

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Michaela Házová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

SPECT/CT zobrazení nádorů pomocí ^{99m}Tc -MIBI

Michaela Házová

Bakalářská práce

2018

PROHLÁŠENÍ AUTORA

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 03. 05. 2018

.....*Házová*.....

Michaela Házová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michaela Házová**
Osobní číslo: **Z15093**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **SPECT/CT zobrazení nádorů pomocí ^{99m}Tc -MIBI**
Zadávající katedra: **Katedra informatiky, managementu a radiologie**

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

1. 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 grafických prací: **dle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**

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


Seznam odborné literatury:

1. KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
2. KUPKA, K., J. KUBINYI, a M. ŠÁMAL. Nukleární medicína. 6. vyd. V Praze: P3K, 2015. ISBN 978-80-8734-354-8.
3. MÍKOVÁ, Vlasta, ed. Nukleární medicína: průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína. Praha: Galén, 2008. ISBN 978-80-7262-533-8.
4. MYSLIVEČEK, M., P. KORANDA a V. HUŠÁK. Nukleární medicína v diagnostice nádorů a zánětů. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002. ISBN 80-244-0509-1.
5. MYSLIVEČEK, Miroslav. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-244-1723-3.


Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Drahomíra Pecinová, Ph.D.**
Katedra informatiky, managementu a radiologie

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2018**


prof. MUDr. Jozef Fusek, DrSc.
děkan

I.S.


Věra Záhorová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2018

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat paní RNDr. Drahomíře Pecinové, Ph.D. za cenné rady, připomínky a trpělivost. Dále celému kolektivu nukleární medicíny Fakultní nemocnice Hradec Králové za pomoc a poskytnutí potřebných materiálů k vypracování praktické části. V neposlední řadě děkuji své rodině, která mě po celou dobu studia finančně i psychicky podporovala.

ANOTACE

Bakalářská práce, nazvaná SPECT/CT zobrazení nádorů pomocí ^{99m}Tc -MIBI, se skládá z teoretické a praktické části. Teoretická část je zaměřena obecně na principy nukleární medicíny, například na popis scintilační kamery, výrobu a přípravu radiofarmak používaných v nukleární medicíně na vyšetření využívající ^{99m}Tc -MIBI: scintigrafie příštítných tělísek, celotělová scintigrafie k diagnostice mnohočetného myelomu a celotělová scintigrafie k detekci reziduí či metastáz karcinomu štítné žlázy. Praktická část je věnována pozorování a popisu subtrakční scintigrafie příštítných tělísek a celotělové scintigrafie ve FN HK.

KLÍČOVÁ SLOVA

scintigrafie, SPECT/CT, radiofarmakum, ^{99m}Tc -MIBI, nádor, mnohočetný myelom, příštítná tělíska, štítná žláza

ANNOTATION

The aim of the bachelor thesis, SPECT/CT tumor imaging with ^{99m}Tc -MIBI, is to present a few nuclear medicine methods frequently used in diagnostic oncology. The bachelor thesis consists of theoretical and practical parts. The theoretical part is focused on basics of nuclear medicine in general and on several imaging methods using ^{99m}Tc -MIBI in particular: scintigraphy of parathyroid adenomas, whole-body scintigraphy to diagnose multiple myeloma, and whole-body scintigraphy to detect residues or metastases of thyroid cancer. The practical part is devoted to the description of diagnostic examination performances in question at Nuclear Medicine Department in FN HK from the point of view of a radiological assistant.

KEYWORDS

scintigraphy, SPECT/CT, radiopharmaceuticals, ^{99m}Tc -MIBI, tumor, multiple myeloma, parathyroids, thyroid gland

Úvod.....	13
1 Cíl práce.....	14
2 Teoretická část.....	15
2.1 Část obecná.....	15
2.1.1 Základní fyzikální pojmy.....	15
2.1.2 Radioaktivní přeměny.....	16
2.1.3 Dozimetrie ionizujícího záření.....	17
2.1.4 Radiologický asistent.....	19
2.1.5 Nukleární medicína.....	20
2.1.6 Kategorizace pracovišť nukleární medicíny.....	20
2.2 Detekce ionizujícího záření.....	21
2.2.1 Scintilační detektory.....	21
2.2.2 Ionizační komory.....	23
2.3 Scintigrafie.....	23
2.3.1 Druhy scintigrafie z časového hlediska.....	24
2.3.2 Druhy scintigrafie z prostorově-geometrického hlediska.....	24
2.3.3 Rozdíl mezi radiodiagnostickým a scintigrafickým vyšetřením.....	25
2.4 Přístroje používané pro vyšetření s ^{99m}Tc -MIBI.....	25
2.4.1 Scintilační kamera.....	25
2.4.2 SPECT.....	28
2.4.3 Hybridní systém SPECT/CT.....	29
2.5 Radiofarmaka.....	30
2.5.1 Výroba radionuklidů.....	30
2.5.2 Metody přípravy radioaktivních sloučenin.....	33
2.5.3 Lékové formy a aplikace radiofarmak.....	34
2.5.4 ^{99m}Tc -MIBI.....	35

2.6	Štítná žláza.....	36
2.6.1	Fyziologie	36
2.6.2	Vyšetření a zobrazení štítné žlázy	36
2.6.3	Patologie	38
2.6.4	Sledování pacientů po léčbě karcinomů štítné žlázy	44
2.7	Příštítná tělíska.....	47
2.7.1	Vyšetření a zobrazení příštítných tělísek	47
2.7.2	Patologie	48
2.8	Mnohočetný myelom	51
2.8.1	Zobrazovací metody využívané v diagnostice a sledování mnohočetného myelomu	51
2.8.2	Léčba mnohočetného myelomu	55
3	Praktická část	57
3.1	Metodika vypracování práce.....	57
3.2	^{99m} Tc-pertechnetát sodný/ ^{99m} Tc-MIBI subtrakční scintigrafie příštítných tělísek....	57
3.2.1	Příprava pacienta.....	57
3.2.2	Příprava radiofarmak	58
3.2.3	Průběh vyšetření	58
3.3	Celotělová scintigrafie s ^{99m} Tc-MIBI	61
3.3.1	Příprava pacienta.....	61
3.3.2	Příprava radiofarmaka a jeho aplikace.....	61
3.3.3	Průběh vyšetření	62
4	Diskuze	65
5	Závěr	70
6	Použitá literatura	71

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK a GRAFŮ

Obrázek 1 Schéma radioaktivní přeměny	15
Obrázek 2 Schéma scintilačního detektoru	22
Obrázek 3 Vlevo: Schématické znázornění principu ionizační komory. Vpravo: Ionizační komora ve studnovém provedení	23
Obrázek 4 Schématické znázornění CT a SPECT	25
Obrázek 5 Schéma přenosu informace o distribuci radiofarmaka gamakamerou	26
Obrázek 6 Typy kolimátorů podle počtu otvorů	27
Obrázek 7 Typy kolimátorů podle energií záření	28
Obrázek 8 Princip SPECT	29
Obrázek 9 Scintilační kamera SPECT/CT Infinia Hawkeye (low-dose CT) na ONM FN HK	30
Obrázek 10 Schéma cyklotronu	31
Obrázek 11 Schéma elučního generátoru ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$	32
Obrázek 12 Generátor ^{81}Rb / $^{81\text{m}}\text{Kr}$	33
Obrázek 13 Uložení pacienta při scintigrafii štítné žlázy	38
Obrázek 14 Celotělová scintigrafie s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI pro karcinom štítné žlázy – metastáza lymfatické uzliny v pravé axile	46
Obrázek 15 Stejná pacientka, provedeno SPECT/CT, zobrazena lymfatická uzlina v pravé axille	47
Obrázek 16 Substrakční scintigrafie $^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ / $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI, adenom příštítného tělíska vpravo	49
Obrázek 17 SPECT/CT, adenom příštítného tělíska vpravo	49
Obrázek 18 Dvoufázová scintigrafie s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI, adenom levého příštítného tělíska	50
Obrázek 19 porovnání zobrazení plazmocytyů na klasickém rentgenovém snímku a magnetické rezonanci	52
Obrázek 20 Scintigram typu N v přední a zadní projekci při celotělové scintigrafii s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI	54
Obrázek 21 Scintigram smíšeného typu F+D v přední a zadní projekci při celotělové scintigrafii s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI	54
Obrázek 22 Uložení pacienta při substrakční scintigrafii – první SPECT	58
Obrázek 23 první statická scintigrafie, následuje po SPECT	59
Obrázek 24 Intravenózní aplikace $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI	59

Obrázek 25 Olověný kryt s injekční stříkačkou.....	60
Obrázek 26 Druhý SPECT, po kterém následuje CT	60
Obrázek 27 Uložení pacienta při celotělové scintigrafii s ^{99m}Tc -MIBI.....	62
Obrázek 28 SPECT na oblast krku a mediastina následovaný CT vyšetřením	63
Obrázek 29 Ovladač gamakamery Infinia Hawkeye	63
Tabulka 1 Doporučené tkáňové váhové faktory dle ICRP 103	18
Tabulka 2 Vybraná vyšetření a jejich radiační zátěž stanovená pomocí hodnot efektivních dávek	68
Graf 1 Radiační zátěž pacientů u vybraných vyšetření.....	69

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CT	Výpočetní tomografie
ČR	Česká republika
FN HK	Fakultní nemocnice Hradec Králové
LEHR	Low energy high resolution
MIBI	Methoxyizobutylizonitril
MR	Magnetická rezonance
MRS	Místní radiologické standardy
NRS	Národní radiologické standardy
PA	Zadopřední
PET	Pozitronová emisní tomografie
PTH	Parathormon
RA	Radiologický asistent
RTG	Rentgen
SPECT	Jednofotonová výpočetní emisní tomografie
T3	Trijodtyronin
T4	Tetrajodtyronin
TSH	Tyreostimulační hormon
UZ	Ultrazvuk

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá scintigrafickými metodami využívající ^{99m}Tc -MIBI jako radiofarmakum zobrazující nádorová onemocnění. Je zaměřena na vyšetření, která se s tímto radiofarmakem provádí v klinické praxi nejčastěji, a to na subtrakční scintigrafii příštítných tělísek a na celotělovou scintigrafii pro průkaz reziduí či metastáz karcinomu štítné žlázy a pro diagnostiku mnohočetného myelomu. Nukleární medicína hraje podstatnou roli při diagnostice těchto onemocnění a následnému monitoringu pacientů.

Stěžejními zdroji pro vypracování teoretické části jsou učební text Nukleární medicína autora Pavla Korandy a kolektivu, dále učební text Nukleární medicína K. Kupky, J. Kubinyiho, M. Šámala a kol. Pro popis jednotlivých nádorových onemocnění z hlediska diagnostiky a léčby byl použit knižní výtisk Chirurgická onkologie od Beckera a Nukleární medicína v diagnostice nádorů a zánětů autorů M. Myslivečka, P. Korandy a V. Hušáka.

Praktická část vznikla díky Oddělení nukleární medicíny ve FN Hradec Králové, která mi ochotně poskytla nutné informace a prostor pro vypracování této části.

Jedná se o teoreticko-praktickou práci, přičemž praktická část je tvořena praktickým popisem přípravy pacienta před vyšetřením a samotným průběhem vyšetření. Tato část je doplněna obrazovou dokumentací, která byla pořízena na daném Oddělení nukleární medicíny při celotělové scintigrafii s ^{99m}Tc -MIBI a při subtrakční scintigrafii příštítných tělísek.

1 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem teoretické části je seznámit čtenáře je základními termíny používanými v nukleární medicíně, popsat princip a využití scintilačních kamer a SPECT/CT. Stručně popsat výrobu a využití radiofarmak, které se nejčastěji využívají na nukleární medicíně, se speciálním zaměřením na ^{99m}Tc -MIBI. Tato práce je zaměřena na tři nejčastější vyšetření nádorů, která jsou prováděna pomocí ^{99m}Tc -MIBI na oddělení nukleární medicíny ve FN Hradec Králové: diagnostiku mnohočetného myelomu, follow-up karcinomu štítné žlázy a scintigrafii příštítných tělísek.

Hlavním cílem praktické části je popis výše uvedených vyšetření ve FN HK na oddělení nukleární medicíny z praktického hlediska (příprava pacienta, aplikovaná aktivita, radiofarmaka, poloha pacienta, ...)

Dílním cílem je porovnání scintigrafických metod s jinými zobrazovacími a diagnostickými metodami z hlediska radiační zátěže a hledisek diagnostického a ekonomického. Vybranými metodami pro porovnání jsou RTG, CT, MR a UZ.

2 TEORETICKÁ ČÁST

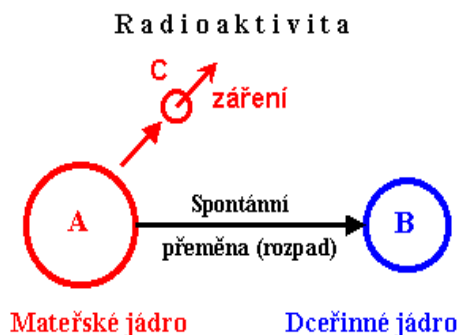
2.1 Část obecná

2.1.1 Základní fyzikální pojmy

Atomem je nazývána základní částice hmoty, která je složena z kladně nabitých protonů, záporně nabitých elektronů a nenabitých částic, tzv. neutronů. Protony se spolu s neutrony vyskytují v atomovém jádře, elektrony tvoří obal atomu. **Nuklidem** je označován soubor atomů se shodným počtem protonů a neutronů. Každý nuklid je charakterizován svým specifickým protonovým číslem Z , které značí počet protonů v jádře a nukleonovým číslem A , které značí součet protonů a neutronů v jádře. Nuklidy s různým počtem neutronů, ale shodným počtem protonů jsou označovány jako **izotopy**. Tyto izotopy se mohou vyskytovat ve stabilním, či nestabilním stavu. Pokud je izotop v nestabilním stavu, nazývá se **radionuklidem**. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 19)

Podle Bohrova modelu atomu se nachází elektrony na energetických drahách okolo jádra atomu. Tyto energetické hladiny jsou uspořádány do slupek, označených K, L, M, ... K přemístění elektronu v rámci energetických hladin či k úplnému vyražení elektronu z obalu je potřeba dodat energii. Pokud dodáme elektronu energii, díky které je schopen přesunu z nižší energetické hladiny do vyšší, jedná se o **excitaci**. **Ionizace** nastává v okamžiku, kdy je dodána taková energie, která je vyšší než vazebná energie elektronu v atomu. Dojde k ionizaci, elektron atomu opustí. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 19)

Radioaktivita je jev, při kterém se jádra jednoho prvku samovolně přeměňují na jádra jiného prvku za současné emitace ionizujícího záření. Pokud mají jádra tuto vlastnost, jsou nazývány radionuklidy. Nestabilní jádro, které se spontánně přeměňuje, se nazývá **mateřské**. Jádro, na které se přeměňuje za uvolnění energie ve formě ionizujícího záření, je **dceřiné**, viz obr 1. (Ullmann, 2009, s. 39-40)



Obrázek 1 Schéma radioaktivní přeměny (<http://astronuklFyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>)

Každý radionuklid je charakteristický svými základními parametry, kterými jsou: typ přeměny, energie vyzařovaného záření a poločas přeměny. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 19)

Kromě energie záření a typu přeměny má každý radionuklid svou charakteristickou **aktivitu a poločas přeměny**. Aktivita je definována jako počet spontánních přeměn radionuklidu za jednotku času. Její jednotkou je becquerel [Bq]. Poločasem přeměny se rozumí doba, za kterou se rozpadne právě polovina jader daného nuklidu. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 20)

2.1.2 Radioaktivní přeměny

Přeměna α je takovou přeměnou, při které je z jádra emitována částice alfa. Ta se skládá ze dvou protonů a dvou neutronů, tudíž má dceřiný prvek o 2 protony méně a v periodické soustavě prvků se posouvá o dvě místa doleva. Vyzářená částice je jádrem Helia, jedná se tedy o proud heliových jader. Mezi prvky emitující alfa záření se řadí například ^{238}U . Vzhledem k energii emitované částice má alfa záření dosah ve vzduchu pouze několik centimetrů, ve tkáni v řádu setin až desetin milimetru. Lze ho odstínit listem papíru. Příkladem radionuklidu, využívajícího rozpad α , používaného v nukleární medicíně k paliativní terapii kostních metastáz, provázejících nádory prsu a prostaty, je ^{223}Ra . (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 19; Ullmann, 2009, s. 38)

Při **přeměně β^-** dochází k emitaci elektronu z jádra v důsledku nadbytku neutronů. Neutron se přemění na kladně nabitý proton, ten zůstává v jádře, záporně nabitý elektron a elektronové antineutrino. Elektron a antineutrino jádro opouštějí. Protonové číslo se zvýší o 1 a dceřiný prvek je posunut v periodické soustavě prvků o jedno místo doprava. Dceřiné jádro může být v excitovaném stavu a při následné deexcitaci vyzářit kvantum záření gama. Tato přeměna se využívá v nukleární medicíně při použití ^{131}I , který je smíšeným beta a gama zdrojem a lze ho tedy využít jak pro diagnostiku, tak terapii. Dosah β^- záření ve tkáni je cca řádově desetiny až jednotky mm. (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015, s. 19-20)

Přeměna β^+ je charakteristická přeměnou protonu na neutron, kladně nabitý elektron (pozitron) a neutrino a následnou emitací pozitronu a elektronového neutrina z jádra atomu. Přeměna β^+ je typická pro radionuklid ^{18}F , který je používán v nukleární medicíně pro PET vyšetření. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 20; Mysliveček, 2007, s. 21)

Přeměna **elektronovým záchytem** je v nukleární medicíně charakteristická zejména pro ^{67}Ga , ^{111}In , nebo ^{123}I . Jedná se o zachycení elektronu z vnitřní slupky jádrem atomu. Elektron z vnitřní slupky se spojí s protonem v jádře za vzniku neutronu. Protonové číslo je zmenšeno o 1 a

dceřiný prvek se posouvá v tabulce prvků o jedno místo doleva. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 20)

Záření gama vzniká deexcitací dceřiného prvku při přeměně alfa či beta. Jádro se zbavuje přebytečné energie vyzářením kvanta elektromagnetického záření o různých energiích, přičemž se nemění počet protonů ani neutronů v jádře. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 20)

2.1.3 Dozimetrie ionizujícího záření

Mezi základní dozimetrické veličiny patří **absorbovaná dávka D**, která je definována jako „*podíl střední energie absorbované v určitém objemu látky a hmotnosti tohoto objemu.*“ (Myslivoček, Kamínek, Koranda, Hušák, 2007, s. 19). Jednotkou je joule na kilogram, který je vyjádřen názvem gray [Gy].

Další důležitou veličinou je **dávkový příkon D'**, který je definován jako změna dávky za čas a udává se v $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$.

Z důvodu radiační ochrany v praxi byly zavedeny veličiny ekvivalentní dávka, dávkový ekvivalent a efektivní dávka. (Myslivoček, 2007, s. 19).

