jiří, 2016. Fyzika. In: *Portál UPCE* [online]. [cit. 2024-01-25]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>

ULLMANN, Vojtěch. Radioisotopová scintigrafie. In: *AstroNuklFyzika* [online]. [cit. 2024-01-22]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

Literární zdroje:

ADÁMEK, S. et al., 2006. *Primární hyperparathyreóza*. Praha: Galén. 202 s. ISBN 80-7262-440-7.

BÁRTOVÁ, Jarmila, 2022. *Přehled patologie*. Univerzita Karlova: Karolinum. 229 s. ISBN 978-80-246-4775-3.

BENEŠ, J. et al., 2015. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory*. Praha: Grada. 228 s. ISBN 978-80-247-4712-5.

BENEŠ, J. et al., 2022. *Základy lékařské fyziky*. Univerzita Karlova: Karolinum. 350 s. ISBN 978-80-246-5398-3.

ČIHÁK, Radomír, 2013. *Anatomie 2*. Praha: Grada. 512 s. ISBN 978-80-247-4788-0.

HUŠÁK, Václav, 2009. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.

KORANDA, Pavel a kolektiv, 2014. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.

KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK, 2012. *Radiofarmaka*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta. 97 s. ISBN 978-80-7464-183-1.

KRŠEK, Michal, 2011. *Endokrinologie*. Praha: Galén. 97 s. ISBN 978-80-7262-687-8.

KUBINYI, J. et al., 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně*. Praha: Grada. 308 s. ISBN 978-80-271-0168-9.

KUPKA, K. et al., 2015. *Nukleární medicína*. Praha: P3K. 169s. ISBN 978-80-87343-60-9.

PETŘEK, Josef, 2019. *Základy fyziologie člověka*. Praha: Grada. 172 s. ISBN 978-80-271-2208-0.

ROKYTA, Richard a kolektiv, 2015. *Fyziologie a patologická fyziologie*. Praha: Grada. 712 s. ISBN 978-80-247-4867-2.

ŠABATA, Ladislav, 2019. *Nukleární medicína – technické základy*. České Budějovice: ZSF JU. 116 s. ISBN 978-80-7394-734-7.

VAJNER, L. et al., 2017. *Lékařská histologie II. Mikroskopická anatomie*. Univerzita Karlova: Karolinum. 174 s. ISBN 978-80-246-3827-0.

VOTRUBOVÁ, J. et al., 2009. *Klinické PET a PET/CT*. Praha: Galén. 207 s. ISBN 978-80-7262-619-9.

Obrázkové zdroje:

KORANDA, Pavel a kolektiv, 2014. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.

KUPKA, K. et al., 2015. *Nukleární medicína*. Praha: P3K. 169s. ISBN 978-80-87343-60-9.

PIŠTOROVÁ, Kateřina, 2012. Hyperparatyreóza, zvýšená funkce příštítných tělísek - příznaky, projevy. In: *Priznaky-projevy.cz* [online]. Copyright Eva Mlčochová [cit. 2024-02-13]. Dostupné z: <https://www.priznaky-projevy.cz/interna/endokrinologie-metabolismus/381-hyperparathyreoza-zvysena-funkce-pristitnych-telisek-priznaky-projevy>

ULLMANN, Vojtěch. Radioisotopová scintigrafie. In: *AstroNuklFyzika* [online]. [cit. 2024-02-20]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

15 PŘÍLOHY

Příloha 1 – <i>Informovaný souhlas s aplikací radiofarmaka a vyšetřením na gamakameře (přední strana)</i>	62
Příloha 2 – <i>Informovaný souhlas s aplikací radiofarmaka a vyšetřením na gamakameře (zadní strana)</i>	63
Příloha 3 – <i>Anamnestický dotazník před vyšetřením PET/CT</i>	64
Příloha 4 – <i>Informovaný souhlas s aplikací radiofarmaka a vyšetřením na PET/CT (přední strana)</i>	65
Příloha 5 – <i>Informovaný souhlas s aplikací radiofarmaka a vyšetřením na PET/CT (zadní strana)</i>	66

Příloha 2 – Informovaný souhlas s aplikací radiofarmaka a vyšetřením na gamakameře
(zadní strana)

Prohlašuji, že v případě výskytu neočekávaných komplikací vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně života nebo zdraví v situaci, kdy bezprostředně nebudu moci vyjádřit souhlas, souhlasím, aby byly provedeny potřebné a neodkladné výkony nutné k záchraně života nebo zdraví.

Prohlašuji, že jsem lékařům nezamlčel/a žádné údaje o svém zdravotním stavu, mně známé, které by mohly nepříznivě ovlivnit moji léčbu nebo ohrozit mé okolí, zejména rozšířením přenosné choroby.

souhlasím s plánovaným vyšetřením dne: v hodin

podpis pacienta/ky:

podpis zákonného zástupce:

podpis nezletilého pacienta/ky:

(úměrně rozumové vyspělosti nezletilého dítěte - vždy u věku 14 a více let):

Pokud se pacient/ka nemůže podepsat, uveďte zdravotní důvody, pro které tak nemohl učinit a způsob, jakým pacient svou vůli projevil:

aplikace radiofarmaka - ^{99m}Tc -pertechnetát - 70 MBq

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:

aplikace radiofarmaka - ^{99m}Tc -MIBI - 600 MBq

čas:

způsob: i.v. s.c. jiný:

místo: kubitální žíla vpravo vlevo
předloktí vpravo vlevo
dorsum ruky vpravo vlevo
dorsum nohy vpravo vlevo
jiné

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

– jmenovka a podpis:

vyšetření provedl/a:

Příloha 3 – Anamnestický dotazník před vyšetřením PET/CT

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

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny

tel./fax: 495 834 542



ANAMNESTICKÝ DOTAZNÍK PŘED VYŠETŘENÍM PET/CT
(vybranou odpověď zakroužkujte)

Příjmení a jméno pacienta:

Rodné číslo: Pojišťovna:

Mám alergii na jód (v potravě, lécích, dezinfekci)	ANO	NEVÍM	NE
Měl/a jsem již alergii na nitrožilně podané kontrastní látky	ANO	NEVÍM	NE
Mám sennou rýmu	ANO	NEVÍM	NE
Mám astma	ANO	NEVÍM	NE
Mám vleklé onemocnění ledvin se sníženou funkcí ledvin	ANO	NEVÍM	NE
Mám cukrovku (diabetes mellitus)	ANO	NEVÍM	NE
Mám onemocnění krve, krevetvorby nebo mnohočetný myelom	ANO	NEVÍM	NE
Podstoupil/a jsem operaci	ANO	NEVÍM	NE
Kdy a jakou?			
Podstoupil/a jsem cytostatickou léčbu (chemoterapii)	ANO	NEVÍM	NE
Kdy byla ukončena?			
Podstoupil/a jsem léčbu zářením (radioterapii)	ANO	NEVÍM	NE
Kdy byla ukončena?			
Mám zvýšenou funkci štítné žlázy (hypertyreózu)	ANO	NEVÍM	NE

Pokud jste něčemu nerozuměl/a nebo máte doplňující otázky – obraťte se na lékaře či sestru

Datum:
Podpis pacienta – zákonného zástupce:

Příloha 4 – *Informovaný souhlas s aplikací radiofarmaka a vyšetřením na PET/CT*
(přední strana)



Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové - Nový Hradec Králové
tel.: 495 831 111, IČO: 00179906
Oddělení nukleární medicíny
tel.: +420 495 832 337

Souhlas pacienta/ky - souhlas zákonných zástupců nezletilého pacienta/ky, pacienta/ky s omezenou svéprávností s aplikací radiofarmaka a následným PET/CT vyšetřením

pacient/ka:
příjmení jméno titul

rodné číslo: pojišťovna:

zákonný zástupce:
(matka, otec, opatrovník) příjmení jméno titul

doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:

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

plánovaný diagnostický výkon: PET/CT s nitrožilní aplikací radiofarmaka

radiofarmakum: ¹⁸F-FCH (fluorocholin) – příštítná tělíska

Máte právo nebyť informován o svém zdravotním stavu: **CHCI/NECHCI** znát informace v souvislosti s plánovaným výkonem.

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Váš ošetřující lékař vyšetření na našem oddělení. Vyšetření se provádí na moderním přístroji PET/CT. Tato metoda umožňuje velmi podrobně zobrazit onemocnění příštítných tělísek. Před vyšetřením prosím vyplňte krátký anamnestický dotazník.