Dávkový ekvivalent H je součinem absorbované dávky D a jakostního činitele Q. Jakostní činitel udává rozdílnou účinnost různých druhů záření. Jednotkou dávkového ekvivalentu je Sievert [Sv]. V současné době se v radiační ochraně používá hlavně ekvivalentní a efektivní dávka. (Ullmann, 2009, s. 138)

Ekvivalentní dávka H_R je definována jako součin radiačního váhového faktoru W_R a střední absorbované dávky D ve tkáni nebo orgánu. Radiační váhový faktor je pro různé typy záření odlišný, udává rozdílnou biologickou účinnost různých druhů záření. Jeho jednotkou je také Sievert [Sv]. (<http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/15/155.html>)

Efektivní dávka H_E je vypočítávána jako součin ekvivalentní dávky H_T a tkáňového váhového faktoru W_T . Tkáňový váhový faktor odráží radiosenzitivitu či radiorezistenci orgánů a tkání, viz tab. 1. Z tabulky je patrné, že nejvíce citlivé orgány na ionizující záření jsou kostní dřev, tlusté střevo, plíce, žaludek a mléčná žláza. Naopak nejvíce radiorezistentní je povrch kostí mozek, slinné žlázy a kůže. (Ullmann, 2009, s. 138)

tkáň nebo orgán	W_T	$\sum W_T$
kostní dřev, tlusté střevo, plíce, žaludek, mléčná žláza, zbytek tkání	0,12	0,72
močový měchýř, játra, štítná žláza	0,04	0,16
povrch kostí, mozek, slinné žlázy, kůže	0,01	0,04
gonády	0,08	0,08
celkem		1,00

Limity pro radiační pracovníky musí být stanoveny z důvodu omezení profesního ozáření a jsou definovány:

- „Pro součet efektivních dávek ze zevního a vnitřního ozáření 20 mSv za kalendářní rok, nejvýše však 100 mSv za 5 po sobě jdoucích let a současně 50 mSv za kalendářní rok.
- Pro ekvivalentní dávku v oční čočce je stanoven limit 100 mSv za pět po sobě jdoucích let a současně 50 mSv v jednom kalendářním roce.
- Pro ekvivalentní dávku na 1 cm² kůže je stanovena hodnota 500 mSv/kalendářní rok bez ohledu na velikost ozářené plochy.
- pro ekvivalentní dávku na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky 500 mSv za jeden kalendářní rok.“ (<https://www.sujb.cz/legislativa/nove-atomove-pravo/>)

Protože jsou hodnoty efektivních a ekvivalentních dávek neměřitelné, jsou využívány odvozené limity (hodnoty dávkových ekvivalentů). Limity pro radiační pracovníky se tedy považují za nepřekročené, pokud nejsou překročeny hodnoty dávkových ekvivalentů.
 (<https://www.sujb.cz/legislativa/nove-atomove-pravo/>)

- „Pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm = $H_p(0,07)$ hodnota 500 mSv/kalendářní rok.
- Pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 3 mm = $H_p(3)$ hodnota 20 mSv za kalendářní rok.
- Pro osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm = $H_p(10)$ hodnota 20 mSv/kalendářní rok.“
 (<https://www.sujb.cz/legislativa/nove-atomove-pravo/>)

Posouzení, zda nedošlo k překročení limitů, musí být prováděno pravidelně. Proto jsou radiační pracovníci vybaveny dozimetry (filmovými, termoluminiscenčními), které povinně nosí na referenčním místě. Tyto dozimetry jsou v pravidelných intervalech kontrolovány. Musí být zohledněn součet dávek ze všech cest ozáření a ze všech činností, které radiační pracovník provádí. Pokud jsou limity překročeny, musí být radiační pracovník vyřazen z práce se zdroji

ionizujícího záření do doby, než je posouzena zdravotní způsobilost k další práci v tomto prostředí. (<https://www.sujb.cz/legislativa/nove-atomove-pravo/>)

2.1.4 Radiologický asistent

S rozvojem moderních zobrazovacích metod se rozvíjí také požadavky na radiologické asistenty. Po vstupu České republiky do Evropské unie se výuka přesunula ze středních škol na školy vysoké. Cílem tohoto studia je kombinace teoretických, technických a praktických znalostí a dovedností. (Jirák, 2005, s. 14)

Vysokoškolské studium probíhá 3 roky, kdy minimální hodnota praktického vyučování činí 1200 hodin. V teoretické části studia je student vzděláván v klinických oborech jako je statistika, fyzika, matematika, biologie či anatomie. Odbornou část výuky tvoří předměty radiologická fyzika, radioterapie, nukleární medicína, konvenční a digitální zobrazování. Praktickou část poté absolvuje ve zdravotnických zařízeních na odděleních radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny. Zde provádí výkony prakticky, pod odborným dohledem RA daného oddělení. (<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-39>)

Činnosti RA jsou popsány v zákonu č. 55/2011 Sb. v platném znění. Mezi jeho základní kompetence v nukleární medicíně patří provádění a vyhodnocování zkoušek provozní stálosti zdrojů ionizujícího záření a souvisejících přístrojů. Radiologický asistent může provádět bez odborného dohledu na základě požadavku indikujícího lékaře a na základě indikace lékaře, který je aplikujícím odborníkem, praktickou část jednotlivého lékařského ozáření, především jeho konkrétní provedení. Přitom může provádět radiologické zobrazovací postupy používané při lékařském ozáření, provádět nukleárně medicínské zobrazovací i nezobrazovací postupy a za tuto část přebírá klinickou odpovědnost podle zákona o specifických zdravotních službách.

RA dále zajišťuje, aby lékařské ozáření nebylo v rozporu se zásadami radiační ochrany, a v rozsahu své odborné způsobilosti vykonává činnosti při zajišťování optimalizace radiační ochrany, včetně zabezpečování jakosti.

RA dále provádí zápisy do zdravotnické dokumentace, pracuje s informačním systémem poskytovatele zdravotních služeb. Poskytuje pacientovi informace v souladu se svou odbornou způsobilostí, případně pokynů lékaře.

V neposlední řadě je jeho povinností je také se pravidelně vzdělávat.

2.1.5 Nukleární medicína

„Nukleární medicína je samostatným lékařským oborem, který využívá radionuklidových zdrojů ionizujícího záření ve formě otevřených zářičů (tuhých látek, kapalin, aerosolů či plynů). Lze přitom odlišit metody in vivo a in vitro.“ (Koranda, 2014, s. 7)

Při metodě **in vivo** se radioaktivní látky aplikují přímo do těla pacienta, nejčastěji intravenózní injekcí. Při metodě **in vitro** se naopak pacientovi odebere vzorek tělních tekutin a za pomoci radiochemických a biochemických technik při použití radioisotopů se stanovuje například hladina hormonů, či markerů svědčících pro nádor. Pacient tedy s radioaktivní látkou nepřichází do styku. (<http://astronuklfyzika.cz/CoJeNuklMed.htm>)

Radionuklidy, které jsou používány k **diagnostice** při metodě in vivo, emitují fotony elektromagnetického záření (gama záření, rentgenové záření nebo záření, které vzniká při anihilaci pozitronů). Díky energii tohoto záření je možná jeho registrace pomocí vnějších detektorů. Při scintigrafii je hodnoceno rozložení radiofarmaka v těle pacienta, přičemž je možné rozlišit fyziologické a patologické procesy v těle. Při **terapii** jsou používány taková radiofarmaka, které emitují částice beta a alfa. Jejich dosah ve tkáni je maximálně několik milimetrů, a proto cíleně zasáhnou patologickou tkáň a minimálně ozařují tkáň zdravé. (Koranda, 2014, s. 7)

Ve srovnání s jinými zobrazovacími metodami (výpočetní tomografie, magnetická rezonance) mají metody nukleární medicíny menší citlivost pro zachycení anatomických rozdílů. Využívány jsou především pro hodnocení funkčnosti určitého orgánu, popřípadě tkáně a pro sledování průběhu fyziologických či patologických dějů. Hybridní systémy, které kombinují zobrazení anatomických struktur a funkčního zobrazení (SPECT/CT, PET/CT), umožňují pomocí sloučení obrazů poskytnout přesnější interpretaci výsledků zjištěných na základě provedeného vyšetření. (Koranda, 2014, s. 7)

2.1.6 Kategorizace pracovišť nukleární medicíny

V České republice jsou pracoviště nukleární medicíny řazena do I., II., nebo III. kategorie dle aktivit radionuklidů a charakteru prací. Pracoviště bez lůžkové části, kde jsou využívány jednoduché zdroje ionizujícího záření (^{99m}Tc , ^{67}Ga , ^{111}In) jsou řazena do II. kategorie. Pracoviště s lůžkovým oddělením, kde se používá ^{131}I pro terapii štítné žlázy o vysoké aktivitě, mohou být řazena do II. i III. kategorie. Na některých pracovištích je využíván ^{125}I o nízké aktivitě při provádění imunoanalytických metod. Jedná se o pracoviště, které je organizačně nezávislé na oddělení nukleární medicíny a řadí se zpravidla do I. kategorie.

Na pracovištích nukleární medicíny je vymežováno **kontrolované** a **sledované** pásmo. Kontrolované pásmo se vymezuje všude tam, kde by roční efektivní dávka pracovníků mohla přesáhnout 6 mSv. Zpravidla jsou to místnosti, kde se nacházejí a také využívají zdroje záření. Do kontrolovaného pásma se zařazuje laboratorní, lůžkový i ambulantní sektor a vymírací místnost, v níž jsou skladovány radionuklidy určené k likvidaci. K samostatnému výkonu práce v kontrolovaném pásmu jsou pověřeni pouze pracovníci kategorie A, kteří jsou vybaveni osobním dozimetrem, který je připevněn na referenčním místě a prstovým dozimetrem. Tyto dozimetry jsou v pravidelných intervalech kontrolovány. (Mysliveček, 2007, s. 60-61)

Sledované pásmo se vymezuje všude tam, kde by za běžného provozu mohla roční efektivní dávka překročit obecné limity pro obyvatelstvo (1 mSv/rok). (Ullmann, 2009, s. 167)

2.2 Detekce ionizujícího záření

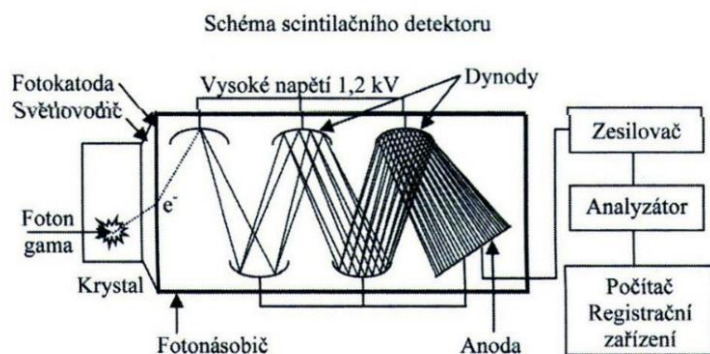
Pro registraci ionizujícího záření se používají v různých oborech rozdílné typy detektorů. V nukleární medicíně mezi nejčastější patří scintilační detektory a ionizační komory. Velmi často jsou také využívány Geiger-Müllerovy (GM) počítače a proporcionální detektory.

GM počítače i proporcionální detektory využívají pro detekci záření stejně jako ionizační komory ionizaci plynu. Tyto přístroje jsou v nukleární medicíně využívány zejména jako přístroje v radiační ochraně. V případě GM počítače jde hlavně o měřiče dávkového příkonu, proporcionální detektory jsou součástí měřičů kontaminace povrchů radioaktivními látkami a měřičů plošné aktivity. (Mysliveček, 2007, s. 29)

2.2.1 Scintilační detektory

Scintilační detektory se vyznačují poměrně slušnou citlivostí pro záření gama nebo rentgenové záření, proto jsou využívány v nukleární medicíně, kde nejčastěji používané radiofarmakum ^{99m}Tc vyzařuje právě gama záření. (Kupka, Kubinyi s Šámal, 2015, s. 36)

Scintilační detektor se skládá ze tří částí: scintilačního krystalu, fotonásobiče a elektronické vyhodnocovací soustavy (viz obrázek 2).



Obrázek 2 Schéma scintilačního detektoru (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 36)

- **Scintilační krystal:**

Scintilačním krystalem, který je nejčastěji využíván na nukleární medicíně, je jodid sodný aktivovaný thaliem NaI(Tl). Tento krystal má poměrně dobrou detekční účinnost díky své hustotě a hodnotě protonového čísla. Jeho výroba není tak komplikovaná, jako u jiných scintilátorů a je v porovnání s nimi poměrně levný. Nevýhodou tohoto scintilátoru je jeho hygroskopičnost (náchylnost na vlhkost). Scintilátor převádí fotony gama záření na fotony viditelného světla (scintilační záblesky). Tyto záblesky jsou vedeny světlovodičem na fotokatodu fotonásobiče, kde dochází k emisi elektronů. Ty se pak ve fotonásobiči znásobí, vytvoří proudový impuls, který se pak dále zpracovává. (Kupka, Kubinyi s Šámal, 2015, s. 36)

- **Fotonásobič:**

Scintilační krystal je připojen k fotonásobiči, který slouží k vytvoření proudového nebo napěťového impulsu, díky kterému je možné s pomocí vysokého napětí záření detekovat. Při interakci fotonu ze scintilátoru s fotokatodou fotonásobiče vznikne fotoelektron, který dopadne na první dynodu a způsobí tak uvolnění několika sekundárních elektronů, které dopadají na další dynodu a způsobují další emisi sekundárních elektronů. Díky tomuto jevu na anodu fotonásobiče dopadne 10^6 elektronů, jenž vytváří výše zmíněný proudový nebo napěťový impuls. Počet dynod se pohybuje kolem 10. (Kupka, Kubinyi s Šámal, 2015, s. 36)

- **Elektronická vyhodnocovací soustava**

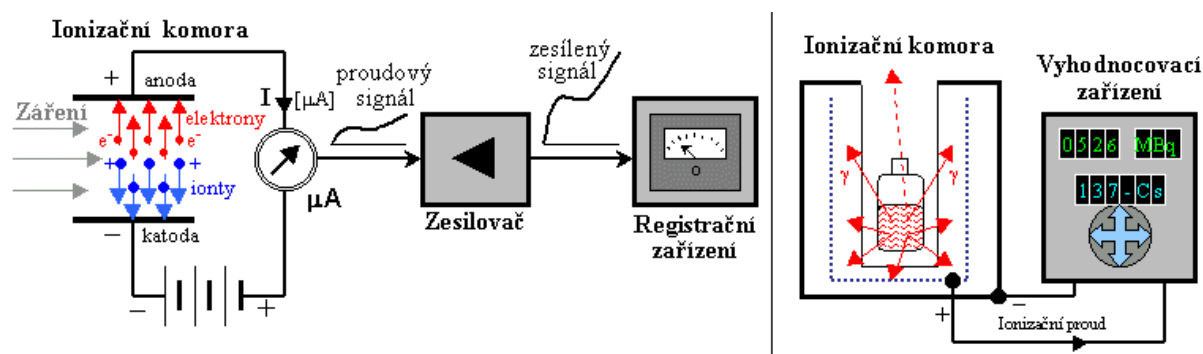
Elektrické impulzy z fotonásobiče jsou dále zpracovávány v elektronické části zařízení. Impulzy jsou zesílené v zesilovači a poté putují do amplitudového analyzátoru, kde jsou tříděny podle hodnoty napětí. V nukleární medicíně se využívají zejména takové impulzy, které spadají do zvoleného „okénka“ analyzátoru, které je vymezeno horní a dolní hranicí napětí. (Kupka, Kubinyi s Šámal, 2015, s. 36)

2.2.2 Ionizační komory

Jedná se o plynový detektor, které je založen na ionizaci plynu uvnitř komory. V nukleární medicíně je nejčastěji využívána studnová ionizační komora pro měření aktivity radiofarmak před aplikací pacientům. (Mysliveček, 2007, s. 29)

Ionizační komora je tvořena dvěma elektrodami, katodou a anodou, mezi nimiž je plyn. Tyto elektrody jsou připojeny v elektrickém obvodu na napětí. Pokud je systém v klidovém stavu, obvodem žádný proud neprochází. Jakmile ovšem do prostoru pronikne ionizující záření, vyraží z neutrálně nabitých atomů elektrony, které putují ke kladně nabitě anodě. Po vyražení elektronů se neutrálně nabitý atom mění na kladné ionty, které jsou přitahovány záporně nabitou katodou. Systémem prochází slabý proud, který je zesílen v zesilovači. Proud se poté stává měřitelným a přímo úměrným intenzitě záření (viz obr. 3). (<http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>)

Studnová ionizační komora je používána jako měřič aktivity radiofarmak. Radioaktivní lahvička nebo stříkačka je vložena do ionizační komory, která detekuje vycházející záření gama. Elektrická signál je úměrný aktivitě daného preparátu. Elektronické obvody jsou kalibrovány tak, aby se na displeji vyhodnocovacího zařízení zobrazila aktivita daného radionuklidu přímo v [MBq]. (viz obr. 2). (<http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>)



Obrázek 3 Vlevo: Schématické znázornění principu ionizační komory. Vpravo: Ionizační komora ve studnovém provedení (<http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>)

2.3 Scintigrafie

Je metoda, která zobrazuje rozložení radiofarmaka v těle na základě detekce gama záření, které daný radionuklid vyzařuje. Základní rozdělení scintigrafie je prováděno z hlediska časového a prostorově-geometrického. Z časového hlediska se jedná o statickou a dynamickou scintigrafii. Prostorově-geometrickou scintigrafii lze rozdělit do dvou kategorií, a to na planární a tomografickou. (<http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

2.3.1 Druhy scintigrafie z časového hlediska

- **Statická scintigrafie:**

Při statickém obrazu je tvořen zpravidla jeden snímek rozložení radiofarmaka, který je snímán po určitém čase od naaplikování radiofarmaka. Tato doba je zvolena tak, aby dané radiofarmakum bylo řádně a v dostatečném množství naakumulováno ve všech buňkách, které chceme zobrazit. Podle typu indikátoru vykazují patologická ložiska sníženou akumulaci radiofarmaka, nebo naopak zvýšenou. Statická vyšetření jsou také taková, kdy je výsledkem několik snímků pořízených s velkými časovými odstupy. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 45)

- **Dynamická scintigrafie:**

Při dynamické studii se spouští vyšetření ihned po naaplikování radiofarmaka a pořizuje se série snímků, které zachycují jednotlivé fáze průtoku radiofarmaka vyšetřovanou oblastí. Expozice je oproti statické scintigrafii kratší (od několika sekund po několik minut). Doba snímání je určena dobou trvání vyšetřovaného děje. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 45)

2.3.2 Druhy scintigrafie z prostorově-geometrického hlediska

- **Planární scintigrafie:**

Při planární scintigrafii je vytvářen dvojrozměrný obraz dané části těla pacienta. Speciálním druhem planární scintigrafie je scintigrafie celotělová, kdy je lehátko, na kterém leží pacient, postupně posouváno a jednotlivé části těla se tak dostávají do zorného pole gamakamery a jsou snímány detektory. Tyto detektory zaznamenávají data, která jsou přenášena do počítače za vzniku scintigrafického obrazu. (<http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

- **Tomografická scintigrafie:**

Při tomto typu vzniká trojrozměrný, prostorový obraz dané tkáně nebo orgánu. Existují dvě metody tomografické scintigrafie, a to SPECT a PET. (<http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

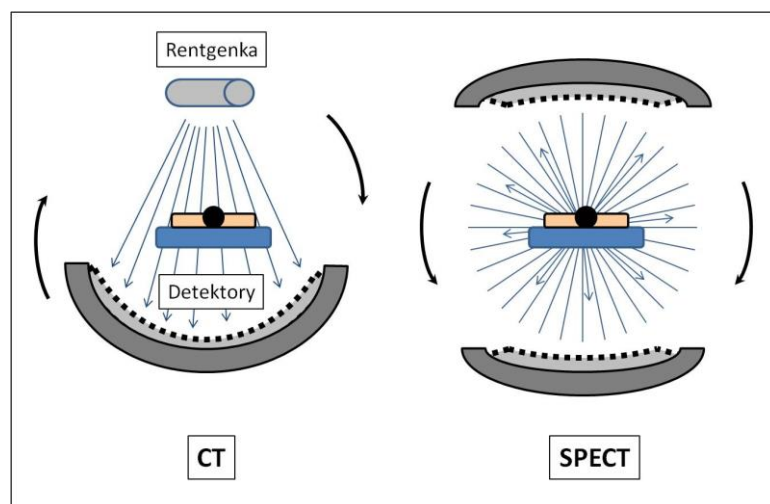
SPECT (Single Photon Emission Computerized Tomography – jednofotonová emisní počítačová tomografie) je metoda, při které se detektory otáčejí kolem pacienta. Vytváří se tak série planárních obrazů pod různými úhly, které jsou zpracovány počítačovou rekonstrukcí a vytvářejí 3D obraz. (<http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

PET neboli pozitronová emisní tomografie je druhou metodou tomografického zobrazení. Při této metodě je využíváno pozitronových zářičů, které emitují kladně nabitě elektrony (pozitrony). Tyto pozitrony ve tkáni interagují se záporně nabitými elektrony za vzniku

anihilačního záření. Toto záření tvoří dva fotony vylétávající do opačných směru (180°). Pokud dopadnou ve stejnou dobu na detektory, které jsou umístěny kolem pacienta, systém tento dopad zaznamená. Při velkém počtu takovýchto detekcí se vytváří tomografický obraz příčného řezu danou oblastí. (<http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

2.3.3 Rozdíl mezi radiodiagnostickým a scintigrafickým vyšetřením

Jedním z hlavních rozdílů scintigrafického a radiodiagnostického vyšetření je ten, že v radiodiagnostickém vyšetření je zdrojem záření rentgenka (**mimo tělo pacienta**). Záření prochází tělem pacienta a dopadá na film nebo digitální detektor (transmisní zobrazení). Při scintigrafickém vyšetření je zdrojem záření pacient (radiofarmakum emitující gama záření je **uvnitř těla pacienta**). Fotonové záření vychází z těla pacienta, prochází vrstvou tkáně mezi vyšetřovanou částí tkáně a povrchem těla a dopadá na detektor, kterým je např. scintilační kamera (viz obrázek 4). Zatímco při radiodiagnostickém vyšetření se zobrazují především obrazy **anatomických struktur**, při scintigrafickém vyšetření se jedná hlavně o zobrazení **funkce** orgánu, či tkáně. Společným rysem těchto zobrazovacích metod je **sumační charakter** získaných snímků. Prostý RTG snímek a planární scintigram „převádí“ 3D obraz do roviny (2D). Z tohoto důvodu se při RTG dělají většinou dvě na sebe kolmé projekce. Někdy ovšem sumační snímky nestačí, jelikož některé léze či patologie nelze vidět jinak než za použití tomografického přístroje. K tomu nám slouží přístroje CT nebo SPECT. (Koranda, 2014, s. 35)



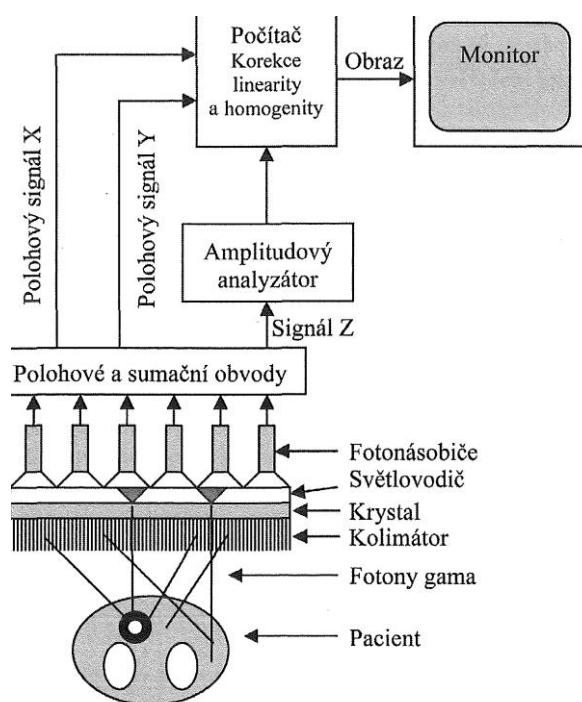
Obrázek 4 Schématické znázornění CT a SPECT (Koranda. 2014, s. 36)

2.4 Přístroje používané pro vyšetření s ^{99m}Tc -MIBI

2.4.1 Scintilační kamera

Pro scintigrafické vyšetření se používají scintilační kamery (gamakamery), které jsou složeny z detektorů a počítače. Detektor těchto kamer je složen z již zmíněného scintilačního krystalu,

fotonásobičů a kolimátoru, který se mění v závislosti na typu vyšetření (na typu radiofarmaka). Na obrázku 5 je možné vidět řetězec jednotlivých kroků, počínajících detekcí emitovaných fotonů až po vytvoření obrazu vyšetřovaného orgánu. (Koranda, 2014, s. 27)



Obrázek 5 Schéma přenosu informace o distribuci radiofarmaka gamakamerou (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 38)

Ve scintilačních kamerách je nejčastějším **scintilačním krystalem** NaI(Tl). Za tímto krystalem je rozloženo kolem 60 fotonásobičů, které jsou ke krystalu přilepeny **světlovodivou hmotou**, díky níž přestupuje světlo ze záblesků v krystalu lépe na fotokatodu a minimalizuje se tím vznik lomu světla na optických rozhraních. Pokud gama záření vyvolá scintilaci, šíří se světlo v krystalu všemi směry. Nejvíce ho však dopadne na fotonásobič, který je umístěn nad místem interakce fotonu s krystalem. Na základě vyhodnocení výstupních signálů všech fotonásobičů získáme informaci o poloze, kde došlo ke scintilaci v krystalu. Protože známe i směr, odkud fotony přiletly, můžeme poté určit místo v těle pacienta, odkud byly fotony vyzářeny. Impulzy ze všech fotonásobičů jsou vedeny na **sumační obvod**, kde se získává informace o energii fotonového záření. K vytvoření scintigramu poté využíváme pouze takové scintilace, u kterých energie záření odpovídá energii záření sledovaného radionuklidu. (Koranda, 2014, s. 27)

Důležitou součástí gamakamery je **kolimátor**, který působí jako filtr a propouští pouze fotony letící v kýženém směru. Kolimátory dělíme podle rozlišovací schopnosti, citlivosti, energie detekovaného záření a podle konfigurace a počtu otvorů. Podle rozlišovací schopnosti:

- **Kolimátory typu HR**

Kolimátory s vysokým rozlišením a nízkou citlivostí.

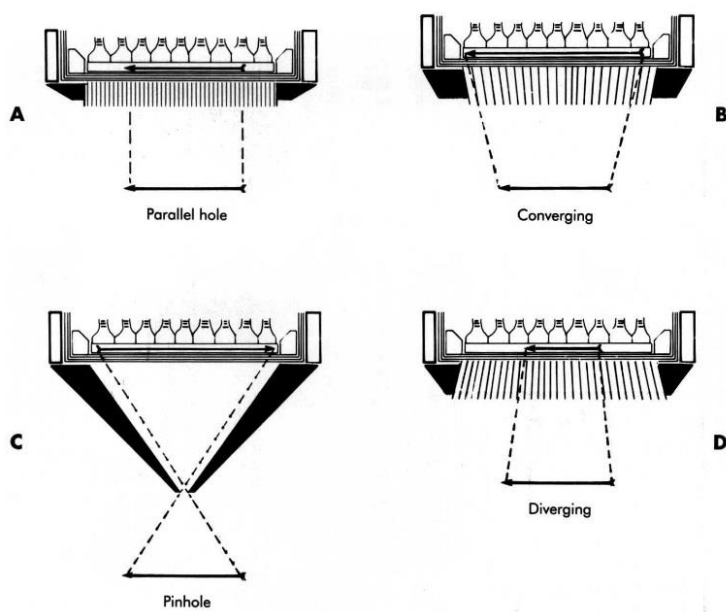
- **Kolimátory typu AP**

Kolimátory se středním rozlišením a střední citlivostí.

- **Kolimátory typu HS**

Kolimátory s nízkým rozlišením a vysokou citlivostí.

Nejčastěji používanými kolimátory jsou kolimátory s **paralelními otvory**. Tyto kolimátory propouštějí pouze fotony letící v kolmém směru na detekční plochu krystalu. Vzniklý obraz je v poměru 1:1 (obraz zobrazovaného objektu má stejnou velikost, jako zobrazovaný objekt). Jednotvorové kolimátory typu **pinhole** mají tvar trychtýře s jedním otvorem a používají se k zobrazování malých objektů, např. štítné žlázy. Při použití tohoto kolimátoru vzniká zvětšený a převrácený obraz. Dalšími typy jsou pak kolimátor **konvergentní** a **divergentní** (viz obrázek 6). (Koranda, 2014, s. 27)



Obrázek 6 Typy kolimátorů podle počtu otvorů (<https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>)

Dále lze rozdělit kolimátory podle hodnoty energií do tří základních skupin (viz obr. 6).

- **Kolimátory pro nízké energie**

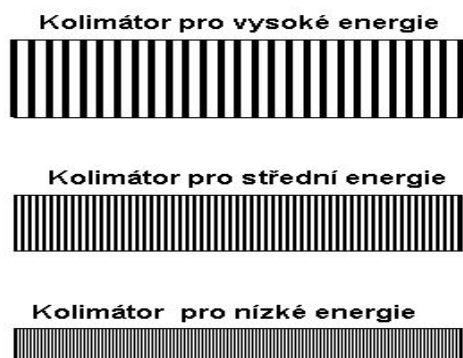
Použité radionuklidy mají energii menší nebo rovnou 160 keV. Tyto kolimátory mají úzké olověné přepážky mezi jednotlivými otvory. Mezi radionuklidy s nízkou energií patří např. ^{201}Tl , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{123}I . (Koranda, 2014, s. 28)

- **Kolimátory pro střední energii**

Používané radionuklidy mají energii do 300 keV. Tyto kolimátory mají tlustší přepážky, než kolimátory pro nízké energie a mezery mezi otvory jsou menší. Mezi používané radionuklidy patří např. ^{111}In . (Koranda, 2014, s. 28)

- **Kolimátory pro vysoké energie**

Používané radionuklidy mají energii nad 300 keV a používané kolimátory tloušťku přepážek až 3 mm. Mezi radionuklidy s vysokou energií se řadí např. ^{131}I . (Koranda, 2014, s. 28)



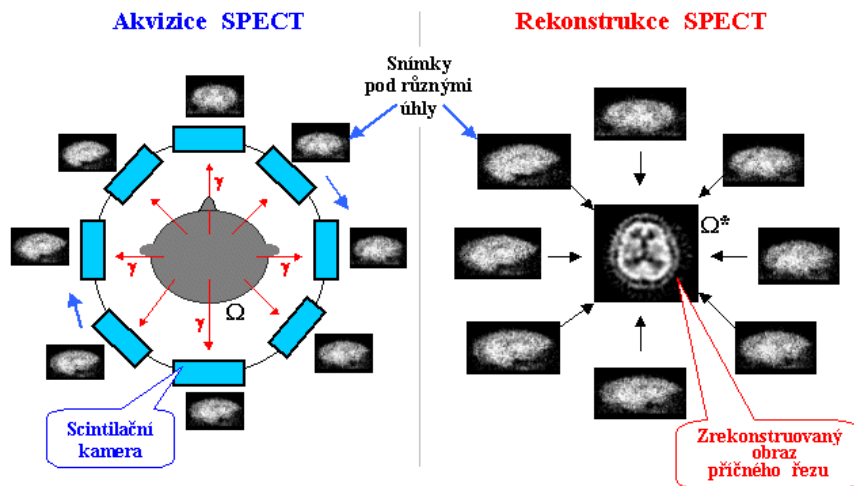
Obrázek 7 Typy kolimátorů podle energií záření (<http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

2.4.2 SPECT

Jednofotonová emisní tomografie neboli SPECT je založena na téměř stejném principu, jako planární scintigrafie s tím rozdílem, že vzniklé scintigramy z planární scintigrafie jsou pouze ve 2D, kdežto SPECT vytváří 3D obraz. Analogicky můžeme tyto dvě metody srovnat například s prostým RTG snímkem a s CT řezy. RTG snímek zobrazuje pouze 2D obraz, kdežto CT vytváří 3D obrazy. Pro SPECT vyšetření se používají stejná radiofarmaka, jako pro planární scintigrafii. Vyšetření SPECT mohou být dvojího typu: **statická vyšetření**, kdy snímání mnoha projekcí trvá poměrně dlouhou dobu. Pokud by se distribuce radiofarmaka rychle měnila, systém by nebyl schopen správně rekonstruovat tomografický obraz=**dynamická vyšetření**, která se provádí jen zřídka z důvodu technické náročnosti. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 49-50)

Termín „emisní“ označuje, že se při tomto postupu registruje záření gama, které je emitované radioaktivní látkou nacházející se uvnitř těla pacienta. Na rozdíl od transmisní výpočetní tomografie (CT). Základním vybavením pro SPECT je detektor stejný, jako u planární scintigrafie. V dnešní době se ovšem v klinické praxi používají přístroje se dvěma detektory z důvodu rychlosti vyšetření a komfortu pro pacienty. Při vyšetření se detektory otáčejí kolem

těla pacienta, který leží na vyšetřovacím stole, buď po malých úhlech (krokově), nebo plynule (viz obrázek 8). Obvykle se zaznamenává 120 projekcí v 360° rotaci. To znamená, že pokud předpokládáme vyšetření na běžné kameře se dvěma detektory, pak stačí, aby každý z detektorů zaznamenal 60 projekcí po 3° a otočil se o 180°. Z toho vyplývá, že záznam na dvoudetektorové kameře je dvakrát rychlejší než na kameře s jedním detektorem. (Koranda, 2014, s. 29)



Obrázek 8 Princip SPECT (<http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

Stejně jako většina přístrojů má SPECT své výhody a nevýhody. Přínos metody SPECT však výrazně převyšuje nevýhody přístroje, a proto má široké využití v klinické praxi. Mezi **výhody** SPECT ve srovnání s planární scintigrafií patří vytvoření trojrozměrného obrazu, ale také zobrazení ložiska s vyšším kontrastem vůči okolním tkáním. Zvýšení kontrastu může odhalit léze, které by při použití planární scintigrafie nemusely být vidět. (Koranda, 2014, s. 30)

2.4.3 Hybridní systém SPECT/CT

Tento systém slouží k pořízení jak anatomického, tak funkčního záznamu. Existuje několik typů konstrukcí SPECT/CT. U některých přístrojů je rentgenka CT pevně připojena na gantry SPECT kamery, díky čemuž je omezena rychlost rotace a dostáváme tak pouze orientační anatomické obrazy tkání s nízkým rozlišením (viz obrázek 8). Jiné SPECT/CT přístroje s rychlou rotací rentgenky jsou schopny pracovat jak v nízkodávkovém režimu, tak v plně diagnostickém režimu. Plně diagnostický režim je ovšem spojen s vyšší radiační zátěží pacienta. CT je v nukleární medicíně využíváno ze dvou důvodů: prvním je fúze obrazů SPECT a CT. SPECT vyšetření má polohovou rozlišovací schopnost cca 7-8 mm. Druhým důvodem je korekce na zeslabení, která je prováděna pomocí lineárních atenuačních koeficientů, které jsou získávány právě z CT. Tato korekce je důležitá zejména proto, že pacient je 3D objekt, a fotony z něj emitované vycházejí z různých hloubek těla. (Koranda, 2014, s. 30)



Obrázek 9 Scintilační kamera SPECT/CT Infinia Hawkeye (low-dose CT) na ONM FN HK (foto autor).

2.5 Radiofarmaka

Radiofarmakum je léčivý přípravek značený radionuklidem, který je lidem aplikován za diagnostickým či terapeutickým účelem. Jedná se o radioaktivní látku, tudíž při výrobě, přípravě a manipulaci je třeba dodržování zásad radiační ochrany, které nejsou u jiných léčiv běžné. Radiofarmakum je tvořen dvěma základními složkami, a to léčivým přípravkem – farmakem, který slouží jako nosič, a radionuklidem, tedy účinnou složkou. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 7)

2.5.1 Výroba radionuklidů

Základem výroby radiofarmak je získání kýženého radionuklidu. Radionuklidy jsou získávány z jaderného reaktoru, cyklotronu nebo z radionuklidových generátorů.

- **Jaderný reaktor:**

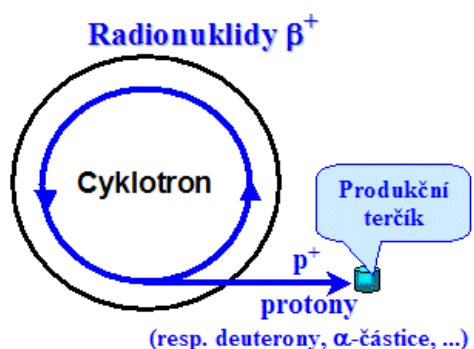
V jaderných reaktorech je prováděna řízená řetězová reakce, kdy štěpným materiálem bývá nejčastěji ^{235}U . Výroba radionuklidů je prováděna aktivací neradioaktivních látek neutrony nebo separací štěpných produktů uranu (^{235}U) (Kraft, Pekárek, 2012, s. 13; Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 32)

Při aktivaci neradioaktivních látek neutrony vznikají radionuklidy jako jód (^{131}I , ^{125}I) nebo chrom (^{51}Cr). Pro generátorový systém lze vyrobit molybden (^{99}Mo), ze kterého je získáváno technecium ($^{99\text{m}}\text{Tc}$). V současné době se však používá výhradně separace molybdenu ze štěpných produktů. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 13; Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 32)

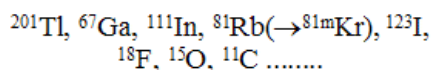
Ze štěpných produktů jaderných reakcí jsou pro lékařské účely využívány takové radionuklidy, které mají vhodný poločas přeměny a vysoké štěpné výtěžky. Tato metoda umožňuje získat prvky s vyšší měrnou aktivitou než metoda aktivace neradioaktivních látek tokem neutronů. Izolace radionuklidů je prováděna mnoha různými chemickými metodami (strážení, chromatografie, destilace). Mezi nejdůležitější takto vyráběné radionuklidy patří molybden (^{99}Mo), jód (^{131}I) a stroncium (^{90}Sr), které slouží jako generátorový radionuklid, jehož přeměnou vzniká beta zářič vhodný pro terapii, a to yttrium ^{90}Y . (Kraft, Pekárek, 2012, s. 13; Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 32)

- **Cyklotron:**

Principem cyklotronu je urychlení kladně nabitých částic (protony, alfa částice) elektrickým polem. Dráha těchto částic je zakřívována magnetickým polem do tvaru spirály se zvětšujícím se poloměrem. Po dopadu částice na terčik vznikají požadované radionuklidy (viz obr. 10). Po skončení ozáření se terč rozpouští v kyselinách či alkalických rozpouštědlech a požadované radionuklidy jsou oddělovány chemickými metodami (destilací, chromatografií aj.) (Kraft, Pekárek, 2012, s. 13; Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 32)



Reakce (p, γ) – výroba β⁺- zářičů
v urychlovači (cyklotronu) :



Obrázek 10 Schéma cyklotronu (<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika4.htm>)

Ve velkých cyklotronech je získáváno galium (^{67}Ga), thalium (^{201}Tl) nebo jód (^{123}I). V malých cyklotronech, které jsou vhodné pro nukleární medicínu, jsou získávány takové radionuklidy, které mají krátký poločas rozpadu, jako fluor (^{18}F). Poločas rozpadu fluoru činí 110 minut a je využíváným zářičem při PET vyšetření. Kvůli krátkému poločasu přeměny jsou tyto cyklotrony umístěny v místě použití jimi značených radiofarmak. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 13; Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 31)

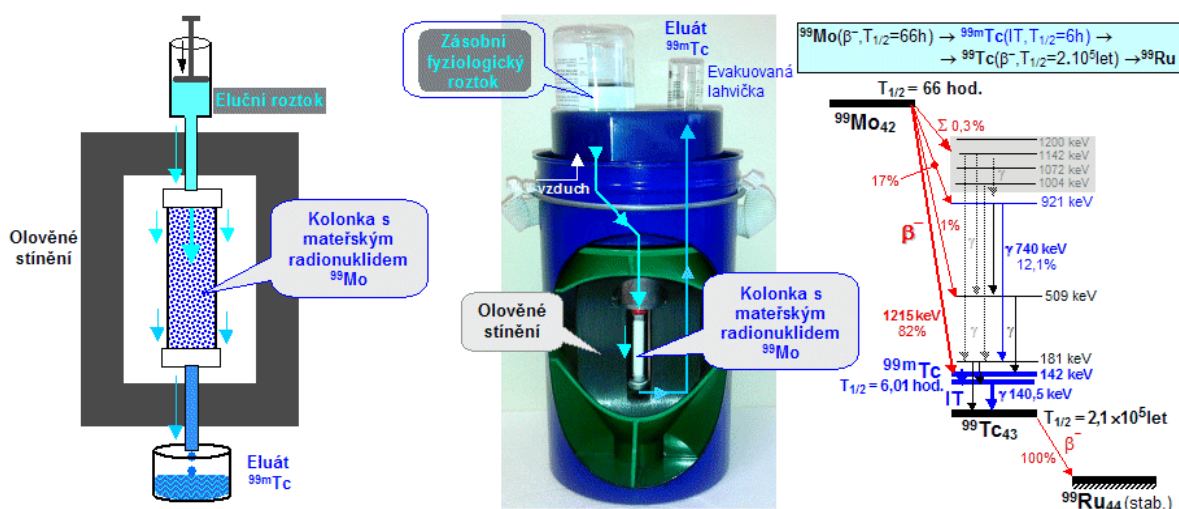
- **Generátory:**

Termínem generátor je označován takový systém, který obsahuje mateřský radionuklid, ze kterého vzniká radionuklid dceřiný. Ten je z mateřského radionuklidu oddělován vymýváním či jiným způsobem a využívá se k přípravě radiofarmaka. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 14)

Z hlediska konstrukce lze generátory rozdělit na chromatografické, extrakční a sublimační. Nejčastěji využívaným je typ chromatografický (eluční), který je nejméně náročný na obsluhu a rozměrově nejmenší. Příkladem takového generátoru je generátor molybden (^{99}Mo) / technecium ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), který je nejpoužívanějším generátorem na odděleních nukleární medicíny. (Kraft, Pekárek, 2012, s.14)

- * **Generátor molybden (^{99}Mo) / technecium ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)**

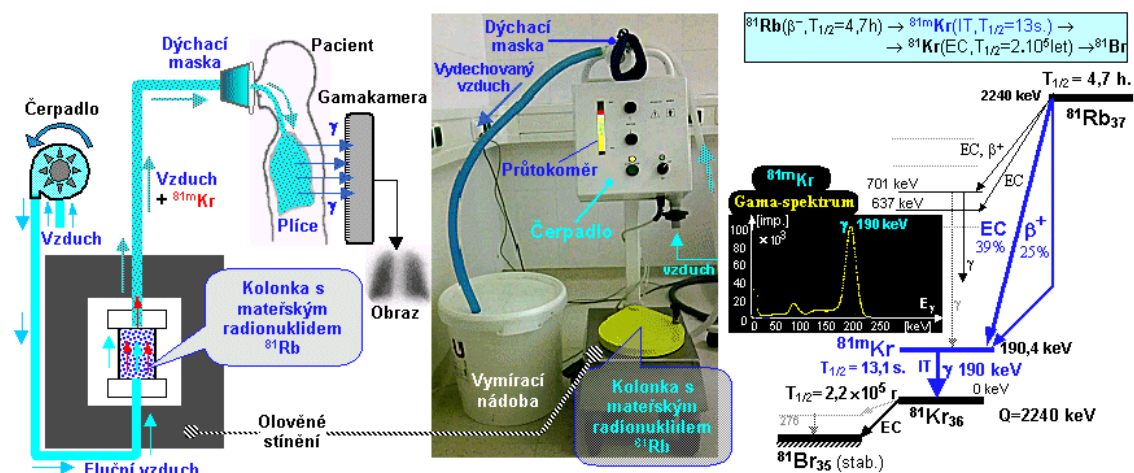
Základem tohoto generátoru je kolona stíněná olovnatým krytem, která obsahuje oxid hlinitý (Al_2O_3). Na tuto kolonu je při výrobě zakotven mateřský radionuklid molybden (^{99}Mo) ve formě molybdenanu amonného či sodného, který se přeměňuje s poločasem 66 hodin na technecium ($^{99\text{m}}\text{Tc}$). Technecium je z kolony vymýváno sterilním izotonickým roztokem chloridu sodného do sterilní lékovky (viz obr. 11). Principem vmytí technecia s poločasem přeměny 6,02 hodin ve formě technecistanu sodného ($\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$) je jeho slabá vazba na oxid hlinitý. Oproti tomu molybden je vázán na oxid hlinitý silně, z kolony se nevymývá a poskytuje tak výrobu dalšího technecia. Tento typ generátoru je použitelný dva týdny a musí být dodáván sterilní a apyrogenní. V současnosti je technecium nejdůležitějším radionuklidem pro nukleární medicínu. Používá se jednak ve své eluované formě jako pertechnetát $^{99\text{m}}\text{Tc}$ sodného, jednak je využíván ke značení neradioaktivních souprav, takzvaných kitů. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 14-15; Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 33)



Obrázek 11 Schéma elučního generátoru ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>)

* **Generátor rubidium ^{81}Rb / krypton $^{81\text{m}}\text{Kr}$**

Tento generátor slouží jako zdroj radioaktivního plynu kryptonu $^{99\text{m}}\text{Kr}$, který je využíván pro zobrazení plicní ventilace. Tento plyn má velmi krátký poločas přeměny (13 sekund). Generátor je umístěn v oloveném krytu přímo u vyšetřovaného, přičemž je radioaktivní krypton vymýván proudem vzduchu. Pacient plynný krypton inhaluje za pomoci masky. Po ukončení inhalace je zobrazováno rozložení radiofarmaka v plicích gamakamerou (viz obr. 12). (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 33; Kraft, Pekárek, 2012, s. 16)



Obrázek 12 Generátor $^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$ (<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika4.htm>)

* **Generátor germanium ^{68}Ge / galium ^{68}Ga**

Tento generátor slouží pro získávání pozitronového zářiče galia ^{68}Ga , který je využíván pro diagnostiku nádorových onemocnění zobrazovaných pomocí PET vyšetření. Tento typ generátoru se objevuje hlavně na takových pracovištích, kde není dostupný cyklotronový zdroj těchto radionuklidů. (Pekárek, Kraft, 2012, s. 16)

2.5.2 Metody přípravy radioaktivních sloučenin

Pro přípravu radiofarmaka se používají tři základní metody, a to izotopová výměnná reakce, chemická syntéza a biochemická syntéza. Zvolení vhodné metody závisí na chemické struktuře výchozího radionuklidu a povaze vhodného radionuklidu. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 17)

• **Izotopová výměnná reakce**

Při této metodě je stabilní izotop dané sloučeniny nahrazen radioaktivním izotopem. Z tohoto důvodu má výchozí látka téměř stejné chemické a biologické vlastnosti, jako látka primární. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 17)

- **Chemická syntéza**

Umístěním radioaktivních atomů v požadované poloze do molekuly lze dosáhnout vzniku kýžené sloučeniny s odpovídajícími vlastnostmi. Značící radionuklid je často navázán v molekule pomocí chelátů (EDTA, DTPA apod.). Tyto cheláty jsou tak jednou částí navázány na molekulu značené sloučeniny, druhou částí potom na radionuklid. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 17)

- **Biochemická syntéza**

Biochemické syntézy lze rozdělit podle zvolené metody na enzymatické a na totální biosyntézy. Principem biochemické syntézy je zabudování radionuklidu, který se nachází v kultivačním prostředí, do metabolitů tvořených metabolickými pochody. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 17)

V současné době je nejrozšířenějším radionuklidem používaným na nukleární medicíně ^{99m}Tc , které je získáváno z generátoru. Tímto radionuklidem jsou označovány látky, které jsou na oddělení dodávány ve formě neradioaktivních souprav, tzv. kitů. Generátor i neradioaktivní soupravy jsou vyráběny hromadně a na oddělení dodávány, samotné technecium je poté vyráběno individuálně na pracovištích. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 32)

Kitem je označována neradioaktivní sloučenina, které je dodávána v lékovkách s pryžovou zátkou. Mimo účinné látky v lyofilizovaném stavu (lyofilizace = vysoušení mrazem) obsahuje lékovka redukční činidla, konzervační látky a stabilizátory. Příprava radiofarmak z takových kitů probíhá v přísně aseptickém prostředí ve speciálních stíněných boxech. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 30)

2.5.3 Lékové formy a aplikace radiofarmak

Při všech vyšetřeních nukleární medicíny záleží na vhodném výběru daného radiofarmaka, které obsahuje náležitý nosič a radionuklid. Dle farmakokinetiky se dané farmakum účastní fyziologických funkcí, popřípadě se hromadí v daném orgánu. Po podání radiofarmaka je registrováno radioaktivní záření, které vyzařuje z pacienta, vhodným detektorem. Po dostatečném množství dat je vyšetření ukončeno a lékařem hodnoceno. Aplikovaná látka musí být bezpečná, netoxická a snadno detekovatelná. Radiofarmakum je vylučováno potem, močí a stolicí. V této etapě výroby se radioaktivní látky a nosiče přeměňují na léčiva. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 28)

- **Parenterální radiofarmaka**

Parenterální podání je v praxi využíváno nejvíce. Podle fyzikálního charakteru jsou podávány pravé roztoky, koloidní disperze a suspenze. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 28-30)

Nejčastěji se využívá injekční aplikace intravenózně (roztoky, koloidní disperze a suspenze), popřípadě subkutánně (koloidní disperze). Méně často se pak aplikuje intralumbálně, intraperitoneálně či intraartikulárně. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 28-30)

- **Perorální radiofarmaka**

Perorální radiofarmaka jsou podávána ve formě pevných látek, emulzí či roztoků. Tekuté přípravky jsou dodávány ve skleněných lékovkách, pevné látky většinou ve formě želatinových kapslí. Ve formě kapslí je nejčastěji podáván ^{131}I , který je využíván k terapii štítné žlázy. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 30)

- **Inhalační radiofarmaka**

Inhalační radiofarmaka jsou podávána ve formě radioaktivních plynů. Nejvýznamnějším zástupcem této kategorie je $^{81\text{m}}\text{Kr}$, který je vymýván vzduchem z generátoru $^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$. Pacient tento plyn inhaluje pomocí inhalační masky. Po skončení inhalace je pacient uložen pod scintilační kameru, kde je za pomoci detektorů registrován signál rozložení radiofarmaka v plicích. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 30)

- **Radiofarmaka pro lokální aplikaci**

Tyto radiofarmaka se využívají jen okrajově. Jako příklad je uváděna folie vysycená fosforem (^{32}P), která je využívána k léčbě hemangiomů. (Kraft, Pekárek, 2012, s. 31)

2.5.4 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI (methoxyizobutylizonitril) je radiofarmakum, které bylo původně zavedeno do praxe jako farmakum pro vyšetření perfuze myokardu. Jedná se o lipofilní kationt, který je akumulován v mitochondriích viabilních buněk. Záhy byla ale zjištěna jeho akumulace v nejrůznějších maligních nádorech, proto je dnes nedílnou součástí vyšetření k diagnostice nádorů. (Mysliveček, Koranda a Hušák, 2002, s. 15-16)

Principem akumulace radiofarmaka je zřejmě jeho elektrostatická přitažlivost. Molekula MIBI má náboj kladný, mitochondrie potom náboj záporný. MIBI je do mitochondrií včleněno pasivním transportem. Vyšší akumulace radiofarmaka znamená zvýšenou aktivitu buněk. (Koranda, 2014, s. 142)

Fyziologicky je radiofarmakum akumulováno v játrech, ledvinách, srdci a kosterní svalovině. Vylučování tohoto radiofarmaka probíhá jednak přes ledviny, do močového měchýře a do moče, jednak hepatobiliární cestou do střeva, proto jsou i tato místa místy zvýšené akumulace radiofarmaka. ^{99m}Tc -MIBI je z nádorových buněk vyplavováno pomaleji než z okolních zdravých tkání. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 153)

Mezi hlavní vyšetření, při kterých je ^{99m}Tc -MIBI využíváno, patří monitorování pacientů po totální tyreoidektomii pro průkaz rezidua, recidivy či metastáz, diagnostika mnohočetného myelomu a průkaz nádorů příštítných tělísek. (Myslivoček, Koranda a Hušák, s. 2002, s. 16)

2.6 Štítná žláza

Štítná žláza (glandula thyroidea) je největší endokrinní žlázou lidského těla, je uložena na krku, ventrálně od štítné a prstencové chrupavky. Skládá se ze dvou laloků spojených istmem (spojovací můstek) před průdušnicí. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 30)

2.6.1 Fyziologie

Štítná žláza produkuje tři typy hormonů: tyroxin (tetrajodtyronin, T4), trijodtyronin (T3) a kalcitonin. Pro tvorbu tyroxinu a trijodtyroninu je nezbytnou součástí jod, který se v organismu nachází v cirkulující plazmě ve formě jodidu, který je získávám z potravy. Ve štítné žláze je jod vázán na tyrosin, ze kterého vznikají hormony štítné žlázy T3 a T4. Tyto hormony jsou vázány na bílkovinu tyreoglobulin, a jsou uchovávány ve folikulech štítné žlázy. Do krve jsou tyto hormony uvolňovány díky hypotalamo-hypofyzárnímu systému, zejména prostřednictvím TSH (tyreotropin), který kontroluje jejich hladinu. Mezi hlavní účinky těchto hormonů patří stimulace spotřeb kyslíku, růst a sexuální vývoj, syntéza bílkovin. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 30)

Třetím hormonem je kalcitonin, který je tvořen parafolikulárními buňkami štítné žlázy. Tento hormon se společně s parathormonem podílí na regulaci metabolismu vápníku. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 31)

2.6.2 Vyšetření a zobrazení štítné žlázy

2.6.2.1 Laboratorní vyšetření

Základním laboratorním vyšetřením je stanovení hodnoty TSH z pacientovi krve. Zvýšení hodnoty TSH značí, že štítná žláza netvoří hormony T3 a T4 v dostatečném množství. Pokud jsou hodnoty TSH zvýšené nad danou hodnotu, jedná se pravděpodobně o hypothyreózu (snížení funkce štítné žlázy). K objasnění příčiny této diagnózy je využíváno stanovení sérových koncentrací tyreoidálních protilátek a vyšetření ultrazvukem. Hypertyreóza (zvýšená funkce

štítné žlázy) je naopak doprovázená sníženou hodnotou TSH a nadprodukcí hormonů T3 a T4. K dovyšetření příčiny vzniku hypertyreózy slouží ultrazvuk a stanovení koncentrace protilátek proti TSH receptoru v séru. Při nejasnostech při diagnostice je využívána metoda scintigrafie. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 31-32)

2.6.2.2 Zobrazovací metody

Sonografie štítné žlázy je společně s laboratorním vyšetřením základním vyšetřením při podezření na poruchu štítné žlázy. Na ultrazvuku je lékař schopen určit velikost laloků, definovat jejich strukturu a tvar. Zároveň je možné provést pod ultrazvukovou kontrolou biopsii ložiska ve štítné žláze. Získaný vzorek je odeslán k cytologickému vyšetření. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 31)

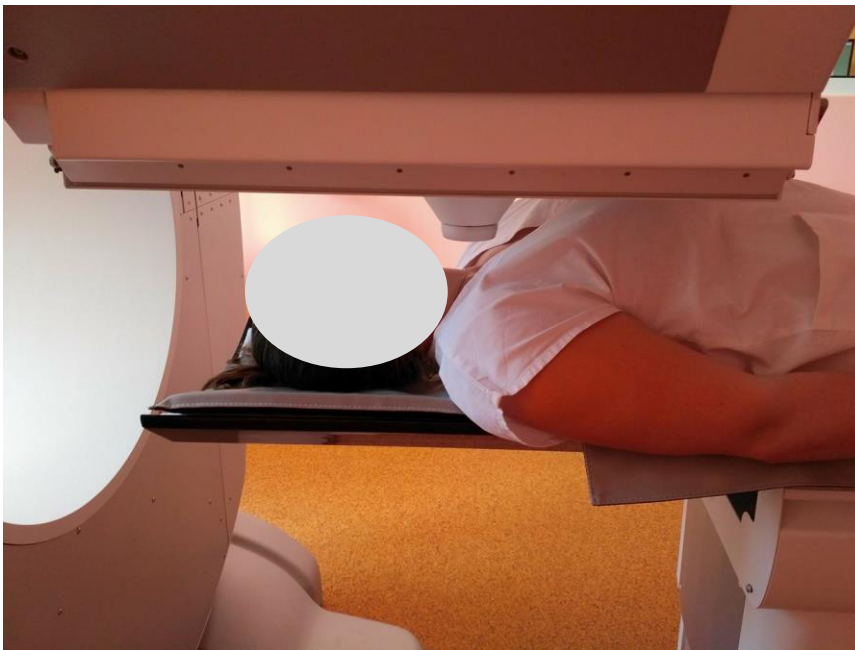
Scintigrafie štítné žlázy je indikována u pacientů se sníženou hladinou TSH, k detekci ektopické tkáně a u pacientů s diferencovanými karcinomy štítné žlázy. Poskytuje informaci o rozložení funkční aktivity v parenchymu štítné žlázy, neboť lze rozlišit hormonálně aktivní a neaktivní uzly. Tato scintigrafie je prováděna na odděleních nukleární medicíny za použití radiofarmak značených ^{131}I , ^{123}I nebo $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Z těchto tří radiofarmak je pro scintigrafii nejčastěji využíván technecistan ($^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$) pro jeho dostupnost a ideální fyzikální vlastnosti. ^{131}I je využíván k diagnostice a terapii diferencovaných karcinomů štítné žlázy. Pokud je ovšem diagnóza jiná, než podezření na karcinom či jeho zobrazení, nevyužívá se z důvodu emise gama záření i beta záření, což spolu s poměrně dlouhým poločasem přeměny vede k vyšší radiační zátěži pacienta. ^{123}I má ideální fyzikální parametry pro scintigrafické zobrazení, ale je vyráběn v cyklotronu, a tudíž je jeho cena vysoká. (Koranda, 2014, s. 178-180)

- **Příprava pacienta**

Jelikož jsou všechna radiofarmaka značená jódem vychytávána buňkami štítné žlázy, které akumulují jód, je nutné před scintografií snížit, popřípadě zamezit přísunu jódu do organismu. Důvodem je zaplnění štítné žlázy neradioaktivním jódem, a následně malá akumulace radioaktivního jódu ve štítné žláze, která vede k nekvalitnímu zobrazení štítné žlázy. Proto je zavedena řada opatření. Pacient nesmí 1 měsíc před vyšetřením podstoupit kontrastní rentgenové vyšetření za použití látek obsahujících jód, nejméně 14 dní musí vyřadit z potravy mořské ryby, vysadit určité léky s obsahem jódu (např. Solutan, Jox sprej). Nesmí také pít ani inhalovat Vincentku, která obsahuje také větší množství jódu. Naopak léky jako Euthyrox či Letrox pacient užívá nepřetržitě, jelikož jejich vysazení by mohlo způsobit počáteční stadium subakutní tyreoiditidy, která vede ke snížení akumulace radiofarmaka. (Míková, 2008, s. 77)

- **Vlastní vyšetření**

Pacient přichází na oddělení nukleární medicíny ve stanovený den a čas, na který je předem objednan. Vyplní informovaný souhlas, kde je dotazován mimo jiné na alergie, a je stručně seznámen s průběhem vyšetření a s případnými riziky. Poté pacient přichází do aplikační místnosti, kde mu lékař po konzultaci naaplikuje intravenózně dané radiofarmakum (nejčastěji ^{99m}Tc -pertechnetat). Poté pacient odchází na 15-30 minut do čekárny, což je doba potřebná k akumulaci radiofarmaka ve štítné žláze. Po uplynutí této doby je pacient uložen ve vyšetřovně pod scintilační kameru s pinhole kolimátorem viz obr. 13. Úkolem tohoto kolimátoru je zvětšení poměrně malé štítné žlázy na plochu scintilačního detektoru a dosažení tak lepší rozlišovací schopnosti. Doba trvání snímání je 20-45 minut. V průběhu vyšetření je pomocí zevních bodových zářičů označováno jugulum. Díky tomuto úkonu je možno posoudit uložení štítné žlázy. Pokud vznikne podezření na retrosternální lokalizaci, je vyšetření doplněno o scintigrafii s paralelním kolimátorem, který zprehlední celou oblast krku a mediastina. (Míková, 2008, s. 77)



Obrázek 13 Uložení pacienta při scintigrafii štítné žlázy (foto Lucie Zezulová)

2.6.3 Patologie

2.6.3.1 Hypertyreóza

Hypertyreóza je stav, při kterém je zvýšená hladina hormonů tyroxinu (T4) a trijodtyroninu (T3) ve tkáních. Mezi nejčastější příznaky patří výrazná únava nemocného, úbytek váhy, pocení, zrychlené psychomotorické funkce. Při vyšetření bývá často nalezena struma (zduření štítné žlázy). (Poršová-Dutoit, 1996, s. 33)

- **Hormonální vyšetření**

Nejcitlivějším ukazatelem je pokles hodnoty TSH (tyreostimulačního hormonu), hodnoty T3 a T4 jsou zvýšeny. Je vhodné stanovit hodnoty obou těchto hormonů, jelikož u určitých forem hypertyreózy mohou být zvýšeny hodnoty pouze jednoho z hormonů. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 33)

- **Rizika hypertyreózy**

Mezi hlavní rizikové faktory patří zejména poruchy srdečního rytmu a vznik tyreotoxické krize. Poruchy srdečního rytmu jsou řazeny mezi první příznaky hypertyreózy. Fibrilace síní je obtížně léčitelná, proto je snahou dosáhnout eutyreodního stavu (tak blízko normálním hodnotám, jak je dosažitelné). Po dosažení tohoto stavu může fibrilace zmizet spontánně. Tyreotoxická krize se projevuje vysokými horečkami a dehydratací, je přítomna tachykardie, třes a svalová slabost. Tyto stavy se projevují zejména u osob, které nejsou léčeny, nebo jsou léčeny špatně. K této situaci může dojít i u osob, které jsou léčeny radioaktivní jódem, proto je zapotřebí, aby byl pacient řádně připraven tyreostatiky (snižují tvorbu hormonů štítné žlázy). (Poršová-Dutoit, 1996, s. 35)

- **Léčba tyreotoxikózy**

V první fázi léčby je nutno dosáhnout eutyreodního stavu. Tento stav je navozen podáním tyreostatik, které snižují tvorbu T3 a T4 hormonů. Ve druhé fázi léčby je cílem zabránit recidivě onemocnění, a to třemi způsoby: konzervativním podáváním tyreostatik, podáváním radioaktivního jódu, nebo provedením tyreoidektomie. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 35-36)

- * **Léčba tyreostatiky**

Jedná se o léčbu, která blokuje hormonogenezi (methimazol, thiamazol). Tyto léky jsou používány u autoimunitní hypertyreózy. U téměř poloviny pacientů však není dosaženo trvalého eutyreoidního stavu a dochází k recidivám onemocnění. Vzhledem k funkční anatomii štítné žlázy nelze předpokládat vyléčení bez doživotního užívání léků, proto není terapie doporučována. (Koranda, 2014, s. 189)

- * **Tyreoidektomie**

Spočívá v provedení chirurgické operace, kdy je odstraněna hyperfunkční tkáň. V současné době je prováděna radikální tyreoidektomie, kdy je odstraněna celá štítná žláza. Při operaci existuje riziko poškození parézy zvratného nervu, které má za následek dočasné nebo trvalé poškození hlasu. (Koranda, 2014, s. 189)

* **Terapie radiojódem**

Při terapii radiojódem dochází k destrukci hyperfunkční tkáně beta zářením, které je emitováno ^{131}I . Tento zářič je podáván ve formě kapslí nebo roztoku per os. Při tomto typu léčby je nutná hospitalizace pacienta na lůžkových odděleních nukleární medicíny, která mají svá specifika. Pacient nesmí být vystaven podání neradioaktivního jódu tři měsíce před zahájením terapie. Nežádoucím účinkem je skutečnost, že jsou ozařovány i ostatní tkáně, zejména kostní dřeň a močový měchýř. Proto je vypočítávána efektivní dávka ozáření, bez započtení cílového orgánu. (Koranda, 2014, s. 190)

Před zahájením terapie radiojódem je prováděn radiojodový akumulací test. Tento test slouží k měření akumulace jódu ve štítné žláze. Pacient přichází nalačno a je mu podáno malé množství (cca 400-500 kBq) radioaktivního jódu ^{131}I per os. Za 6 a 24 hodin se změří akumulace tohoto farmaka pomocí speciální detekční sondy. Výsledek je vyjádřen v procentech, přičemž normální hodnota akumulace je v rozmezí 20–40 %. (Koranda, 2014, s. 183)

2.6.3.2 Hypotyreóza

„Hypotyreóza je stav vyvolaný nedostatkem hormonů štítné žlázy. Hlavní příčinou hypotyreózy v dospělosti je autoimunitní postižení tyreoidy a dále pak ablace tyreoidy (částečná či úplná) uskutečněná jako léčebné opatření u hypertyreózy a dalších patologických stavů štítnice.“ (Poršová-Dutoit, 1996, s. 39) Mezi charakteristické rysy patří zpomalení psychomotorického tempa, přírůstek váhy, zimomřivost a bradykardie. Mezi možné symptomy patří prořídnutí axilárního a pubického ochlupení, přítomnost parestezie a křečí. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 39)

• **Hormonální vyšetření**

Nejdůležitějším faktorem je stanovení hodnoty tyroxinu (T4), respektive jeho poklesu. Pokles trijodtyroninu (T3) je patrný až u osob těžce nemocných, proto je určující hladina T4. Dále je stanovována hladina TSH, která má význam pro odlišení primární a sekundární hypotyreózy. Pokud je hladina TSH zvýšena a hodnoty hormonů T3 a T4 sníženy, jedná se o primární hypotyreózu. Pokud jsou sníženy všechny tyto tři hodnoty, jedná se o sekundární hypotyreózu. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 39)

Rizika hypotyreózy

Hypotyreóza může ovlivňovat kardiovaskulární systém. Mezi komplikace patří bradykardie, kardiomegalie nebo perikarditida. Ke kardiovaskulárním rizikům je nutno také připočítat infarkt myokardu. Vzácnou, ale závažnou komplikací je myxedémové kóma, které se vyskytuje

zejména u osob staršího věku a je spojováno s výskytem infekce. Mortalita myxedémového kóma je 50 %. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 40)

- **Léčba hypotyreózy**

Léčba spočívá v podání tyreoidálních hormonů (Letrox, Euthyrox). Potřebnou dávku hormonů je možno upravovat v průběhu léčby. V případě myxedémového kóma je nutno zahájit léčbu co nejdříve, a to při hospitalizaci na jednotce intenzivní péče. Léčba spočívá v substituci tyreoidálními hormony, které jsou podávány intravenózně nebo žaludeční sondou. Dále pak podání kortikoidů. Podstatná je i symptomatická léčba spočívající v prohřívání nemocného přikrývkami, podávání parenterální výživy, zajištění dýchání a odsávání. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 40-41)

2.6.3.3 Karcinomy štítné žlázy

Nádorová onemocnění štítné žlázy mají vzrůstající incidenci, která je v ČR navyšována od druhé poloviny 20. století. Mezi rizikové faktory patří radiační zátěž, vysoká hladina hormonu TSH a nedostatek jódu v přijímané potravě. Nádory endokrinních žláz tvoří z 90 % nádory štítné žlázy. Ve většině případů se jedná o nádory benigní. U ženské populace v České republice stoupla incidence zhoubných nádorů mezi lety 1979-2009 z 3,33 na 14,26 případů na 100 000 obyvatel. Pravděpodobnou příčinou je zřejmě zlepšení detekce malých tumorů, kdy je dnes využíváno jak palpační vyšetření, tak ultrazvukové vyšetření, které odhalí i lehké abnormality štítné žlázy. Tyto abnormality pomocí palpačního vyšetření nelze rozpoznat. (Krška, Hoskovec a Petruželka, 2014, s. 323)

Maligní nádory štítné žlázy vznikají buď z buněk folikulárních, nebo parafolikulárních (C-buněk), které jsou zodpovědné za produkci kalcitoninu. Z prvního typu buněk jsou odvozeny papilární a folikulární karcinomy, které jsou označovány souhrnně jako karcinomy diferencované. Dále pak karcinomy málo diferencované, nebo nediferencované (anaplastické) karcinomy. Z C-buněk je tvořen medulární karcinom. (Becker, 2005, s. 655)

2.6.3.4 Diferencované karcinomy

- **Papilární karcinom**

Papilární karcinom představuje nejčastější malignitu štítné žlázy. Vyskytuje se 3-4x častěji u žen než u mužů. Náchylnější k tomuto typu karcinomu jsou pacienti s diagnostikovanou Hashimotovou tyreoiditidou a pacienti, kteří prodělali ozáření hlavy a krku. Metastatické postižení uzlin je relativně časně, není však důkaz o zhoršení prognózy dlouhodobého

přežití při nálezů tohoto typu metastáz. Jde o karcinom, který dobře reaguje na léčbu, úmrtnost do 30 let po diagnostikování je 6 %. (Krška, Hoskovec a Petruželka, 2014, s. 324)

- **Folikulární karcinom**

Tento typ karcinomu je druhým nejčastějším maligním nádorem štítné žlázy, který se taktéž vyskytuje více u žen. Na rozdíl od papilární karcinomu manifestuje u žen v pozdějším věku (mezi 40. a 60. rokem života). Téměř nemetastazuje do lymfatických uzlin, ale vytváří vzdálené metastázy, které zvyšují riziko úmrtnosti. Speciálním typem folikulárního karcinomu je karcinom vznikající z Hürtleho buněk, který obvykle neakumuluje jód a tvoří agresivnější variantu této malignity. (Krška, Hoskovec a Petruželka, 2014, s. 324, 329)

2.6.3.4.1 Diagnostika diferencovaných karcinomů

Diagnosticky je hlavním příznakem rychle se zvětšující hmatatelný uzel štítné žlázy. U papilárního karcinomu potom zvětšená lymfatická uzlina. Symptomaticky nemocný pociťuje potíže s polykáním, dýchací potíže, bolest v krku, chraptění. (Becker, 2005, s. 658)

Mezi klinické vyšetření je na první místo řazena ultrasonografie, která je levná a dostupná. Pro vyšetření krku a mediastina je indikována nukleární magnetická rezonance, která je využívána zejména u rozsáhle infiltrujícího nádoru. K zjištění aktivity uzlů je využívána scintigrafie. Pro odlišení benignity a malignity je prováděna punkce štítné žlázy tenkou jehlou. Všeobecně bývá z hlediska histologického nejvyšší pozitivní prediktivní hodnota u medulárního a anaplastického karcinomu. U diferencovaných karcinomů je specifita nižší. Další vyšetření zahrnují rentgenové vyšetření hrudníku pro detekci metastáz, laboratorní vyšetření štítné žlázy. Pro diagnostiku tumoru je nutné zhodnotit veškeré aspekty, včetně anamnézy, klinických a morfologických nálezů a na základě těchto informací rozhodnout o dalším postupu. (Becker, 2005, s. 658-660)

2.6.3.4.2 Léčba diferencovaných karcinomů

Léčba těchto nádorů je stanovována dle stadií, ve kterých je onemocnění zachyceno. Tyto stádia jsou ukazatelem závažnosti onemocnění. Pro **stadium I a II** je základem chirurgická léčba. Pacient podstoupí totální tyreoidektomii, která je jediným kurativním přístupem. Při této operaci je odstraněna celá štítná žláza s přilehajícími příštítnými tělisky. Tento postup usnadňuje sledování a případný follow-up nádorového onemocnění. Po provedení totální tyreoidektomie následuje terapie radiojódem na lůžkovém oddělení nukleární medicíny. Cílem této terapie je jednak odstranění existující zbytkové tkáně štítné žlázy, jednak průkaz či

vyloučení uzlin nebo metastáz akumulujících jód. ¹³¹I je tedy využíván jak k terapeutickým, tak k diagnostickým účelům. (Becker, 2005, s. 667; Krška, Hoskovec a Petruželka, 2014, s. 329)

Stadium III je také charakterizováno primárně chirurgickou léčbou ve formě totální tyreidektomie s odstraněním postižených uzlin. Po ní následuje ablační dávka radiojódu, pokud je jód akumulován. Při nedostatečné akumulaci radiojódu je indikováno zevní ozáření. (Krška, Hoskovec a Petruželka, 2014, s. 329)

Ve **IV stadiu** jsou nejčastěji nacházeny metastázy v uzlinách, plicích a kostech, z nichž s kurativním (léčebným) účinkem lze ovlivnit je metastázy uzlinové. Léčba zbylých metastáz je paliativní (zmírnění obtíží a bolesti). Pokud je prokázána akumulace jódu v metastázách, lze podat radiojód s léčebným cílem. Pokud není radiojód dostatečně akumulován, je indikováno zevní ozáření. Následuje chirurgická resekce zaměřená na metastázy, a supresní léčba, která má za cíl snížit hladinu TSH. Supresní léčba i chirurgická resekce je indikována v případě nedostatečné akumulace jódu. (Krška, Hoskovec a Petruželka, 2014, s. 329)

2.6.3.5 Anaplastický karcinom

Tento typ karcinomu je prognosticky nejhorším typem nádorů štítné žlázy. Nádor se vyskytuje u pacientů mezi 60. až 80. rokem života, častěji u žen. Jedná se o typ karcinomu, který vytváří tumorózní tromby ve velkých krčních žilách, a ve více jak 50 % případů vytváří vzdálené metastázy v plicích, kostech, lymfatických uzlinách a játrech. Pro anaplastický karcinom je typické prorůstání nádoru do okolních tkání a neopouzdřená struktura karcinomu. (Becker, 2005, s. 672)

[2.6.3.5.1 Diagnostika anaplastického karcinomu](#)

Podezření na anaplastický karcinom vzniká v důsledku rychle rostoucího nádoru krku v kombinaci s dalšími symptomy jako chrapot, bolesti krku, stridor (hvízdavý zvuk při nádechu). Cílem diagnostiky je určit rozsah nádorového postižení, prokázat malignitu onemocnění, zjistit míru resekability a výskyt vzdálených metastáz. Mezi diagnostické metody je zařazena sonografie, CT krku a mediastina nativně a poté s podáním kontrastní látky. Na základě výsledků těchto vyšetření je dále vyšetřován jícen a průdušnice z důvodu infiltrace nádoru do lumen. Pokud je infiltrace prokázána, znamená nemožnost operace. Při podezření na vzdálené metastázy následuje magnetická rezonance nebo CT vyšetření hrudníku, scintigrafie kostí a CT lebky. (Becker, 2005, s. 672-673)

2.6.3.5.2 Léčba anaplastického karcinomu

Z hlediska léčby je možnost provedení totální tyreoidektomie pouze v případech, kdy je nádor ohraničen pouze na štítnou žlázu a nezasahuje do okolních struktur. V jiných případech je ovšem indikováno ozáření, které je možné kombinovat s chemoterapií. Jelikož není možné použít k terapii radioaktivní jód, využívá se chemoterapii za použití cytostatik, díky kterým může dojít k regresi nádoru. (Becker, 2005, s. 675)

2.6.3.6 Medulární karcinom štítné žlázy

Tento typ karcinomu je diagnostikován napříč věkovými skupinami, častěji u žen. Jedná se o agresivní nádor, který vzniká z C-buněk štítné žlázy. Vyskytuje se ve čtyřech klinických variantách – sporadický, familiární, syndrom MEN 2A, syndrom MEN 2B, z nichž nejagresivnější je sporadická forma. (Becker, 2005, s. 675)

2.6.3.6.1 Diagnostika medulárního karcinomu

Stejně jako u ostatních karcinomů štítné žlázy jsou symptomy závislé na velikosti nádoru. Objevuje se chrapot, dušnost, bolesti kostí, průjem (z důvodu zvýšené hladiny kalcitoninu). Pro průkaz medulárního karcinomu je prováděno vyšetření hladiny kalcitoninu, kdy výsledkem bývá zvýšená hladina. U 30 % nemocných s medulárním karcinomem je zvýšená hodnota CEA (karcinoembryonální antigen). (Becker, 2005, s. 677)

2.6.3.6.2 Léčba medulárního karcinomu

V léčbě medulárního karcinomu je indikována totální tyreoidektomie, pokud se jedná o nemocného bez zjištěných metastáz a tumor omezený na štítnou žlázu. Pokud jsou detekovány metastázy, je prováděna disekce krčních uzlin. Zevní ozáření je prováděno z hlediska paliace, stejně tak chemoterapie. (Krška, Hoskovec a Petruželka, 2014, s. 330)

2.6.4 Sledování pacientů po léčbě karcinomů štítné žlázy

Mezi nejdůležitější metody patří ultrazvuková kontrola a fyzikální vyšetření. Po operaci a následné radioterapii jódem je důležitým ukazatelem hodnota tyreoglobulinu. Tyreoglobulin je tvořen v nezměněných i nádorových buňkách štítné žlázy, po prodělané totální tyreoidektomii a terapii by měla být hladina tyreoglobulinu nedetekovatelná. Pokud je hladina tohoto nádorového markeru identifikovatelná, značí možnost návratu onemocnění. (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2011/06/04.pdf>)

Při dlouhodobém monitorování nemocných je využívána celotělová scintigrafie s ¹³¹I. Nevýhodou této scintigrafie je vysazení substituční léčby a tím pádem navození hypotyreózy.

Druhým možným radionuklidem je ^{99m}Tc -MIBI, který je využíván v případě ztráty schopnosti štítné žlázy akumulovat jód ^{131}I . Jedná se o detekci metastáz diferencovaných karcinomů štítné žlázy, u kterých došlo k dediferenciaci. Výhodou je ponechání substituční léčby, jelikož je MIBI akumulováno jiným způsobem, oproti radioaktivnímu jódu. (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2015, s. 142-144; Adam, Vaníček, Vorlíček, 2004, s. 292)

2.6.4.1 Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc -MIBI pro karcinom štítné žlázy

Celotělová scintigrafie je prováděna 10 minut po aplikaci radiofarmaka, které je podáno intravenózně. Pacient leží na zádech, obraz je snímán z přední a zadní projekce. Celotělová scintigrafie je doplněna o SPECT, případně SPECT/CT na oblast zájmu. V tomto případě je danou oblastí krk a mediastinum. Nádory či metastázy se na scintigramu zobrazí jako ložiska zvýšené akumulace, viz obr. 14 a 15. (Míková, 2008)

V letech 2004-2005 provedl doktor Dabiri z Centra Nukleární medicíny v Íránu studii, která se snažila porovnat celotělovou scintigrafií s ^{131}I se scintigrafií s ^{99m}Tc – MIBI. Do studie bylo po dosažení písemného souhlasu náhodně vybráno 40 respondentů rozdílného věku i pohlaví s diferencovaným karcinomem štítné žlázy, kteří podstoupili totální tyreoidektomii a následnou terapii radiojódem. Půl roku po ukončení léčby pacienti podstoupili celotělovou scintigrafii s oběma výše uvedenými radionuklidy spolu s měřením hladiny tyreoglobulinu, jakožto nádorového markeru. (<http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jms/2006/806-811.pdf>)

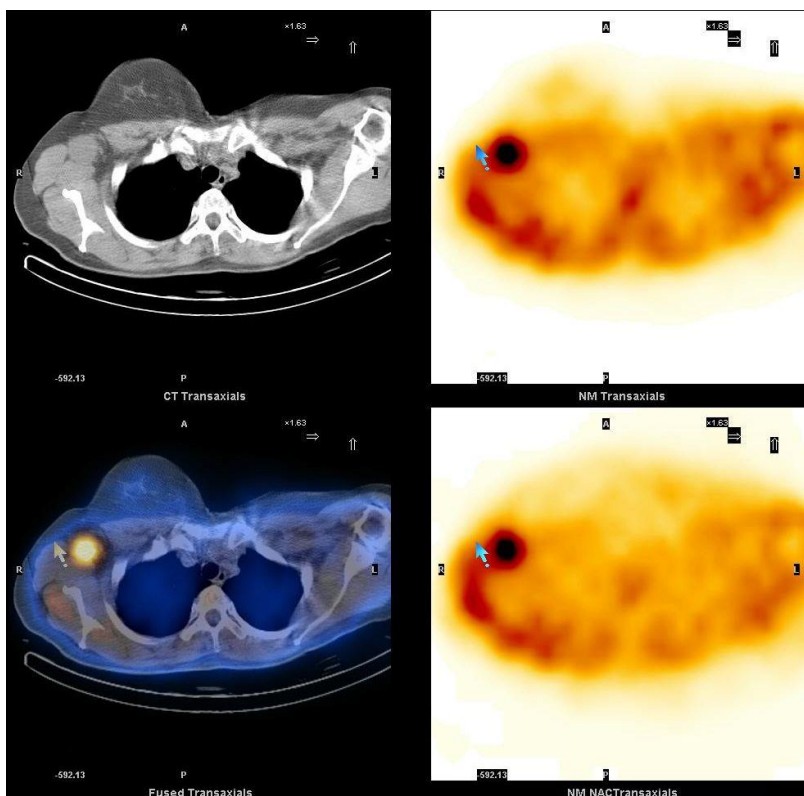
Ze všech 40 respondentů mělo negativní výsledek hladiny tyreoglobulinu 24 pacientů (60 %), ve zbylých 16 případech (40 %) byl výsledek pozitivní.

Scintigrafie s jódem ^{131}I byla negativní v 26 případech (65 %), pozitivní pak ve 14 případech (35 %). Zatímco při použití ^{99m}Tc – MIBI byl výsledek negativní „pouze“ v 22 případech (55 %), pozitivní výsledky mělo o 4 respondenty více (45 %), než u scintigrafie s jódem ^{131}I . Vychytávání MIBI bylo pozorováno hlavně v oblasti krku a podpaží. Tři respondenti měli pozitivní scintigrafii s MIBI, přestože hladina tyreoglobulinu byla v normě.

Z této studie vyplývá citlivost a specifická dvou zmíněných vyšetření. U ^{131}I byla citlivost vypočtena na 87,5 %, specifická potom 100 %. Více citlivá, ovšem méně specifická je poté metoda s použitím ^{99m}Tc – MIBI. Citlivost u této metody tvoří 93, 75 %, specifita byla vypočtena na 87,5 %. Závěrem je zhodnoceno vyšetření s ^{99m}Tc – MIBI jako platná alternativa pro sledování pacientů s diferenciálními karcinomy štítné žlázy bez nutnosti vynechání substituční léčby. (<http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jms/2006/806-811.pdf>)



Obrázek 14 Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc -MIBI pro karcinom štítné žlázy – metastáza lymfatické uzliny v pravé axile (<https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>)



Obrázek 15 Stejná pacientka, provedeno SPECT/CT, zobrazena lymfatická uzlina v pravé axile (<https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>)

2.7 Příštítná tělíska

Příštítná tělíska jsou párové útvary čočkovitého tvaru uložené na zadní straně obou laloků štítné žlázy. Jsou tvořeny buňkami hlavními, které produkují parathormon (PTH) a buňkami oxyfilními. Parathormon je hormonem stimuluje kostní resorpci, zvyšuje absorpci vápníku ve střevě a tubulární resorpci kalcia v ledvinách. Tento hormon je nezastupitelný v metabolismu vápníku a kostí. Sekrece parathormonu je řízena prostřednictvím kalcémie (hodnota vápníku v krvi). Pokles kalcémie zvyšuje produkci PTH. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 52)

2.7.1 Vyšetření a zobrazení příštítných tělísek

Základním vyšetřením pro odhalení patologie je stanovení hladiny parathormonu v plazmě. Zvýšená hladina PTH značí hyperparatyreózu, snížená u osob s hyperkalcemií. Dále je stanovována hladina kalcia v plazmě. Příčinou hyperkalcémie může být hyperparatyreóza či intoxikace vitamínem D. U Hypokalcémie je možná hypoparatyreóza nebo chronická ledvinná nedostatečnost. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 52)

V případě zobrazovacích metod zde není tolik účinná sonografie nebo CT vyšetření, proto jsou hojně využívána vyšetření nukleární medicíny. K dalším vyšetřením patří skiografie a kostní biopsie. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 53)

2.7.2 Patologie

2.7.2.1 Hyperparatyreóza

Hyperparatyreóza je stav, při kterém dochází k nadměrné produkci parathormonu buňkami příštítných tělísek. Tato nemoc je třetí nejčastějším onemocněním endokrinních žláz v populaci hned po diabetu a onemocnění štítné žlázy. Pokud je včas diagnostikováno, je dobře léčitelné. Podle příčiny vzniku se hyperparatyreóza dělí na tři formy: Primární, sekundární a terciální. Naprostou většinu hyperparatyreóz tvoří primární hyperparatyreózy za vzniku adenomů. (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2013/05/12.pdf>)

- **Primární hyperparatyreóza**

Jedná se o příčinu přímo v příštítných těliscích, kdy dochází k nadbytečné produkci PTH za vzniku nezhoubných nádorů, takzvaných adenomů. (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2013/05/12.pdf>)

- **Sekundární hyperparatyreóza**

Příčinou vzniku je nízká hladina vápníku v krvi. Příštítná tělíska se snaží hladinu zvýšit, tudíž podněcují nadměrnou sekreci PTH, která má za následek chronické selhání ledvin. (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2013/05/12.pdf>)

- **Terciální hyperparatyreóza**

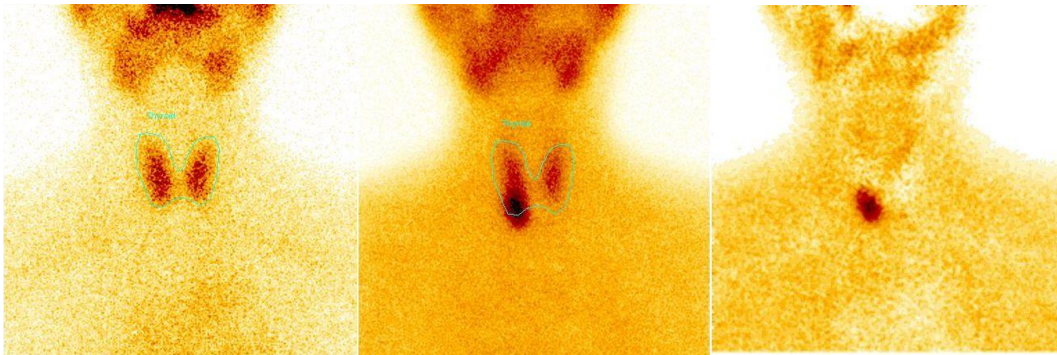
Jedná se o autoimunitní sekreci PTH, kdy i při normalizaci kalcemie příštítná tělíska stále produkují parathormon. Tento jev bývá vidán po transplantaci ledviny. (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2013/05/12.pdf>)

2.7.2.1.1 Diagnostika primární hyperparatyreózy s 99mTc - MIBI

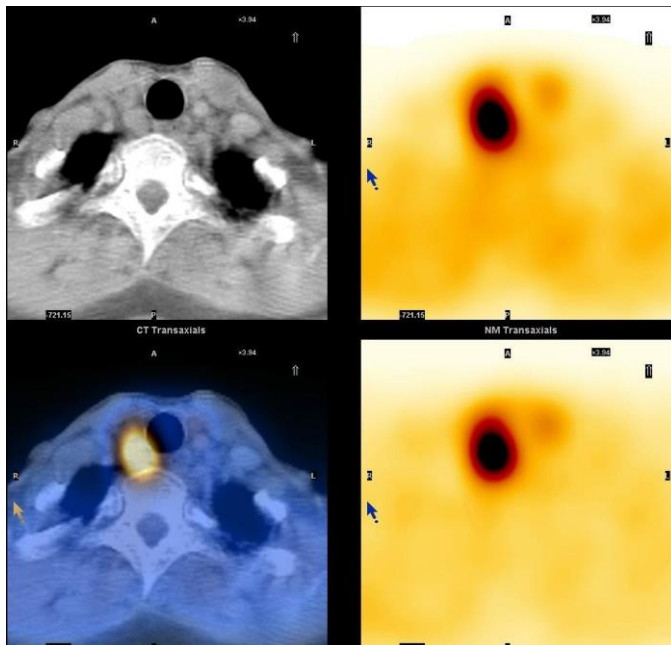
Základem je biochemická analýza, která se zaměřuje na hodnoty kalcia, sníženou hladinu fosforu, zvýšené hladiny kostního izoenzymu. Z hlediska aktivity příštítných tělísek je důležité stanovit koncentraci PTH v krvi. V neposlední řadě je nutné stanovit přesnou polohu adenomu příštítného tělíska, k čemuž je využíváno právě metod nukleární medicíny. (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2013/05/12.pdf>)

- **Subtrakční scintigrafie příštítných tělísek**

Tato metoda je založena na rozdílné akumulaci daných radiofarmak. Jako první je intravenózně naaplikován ^{99m}Tc – pertechnetát sodný, který je vychytáván pouze štítnou žlázou. 15 minut po aplikaci radiofarmaka je prováděna scintigrafie z přední projekce. Poté následuje aplikace ^{99m}Tc – MIBI, které je taktéž aplikováno intravenózně. Na rozdíl od pertechnetátu je toto farmakum akumulováno v adenomech, karcinomech, hyperplastických těliscích i ve štítné žláze. Snímky jsou pořizovány za 15 minut od aplikace radiofarmaka (viz obrázek 16). Ve většině případů doplněno o vyšetření SPECT, viz obrázek 17. Po skončení vyšetření je lékařem provedena subtrakce (odečtení) struktur od sebe kvůli zobrazení dané patologie. (Koranda, 2014, s. 184)



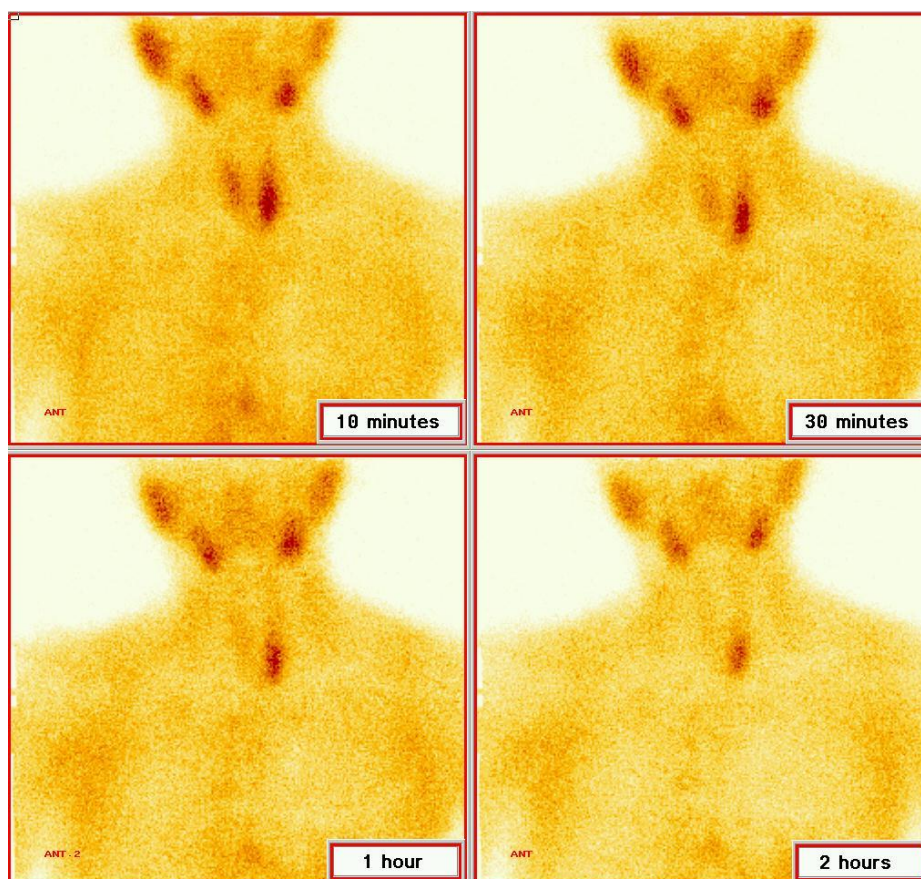
Obrázek 16 Subtrakční scintigrafie $^{99m}\text{TcO}_4/^{99m}\text{Tc}$ -MIBI, adenom příštítného tělíska vpravo (<https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>)



Obrázek 17 SPECT/CT, adenom příštítného tělíska vpravo (<https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>)

- **Dvoufázová scintigrafie ^{99m}Tc – MIBI**

Tento typ vyšetření využívá rozdílnou kinetiku daného radiofarmaka. Po i.v. aplikaci radiofarmaka je vychytáváno ve štítné žláze a příštítných těliscích. Z těchto tkání je ovšem vyplavováno rychleji než ze samotné patologie. Proto jsou prováděny scintigramy za 10, 30, 60 a 120 minut od aplikace radiofarmaka, jak je vidět na obrázku 18. Jelikož při průkazu patologie je dalším krokem chirurgická operace, je nutné přesná prostorová lokalizace, proto je vyšetření doplněno o SPECT/CT. (Koranda, 2014, s. 185)



Obrázek 18 Dvoufázová scintigrafie s ^{99m}Tc -MIBI, adenom levého příštítného tělíska (<https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>)

2.7.2.1.2 Léčba primární hyperparatyreózy

Léčba této hyperparatyreózy je chirurgická. Dojde k odstranění adenomu, v případě hyperplazie všech příštítných tělísek. Po odstranění adenomu může dojít k přechodné hypokalcemii, která by se měla spontánně upravit. Pokud ne, je nutná doživotní substituční léčba pomocí vitamínu D a kalcia. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 55-56)

2.7.2.2 Hypoparatyreóza

Hypoparatyreóza je definována jako nedostatek parathormonu projevující se hypokalcemií. Nejčastěji je rozvíjena sekundárně v důsledku odstranění příštítných tělísek. Mezi symptomy

akutní hypoparatyreózy jsou řazeny křeče, zvýšená muskulární dráždivost. Symptomy chronické hypoparatyreózy jsou zvýšená lomivost nehtů, atrofie kůže, malý vzrůst, alopecie. (Muntau, 2014, s. 81)

2.7.2.2.1 Diagnostika a léčba

Mezi základní vyšetření patří zjištění hladiny celkového a ionizovaného kalcia v krvi, kdy hladina bývá při tomto typu onemocnění nižší. Dále je charakteristická hypokalciurie a hyperfosfatemie. Hladina PTH je prakticky neměřitelná. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 57)

Léčba akutní hypoparatyreózy spočívá v intravenózním, popřípadě perorálním podání kalcia. Při chronické formě je per os podáváno kalcium a vitamín D. Důležitou součástí léčby je dieta, která zahrnuje potraviny bohaté na vápník jako netučný tvaroh, sýry a další mléčné výrobky. (Poršová-Dutoit, 1996, s. 57)

2.8 Mnohočetný myelom

Mnohočetný myelom je maligní onemocnění, které je charakterizováno infiltrací kostní dřene a měkkých tkání. Jde o onemocnění krvevorb, při kterém jsou akumulovány monoklonální plazmatické buňky v kostní dřeni. Při tomto onemocnění není postižena jen krvetvorba, ale také skelet za vzniku myelomové kostní nemoci. Myelomová kostní nemoc je způsobována zvýšenou kostní resorpcí a rychlým odbouráváním vápníku. Mezi hlavní příznaky patří vznik osteolytických ložisek, komprese obratlů a nevertebrální zlomeniny. (Mysliveček, 2002, s. 19; <http://www.myeloma.cz/res/file/archiv/brozura-jak-neprosvihnout-myelom/Zobrazovaci-metody-v-diagnostice-a-sledovani-mnohocetneho-myelomu.pdf>)

2.8.1 Zobrazovací metody využívané v diagnostice a sledování mnohočetného myelomu

2.8.1.1 RTG snímky

Požizování rentgenových snímků prakticky nemá v diagnostice časně fáze onemocnění význam, patologické změny jsou nacházeny zhruba u 10 % pacientů. U nově zjištěných případů mnohočetného myelomu je i přesto prováděn celotělový screening skeletu. Z hlediska celotělového screeningu jsou snímkovány oblasti, ve kterých je předpokládána krvetvorná tkáň (páteř, femury, humery, pánev, žebra a kalva). Toto snímkování je spojeno s určitou radiační zátěží, je ovšem levnější a dostupnější než vyšetřování magnetickou rezonancí, která sice není spojena s radiační zátěží, ale je podstatně dražší a méně časově dostupná. Pokud je na snímcích páteře zjištěna komprese obratlů, není nutné provádět dražší vyšetření jako CT, které je spojeno s další radiační zátěží, nebo MR. Nevýhodou tohoto zobrazení je nemožnost posoudit kompresi

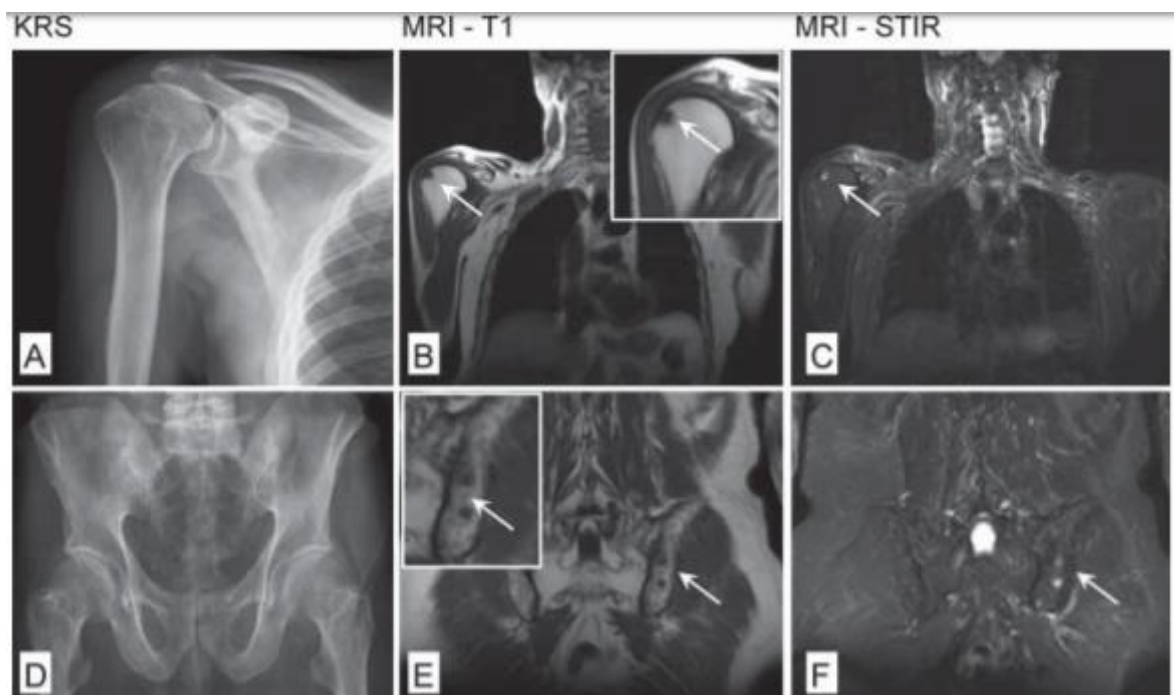
nervové tkáně. (<http://www.myeloma.cz/res/file/archiv/brozura-jak-neprosvihnout-myelom/Zobrazovaci-metody-v-diagnostice-a-sledovani-mnohocetneho-myelomu.pdf>)

2.8.1.2 Výpočetní tomografie (CT)

Na rozdíl od rentgenových snímků se výpočetní tomografie vyznačuje vysokou rozlišovací schopností, zobrazením měkkých tkání, a možností vytvoření 3D rekonstrukce obrazu. Využívá se k přesnému plánování a zaměření radioterapie, při CT angiografii i k zhodnocení výsledků vertebroplastiky po operaci. Je výhodnou metodou pro zobrazení destruktivních změn na kompaktní kosti, nedokáže ovšem znázornit kostní dřeň. Nevýhodou je zatížení pacienta radiační dávkou, která je vyšší než u běžného rentgenového snímku. (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2011/03/03.pdf>)

2.8.1.3 Magnetická rezonance (MR)

Zobrazení magnetickou rezonancí je v současné době společně s metodami nukleární medicíny rozhodujícím vyšetřením při časně diagnostice mnohočetného myelomu. Magnetická rezonance je schopná rozpoznat přestavbu v kostní dřeni v období, kdy je pevná část kosti ještě nepoškozená. Infiltrace kostní dřene maligními plazmocyty je doprovázena vyšším obsahem vody, proto na T1 vážených obrazech je ložisko tmavší, při použití frekvence STIR (potlačení signálu tuku) je ložisko zobrazeno světlejší, viz obrázek 19. (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2011/03/03.pdf>)

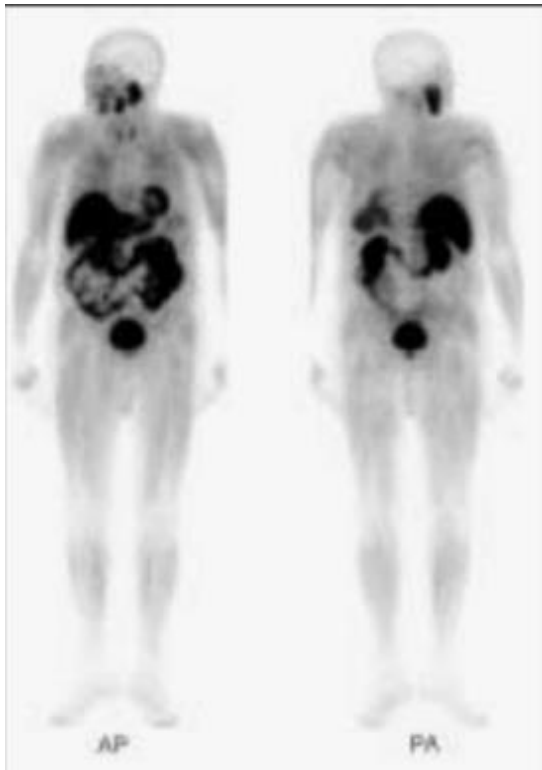


Obrázek 19 porovnání zobrazení plazmocytmů na klasickém rentgenovém snímku a magnetické rezonanci (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2011/03/03.pdf>)

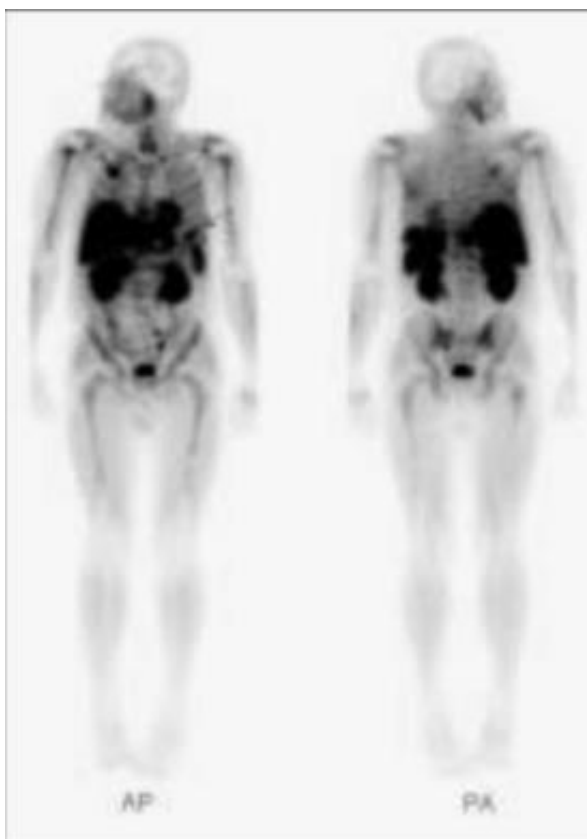
V časném stadiu onemocnění je magnetická rezonance vyšetřením, díky kterému lze rozlišit mnohočetný myelom od monoklonální gamapatie nejistého významu. Hlavní význam má však v zobrazení páteřního kanálu a propagace nádorové masy. Pacienti s pozitivním nálezem na magnetické rezonanci mají prokazatelně horší prognózu než pacienti s negativním nálezem. Nevýhodou magnetické rezonance jsou však některé kontraindikace. Mezi nejčastější patří MR nekompatibilní kardiostimulátor nebo kochleární implantáty. (<http://www.myeloma.cz/res/file/archiv/brozura-jak-neprosvihnout-myelom/Zobrazovaci-metody-v-diagnostice-a-sledovani-mnohocetneho-myelomu.pdf>)

2.8.1.4 Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc – MIBI

Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc – MIBI je prováděna 10 minut po intravenózní aplikaci radiofarmaka z přední a zadní projekce s nízkoenergetickými paralelními kolimátory s vysokým rozlišením (LEHR). Doba vyšetření se pohybuje kolem 30 minut. Výsledné scintigramy bývají klasifikovány následujícím způsobem: Typem N bývá označován scintigram při fyziologické akumulaci radiofarmaka, viz obrázek 20. Typem D při difuzní akumulaci radiofarmaka v kostní dřeni, typ F v případě fokální akumulace v kostní dřeni nebo extramedulárně. Posledním typem je smíšený typ F + D, viz obrázek 21, na kterém je vidět patologická akumulace difuzního typu v kostní dřeni sternu, žeber, páteře, pánve, humerů a fokální akumulace na přední straně hrudníku vpravo a žebra vlevo. (<https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/10/131.pdf>)



Obrázek 20 Scintigram typu N v přední a zadní projekci při celotělové scintigrafii s ^{99m}Tc -MIBI (<https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/10/131.pdf>)



Obrázek 21 Scintigram smíšeného typu F+D v přední a zadní projekci při celotělové scintigrafii s ^{99m}Tc -MIBI. (<https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/10/131.pdf>)

Při této metodě je lipofilní kationt zabudován do viabilních mitochondrií plazmocytů, a díky tomu jsou na výsledném scintigramu zobrazeny jako ložiska zvýšené akumulace radiofarmaka. Tato metoda slouží jako jednoduchý, dostupný a senzitivní ukazatel v hodnocení biologické aktivity mnohočetného myelomu. Využívá se k časné diagnostice nemoci, při hodnocení odezvy na léčbu i pro sledování pacientů po prodělané nemoci k odhalení progresu onemocnění. Dané typy akumulace odpovídají stupni biologické aktivity onemocnění, jeho stádiu a prognóze. Jedná se o dostupné a ekonomicky nenáročné vyšetření, které má nezastupitelné místo v diagnostice mnohočetného myelomu. (<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2011/03/03.pdf>)

2.8.1.5 PET/CT s FDG

Principem tohoto vyšetření je registrace metabolismu v patologicky změněné tkáni. Nejčastějším radiofarmakem ^{18}F – FDG (fluorodeoxyglukóza), která je v buňce fosforylována pomocí hexokinázy bez možnosti další přeměny a je akumulována v plazmocitech, které vykazují stejně jako ostatní nádorové buňky hypermetabolismus glukózy. (<http://www.myeloma.cz/res/file/archiv/brozura-jak-neprosvihnout-myelom/Zobrazovaci-metody-v-diagnostice-a-sledovani-mnohocetneho-myelomu.pdf>)

Při klasickém PET vyšetření není zřejmý vztah patologických ložisek k anatomickým strukturám, proto je doplňováno vyšetřením CT k zobrazení anatomických struktur. Poté dochází k fúzi obrazů. PET/CT je vhodným vyšetřením pro diagnostiku difuzního a fokálního typu ještě před výskytem anatomických změn. Díky tomuto vyšetření je možné získat informace o odpovědi nádoru na terapii, které jsou přesnější než u zbylých metod. Spolehlivě je také detekovatelná remise nebo relaps onemocnění. Při srovnání s celotělovou scintigrafií s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI vykazuje PET/CT vyšší přesnost při stanovení fokálních lézí, ale MIBI lépe koreluje se skutečným rozsahem onemocnění. (<http://www.myeloma.cz/res/file/archiv/brozura-jak-neprosvihnout-myelom/Zobrazovaci-metody-v-diagnostice-a-sledovani-mnohocetneho-myelomu.pdf>)

2.8.2 Léčba mnohočetného myelomu

Pokud se jedná o asymptomatický myelom, nedoporučuje se zahájení léčby cytostatiky do prvních příznaků myelomové nemoci. Pokud se příznaky projeví, je zahájena léčba cytostatiky (chemoterapie). Cílem této léčby je dosáhnout maximálního poklesu monoklonálního imunoglobulinu (M-Ig). Hladina tohoto imunoglobulinu ve většině případů klesá pouze na určitou hodnotu a poté stagnuje. Pokud je hladina stejná po dobu 2–3 měsíců, nemá cenu v léčbě

cytostatiky dále pokračovat. Poté je třeba zvážit ukončení léčby a následné sledování, nebo přistoupení k radikálnější léčbě. Vše konzultuje a vyhodnocuje lékař, který své poznatky prodiskutovává s pacientem. (Adam, Vorlíček, 2001, s. 224)

Pokud je onemocnění v remisi, využívá se podávání interferonu alfa pro dobu prodloužení bezpříznakového období. Nevýhodou tohoto preparátu je, že jeho tolerance je velmi individuální a v mnohých případech snižuje pacientům kvalitu života z důvodů výskytu nežádoucích účinků, proto je novým lékem pro prodloužení remise i celkové doby přežití thalidomid. Při relapsu onemocnění do 1 roku je prognóza velmi špatná a je nutné použít jiné léky, než byly použity při iniciální léčbě. Pokud je interval relapsu další, závisí léčebný postup na míře agresivity onemocnění. (Adam, Vorlíček, 2001, s. 236)

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Metodika vypracování práce

Pro svou praktickou část bakalářské práce jsem si zvolila pozorování a popis průběhu vyšetření při celotělové scintigrafii s ^{99m}Tc -MIBI, které je využíváno pro průkaz rezidua či metastáz karcinomu štítné žlázy a pro diagnostiku mnohočetného myelomu. Druhým popsáním vyšetřením je subtrakční scintigrafie příštítných tělísek pro adenom využívající taktéž ^{99m}Tc -MIBI společně s ^{99m}Tc -pertechnetátem sodným.

Cílem této části je popsat průběh daných vyšetření, přípravu a informování pacienta a způsoby radiační ochrany při daných vyšetřeních.

Praktická část byla vypracována na Oddělení nukleární medicíny během mé odborné praxe ve FN Hradec Králové, kde mi bylo umožněno pořídit potřebné fotografie a získat potřebné materiály a informace k vypracování této části.

3.2 ^{99m}Tc -pertechnetát sodný/ ^{99m}Tc -MIBI subtrakční scintigrafie příštítných tělísek

Toto vyšetření je využíváno k zobrazení adenomů, karcinomů či hyperplastických příštítných tělísek. ^{99m}Tc -MIBI je v těchto patologiích akumulováno, zatímco pertechnetát je akumulován pouze ve štítné žláze.

3.2.1 Příprava pacienta

Před tímto vyšetřením je třeba minimálně 14 dní, nejlépe měsíc vysadit léky obsahující jód. Je nutné pacienta upozornit, aby po dobu dvou měsíců před vyšetřením neabsolvoval vyšetření, při kterých je podávána jodová kontrastní látka (CT, skiaskopie). V den vyšetření může pacient jíst i pít.

V den vyšetření se pacient dostaví na objednaný čas na oddělení nukleární medicíny, obdrží v kartotéce informovaný souhlas, který obsahuje stručný průběh vyšetření, případná rizika spojená s tímto vyšetřením a seznam alergií. Pro možnost absolvování vyšetření je nutné, aby si pacient informovaný souhlas přečetl, pravdivě vyplnil a podepsal. Pacient je upozorněn, aby po vyšetření více pil (kvůli rychlejšímu vyloučení radioaktivní látky z těla) a vyhýbal se kontaktu s malými dětmi a těhotnými ženami, jelikož představuje zdroj radioaktivního záření.

3.2.2 Příprava radiofarmak

Pro toto vyšetření je využíváno dvou radiofarmak, jejichž společným radionuklidem je technecium ^{99m}Tc . To je získáváno farmaceuty z generátoru $^{99}\text{Mo} - ^{99m}\text{Tc}$, který je umístěn v čistých prostorech úseku radiofarmak. Radiofarmaka jsou chystána těsně před daným vyšetřením. Velikost aktivity radiofarmaka je optimalizována na váhu pacienta. Kontrola aktivity před vlastním podáním pacientovi probíhá pomocí studnové ionizační komory (viz výše.)

3.2.3 Průběh vyšetření

Pacient přichází po vyzvání radiologického asistenta do vyšetřovací místnosti. Ještě před příchodem je mu doporučeno, aby se vymočil z důvodu délky vyšetření. Při příchodu je požádán, aby předložil žádanku na dané vyšetření. Po pozitivní identifikaci, kterou provede radiologický asistent (jméno, příjmení, rodné číslo) je vyzván, aby si odložil všechny kovové předměty z oblasti hlavy a krku (řetízky, náušnice, kovové sponky, brýle). Radiologický asistent zadá informace o pacientovi do počítače (jméno, příjmení, rodné číslo, váhu, výšku a pohlaví pacienta) a zvolí typ daného vyšetření. Po zadání těchto údajů se otevře vyšetřovací protokol.

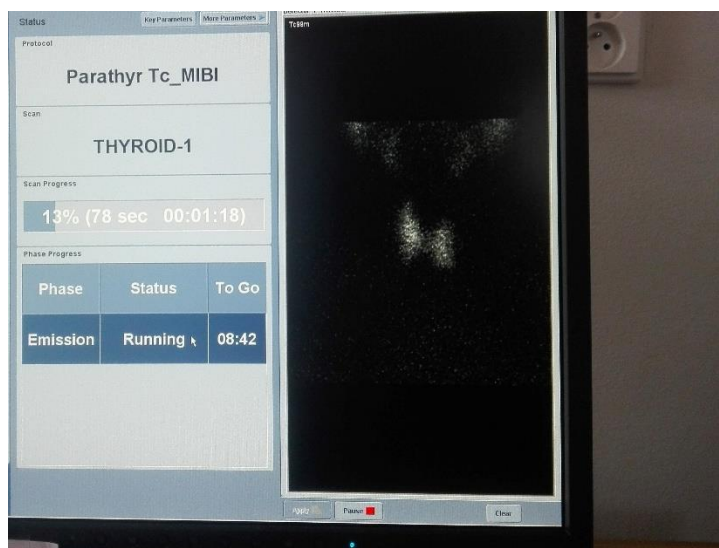
Poté, co je pacient seznámen s průběhem vyšetření, uložen na záda, hlava směřuje do gantry, ruce má podél těla fixované speciálními popruhy. Po uložení a nastavení pacienta do žádané polohy je lékařem intravenózně naaplikováno první radiofarmakum – pertechnetát technecia. Místo aplikace a čas aplikace radiofarmaka zaznamená lékař na druhou stranu informovaného souhlasu.



Obrázek 22 Uložení pacienta při subtrakční scintigrafii – první SPECT (foto autor)

Za 10 minut od aplikace radiofarmaka je spuštěn SPECT na oblast štítné žlázy. Během tohoto procesu se desky okolo pacienta pomalu otáčejí po zvolených stupních a jsou vytvářeny 3D scintigramy.

Po SPECT ihned následuje vytvoření statických planárních snímků, které trvá 10 minut. Je nesmírně důležité, aby se pacient po celou dobu vyšetření nehýbal, jelikož po skončení vyšetření jsou od sebe výsledné scintigramy „odečítány“.



Obrázek 23 první statická scintigrafie, následuje po SPECT (foto autor)

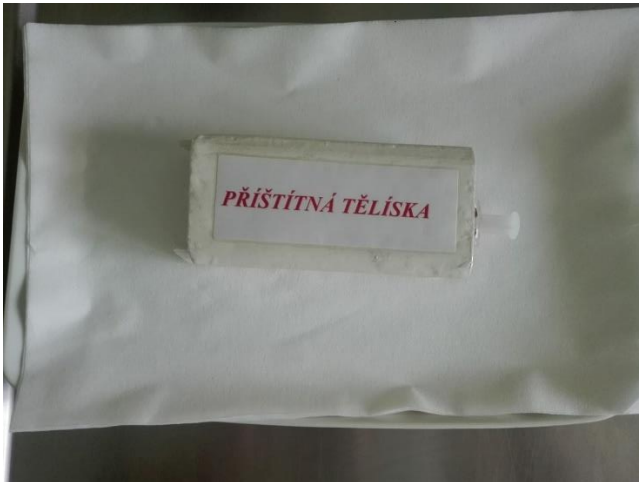
Po ukončení statického vyšetření je na vyšetřovacím stole pacientovi lékařem aplikováno druhé radiofarmakum – ^{99m}Tc -MIBI za asistence radiologického asistenta, taktéž intravenózně. Opět je nutné pacienta upozornit, aby se nehýbal a zůstal v klidu ležet. Lékař opět zaznamená informace o místě vpichu a času na zadní stranu informovaného souhlasu.



Obrázek 24 Intravenózní aplikace ^{99m}Tc -MIBI (foto autor)

Před aplikací je injekční stříkačka s radiofarmakem uložena v olověném krytu z důvodu eliminace radioaktivního záření. Kryt je označen názvem vyšetřované tkáně nebo orgánu. 10

minut od aplikace druhého radiofarmaka je opět prováděno statické vyšetření na oblast štítné žlázy



Obrázek 25 Olověný kryt s injekční stříkačkou (foto autor)

Po statickém vyšetření následuje SPECT/CT dané oblasti. Při provedení CT je nutné zapsat dávku, kterou pacient obdržel. Při SPECT i CT se detektory opět kolem pacienta otáčí.



Obrázek 26 Druhý SPECT, po kterém následuje CT (foto autor)

Po ukončení této série pacient odchází z vyšetřovny. Před odchodem je znovu upozorněn, aby se vyhýbal zejména malým dětem a těhotným ženám a je mu sdělen čas, na který se má dostavit zpět na vyšetřovnu. Radiologický asistent uzavře protokol, ale zatím ho neposílá, aby mohl být přístupná k dalšímu zpracování

Za 2 hodiny od aplikace MIBI přichází pacient zpět, položí se opět na záda, hlavou do gantry, ruce podél těla a je prováděna statická scintigrafie na oblast štítné žlázy, tzv. „wash out“

scintigrafie. ^{99m}Tc -MIBI je pomaleji vyplavováno z adenomů, rychleji ze štítné žlázy. Proto jsou adenomu zobrazeny jako ložiska zvýšené akumulace radiofarmaka.

Po ukončení statické scintigrafie je protokol definitivně uzavřen a odeslán do PACSu (archiv zobrazovacích metod nemocnice). Pacient opouští vyšetřovnu, znovu je upozorněn na omezení lidského kontaktu, je mu doporučen zvýšený přísun tekutin. Kromě těchto doporučení není pacient po vyšetření jinak omezen.

3.3 Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc -MIBI

Indikacemi k provedení tohoto vyšetření je vyhledávání reziduí a metastáz při zvýšené hladině tyreoglobulinu při negativní radiojodové scintigrafii, dlouhodobé sledování pacientů s karcinomem štítné žlázy a k diagnostice mnohočetného myelomu.

3.3.1 Příprava pacienta

Výhodou pro pacienty s onemocněním štítné žlázy je, že nemusí vysazovat hormony štítné žlázy. Příprava pacienta z hlediska zdravotních omezení proto není nutná.

Při příchodu na oddělení nukleární medicíny pacient obdrží informovaný souhlas, který zahrnuje stručný popis vyšetření, případná rizika spojená s vyšetřením, omezení po vyšetření a možné alergie. Pacient musí souhlas přečíst, pravdivě vyplnit a podepsat, poté je možné provést vyšetření.

Po vyplnění informovaného souhlasu pacient odchází na aplikační místnost, kde je lékařem znovu tážán na možné alergie, u žen ve fertilním věku na těhotenství a případné kojení. Je mu doporučen zvýšený příjem tekutin a omezení kontaktu z těhotnými ženami a dětmi na minimum. Za asistence radiologického asistenta lékař pacientovi aplikuje intravenózně radiofarmakum (nejčastěji do kubitální žíly).

3.3.2 Příprava radiofarmaka a jeho aplikace

Radiofarmakum je vyráběno před vyšetřením radiofarmaceuty pomocí ^{99m}Tc získaného pomocí ^{99}Mo - ^{99m}Tc generátoru v digestoři čistých prostor úseku radiofarmak. Radiofarmaka jsou chystána těsně před daným vyšetřením. Velikost aktivity radiofarmaka je optimalizována na váhu pacienta. Kontrola aktivity před vlastním podáním pacientovi probíhá pomocí studnové ionizační komory (viz výše.)

Po aplikaci radiofarmaka lékař zapíše čas, místo a způsob aplikace na druhou stranu informovaného souhlasu a vše stvrdí svým podpisem. Tímto podpisem potvrzuje, že pacienta poučil, provedl aplikaci radiofarmaka a schválil lékařské ozáření. Použité jehly a injekční

stříkačky jsou vhazovány do olověných kontejnerů. Po aplikaci radiofarmaka pacient odchází do čekárny, kde vyčká 10–15 minut. Po uplynutí této doby je vyzván radiologickým asistentem, aby se došel vymočit na toaletu (z důvodu délky vyšetření i kvality vzniklých scintigramů).

3.3.3 Průběh vyšetření

Po příchodu do vyšetřovny je pacient tázán na jméno, příjmení a rodné číslo z důvodu záměny pacientů. Po identifikaci a předložení žádanky je radiologickým asistentem vyzván, aby si odložil všechny kovové předměty. Mezitím RA vyplní protokol o pacientovi zadáním identifikačních údajů, výšky a váhy pacienta, zvolí typ vyšetření a polohu pacienta.

Po zadání informací RA požádá pacienta, aby se položil na vyšetřovací stůl na záda. Při vyšetření na oblast štítné žlázy se položí hlavou směrem do gantry, jelikož je scintigrafie zahajována vyšetřením SPECT/CT na oblast krku a mediastina. Při diagnostice mnohočetného myelomu je pacient uložen hlavou na opačnou stranu. Po uložení pacienta následuje jednoduchý popis vyšetření, např.: *„Stůl, na kterém jste uložen, s Vámi bude postupně vyjíždět ven. Desky, které jsou nad Vámi, se hodně přiblíží, ale nedotknou se Vás. Pokud se cítíte nepříjemně, můžete zavřít oči. Toto vyšetření je nebolestivé, Vaším úkolem je pouze klidně ležet a nehýbat se. Je možné, že bude lékařem požadováno detailnější zobrazení patologie, v tom případě se kolem Vás budou desky otáčet.“*

Po vysvětlení je spouštěno snímání z přední a zadní projekce, které trvá zhruba 30 minut. Po ukončení je vyšetření většinou doplňováno SPECT/CT, které poskytne podrobnější informace o patologii.



Obrázek 27 Uložení pacienta při celotělové scintigrafii s ^{99m}Tc -MIBI (foto Lucie Zezulová)

Při průkazu rezidua či metastáz karcinomu štítné žlázy je vyšetření zahajováno SPECT/CT na oblast krku a mediastina. Při CT vyšetření musí být všechny dveře do místnosti uzavřeny, radiologický asistent je povinen zapsat dávky, které pacient při CT obdržel. Doba trvání SPECT/CT se pohybuje v rozmezí 5-10 minut. Poté následuje průběžný záznam při kontinuálním průběhu stolu. Po vyšetření pacient odchází domů.



Obrázek 28 SPECT na oblast krku a mediastina následovaný CT vyšetřením (foto Lucie Zezulová)



Obrázek 29 Ovladač gamakamery Infinia Hawkeye (foto autor)

Při práci na oddělení nukleární medicíny je třeba dbát zásad radiační ochrany. Nejdůležitějšími principy je ochrana vzdáleností, časem a stíněním. Ochrana stíněním je využívána při aplikaci radiofarmaka na aplikačních místnostech. Je nutné mít na paměti, že pacient je zdrojem radioaktivního záření nejen pro sebe, ale i pro své okolí. Proto u pacientů setrváváme jen po dobu nezbytně nutnou, v co nejvíce možné dosažitelné vzdálenosti a během průběhu vyšetření zůstáváme v ovladovně, odkud je pacient nepřetržitě sledován.

Je také důležité mít na paměti, že nukleární medicína by nemohla fungovat bez úzké spolupráce radiologických asistentů, lékařů, farmaceutů, radiologických fyziků, zdravotních sester a dalšího personálu. Průběh vyšetření řídí lékař, který vydává pokyny RA, který podle jeho požadavků jedná. Lékař také aplikuje dané radiofarmakum a po provedení vyšetření hodnotí a popisuje vzniklé scintigramy. Závěry vyšetření odesílá lékaři, který si je objednal.

4 DISKUZE

Pro zhodnocení důležitosti scintigrafických metod je potřebné porovnat tyto metody s jinými zobrazovacími a diagnostickými metodami z hlediska diagnostického, z hlediska radiační zátěže, a to s RTG, CT, MR a UZ. Dalším hlediskem je i dostupnost jednotlivých metod včetně ekonomické.

Vyhodnocení radiační zátěže je provedeno pomocí hodnot efektivní dávky. Je přehledně zobrazeno v tabulce č. 2 a graficky znázorněno v grafu č. 1. Hodnoty efektivních dávek, které srovnáváme, jsou pro uvedené zobrazovací metody platné pro dospělého pacienta o váze 70kg.

Pro porovnání radiační zátěže pomocí veličiny efektivní dávky byla vybrána vyšetření nukleární medicíny popsaná v praktické části a jim odpovídající vyšetření jinými metodami. Nukleární medicínu tedy zastupuje subtrakční scintigrafie příštítných tělísek za použití ^{99m}Tc -pertechnetátu sodného a ^{99m}Tc -MIBI a celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc -MIBI. Skiagrafické metody jsou interpretovány pomocí PA projekce srdce a plic, která je nejžádanější projekcí na rentgenologických pracovištích, z hlediska výpočetní tomografie se jedná o CT hrudníku, břicha a pánve. Intervenční radiologie je zastoupená výkonem TIPS. Informace o daných dávkách z radiodiagnostiky jsou čerpány z uvedené literatury. V nukleární medicíně jsou hodnoty aplikované aktivity vázány místními radiologickými standardy platnými pro konkrétní typ vyšetření, radiofarmakum a použitou gama kameru. Je v nich uvedena efektivní dávka na jednotku aplikované aktivity (mSv/MBq) a orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou na jednotku aplikované aktivity (mGy/MBq).

- **Subtrakční scintigrafie příštítných tělísek ^{99m}Tc -pertechnetát sodný/ ^{99m}Tc -MIBI**

Aplikovaná aktivita je 70 MBq. Odhad efektivní dávky pro ^{99m}Tc -technecistan dle MRS je 0,013 mSv/MBq. Prostým vynásobením těchto hodnot získáme výslednou radiační zátěž pro pacienta z daného radiofarmaka. Orgánem s nejvyšší absorbovanou dávkou je horní část tlustého střeva (0,057 mGy/MBq). (https://www.mzcr.cz/obsah/narodni-radiologicke-standardy-3050_3.html)

tj. $0,013 \times 70 = \underline{\underline{0,91 \text{ mSv}}}$

Po aplikaci technecistanu je aplikováno druhé radiofarmakum, a to ^{99m}Tc -MIBI. Aplikovaná aktivita tohoto radiofarmaka je 800 MBq, odhad efektivní dávky 0,009 mSv/MBq. Orgánem s nevyšším absorbovanou dávkou je žlučník (0,039 mGy/MBq). (https://www.mzcr.cz/obsah/narodni-radiologicke-standardy-3050_3.html)

tj. $0,009 \times 800 = \underline{\underline{7,2 \text{ mSv}}}$

Po sečtení těchto dvou výsledků je výsledná radiační zátěž pro pacienta **8,11 mSv**.

- **Celotělová scintigrafie s $^{99m}\text{Tc-MIBI}$**

Aplikovaná aktivita pro 70 kg pacienta je 800 MBq, odhad efektivní dávky je 0,009 mSv. Orgánem s nevyšším absorbovanou dávkou je žlučník (0,039 mGy/MBq). (https://www.mzcr.cz/obsah/narodni-radiologicke-standardy-3050_3.html)

tj. $0,009 \times 800 = \underline{\underline{7,2 \text{ mSv}}}$

- **RTG plic – PA projekce**

Rentgen plic v zadopřední projekci bývá rutinním vyšetřením na radiodiagnostických odděleních, odhad efektivní dávky je **0,02 mSv**. (<https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni>)

- **CT hrudníku**

CT hrudníku je dalším velmi využívaným vyšetřením na oddělení radiodiagnostiky. Při tomto vyšetření vznikají obrazy jako průřez tkáně. Odhad efektivní dávky je **8 mSv**. (<https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni>)

- **CT břicha**

Toto vyšetření je prováděno jak v nativní formě (bez podání kontrastní látky), tak s podáním kontrastu. Odhad efektivní dávky pro pacienta je **10 mSv**. (<https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni>)

- **CT pánve**

Odhad efektivní dávky u tohoto vyšetření je **7,4 mSv**. (<https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni>)

- **TIPS**

Zavedení TIPSu transjugulárního intrahepatického portosystémového shuntu je využíváno u pacientů s portální hypertenzí a při krvácení jícnových či žaludečních městek. Jde o zavedení stentu, popřípadě stentgraftu, který slouží jako spojka mezi jaterní a portální žilou. Odhadovaná efektivní dávka při použití ClarityIQ systému je **19,1 mSv**. (<http://www.cesradiol.cz/detail.php?stat=458>)

Z tabulky 2 i grafu 1 je patrné, že radiační zátěž pro pacienta není při vybraných scintigrafických vyšetřeních zanedbatelná. Radiační zátěž pacienta z uvedených vyšetření v NM je srovnatelná i vyšší než uvedená CT vyšetření. Pro pacienta nejnáročnější metodou z hlediska radiační zátěže je metoda TIPS, kdy je efektivní dávka odhadována na 19,1 mSv, což je dvojnásobek efektivní dávky, kterou pacient obdrží při vybraných vyšetřeních NM.

Velkou výhodou je ovšem možnost zobrazení celého těla. ^{99m}Tc -MIBI představuje ideální prostředek pro sledování onkologických pacientů, kteří podstupují vyšetření v pravidelných intervalech s minimálním možným rizikem. Další výhodou je možnost 3D zobrazení pomocí SPECT, které pacienta nezatěžuje další radiační dávkou, pokud není doplněno o CT.

Nevýhodou scintigrafie je ovšem fakt, že radiační zátěži není vystavován pouze pacient, ale také personál, který je při vyšetření přítomen a bez něhož by vyšetření nebylo možné provést.

Rentgenologické vyšetření je levná i časově dostupná metoda. Z uvedené tabulky i grafu je možné posoudit radiační zátěž, která je pro pacienta rapidně nižší než při vybraných CT a scintigrafických vyšetřeních. Nevýhodou oproti scintigrafickým metodám je nemožnost zobrazení funkce tkáně nebo orgánu a všeobecně jsou (s výjimkou mamografie) pomocí RTG vyšetření zobrazovány pouze kosti.

Při CT vyšetření je výhodou detailnější zobrazení daných struktur, oproti scintigrafickým metodám, kdy je sice možnost doplnit vyšetření o CT, ale toto CT bývá tzv. *low-dose*, kdy dávka pro pacienta není tak vysoká. Získané informace mají výrazně nižší kvalitu než z klasického diagnostického CT. Účelem tohoto CT je však získání atenuačních koeficientů, které se využívají při rekonstrukci scintigrafického obrazu ze SPECT/CT, proto diagnostické informace nejsou stěžejní.

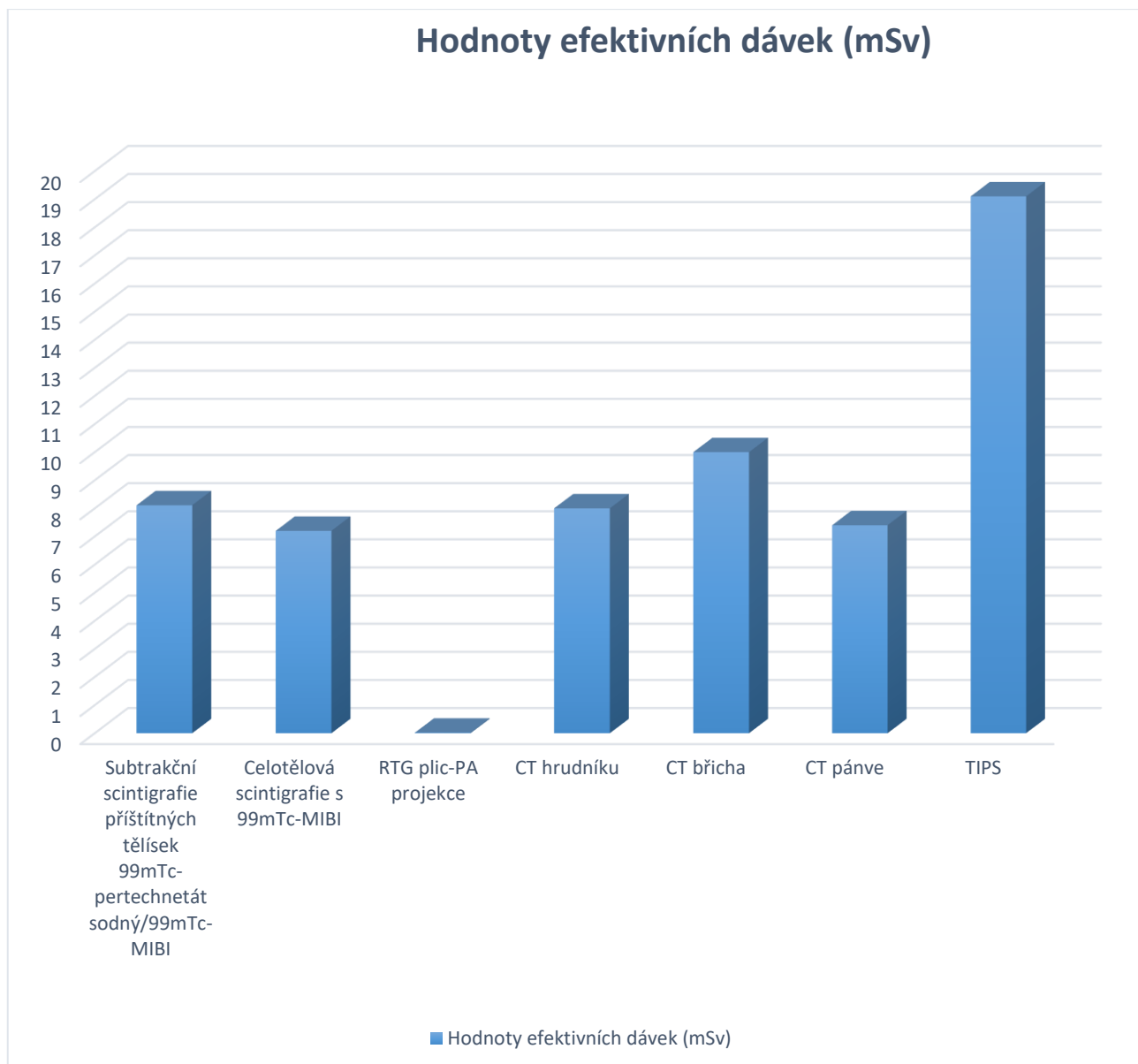
Magnetická rezonance představuje velmi detailní zobrazovací metodu s nulovou radiační zátěží pro pacienta. Nevýhodou je ekonomická náročnost vyšetření, dlouhá doba vyšetření a nemožnost vyšetřit všechny pacienty v důsledku kontraindikací, např. pacienti s MR nekompatibilním kardiostimulátorem nebo pacienti s kochleárními implantáty.

Ultrazvuk je vhodnou metodou pro zobrazení nádorů v oblasti dutiny břišní a štítné žlázy. Je to levná, rychlá metoda, která představuje nulovou radiační zátěž pro pacienta. Využívá se především u dětí a u žen v těhotenství. Nevýhodou tohoto vyšetření je nedostatek kvalifikovaných lékařů a nemožnost určit přesnou polohu a prostorové uspořádání nádoru

stejně, jako při scintigrafických metodách. Při scintigrafii je ale možnost doplnění vyšetření o emisní tomografii, která nám tuto informaci poskytne.

Tabulka 2 Vybraná vyšetření a jejich radiační zátěž stanovená pomocí hodnot efektivních dávek

Vyšetření	Hodnoty efektivních dávek (mSv)
Subtrakční scintigrafie příštítných tělísek ^{99m}Tc-pertechnetát/^{99m}Tc-MIBI	8,11
Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc-MIBI	7,2
RTG plic-PA projekce	0,02
CT hrudníku	8
CT břicha	10
CT pánve	7,4
TIPS	19,1



Graf 1 Radiační zátěž pacientů u vybraných vyšetření

5 ZÁVĚR

V teoretické části jsou popsány základní principy zobrazování v nukleární medicíně. Čtenáři je představen obor nukleární medicíny, základní přístrojová technika používaná v tomto oboru, kategorizace pracovišť na nukleární medicíně a také příprava a výroba radiofarmak se zaměřením na ^{99m}Tc -MIBI.

Obsáhlejší část teoretické části je zaměřena na detailnější popis štítné žlázy, příštítných tělísek a mnohočetného myelomu. Tato témata jsou popsána z hlediska patologií, jejich diagnostiky (vhodnosti jednotlivých zobrazovacích metod), léčby a případného monitorování pacientů po ukončení léčby.

Praktická část přibližuje tři důležitá vyšetření SPECT/CT nádorů s ^{99m}Tc -MIBI na oddělení nukleární medicíny z pohledu radiologického asistenta. Jde o diagnostiku mnohočetného myelomu, follow-up karcinomu štítné žlázy a scintigrafii příštítných tělísek. Popisuje průběh jednotlivých vyšetření od objednání pacienta, jeho informování, přípravu před vyšetřením a průběh daného vyšetření. Pro lepší představivost a orientaci je tato část doplněna fotografiemi pořízenými ve FN Hradec Králové na oddělení nukleární medicíny.

Diskuse je zaměřena na zhodnocení radiační zátěže, diagnostický přínos u popsáných scintigrafických metod a porovnání jejich výhod a nevýhod s jinými zobrazovacími diagnostickými metodami.

Nukleární medicína je rychle se rozvíjející obor, který hraje významnou roli v diagnostice a sledování průběhu nádorových onemocnění. Ve spolupráci s ostatními metodami tvoří funkční celek, který pomáhá odhalit nádorová onemocnění v raném stádiu a zajišťuje tak lepší prognózu pro pacienty s touto diagnózou.

6 POUŽITÁ LITERATURA

1. ADAM, Z., J. VANÍČEK a J. VORLÍČEK. *Diagnostické a léčebné postupy u maligních chorob*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0896-5.
2. ADAM, Zdeněk a Jiří VORLÍČEK. *Hematologie*. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-247-0116-2.
3. BECKER, Horst D. *Chirurgická onkologie*. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0720-9.
4. JIRÁK, Zdeněk. *Fyziologie pro bakalářské studium na ZSF OU*. Ostrava: Ostravská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2005. ISBN 80-7368-092-0.
5. KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
6. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. *Radiofarmaka*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012. ISBN 978-80-7464-183-1.
7. KRŠKA, Zdeněk, David HOSKOVEC a Luboš PETRUŽELKA. *Chirurgická onkologie*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4284-7.
8. KUPKA, K., J. KUBINYI a M. ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 6.vyd. V Praze: P3K, 2015. ISBN 978-80-8734-354-8.
9. MÍKOVÁ, Vlasta, ed. *Nukleární medicína: průřez vyšetřovacími metodami v oboru nukleární medicína*. Praha: Galén, 2008. ISBN 978-80-7262-533-8.
10. MUNTAU, Ania. *Pediatric*. 2. české vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-4588-6.
11. MYSLIVEČEK, M., P. KORANDA a V. HUŠÁK. *Nukleární medicína v diagnostice nádorů a zánětů*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002. ISBN 80-244-0509-1.
12. MYSLIVEČEK, Miroslav. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-244-1723-3.
13. PORŠOVÁ-DUTOIT, Irena. *Endokrinologie v praxi*. Praha: Grada, 1996. ISBN 80-7169-220-4.
14. ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.

Internetové zdroje

15. Bulletin RENTGEN: *Státní ústav radiační ochrany*. Praha, září 2009. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/publikace/lekarske-ozareni>
16. DABIRI Shahram. 99mTc-MIBI Scintigraphy Versus 131I Whole Body Scan in the Follow-up of Patients with Differentiated Thyroid Carcinoma. *Journal of Medical*

- Sciences*, [online]. 2006, 6: 806-811. Dostupné z:
<http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jms/2006/806-811.pdf>
17. DOLEŽAL, Jiří. *Endokrinologie* [online]. 2017 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z:
<https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>
 18. DOLEŽAL, Jiří. *Fyzika* [online]. 2017 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z:
<https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>
 19. DOLEŽAL, Jiří. *Onkologie* [online]. 2017 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z:
<https://portal.upce.cz/portal/studium/moje-studium/studijni-materialy.html>
 20. HNÍZDIL, Luděk. Adenom příštítného těliska. *Onkologie* [online]. 2013, 7 (5), 252-255 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z:
<https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2013/05/12.pdf>
 21. MYSLIVEČEK, M., NEKULA, J., BAČOVSKÝ, J. Zobrazovací metody v diagnostice a sledování mnohočetného myelomu. *Vnitřní Lékařství* [online]. 2006, **52**, 46–54 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.myeloma.cz/res/file/archiv/brozura-jak-neprosvihnout-myelom/Zobrazovaci-metody-v-diagnostice-a-sledovani-mnohocetneho-myelomu.pdf>
 22. Scintigrafie pomocí ^{99m}Tc-MIBI v diagnostice mnohočetného myelomu: senzitivní ukazatel biochemické aktivity choroby. *Časopis Klinická onkologie* [online]. 2004, **17**(1) [cit. 2018-04-26]. ISSN 1802-5307. Dostupné z:
<https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/10/131.pdf>
 23. SNÍŽENÍ RADIAČNÍ ZÁTĚŽE PŘI ANGIOGRAFICKÝCH VÝKONECH S VYUŽITÍM SYSTÉMU ClarityIQ. *Česká radiologie* [online]. 2014, **68**(2), 148-152 [cit. 2018-05-01]. ISSN 1210-7883. Dostupné z:
<http://www.cesradiol.cz/detail.php?stat=458>
 24. SÚJB. *Doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/ICRP103_dokument.pdf
 25. SÚJB. *Vyhláška 422/2016 Sb.* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z:
<https://www.sujb.cz/legislativa/nove-atomove-pravo/>
 26. ŠČUDLA, V., HEŘMAN, M., MYSLIVEČEK, M. Současné možnosti diagnostiky myelomové kostní nemoci. *Onkologie* [online]. 2011, **5**(3), 131-137 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2011/03/03.pdf>
 27. ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>

28. ULLMANN, Vojtěch. *Detekce a spektrometrie ionizujícího záření* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>
29. ULLMANN, Vojtěch. *NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/CoJeNuklMed.htm>
30. ULLMANN, Vojtěch. *Radioisotopová scintigrafie* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>
31. *Veličiny používané v radiační ochraně* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/15/155.html>
32. VĚSTNÍK MZ ČR. *Národní radiologické standardy – nukleární medicína*. Praha, 2016. Dostupné z: https://www.mzcr.cz/obsah/narodni-radiologicke-standardy-_3050_3.html
33. *Vyhláška č. 39/2005 Sb.* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-39>