Popis výkonu: do žíly Vám bude zavedena kanyla (hadička), během zavádění můžete pocítit mírnou bolest obdobně jako při odběru krve. Podání radiofarmaka ¹⁸F-FCH se provede do zavedené kanyly a není spojeno s nežádoucími účinky.

Po cca 10-20 minutách (nutný interval k dostatečné akumulaci radiofarmaka) následuje vlastní vyšetření na přístroji PET/CT. V některých případech může být doplněno snímání i za 60 minut. Vyšetření se provádí vleže a trvá 20 minut. Vyšetření není spojeno s nežádoucími účinky.

Po vyšetření není nutné omezení obvyklého způsobu života, nedochází ke změně pracovní způsobilosti, není třeba měnit Váš léčebný režim. Po ukončení vyšetření je vhodné více pít (pokud Vám Váš lékař neomezil příjem tekutin), radioaktivita se rychleji vyloučí z těla.

Pro dočasnou přítomnost radioaktivní látky v těle se doporučuje v den vyšetření omezit kontakt s dětmi a těhotnými ženami. Podrobnější dotazy Vám ochotně zodpoví lékař aplikující radiofarmakum nebo jiný lékař oddělení. O přijetí navrhovaných zdravotních služeb se můžete svobodně rozhodnout vyjma situací, ve kterých právní předpisy svobodnou volbu vylučují.

Byl/a jsem srozumitelně seznámen/a s mým zdravotním stavem, s jeho možným vývojem, s plánovaným postupem a o dalších možnostech vyšetření a léčby. Byly mi zodpovězeny všechny mé otázky, a to srozumitelně, včetně rizik či komplikací. Lékař se mnou o všech těchto skutečnostech osobně hovořil.

Příloha 5 – *Informovaný souhlas s aplikací radiofarmaka a vyšetřením na PET/CT*
(zadní strana)

V případě, že jsou plánovány opakované výkonu, bylo mi vše srozumitelně vysvětleno a vyslovuji **SOUHLAS/ NESOUHLAS** s opakováním shodných výkonů, a to za podmínky, že se v průběhu navrhované léčby nezmění můj zdravotní stav v takové míře, která si vyžádá změnu v původně odsouhlasené léčbě, nebo se nevyskytnou jiné překážky nebo okolnosti mající vliv na mé rozhodnutí.

Prohlašuji, že jsem shora uvedenému poučení a informacím plně porozuměl/a a vzal/a je na vědomí, že jsem byl/a poučen/a, že se mohu svobodně rozhodnout o postupu při poskytování zdravotních služeb a výslovně souhlasím s navrhovanou zdravotní péčí a s provedením konkrétně uvedených zdravotních výkonů.

Byl/a jsem srozumitelně poučen/a o možnosti svůj souhlas odvolat.

Prohlašuji, že v případě výskytu neočekávaných komplikací vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně života nebo zdraví v situaci, kdy bezprostředně nebudu moci vy

Prohlašuji, že jsem lékařům nezamlčel/a žádné údaje o svém zdravotním stavu, mně známé, které by mohly nepříznivě ovlivnit moji léčbu nebo ohrozit mé okolí, zejména rozšířením přenosné choroby.

souhlasím s plánovaným vyšetřením dne: v hodin

podpis pacienta/ky:

podpis zákonného zástupce:

podpis nezletilého pacienta/ky:

(úměrně rozumové vyspělosti nezletilého dítěte - vždy u věku 14 a více let):

Pokud se pacient/ka nemůže podepsat, uveďte zdravotní důvody, pro které tak nemohl učinit a způsob, jakým pacient svou vůli projevil:

místo intravenózní aplikace radiofarmaka a kontrastní látky:

kubitální žíla	<input type="checkbox"/> vpravo	<input type="checkbox"/> vlevo
předloktí	<input type="checkbox"/> vpravo	<input type="checkbox"/> vlevo
dorsum ruky	<input type="checkbox"/> vpravo	<input type="checkbox"/> vlevo
jiné	

dle anamnestických údajů: gravidita: ANO NE kojení: ANO NE

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

jmenovka a podpis: