UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017 Tereza Nezdařilová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

SPECT/CT zobrazení nádorů štítné žlázy – úloha radiologického asistenta

Tereza Nezdařilová

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: **2015/2016**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Tereza Nezdařilová**
Osobní číslo:	**Z14126**
Studijní program:	**B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor:	**Radiologický asistent**
Název tématu:	**SPECT/CT zobrazení nádorů štítné žlázy - úloha radiologického asistenta**
Zadávající katedra:	**Katedra informatiky, managementu a radiologie**

Zásady pro vypracování:

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

Rozsah 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. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. Radiofarmaka. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012. ISBN 978-80-7464-183-1.
3. NAŇKA, Ondřej, Miloslava ELIŠKOVÁ a Oldřich ELIŠKA. Přehled anatomie. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-612-0.
4. VLČEK, Petr a Jan NEUMANN. Karcinom štítné žlázy: pooperační sledování nemocných. Praha: Maxdorf, 2002. ISBN 80-85912-50-3.
5. VOTRUBOVÁ, Jana. Klinické PET a PET/CT. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-619-9.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kulíř**
Katedra informatiky, managementu a radiologie

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. května 2017**

prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.
děkan

L.S.

Věra Záhorová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 27. února 2017

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární parametry 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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 1. 5. 2017

Tereza Nezdařilová

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jiřímu Kulíři za odbornou pomoc při psaní mé práce. Velmi oceňuji jeho drahocenné rady a připomínky poskytnuté při zpracování a také věnovaný čas a ochotu. Další mé velké poděkování patří kolektivu na nukleární medicíně ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové za poskytnutí informací a fotodokumentace pro vypracování teoretické i praktické části mé práce. V neposlední řadě patří poděkování mé rodině a blízkým, kteří mě po celou dobu studia na vysoké škole podporovali a byli mi oporou.

ANOTACE

Tématem bakalářské práce je úloha radiologického asistenta při vyšetření SPECT/CT a zobrazení nádorů štítné žlázy. Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část se věnuje oboru radiologický asistent, obecně nukleární medicíně, přístrojové technice, radiační ochraně, anatomii a fyziologii štítné žlázy, scintigrafickým vyšetřením štítné žlázy a terapii štítné žlázy. Praktická část popisuje úlohu radiologického asistenta u SPECT/CT vyšetření karcinomu štítné žlázy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Radiologický asistent, štítná žláza, scintigrafie, radiofarmaka

TITTLE

SPECT / CT imaging of thyroid cancer - the role of radiological assistant

ANNOTATION

The theme of this bachalor thesis is the role of a radiological assistant during SPECT/CT examination and a display of thyroid gland tumor. The thesis is devided into two parts, theoretical and practical one. The theoretical part focuses on subject Radiological assistant, nuclear medicine in general, device technology, protection from radiation, anatomy and physiology of thyroid gland, scintigraphic examination of thyroid gland and its therapy. Practical part of the thesis describes the role of radiological assistant during SPECT/CT examination of thyroid gland carcinoma.

KEY WORDS

Radiological assistant, thyroid gland, scintigraphology, radiopharmacy

OBSAH

ÚVOD 12

CÍL 13

Teoretická část 14

1 Úloha radiologického asistenta 14

1.1 Historie oboru 14

1.2 Radiologický asistent 14

1.2.1 Pracovní náplň 15

1.2.2 Činnost radiologického asistenta 15

2 Nukleární medicína 17

2.1 Pracoviště nukleární medicíny 17

2.2 Prostorové vybavení a uspořádání pracoviště 17

2.3 Uspořádání pracovišť s ionizujícím zářením z hlediska radiační ochrany 19

3 Fyzikální charakteristiky radionuklidů 20

3.1 Druhy radioaktivní přeměn 20

3.2 Požadavky na radionuklidy 21

4 Radiofarmaka 22

4.1 Definice radiofarmaka 22

4.2 Zdroje radionuklidů 22

4.2.1 Výroba v jaderném reaktoru 22

4.2.2 Výroba v urychlovači 22

4.2.3 Získávání z generátorů 23

4.3 Aplikační formy radiofarmak 23

4.4 Hodnocení jakosti 24

5 Radiační ochrana 25

5.1 Obecné zásady 25

5.2 Radiační limity 26

5.3 Radiační ochrana pracovníků 26
5.4 Biologické účinky deterministické a stochastické 27
5.4.1 Deterministické účinky 27
5.4.2 Stochastické účinky 27
6 Přístrojová technika v nukleární medicíně 28
6.1 Zařízení pro osobní a ochrannou dozimetrii 28
6.2 Přístroje pro měření radioaktivity látek 28
6.3 Přístroje pro detekci ionizujícího záření 29
6.3.1 Gamakamera 30
6.3.2 Scintigrafie 32
6.3.3 SPECT 33
6.3.4 PET 34
7 Diagnostické metody 36
7.1 Vyšetření in vitro 36
7.2 Vyšetření in vivo 36
8 Štítná žláza 37
8.1 Anatomický popis 37
8.2 Fyziologie 37
8.3 Nádory štítné žlázy 37
8.3.1 TNM klasifikace nádorů 37
8.4 Vyšetření štítné žlázy 39
8.4.1 Funkční vyšetření štítné žlázy 39
8.4.2 Akumulační test radiojodem ^{131}I 39
8.4.3 Morfologické vyšetření štítné žlázy 40
8.4.4 Scintigrafie štítné žlázy 40
9 Terapie onemocnění štítné žlázy 42
9.1 Terapie otevřenými zářiči 42

9.2 Terapie hypertyreóz 42
9.3 Diagnostika a terapie diferencovaných karcinomů štítné žlázy 43
9.3.1 Charakteristika ^{131}I 45
9.3.2 Biokinetika radiojódu v těle 45
9.3.3 Průběh hospitalizace 46
Praktická část 47
10 Zobrazovací metody 47
10.1 Celotělová scintigrafie s ^{131}I 47
10.2 Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc-MIBI 51
11 DISKUZE 53
11.1 Léčba radiojódem 53
12 Závěr 55
13 Seznam použitých zdrojů 56

SEZNAM FOTOGRAFIÍ

Fotografie 1 Ovladovna 47
Fotografie 2 Přístroj SPECT/CT 48
Fotografie 3 Kolimátory 49
Fotografie 4 Žluté značení 49
Fotografie 5 Uložení pacienta.....50
Fotografie 6 Ovladač kamery 51
Fotografie 7 Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc-MIBI.....52

Seznam zkratek

ŠŽ - Štítná žláza

NM - Nukleární medicína

RA - Radiologický asistent

CT – Výpočetní tomografie

MRI – Magnetická rezonance

MBq - Megabequerel

IZ - Ionizující záření

T4 - Tyroxin

T3 - Trijodtyronin

keV - kiloelektonvolt

RF - Radiofarmakum

^{131}I - Radiojód

I - Jód

ÚVOD

Obecně jsou karcinomy štítné žlázy nejčastějšími nádory endokrinních žláz člověka. Maligní karcinomy štítné žlázy tvoří 1,3 % všech případů zhoubných nádorů. Právě malignímu onemocnění štítné žlázy podlehne 0,4 % lidí z celkového počtu jakéhokoliv maligního onemocnění (v celé populaci). Maligní karcinomy štítné žlázy se vyskytují dvakrát více u žen než u mužů. Hlavním nejznámějším rizikovým faktorem je vystavování nemocného ionizujícímu záření. Další významné jsou dědičné faktory či mutace v charakteristických genech, a také neléčení autoimunitní tyreoiditidy (zánět štítné žlázy).

Tato bakalářská práce se zaměřuje na zobrazení nádorů štítné žlázy pomocí SPECT/CT a je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. Začátek teoretické části vysvětluje úlohu radiologického asistenta, historii a vývoj oboru. Další část se věnuje obecnému popisu nukleární medicíny, fyzikálním přeměnám radionuklidů, dále radiofarmakům, radiační ochraně, přístrojové technice v nukleární medicíně a diagnostickým metodám. Na konci teoretické části se věnuji anatomii a fyziologii štítné žlázy, obecně nádorům, a také diagnostice a léčbě karcinomů štítné žlázy. Praktická část popisuje vyšetření pacienta s karcinomem štítné žlázy po terapii radiojódem a úlohu radiologického asistenta při daných vyšetřeních.

CÍL

Na základě studia odborné literatury a cenných poznatků z odborné praxe na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici Hradec Králové a DIMED, s. r. o. Chrudim, je cílem bakalářské práce popsat úlohu radiologického asistenta u zobrazení karcinomu štítné žlázy pomocí SPECT/CT.

Teoretická část

1 Úloha radiologického asistenta

1.1 Historie oboru

Pro rozvoj oboru radiologie byl rozhodujícím momentem objev paprsků X německým fyzikem Wilhelmem Konrádem Röntgenem (1845 - 1923) 8. listopadu 1895 ve Fyzikálním ústavu ve Würzbursku v Německu. Samotný objev byl proveden při pokusech s katodovými trubicemi. Tento epochální objev umožnil obrovský rozvoj medicínského oboru radiodiagnostika a díky zkonstruování dalších principiálně jiných diagnostických přístrojů se připojily další zobrazovací metody, jako jsou např. ultrasonografie, termografie, výpočetní tomografie, magnetická rezonance a hybridní přístroje využívané v nukleární medicíně. Proto lze konstatovat, že některé diagnostické metody a postupy zanikají a jiné se naopak vyvíjejí. Historie radiologického asistenta sahá až do přelomu 19. a 20. století. V této době byly zkonstruovány první funkční rentgenové přístroje. Zpočátku musel po druhé světové válce střední zdravotnický pracovník absolvovat po maturitě na střední odborné škole či na gymnáziu dvouleté nástavbové studium radiologický laborant. V devadesátých letech minulého století se stal radiologický laborant na vyšších odborných školách diplomovaným specialistou (DiS). V dnešní době jde o tříleté denní nebo kombinované vysokoškolské pomaturitní studium (s titulem Bc.) (13).

1.2 Radiologický asistent

Radiologický asistent (dále pouze RA) je nelékařský pracovník a jeho povolání přináší řadu požadavků společných pro všechny zdravotnické pracovníky. RA by měl být mimořádně citlivý s ohleduplným psychologickým přístupem k pacientovi, také ale toto povolání vyžaduje profesionalitu, exaktnost a racionalitu u vlastní odborné činnosti. Radiologický asistent pracuje u běžných vyšetření většinou samostatně, ale výsledek jeho práce je dotvořen teprve odpovídajícími diagnostickými závěry lékaře-radiologa, se kterým musí spolupracovat. Specifické pro RA je práce se zdroji ionizujícího záření či práce v silném magnetickém poli. Na RA se kladou vysoké požadavky na kvalitu odborných činností a musí mít hluboké teoretické i praktické znalosti, které musí během života prohlubovat (8, 13).

1.2.1 Pracovní náplň

„Vedení příslušné dokumentace. Provádění radiologických zobrazovacích i nezobrazovacích postupů, včetně podpůrných odborných činností směřující k přípravě, realizaci a interpretaci těchto postupů. Provádění ozařovací techniky na základě předpisu odborného lékaře včetně podpůrných odborných činností související s přípravou a realizací těchto technik. Spolupráce s ostatními specialisty a zdravotnickými pracovníky včetně předávání informací o daném lékařském ozáření. Provádění a vyhodnocování rutinních zkoušek provozní stálosti ve všech typech zdravotnických radiologických pracovišť. Optimalizace radiační ochrany včetně posuzování indikovaných nebo požadovaných lékařských ozáření a navrhování příslušných opatření. Informování pacienta, případně jeho zákonného zástupce, ošetřující sestru nebo porodní asistentku o prováděném radiologickém výkonu, rizicích souvisejících s lékařským ozářením a postupy k jejich snížení. Provádění specifické ošetřovatelské péče poskytované při radiologických postupech, aplikace léků případně i intravenózních diagnostik.“ (15)

1.2.2 Činnost radiologického asistenta

Činnost radiologického asistenta usměrňuje vyhláška č. 55/2011 Sb., o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků (konkrétně § 7).

„(1) Radiologický asistent vykonává činnosti podle § 3 odst. 1 a dále bez odborného dohledu a bez indikace může

a) provádět a vyhodnocovat zkoušky provozní stálosti zdrojů ionizujícího záření a souvisejících přístrojů ve všech typech zdravotnických radiologických pracovišť,

b) zajišťovat, aby lékařské ozáření nebylo v rozporu se zásadami radiační ochrany, a v rozsahu své odborné způsobilosti vykonávat činnosti při zajišťování optimalizace[14]) radiační ochrany, včetně zabezpečování jakosti,

c) vykonávat činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, pokud splní požadavky jiného právního předpisu[15]),

d) provádět specifickou ošetřovatelskou péči poskytovanou v souvislosti s radiologickými výkony,

e) přejímat, kontrolovat a ukládat léčivé přípravky[10]), manipulovat s nimi a zajišťovat jejich dostatečnou zásobu,

f) přejímat, kontrolovat a ukládat zdravotnické prostředky[11]) a prádlo, manipulovat s nimi a zajišťovat jejich dezinfekci a sterilizaci a jejich dostatečnou zásobu.

(2) Radiologický asistent může provádět jako aplikující odborník v obecně odůvodněných případech stanovených standardy bez odborného dohledu na základě požadavku indikujícího lékaře jednotlivé lékařské ozáření, a to

a) skiagrafické zobrazovací postupy včetně screeningových,

b) peroperační skiaskopii,

c) kostní denzitometrii; a nese za ně klinickou odpovědnost.

(3) 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

a) provádět radiologické zobrazovací postupy používané při lékařském ozáření,

b) asistovat a instrumentovat při postupech intervenční radiologie,

c) provádět léčebné ozařovací techniky,

d) provádět nukleárně medicínské zobrazovací i nezobrazovací postupy,

a za tuto část přebírá klinickou odpovědnost.

(4) Radiologický asistent bez odborného dohledu na základě indikace lékaře může

a) provádět léčebné a zobrazovací výkony, které využívají jiné fyzikální principy než ionizující záření,

b) aplikovat léčivé přípravky nutné k provedení výkonů podle písmene a) nebo podle odstavce 2 trávicím traktem, dýchacími cestami, formou podkožních, kožních a nitrosvalových injekcí.

(5) Radiologický asistent může aplikovat pod odborným dohledem lékaře intravenózní léčiva nutná k realizaci postupů podle odstavce 2 nebo odstavce 3 písm. a).

(6) Radiologický asistent může vykonávat pod odborným dohledem radiologického fyzika se specializovanou způsobilostí v radioterapii dílčí činnosti při plánování radioterapie.“ (16)

2 Nukleární medicína

Nukleární medicína je považovaná za samostatný lékařský obor, zabývající se aplikací radiofarmak otevřených zářičů pro diagnostické a terapeutické účely. Nukleární medicína je ve srovnání např. s radiodiagnostikou a MRI (magnetická rezonance) méně vhodná pro zobrazení anatomických struktur, ale má vynikající schopnost informovat o funkci orgánů, jejich fyziologii a patologii, o charakteru tkání a jejich metabolismu (3, 5).

2.1 Pracoviště nukleární medicíny

Práce s otevřenými radioaktivními zářiči klade důraz nejen na vybavení a úpravu pracoviště, ale vyžaduje i zvláštní požadavky na organizaci provozu. Od všech pracovníků se očekává přísné dodržování veškerých radiohygienických opatření, pracovních předpisů a postupů.

2.2 Prostorové vybavení a uspořádání pracoviště

Každé oddělení nukleární medicíny musí být v souladu s tzv. Atomovým zákonem a náležitými prováděcími předpisy. Projekty a způsobilost pracovišť pro ionizující záření schvaluje na návrh pracoviště SÚJB. Oddělení nukleární medicíny se rozděluje z důvodů ochrany a bezpečnosti práce a z důvodů provozních na část aktivní a část neaktivní.

Aktivní část je určena k veškerým pracím s radioaktivními zářiči, a to nejen v diagnostice a terapii pacientů, ale i při jakémkoliv dalším zacházení s těmito zářiči. Prostory aktivní části se dělí na kontrolované pásmo a sledované pásmo. Sledované pásmo se určuje tam, kde by se za běžného provozu mohly překročit obecné limity. Nároky na sledované pásmo jsou méně přísné než na kontrolované pásmo. Kontrolované pásmo se určuje tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně. Pracovat v kontrolovaném pásmu mohou pouze pracovníci kategorie A, kteří jsou odborně způsobilí, informováni o možném riziku práce a vybaveni osobními dozimetry. Aktivní část by měla být provozně seřazena podle tzv. „spádu aktivity“, tj. od prostorů s nejvyššími aktivitami používaných radiofarmak až po provozní prostory s nejnižšími používanými aktivitami.

Úsek radiofarmak slouží pro příjem, přípravu, skladování a předaplikační úpravu a měření aktivity včetně veškerých kontrolních úkonů a k likvidaci radioaktivního odpadu. V tomto úseku se pracuje s radiofarmaky, které mají nejvyšší aktivity (3, 5).

V úseku pro radionuklidové metody in vitro se naopak pracuje s nejnižšími aktivitami. V tomto prostoru se zpravidla nachází laboratoř pro měření a vyhodnocování vzorků radioaktivních biologických materiálů.

Úsek radionuklidové diagnostiky in vivo slouží k aplikaci radiofarmak pacientům, k provádění veškerých požadovaných vyšetření a k odběrům biologického materiálu potřebného k danému vyšetření. Aplikace radiofarmak provádíme intravenózně, subkutánně, perorálně, inhalačně nebo intrakavitálně. Inhalace radioaktivních aerosolů či plynů musí být prováděna ve zvláštním odděleném prostoru nebo místnosti s možností předepsané výměny vzduchu s venkovním prostředím (3, 5).

Lůžkový úsek slouží k hospitalizaci pacientů při terapii otevřenými zářiči. Oddělení je vybaveno speciálními jednolůžkovými pokoji s vlastním příslušenstvím, místností pro terapeutické aplikace a pro odběry značně radioaktivního biologického materiálu. Součástí lůžkového úseku musí být prádelna a sušárna kontaminovaného prádla pacientů a vymírací sklípek pro radioaktivní odpad. Kvůli svojí specifické provozní problematice, jakož i z důvodu vysokých aplikovaných aktivit a možnosti vyššího ozáření či kontaminace okolí, je důležité lůžkovou část situovat zcela separovaně a provoz v ní organizovat jako na uzavřeném oddělení.

V každém ambulantním provozu i na lůžkovém oddělení nukleární medicíny musí být umístěn vymírací box, což je oddělený prostor, kde jsou skladovány nepotřebné zbytky radioaktivních látek a dalších kontaminovaných materiálů určených k vyzáření a likvidaci. Některé pomůcky, jako speciální stínění na stříkačky, stínící boxy a olověné zástěry mohou být po vyzáření aktivity a důkladném proměření znovu připraveny k použití. Spotřební materiál je po vymření likvidován stejně jako materiální neradioaktivní. Generátor, který obsahuje pomalu se rozpadající radionuklidy, je odebírán výrobcem k recyklaci.

Neaktivní část zahrnuje pracovny vrchního laboranta či sestry, kanceláře, denní místnosti laborantů a další pomocné provozní místnosti a slouží také všem pracím, jež nevyžadují přímý kontakt s radioaktivním zářičem. Mezi aktivní a neaktivní částí je umístěn hygienický ochranný prostor, který slouží k oblékání a odkládání ochranného oděvu, k proměřování pracovníků a jejich oděvu k hygienické očistě a k případné dekontaminaci povrchu těla (3, 5).

2.3 Uspořádání pracovišť s ionizujícím zářením z hlediska radiační ochrany

Pracoviště s ionizujícím zářením se rozdělují do 4 kategorií:

1. I. kategorie
2. II. kategorie
3. III. kategorie
4. IV. kategorie

I. kategorie

Pracoviště I. kategorie pracuje s drobnými zdroji ionizujícího záření, jehož typ není schválen úřadem. Patří zde: kostní denzitometr, který není drobným zdrojem ionizujícího záření; veterinární nebo zubní rentgenové zařízení; kabinové rentgenové zařízení; technické rentgenové zařízení, které nespadá do kontrolovaného pásma.

II. kategorie

Pracoviště II. kategorie zachází s jednoduchým zdrojem, který nepatří do první kategorie. Patří zde: rentgenové zařízení určené k radiodiagnostice nebo radioterapii; mobilní defektoskop s uzavřeným radionuklidovým zdrojem; mobilní ozařovače s uzavřeným radionuklidovým zdrojem; technické rentgenové zařízení; kompaktní mimotělní ozařovač krve s uzavřeným radionuklidovým zdrojem.

III. kategorie

Do této kategorie patří: urychlovač částic; zařízení obsahující uzavřený radionuklidový zářič používaný k radioterapii; uznaný sklad.

IV. Kategorie

Do této kategorie řadíme jaderná zařízení (jaderné elektrárny) (18).

3 Fyzikální charakteristiky radionuklidů

3.1 Druhy radioaktivní přeměn

Během průběhu radioaktivní přeměny je z jader atomů emitováno záření, které při interakci s okolní hmotou její atomy excituje nebo ionizuje. Radioaktivní přeměny, při kterých vzniká ionizující záření, dělíme na několik druhů:

Přeměna α (alfa)

Přeměna α se objevuje pouze u radioaktivních izotopů prvků s protonovým číslem Z větším než 82. Při této přeměně jsou emitovány kladně nabité částice α, které se skládají ze dvou protonů a dvou neutronů. Dolet emitovaných částic alfa je velmi malý, zato ale silně ionizující. Ve tkáních je jejich dolet kolem 0,03 mm a ve vzduchu několik centimetrů.

Přeměna β^- (beta$^-$)

Při této přeměně z radioaktivního jádra atomu vychází záporně nabitý elektron a velmi malá neutrální částice neutrino. Emisí elektronu z jednoho neutronu dochází k jeho přeměně v proton, a tím se zvýší protonové číslo a nově vzniklý atom se v periodické tabulce prvků posune o jedno místo napravo. Částice beta$^-$ má větší dolet v řádech desítek centimetrů.

Přeměna β^+ (beta$^+$)

Tato přeměna je doprovázena emisí kladně nabitých elektronů = pozitronů. Jeden proton se v jádře mění na neutron. Vzniklý atom se v periodické tabulce prvků posune o jedno místo vlevo. Pozitron zaniká velmi rychle reakcí s elektronem za vzniku anihilačního záření. Toto záření je vytvářeno dvěma kvanty gama záření s energií 511 keV, které z místa anihilace letí v protilehlém směru. Oba fotony je možné detekovat, a tak využít této specificity pozitronových zářičů v nukleární medicíně na pracovišti vybaveném pozitronovou kamerou.

Záchyt elektronu

Při elektronovém záchytu proton v jádře zachytí elektron z atomového obalu a mění se na neutron. Prázdné místo po elektronu ve slupce obalu se zaplní elektronem z vyšší slupky a zároveň se uvolní foton charakteristického rentgenového záření (3, 11).

Přeměna γ (gama)

Záření gama je emitováno u přeměny beta. Děje se to v případě, že při radioaktivní přeměně je vzniklé dceřiné jádro v energeticky nabuzeném stavu. Tento excitovaný stav přechází ve velmi krátké době za doprovodu emise záření gama do základního stavu dceřiného jádra. Na rozdíl od záření alfa a beta, které má částicový charakter, má záření gama a charakteristické rentgenové záření povahu elektromagnetického vlnění, jež se skládá z fotonů. Při přeměně některých jader má jejich excitovaný stav v dceřiném jádře dlouhou dobu života. Tento stav se nazývá izomerní či metastabilní (3, 11).

3.2 Požadavky na radionuklidy

Z velkého počtu známých umělých radionuklidů jsou pro nukleární medicínu vhodné pouze radionuklidy cenově a výrobně dostupné, jejichž fyzikální charakteristiky jsou:

- druh emitovaného záření
- energie emitovaného záření
- fyzikální poločas přeměny (3, 11)

4 Radiofarmaka

4.1 Definice radiofarmaka

Radiofarmakum je léčivý přípravek, který obsahuje chemicky nebo biologicky aktivní látky, jejichž účinnou složkou je radionuklid, který je zdrojem ionizujícího záření. Radiofarmaka jsou aplikována pacientům na pracovištích nukleární medicíny z důvodů terapeutických nebo diagnostických. Kvůli přítomnosti radionuklidu se radiofarmaka odlišují od jiných farmak (4).

4.2 Zdroje radionuklidů

Radionuklidy, které se používají pro účely nukleární medicíny, jsou připravovány uměle v jaderném reaktoru nebo cyklotronu. Pro některé krátkodobé radionuklidy je významným zdrojem radionuklidový generátor. V nich samovolnou radioaktivní přeměnou mateřského prvku vzniká prvek dceřiný. Tento prvek je také radioaktivní a má náležité vlastnosti pro použití v nukleární medicíně.

4.2.1 Výroba v jaderném reaktoru

Radionuklidy vznikají v jaderných reaktorech dvěma procesy – jadernými reakcemi vyvolanými neutrony nebo se izolují ze štěpných produktů ^{235}U ozářeného v reaktoru. Prvním způsobem vznikají např. ^{99}Mo, ^{131}I, ^{51}Cr a ^{32}P, druhým způsobem také ^{99}Mo, ^{131}I a jiné. Protože v reaktoru je možné ozařovat velký počet materiálu, je výroba poměrně levná.

4.2.2 Výroba v urychlovači

Vhodný terčový materiál se ozařuje v urychlovačích nabitých částic protony, částicemi alfa aj., přičemž vznikají např. ^{111}In nebo pozitronové zářiče ^{18}F, ^{11}C, ^{15}O, ^{13}N (záleží na materiálu ozařovaného v terčíku). Výroba radionuklidů v cyklotronech je nákladnější než výroba v jaderných reaktorech.

U některých biogenních prvků jsou radioizotopy s extrémně krátkým poločasem rozpadu a připravují se v tzv. lékařských cyklotronech. Bývají umístěny na PET oddělení nukleární medicíny. S poločasem přeměny 109 minut, lze připravit ^{18}F. Díky takto dlouhému poločasu je možné převážet pozitronový zářič na delší vzdálenosti (4).

4.2.3 Získávání z generátorů

V radionuklidovém generátoru se mateřský radionuklid s delším poločasem přeměny samovolně mění na radionuklid dceřiný s krátkým poločasem přeměny. Tento vytvořený radionuklid je vhodný pro použití v nukleární medicíně.

Základem nejčastěji využívaného generátoru ^{99}Mo-^{99m}Tc je olovem stíněná kolonka ze skla, která obsahuje oxid hlinitý s absorbovaným molybdenanem amonným. U přeměny ^{99}Mo vzniká beta- rozpadem ^{99m}Tc jako technecistanový iont $^{99m}TcO_4$-. Ze sloupce nosiče se oddělí technecistan promytím generátoru fyziologickým roztokem do sterilní olovem stíněné vakuové lahvičky. Tato metoda se nazývá eluce. Použitelnost generátoru je závislá na jeho výchozí aktivitě, převážně se používá 1 týden, poté musí být nahrazen novým (4).

4.3 Aplikační formy radiofarmak

Radiofarmaka dělíme podle způsobu podání na parenterální, perorální, inhalační a aplikace do kloubů.

Parenterální (injekční) přípravky

V klinické praxi jsou nejpoužívanější radiofarmaka, která se aplikují parenterálně – intravenózně či subkutánně. Podle fyzikálního složení jsou podávány pravé roztoky, např.: technecistan sodný, koloidní disperze, např.:^{99m}Tc-nanokoloid a suspenzenapř.: makroagregáty albuminu značené ^{99m}Tc.

Perorální přípravky

Aplikují se jako roztoky, koloidy, emulze nebo tuhé látky. Ve skleněných lékovkách s propichovací zátkou jsou podávány tekuté přípravky. Mohou obsahovat stabilizační a bakteriostatické složky. Tuhé látky určené k perorálnímu užití se aplikují v želatinových tobolkách. Takto podávaný je nejčastěji jodid sodný (^{131}I) a kobalt (^{57}Co).

Inhalační přípravky

Mezi inhalační látky patří radioaktivní plyny, např. ^{81m}Kr, nebo některá radiofarmaka ve formě aerosolů vytvářených v nebulizátoru.

Aplikace do kloubů

Používají se injekční koloidy yttria (^{90}Y), rhenia (^{186}Re) a erbia (^{169}Er) k aplikaci do malých i velkých kloubů, tzv. radionuklidová synovektomie (4).

4.4 Hodnocení jakosti

Na radiofarmaka jsou kladeny stejné požadavky jako na ostatní léčiva. Hromadně zhotovována radiofarmaka se kontrolují jak obecně platnými postupy pro injekční lékové formy, tak metodami hodnocení vlastností vycházející z obsahu radioaktivních látek.

A. fyzikální a chemické metody hodnocení jakosti

Stanovení aktivity. Aktivita je základní veličinou charakterizující radiofarmakum. Hodnota aktivity se může pohybovat v rozhraní 90 – 100 % deklarovaného množství. Provádí se měřením celého objemu aktivity v ionizační komoře.

Radionuklidová čistota. Radionuklidové nečistoty tvoří další radionuklidy. Určení obsahu nečistot se provádí spektrometrickým měřením záření gama.

Radiochemická čistota. Jedná se o poměr aktivity daného radionuklidu, který je přítomný v radiofarmaku v konkrétní chemické formě a v procentech vyjádřené celkové aktivity stejného radionuklidu. Je kontrolován vlastní obsah účinné radioaktivní složky. Používá se k hodnocení radiochromatografických metod. Během celé deklarované doby použitelnosti musí vyhovovat radiochemická čistota.

B. biologické metody hodnocení radiofarmak

Sterilita

Podle předpisů se připravují radiofarmaka určená pro parenterální podání. Vylučují mikrobiální znečištění a zaručují sterilitu. Výrobce zodpovídá za sterilitu hromadně vyráběných radiofarmaceutických přípravků. Sterilita radiofarmak se zkouší v určených zdravotnických zařízeních.

Pyrogenní látky

Zkouška na přítomnost pyrogenní látky je předepsaná pro určitá radiofarmaka a posuzuje se u parenterálních radiofarmak běžnými metodami. Z důvodu příliš krátkého poločasu přeměny radionuklidu obsaženého v přípravku, je velmi obtížné provést zkoušku (4).

5 Radiační ochrana

Obecné zásady radiační ochrany a radiační limity platí pro pracoviště nukleární medicíny, ale také pro ostatní pracoviště, která využívají ionizující záření.

5.1 Obecné zásady

Všechna pracoviště s ionizujícím zářením, ale i oddělení nukleární medicíny se řídí v celé České republice v oblasti radiační ochrany následujícími legislativními předpisy:

- zákonem o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (Zákon č. 263/2016 Sb.),
- vyhláškou o radiační ochraně (Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje 422/2016 Sb.).

Zákonu o specifických zdravotních službách podléhají lékařská ozáření.

Účelem radiační ochrany je úplně vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a omezit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků na přijatelnou míru. Radiační ochrana představuje tři základní principy:

- **princip zdůvodnění –** jednání musí být odůvodněno přínosem, převažující rizika, jež při těchto činnostech vznikají nebo mohou vznikat,
- **princip optimalizace** – povinnost dodržovat takovou úroveň radiační ochrany, aby dávky ozáření osob a riziko ohrožení života, zdraví a životního prostředí byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout,
- **princip nepřekročení limitů –** povinnost omezit ozáření osob tak, aby nepřesáhlo stanovené limity.

Rozlišují se tři druhy ozáření:

- **ozáření při práci** obsahující veškerá ozáření radiačních pracovníků, k nimž došlo při práci a jako důsledek práce,
- **lékařské ozáření** je ozáření osob jako součást vyšetřovacích a léčebných metod na nich prováděných,
- **ozáření obyvatel** je veškeré ostatní ozáření.

Lékařské ozáření pacientů nepodléhá limitům a profesionální ozáření je regulováno principy – zdůvodněním, optimalizací a nepřekročení limitů. Očekávaný přínos konkrétního vyšetření nebo terapie musí být vyšší než riziko spojené s tímto vyšetřením nebo terapií (5).

5.2 Radiační limity

Kvantitativní ukazatel je limit pro omezování ozáření v radiační ochraně a jeho překročení není ve stanovených případech přípustné. Limity se dělí do tří kategorií:

- obecné limity,
- limity pro radiační pracovníky,
- limity pro učně a studenty.

V mimořádných případech je nutné ozáření vybraných osob omezit na přijatelnou úroveň. Důležité je, že při radiační ochraně pracovníků v nukleární medicíně se limity vztahují na dávky způsobené jak zevním ozářením ze zdrojů mimo tělo, tak i vnitřní ozáření z radionuklidů vniklých do těla při kontaminaci. Ozáření u přírodního pozadí se nezahrnuje do dávek vztahovaných k limitům (5, 18).

5.3 Radiační ochrana pracovníků

V radiační ochraně pracovníků v nukleární medicíně se využívá třech způsobů:

- ochrana časem,
- vzdáleností,
- stíněním.

Ochrana časem – dávka pracovníka roste s dobou, po kterou zůstává v blízkosti zdroje záření. Proto závisí na kvalifikaci, zkušenostech a dovednostech pracovníků ke snižování času potřebného pro manipulaci s radiofarmaky.

Ochrana vzdáleností – při práci musí pracovníci dodržovat největší možnou vzdálenost od zdrojů ionizujícího záření. Doporučuje se používat pinzety k uchopení lahviček s otevřenými zářiči, ty nesmí zbytečně zůstávat v blízkosti pacientů, kterým byla aplikována radiofarmaka.

Ochrana stíněním - používá se stínící vrstva vyhovujícího materiálu. Tato vrstva výrazně zeslabuje svazek záření a umisťuje se mezi zdroj záření a pracovníka. Z dostupných zdrojů se používá nejvíce olovo a také je možné použití wolframu, který je však dražší. V nukleární medicíně se stíní nejčastěji přímo zdroj záření (3, 5).

5.4 Biologické účinky deterministické a stochastické

Značný praktický význam z hlediska radiační ochrany má rozdělení účinků ionizujícího záření na deterministické a stochastické.

5.4.1 Deterministické účinky

Deterministické účinky začínají už v buňkách a ovlivňují tkáně po překročení určitého prahu. Řadíme mezi ně akutní nemoc z ozáření, akutní lokalizované poškození, katarakta, potlačení krvetvorby, sterilita apod. Deterministických účinků se využívá u terapie štítné žlázy.

5.4.2 Stochastické účinky

Pro stochastické účinky neexistuje dávkový práh, jelikož již jediná ionizace může způsobit poškození DNA. Mezi stochastické účinky patří vznik zhoubných nádorů a genetické poškození. Stochastické účinky jsou charakteristické tím, že:

- jsou bezprahové,
- s rostoucí dávkou se zvyšuje jejich pravděpodobnost, ale nezvyšuje se závažnost,
- účinek opakovaných dávek je aditivní,
- nelze určit, zda se účinky projeví u jednotlivce (3, 5).

6 Přístrojová technika v nukleární medicíně

Pro registraci ionizujícího záření v nukleární medicíně se používá přístrojová detekční technika, využívající různých principů detekce. Největší část přístrojové techniky pro metody in vivo a také pro metody in vitro je založena na scintilačním principu detekce. Princip detekce ionizačního záření se používá při měření vzorků radioaktivního biologického materiálu obsahujícího zářič beta-, dále v osobní a ochranné dozimetrii a v některých automatických měřičích celkové aktivity radioaktivních látek či farmak. Fotografických metod detekce se využívá především v osobní dozimetrii (5).

6.1 Zařízení pro osobní a ochrannou dozimetrii

K měření absorbované dávky záření pracovníků při jejich pobytu v kontrolovaném pásmu, slouží filmové a prstové dozimetry. Vyhodnocování dávek se provádí na specializovaných pracovištích. Do osobních záznamů se jednotlivým pracovníkům zaznamenávají vyhodnocené údaje o dávkách.

K měření kontaminace povrchu pracovišť, ochranných oděvů, pomůcek a také pracovníků se používají stacionární anebo pohyblivé detektory. O detekované aktivitě informují obvykle zvukovým či světelným upozorněním. Těmito přístroji musí být vybaveny veškeré úseky kontrolovaného pásma i hygienický ochranný prostor. Hlásiče úrovně radioaktivity v prostředí jsou konstruovány tak, že oznamují pouze překročení hladiny radiace. Stupeň, jehož převýšení přístroj hlásí, lze libovolně nastavit z důvodu různě vysokých aktivit u různých činností. Trvale vydávaný zvuk by zde působil rušivě (3, 5).

6.2 Přístroje pro měření radioaktivity látek

Automatické měřiče celkové aktivity v Bq jsou přístroje založené na principu ionizační komory nebo scintilačního detektoru. Zjišťují přítomnost záření gama či beta ve vloženém materiálu, obvykle roztoku. Měřený vzorek se vkládá do komory studnového typu a automatické zařízení po určité době samo na číslicovém displeji signalizuje údaje o celkové aktivitě vložené látky v Bq. Rozsah měřitelné aktivity je široký od desítek kBq až po desítky GBq.

Studnové detekční systémy jsou soupravy, které se skládají ze scintilačního detektoru studnového typu a příslušné elektroniky. U maloobjemového detekčního systému se do měřící studny vkládají zkumavky, stříkačky či lahvičky s posuzovaným objemem do 10 ml, u velkoobjemových je to 250 až 500 ml (3, 5).

Spektrometrická souprava je detekční a měřící zařízení, umožňující hodnotit četnost detekovaných fotonů v závislosti na jejich energii. Požadavky na vysokou kvalitu zařízení se týkají celé výše uvedené soupravy včetně scintilačního krystalu.

Vzhledem k tomu, že nejen radiační přeměna, ale celý systém detekce má statický charakter, pak nemůžeme nikdy měřit naprosto přesně, měříme jen s větší či menší statickou chybou. Čím větší je detekovaný počet signálních impulzů, tím je měření přesnější.

Přístroje s manuální výměnou vzorků se uplatňují pouze pro účely identifikace radionuklidové čistoty zářiče a pro proměřování sérií vzorků.

Automatické vzorkoměniče a měřiče vzorků jsou přístroje pro hodnocení velkých sérií vzorků materiálů, uložených v kazetovém zásobníku. Kapacita systému obnáší až několik set měřených vzorků. Přístroj odečítá automaticky (5).

6.3 Přístroje pro detekci ionizujícího záření

Přístroje pro vychytávání ionizačního záření v organismu jsou založeny na scintilačním principu detekce a konstruovány pro jednoduchou zevní detekci záření gama vystupující z organismu nebo přístroje informující o distribuci radioaktivního zářiče v určité oblasti (5).

V nukleární medicíně rozlišujeme tyto zobrazovací přístroje:

- Gamakamera (pro scintigrafii a SPECT)
- Pozitronový tomograf (pro PET)
- Hybridní tomograf integrující do jednoho přístroje nukleárně medicínskou část (SPECT či PET) s morfologickou zobrazovací modalitou (CT či MR)

6.3.1 Gamakamera

V nukleární medicíně je základním zobrazovacím přístrojem gamakamera, sloužící pro provádění scintigrafie s otočnou gantry, také pro SPECT (Single-photon emission computed tomography). Detekční systém je nejdůležitější součástí gamakamery a slouží k získání planárního obrazu. Tvoří ho:

- kolimátor,
- scintilační krystal,
- fotonásobiče,
- zpracující elektronika.

Pacient po aplikaci radiofarmaka podstupuje vyšetření na gamakameře. Radionuklid, který je obsažený v molekule radiofarmaka, se přeměňuje na dceřiný prvek za souběžného vyzáření fotonu gama. Fotony gama z těla pacienta vyletují izotropně a jen malá část z nich dopadá na detektor gamakamery, většina fotonů se rozptýlí do prostoru. Dále jen malá část dopadnuvších fotonů pronikne kolimátorem do scintilačního krystalu, kde zanechá signál v podobě scintilačního záblesku. Tento jev je zachycen v síti fotonásobičů, které převedou na elektrický signál a nasměrují do zpracující elektroniky. Počítač sbírá jednotlivé impulzy a vyhodnotí je, pak zaznamená jejich polohu a umisťuje je do matice obrazu. Každý prvek (pixel) matice obrazu zahrnuje informaci o počtu fotonů dopadnuvších do odpovídajícího místa na detektoru. Obraz představuje přibližné rozložení radiofarmaka v zorném poli detektoru (3, 5).

Kolimátor

Kolimátor je olověná deska o tloušťce několika cm a pokrývá celé zorné pole detektoru. Obsahuje velké množství malých otvorů propouštějících pouze fotony gama, které dopadají kolmo na detektor. Slouží ke zlepšení kontrastu a snížení šumu vznikajícího obrazu. Každá gamakamera má k dispozici sadu výměnných kolimátorů. Dělí se podle energie fotonů použitého radionuklidu a podle poměru mezi polohovou rozlišovací schopností, která určuje nejmenší detaily rozlišené v obraze a citlivostí. Nejpoužívanější je kolimátor pro nízké energie s vysokým rozlišením, který se používá pro radiofarmaka značená ^{99m}Tc nebo ^{123}I.

Scintilační krystal

Scintilační krystal je průhledná deska o tloušťce 1 cm, která pokrývá celé zorné pole detektoru. Je vyroben z jodidu sodného aktivovaného thalliem. Slouží ke konverzi fotonů gama na fotony viditelného světla. Scintilační krystal je ukryt v detektoru, aby nedošlo k mechanickému poškození a vlivu světla a vlhka na jeho detekční vlastnosti. Je důležité dávat pozor na velké teplotní výkyvy, mohly by způsobit prasknutí krystalu či narušení optického kontaktu.

Fotonásobiče

Ke scintilačnímu krystalu jsou v celé jeho ploše připevněny fotonásobiče. Tyto elektronické součástky slouží ke konverzi scintilačního světla na elektrický signál, a také k jeho zesílení pro možné zpracování. V jednom detektoru je několik desítek fotonásobičů kruhového nebo šestiúhelníkového průřezu. Fotonásobiče jsou přilepeny ke krystalu průhledným gelem, který zajišťuje optický kontakt a co nejlepší přenos signálu. Vyšetřovny gamakamer jsou trvale klimatizované z důvodu vysoké citlivosti fotonásobiče na okolní teplotu.

Zpracující elektronika

Signál z fotonásobičů je veden do elektronických obvodů a jejich cílem je oddělit jednotlivé nasnímané události od sebe a vypočítat co nejpřesněji polohu dané události. Každý záblesk ve scintilačním krystalu osvítí fotonásobiče s různou intenzitou podle jejich polohy vůči místu interakce. Poloha události je spočítána jako těžiště signálu s přesností na velikost pixelu matice obrazu. Vzniklý digitální obraz je vyhodnocován vizuálně i kvantitativně. Polohové rozlišení kromě typu kolimátoru také závisí na vzdálenosti zdroje záření od detektoru. Proto detektor umisťujeme co nejblíže k pacientovi (3, 5).

6.3.2 Scintigrafie

Scintigrafická vyšetření v nukleární medicíně můžeme začlenit do skupiny lékařských zobrazovacích metod. Při radiodiagnostických vyšetřeních a při vyšetřeních v nukleární medicíně jsou informace o funkcích a tělesných strukturách transportovány ionizujícím zářením. U jiných zobrazovacích metod je nositelem informace vysokofrekvenční záření (magnetická rezonance), infračervené záření (termografie) a ultrazvukové vlnění (ultrasonografie).

Scintigrafií získáváme obraz distribuce radiofarmaka pomocí scintilační kamery. Dělí se na planární scintigrafii, která může být statická nebo dynamická, a na tomografii, která může být jednofotonová (SPECT) nebo dvoufotonová, pozitronová (PET) (3, 5).

6.3.2.1 Statická scintigrafie

Po aplikaci radiofarmaka leží pacient na lůžku nebo sedí na židli a kamera snímá několik minut vyšetřovanou oblast těla. Výsledkem je planární snímek podobný skiagrafickému snímku s tím rozdílem, že neposkytuje anatomicky strukturální informaci, ale metabolickou a funkční informaci.

- **Celotělová scintigrafie**

U celotělové scintigrafie přejíždí detektor gamakamery přes celé tělo pacienta. Tato scintigrafie je využívaná k zobrazení celého těla při průkazu metastáz onkologických onemocnění nebo zánětů. Lze využít dvouhlavé gamakamery k současnému snímání přední i zadní projekce, a tím ušetří polovinu času a nežádoucí pohyb pacienta během vyšetření.

- **Zobrazení pomocí více radionuklidů**

Signál detektoru je možné rozlišit podle energie dopadajících fotonů, a také podle jednotlivých použitých radionuklidů, a proto je možné současně snímat dvě různá radiofarmaka, pokud jsou označena radionuklidy s různou energií fotonů záření gama. Příkladem takového vyšetření je ventilačně-perfuzní vyšetření plic, kdy pacient obdrží radiofarmakum značené ^{99m}Tc (140keV) k zobrazení plicní perfuze a současně vdechuje vzduch smíchaný s malým množstvím plynného ^{81m}Kr (191keV) k zobrazení plicní ventilace.

6.3.2.2 Dynamická scintigrafie

Dynamická scintigrafie se využívá k zachycení průběhu dynamických dějů a jejich kvantifikace. Klasickým příkladem je dynamická scintigrafie ledvin. Detektor snímá vyšetřovanou oblast těla pacienta, a tím pořizuje sadu krátkých po sobě jdoucích snímků. Výsledkem vyšetření je sada planárních snímků, které ukazují měnící se rozložení aktivity v daném orgánu v čase. Graf závislosti počtu impulzů na čase nám umožňuje vyhodnotit průběh radiofarmaka – perfuzní, kumulační a exkreční fázi. Závěr vyšetření formulujeme z parametrů těchto křivek (3, 5).

6.3.3 SPECT

SPECT je jednofotonová emisní výpočetní tomografie a je jednou ze dvou základních tomografických metod v nukleární medicíně. Jednofotonová proto, že se při ní využívají radionuklidy emitující jeden foton na přeměnu. SPECT kamery jsou konstruovány jako dvouhlavé systémy s lůžkem a otočnými detektory. Konstrukce obou detektorů je stejná jako u planární gamakamery. SPECT kamera umožňuje snímat statické i dynamické tomografie a celotělové akvizice. Existují také jednohlavé systémy, trojhlavé kamery a speciální více detektorové systémy. Počet detektorů ovlivňuje dobu snímání, ale na technické schopnosti kamery nemá vliv.

Princip SPECT je založen na snímání množství planárních projekcí v různých úhlech a na jejich následné výpočetní rekonstrukci. Výsledný obraz SPECT je určen velikostí aktivity radiofarmaka, časem snímání a poskytuje funkční a metabolické informace (2, 5).

Akvizice (snímání)

U SPECT vyšetření pacient leží stále ve stejné poloze a detektor gamakamery se otáčí okolo něj a snímá jednotlivé projekce v definovaném kroku úhlů. Rozsah snímané oblasti těla pacienta je určen rozměrem zorného pole detektoru. Nastavit můžeme druh matice, na kterou chceme vyšetření snímat, po kolika stupních se budou hlavy kamery otáčet a jak dlouho v dané pozici mají nahrávat.

Rekonstrukce

Výsledkem snímání je série planárních projekcí, typicky okolo 120 snímků. Získané projekce vstupují do matematické rekonstrukce, na jejímž výstupu je sada transaxiálních řezů. V současné době existují dvě základní skupiny rekonstrukcí:

- filtrovaná zpětná projekce,
- iterativní metody.

Filtrovaná zpětná projekce je rychlejší a jednoduší způsob rekonstrukce, ale limituje kvalitu obrazu. Typickou vadou je hvězdicový artefakt a nemožnost zahrnout do rekonstrukce složitější korekce. Z tohoto důvodu se v dnešní době využívají iterativní metody rekonstrukce vyžadující vyšší výkon počítačů, ale poskytují lepší obraz včetně možnosti různých korekcí. Nejčastěji se používá moderní algoritmus iterativní rekonstrukce.

Parametry rekonstrukce

Na nastavení rekonstrukce velmi závisí výsledný obraz. Mezi nejčastěji volené parametry patří:

- zahrnutí různých korekcí,
- typ a síla filtru,
- počet iterací a subsetů (2, 5).

6.3.4 PET

Pozitronová emisní tomografie je nejsložitější a nejnákladnější zobrazovací vyšetření nukleární medicíny. PET kamery se konstruují hlavně jako hybridní PET/CT systémy. Gantry PET kamery je nepohyblivé a také nemá žádné kolimátory na rozdíl od SPECT. Snímání pacienta probíhá najednou v rozsahu 360° zorného pole prstence o axiální šířce 15 - 20 cm (5, 14).

Snímání

PET využívá radiofarmaka značená pozitronovými zářiči, které emitují při své radioaktivní přeměně pozitron. Ten má stejné fyzikální vlastnosti jako elektron. Pohybuje se po klikaté trajektorii a postupně ztrácí svou kinetickou energii.

Na konci trajektorie anihiluje s elektronem za vzniku dvou anihilačních fotonů gama s energii 511keV. Fotony letící z místa anihilace mají opačný směr a dopadají téměř současně do detektoru.

Detektory PET jsou zapojeny jako koincidenční obvod - prstenec, který obklopuje tělo pacienta a detekuje jednotlivé anihilační fotony. Skládá se z množiny scintilačních krystalů. Velmi přesná elektronika dokáže rozpoznat dva fotony patřící k sobě. Tím vznikají přímky odezvy. Jsou primárním signálem akvizice PET. Vstupují jako takové do matematické rekonstrukce, jejímž výstupem je sada transaxiálních řezů. Tento způsob zpracování nahrazuje funkci kolimátoru u scintigrafie (14).

Rekonstrukce

Rekonstrukce obrazu probíhá iterativními metodami, ale pro účely např. hradlovaných kardiologických studií lze použít filtrovanou zpětnou projekci. PET obrazy se rekonstruují na velmi výkonném hardwaru, který je příslušenstvím PET kamery a ovládá se přímo z ní. Vysoká kvalita obrazu je nezbytná pro správný popis zejména u malých lézí. Podobně jako u SPECT je kvalita PET obrazu závislá na parametrech rekonstrukce a na kvalitě samotné akvizice.

Klinická aplikace

PET se v současné době využívá hlavně v onkologii. PET souvisí s dostupností nejdůležitějšího radiofarmaka, kterým je ^{18}F-FDG. Toto radiofarmakum se akumuluje ve zvýšené míře ve většině nádorů a jejich metastázách, a proto umožňuje jejich citlivou detekci. Průkaz nádorových lézí snižuje akumulace radiofarmaka v ložiscích zánětů. Je třeba zkušeného lékaře pro kvalitní popis a dobrou spolupráci s radiologem pro hodnocení CT u hybridního PET/CT vyšetření.

Hybridní PET/CT

K nejmodernějším zobrazovacím metodám v dnešní době patří hybridní zobrazovací emisní tomografie v kombinaci s výpočetní tomografií. Díky hybridnímu skeneru PET/CT můžeme získat morfologický a metabolický obraz tkáně během jednoho vyšetření a beze změny pacientovy polohy (14).

7 Diagnostické metody

Diagnostické metody v nukleární medicíně se dají rozdělit na vyšetření in vitro a in vivo.

7.1 Vyšetření in vitro

Vyšetření in vitro obsahuje metody využívající radioaktivních látek ke stanovení koncentrace, např. protilátek v krvi nebo hormonů. Při této velmi citlivé analýze (nazývané radiosaturační analýza nebo radioimunoanalýza) se pracuje pouze se vzorkem krve, pacient do styku s radioaktivní látkou vůbec nepřichází (3, 5).

7.2 Vyšetření in vivo

U vyšetření in vivo aplikujeme radiofarmakum do těla a neinvazivním způsobem se sledují biochemické, fyziologické a metabolické procesy v těle, lokalizují a diferencují se patologické změny a dysfunkce. Při scintigrafickém vyšetřování se sleduje šíření radiofarmaka v těle a získává se jeho obraz. Pokud je distribuce radiofarmaka proměnná v čase, analyzuje se a sleduje časový průběh. Radiofarmaka, která se užívají při scintigrafii a dalších vyšetřeních in vivo, se aplikují do těla v podobě tzv. otevřených zářičů, jež při své přeměně emitují gama záření. Protože se jedná o záření pronikavé, které se jen částečně absorbuje v těle, lze ho zaznamenat pomocí přístrojů se scintilačními detektory, umístěnými v blízkosti těla.

Zatímco pro diagnostiku jsou nutné zářiče gama, tak pro terapii jistých maligních a benigních onemocnění se používají zářiče beta. Záření beta má dosah ve tkáni jen několik mm, takže se prakticky jeho veškerá energie absorbuje v cílovém ložisku. Možnost terapie chorob radioaktivními farmaky jsou, především oproti diagnostice, stále ještě omezené. Ve speciálních indikacích, např. při léčení některých chorob štítné žlázy, jsou tyto metody velmi významné, někdy i nenahraditelné (3).

8 Štítná žláza

8.1 Anatomický popis

Štítná žláza (dále pouze ŠŽ) vzniká ze dvou laloků, jsou k sobě spojeny příčným můstkem tkáně, který se nazývá isthmus. Ten je zpravidla ve výši druhého až čtvrtého prstence průdušnice. Laloky mají tvar trojboké pyramidy a jsou umístěny k boku hrtanu a trachey. Hmotnost štítné žlázy bývá okolo 30 - 40 g. Velikosti laloku jsou převážně 5 - 8 x 2 - 4 cm, isthmus je široký 2 cm a stejně tak i dlouhý, tlustý je asi 0,5 cm. Ve velikosti mohou být zásadní rozdíly podle pohlaví, věku a funkčního stavu. V některých případech může z oblasti isthmu kraniálně odstupovat další dlouhý lalok, lobus pyramidalis. Povrch žlázy je nerovný a její barva je červenohnědá. Štítná žláza je obalena vazivovým pouzdrem, které se dělí na průsvitnou capsula externa a capsula propria přiléhající těsně za parenchym žlázy. Mezi obaly jsou žilní pleteně (7).

8.2 Fyziologie

Štítná žláza produkuje dva hormony. Sekrece je řízena nabídkou jodu a řídícími hormony z hypofýzy a hypotalamu. Pro činnost štítné žlázy je důležitý jod. Je součástí hormonů štítné žlázy, a je aktivně vychytáván z krve enzymatickou jodovou pumpou, oxidován na molekulární jod a dále začleněn do organické vazby v molekule tyrozinu. Kondenzací monojodtyrozin a dijodtyrozin vznikají T_3 a T_4 hormony. Hotové hormony se ukládají ve folikulu. Dle potřeby jsou hormony uvolňovány do krve a transportovány bílkovinou do tkání (7, 10).

8.3 Nádory štítné žlázy

8.3.1 TNM klasifikace nádorů

Klinický popis zhoubných nádorů a histopatologická klasifikace může pacientovi pomáhat:

1) při plánování jeho léčby,
2) poskytovat údaje o prognóze,
3) napomáhat při hodnocení léčebných výsledků,
4) k přispívání o průběžném výzkumu zhoubných nádorů

Pro klasifikaci nádorů existuje řada kritérii, např. anatomická lokalizace, klinický a patologicko-anatomický rozsah onemocnění, udávaná doba trvání symptomů choroby, pohlaví a věk nemocného, histologický typ či stupeň diferenciace. Kritériem systému TNM je klasifikace anatomického rozsahu nemoci, který je určen klinicky a histopatologicky.

Všeobecná pravidla TNM systému

TNM systém je založen na hodnocení tří složek:
T – rozsah primárního nádoru
N – nepřítomnost nebo přítomnost a rozsah metastáz v regionálních mízních uzlinách
M – nepřítomnost nebo přítomnost vzdálených metastáz

Nádory štítné žlázy tvoří skupiny tumorů s nejrůznějšími charakteristikami od nádorů ne tak zhoubných, až po velmi agresivní, rychle usmrcující. Onemocnění může být ovlivněno mnoha faktory. Můžeme se setkat s mírným průběhem onemocnění nebo s onemocněním rychle progredujícím, trvajícím pouze několik měsíců a vedoucím k smrti. Benigní a maligní nádory štítné žlázy vycházejí z folikulárního epitelu. Častým nálezem jsou benigní uzlíky. V některých případech nelze histologickým vyšetřením získat jistotu, že bude průběh onemocnění benigní, a pak hovoříme o kancerizovaném adenomu. Mezi diferencované maligní nádory patří papilární a folikulární karcinom (1, 9).

Papilární karcinom

Papilární karcinom je maligní epitelový nádor s folikulární diferenciací a papilárními a folikulárními strukturami. Pokročilý papilární karcinom se často šíří přes pouzdro štítné žlázy do okolních struktur. Může postihovat dýchací cesty, hltan, jícen, krční cévy, nervové struktury, svaly, kůži. Lokální invaze je charakterizována pevnou fixací kůže k nádoru. V pozdějších stádiích vznikají ložiska nekróz a píštělí. Papilární karcinom se může projevovat útlakem dýchacích cest dokonce i infiltrací stěny průdušnice. Ve většině případů onemocnění zůstává omezeno na tkáň štítné žlázy a projevuje se jako tumor na přední straně krku. Papilární karcinom se vyskytuje nejčastěji v dětském věku a u mladistvých, jeho agresivita je poměrně malá.

Folikulární karcinom

Druhým nejčastějším maligním nádorem je folikulární karcinom. Má epitelový charakter s folikulární buněčnou diferenciací bez struktur typických pro papilární karcinom.

Typické u folikulárního karcinomu je snazší zakládání vzdálených hematogenních metastáz zejména v kostech a plicích. Metastáze nádoru dobře akumulují radiojód.

Dalšími druhy karcinomů štítné žlázy je medulární a anaplastická forma. Bohužel ani jeden z nich nemá zachovanou vlastnost vychytávání jodu, proto se nehodí k léčbě na oddělení nukleární medicíny (1, 12).

8.4 Vyšetření štítné žlázy

Pro celkovou diagnostiku onemocnění štítné žlázy je nutné korelovat anamnestické údaje a klinický obraz s dalšími vyšetřovacími postupy.

8.4.1 Funkční vyšetření štítné žlázy

Funkční vyšetření je založeno na zhodnocení anamnézy, klinického obrazu a na vyšetření hormonálních koncentrací v séru.

Laboratorní vyšetření hormonů v séru

Stanovení sérové koncentrace TSH (tyreostimulační hormon) je významné pro ověření klinického podezření na poruchu funkce štítné žlázy. Dále je důležité vyšetření titru protilátek proti tyreoglobulinu (Tg) a tyreoidální peroxidáze pro poznání autoimunní etiologie chorobného procesu. Vyšetření protilátek proti TSH-receptoru vypovídá o aktivitě autoimunní hypertyreózy. Přítomnost medulárního karcinomu štítné žlázy indikují vysoké hodnoty kalcitoninu v séru.

8.4.2 Akumulační test radiojodem ^{131}I

Tento test vyšetřuje afinitu parenchymu štítné žlázy k perorálně podanému jodidu. Pro funkční diagnostiku se toto vyšetření již nepoužívá. Používá se ke zjištění akumulace radioaktivního jodu ve štítné žláze pro kalkulaci léčebné dávky ^{131}I. Pacient vypije nalačno velmi malé množství radiofarmaka a za 6 a 24 hodin se změří jeho množství pomocí detekčního kolimátoru v celé štítné žláze. Z podané aktivity se výsledek znázorňuje v %. Normální hodnota akumulace je 20 - 40 % za 24 hodin z podané aktivity. Pro výpočet terapeutické dávky radiojódu je potřebná znalost parametrů kinetiky jodu. Diagnostika subakutní tyreoiditidy je méně častou aplikací akumulačního testu. U této diagnózy je snížená akumulace radiofarmaka (3).

8.4.3 Morfologické vyšetření štítné žlázy

a) Palpační vyšetření krku zhodnotí velikost orgánu.
b) Sonografie štítné žlázy upřesní palpační nález a je základní zobrazovacím postupem. Ověří vztah štítné žlázy k ostatním strukturám na krku a velikost štítné žlázy.
c) Scintigrafie je druhé zobrazovací vyšetření vyhrazené pro zodpovězení některých speciálních otázek.

8.4.4 Scintigrafie štítné žlázy

Tato scintigrafie zobrazuje distribuci funkční tkáně, která akumuluje radioaktivní indikátor.

Radiofarmaka

a) ^{99m}Tc-technecistan sodný (pertechnetát) je indikátorem pro běžnou scintigrafii štítné žlázy. Aplikuje se intravenózně a vychytává se v buňkách štítné žlázy. Vstupuje do nich prostřednictvím natrium jodidového symportéru a akumuluje se v nich jako jodid. Na rozdíl od jodu nevstupuje do dalších metabolických reakcí.
b) ^{131}I-natrium jodid se pro scintigrafii dnes již nepoužívá. Má vyšší radiační zátěž, delší fyzikální a efektivní poločas, vyšší energie fotonů záření gama.
c) ^{99m}Tc-MIBI, ^{99m}Tc DMSA se používají pro průkaz nádorové tkáně a případných metastáz.

Provedení

Pro běžnou scintigrafii štítné žlázy pomocí ^{99m}Tc-pertechnetátu využíváme scintilační kameru s pin hole kolimátorem (cílem tohoto kolimátoru je zvětšení průmětu malé štítné žlázy na co největší plochu scintilačního detektoru kamery). V některých případech je vhodné využít zobrazení pomocí SPECT, případně SPECT/CT. Po nitrožilním podání indikátoru, snímáme za 20 minut v poloze na zádech, s následným označením průmětu horního okraje manubria hrudní kosti pomocí značkovače naplněného roztokem ^{99m}Tc. Paralelní kolimátory s vysokým rozlišením na kamerách s možností celkového zobrazení využíváme k vyhledávání ektopické tyreoidální tkáně nebo funkčních metastáz diferencovaných karcinomů. V těchto případech je výhodné použití radioaktivního jodidu. U scintigrafie štítné žlázy je nutné vysadit léky obsahující neaktivní jod a jodové kontrastní látky, které dlouhodobě zablokují natrium jodidový symportér (3, 4, 5).

Hodnocení

Normální obraz štítné žlázy se zobrazuje jako symetrický útvar motýlového tvaru, umístěný mezi průmětem jugula a chrupavky štítné. Homogenní je distribuce radiofarmaka v parenchymu. Mohou se vyskytnout ložiskové anomálie v distribuci indikátoru. O „studených“ uzlech hovoříme tehdy, jestliže palpačně prokazované rezistence korespondují s ložisky snížené nebo chybějící aktivity. Pokud jsou ložiskové rezistence zvýšené aktivity, jedná se o „horké“ uzly. Mezi „studené“ uzly řadíme benigní adenomy, ve 2 - 4 % případů se může jednat o maligní nádory. Za „horký“ uzel považujeme independentní adenom. Jedná se o strukturu, která funkčně nereaguje na zpětnovazební podněty. Difuzní snížení kumulace ^{99m}Tc-pertechnetátu ve štítné žláze až nezobrazení štítné žlázy může být způsobeno blokádou akumulace radiofarmaka při „zajodování“ nebo projevem některých forem zánětu štítné žlázy. Nezobrazení štítné žlázy je projevem ageneze.

Indikace scintigrafie štítné žlázy

1) průkaz funkční autonomie uzlu
2) průkaz hemiageneze štítné žlázy
3) průkaz rozsahu retrosternální strumy
4) průkaz ektopické tkáně štítné žlázy
5) průkaz rezidua akumulující tkáně po komplexní léčbě karcinomu štítné žlázy
6) průkaz vzdálených akumulujících metastáz karcinomů štítné žlázy po chirurgickém odstranění štítné žlázy v normální lokalizaci
7) scintigrafická charakteristika uzlu hodnoceného ultrazvukem (3, 4, 5)

9 Terapie onemocnění štítné žlázy

9.1 Terapie otevřenými zářiči

Léčba otevřenými zářiči se provádí na pracovištích nukleární medicíny. Užívané radionuklidy mají za cíl destrukci nebo poškození patologicky změněných buněk při minimálním ovlivnění okolních struktur. K terapii se aplikují otevřené zářiče emitující záření s velkou ionizační schopností a krátkým doletem ve tkáni. Běžně používané radionuklidy emitují záření β-.

K zabezpečení vysoce selektivní akumulace radiofarmaka v cílové tkáni je možno využít mechanizmy:

- včlenění radionuklidu v buňce v důsledku její charakteristické metabolické aktivity
- vazba na receptory a antigeny
- specifická vazba na struktury v bezprostřední blízkosti maligní buňky

Léčba otevřenými zářiči se provádí na pracovištích nukleární medicíny. Terapie s použitím větších aktivit ^{131}I se provádí pouze za hospitalizace na lůžkovém oddělení. Při přeměně tohoto radionuklidu je emitováno nejen záření β-, ale také intenzivní záření γ, které by mohlo způsobit ozáření osob v pacientově blízkosti.

Absolutní kontraindikace u terapie otevřenými zářiči jsou:

- gravidita nebo kojení
- psychická onemocnění nebo nespolupráce pacienta
- inkontinence (4, 17)

9.2 Terapie hypertyreóz

1) Léčba tyreostatiky

Tyreostatika jsou farmaka blokující hormonogenezi. Tyto léky se používají u autoimunní hypertyreózy. Dostatečně dlouhá terapie může pacienta uvést do dlouhodobé remise.

2) Tyreoidektomie

Jedná se o odstranění hyperfunkční tkáně nebo redukce jejího množství. Nelze však při těchto výkonech eliminovat riziko nežádoucích pooperačních komplikací např. porucha hlasu nebo pooperační hypoparatyreóza. Tyto stavy mohou být dočasné nebo trvalé. Komplikace závisí na zkušenostech chirurga. V současné době jsou preferovány radikální tyreoidektomie. Je ovšem nutné pacientům po strumektomii podávat doživotně hormony štítné žlázy.

3) Terapie radiojódem

Podání radiojódu je indikováno k odstranění hypertyreózy poškozením a redukcí hyperfunkční tkáně nebo k pooperační ablaci zbytků štítné žlázy. Gravidita a laktace jsou absolutní kontraindikací terapie radionuklidy. Mezi relativní kontraindikace patří močová inkontinence, nekontrolovaná hypertyreóza, floridní endokrinní oftalmopatie. Radiofarmakum (^{131}I) je ve formě roztoku nebo kapslí a aplikovaná aktivita je určena v závislosti na množství hyperfunkční tkáně a kinetiky radiojódu (4, 17).

9.3 Diagnostika a terapie diferencovaných karcinomů štítné žlázy

Termín diferencované karcinomy štítné žlázy se používá pro folikulární a papilární karcinomy. Palpace a sonografie štítné žlázy přesně popisují morfologii ložiskových změn a jsou výchozím bodem diagnostického a terapeutického algoritmu u uzlů štítné žlázy. Nejdůležitější diagnostikou metodou je aspirační biopsie tenkou jehlou a následné cytologické vyhodnocení odebraného materiálu. Cytologicky prokázaný diferencovaný karcinom štítné žlázy je indikací k totální tyreoidektomii. Pouze absolutní odstranění tyreoidální tkáně umožní terapii radiojódem. Při strumektmiích z neonkologických indikací se provádí lobektomie. Při tomto rozsahu výkonu není nutno u nálezu maligního nádoru reoperovat na postižené straně, stačí pouze odstranění kontralaterálního laloku. Opakovaný chirurgický výkon na operovaném laloku by zvyšoval riziko operačních komplikací. Po histologickém potvrzení diagnózy diferencovaného karcinomu štítné žlázy a po totální tyreoidektomii je pacient předán do péče oddělení nukleární medicíny. Pacienti s jinými druhy maligních tumorů štítné žlázy jsou posíláni do péče onkologů na jiných specializovaných pracovištích (3, 12, 17).

Pacienti v období před hospitalizací nesmí užívat substituční terapii hormony štítné žlázy a přicházejí v hluboké hypotyreóze. Vysoké hladiny TSH stimulují akumulaci radiofarmaka ve zbylé funkční tkáni štítné žláze a také zaktivují akumulaci radiojódu v případných reziduích diferencovaného karcinomu štítné žlázy nebo v jeho metastázách.

Základem terapie diferencovaných karcinomů štítné žlázy je konverze scintigraficky „studené“ tkáně v tkáň, která akumuluje radiojódu pomocí stimulace vysokými hladinami TSH. Po přijetí pacienta k hospitalizaci se podává úvodní terapie radiojódem, která odstraní drobná funkční rezidua tyreoidální tkáně a destruuje dobře akumulující rezidua karcinomu štítné žlázy nebo jeho metastáze. Pacientovi je nasazena opresivní terapie tyreoidálními hormony. Tato opresivní terapie se vysazuje před další kontrolní hospitalizací na oddělení nukleární medicíny. Pokud jsou v těle pacienta přítomna rezidua diferencovaného karcinomu štítné žlázy nebo jeho metastáze, pak dochází znovu k aktivaci akumulace jódu v původně neakumulující „studené“ tkáni tumoru. Přítomnost maligní akumulující tkáně se ověřuje diagnostickou scintigrafií ^{131}I. V případě pozitivního výsledku se pacientovi podává další terapie větší dávkou radiojódu a následně se provádí poterapeutická scintigrafie. K doživotnímu sledování pacienta s diferencovaným karcinomem štítné žlázy můžeme využívat:

1. Sledování hladiny tyreoglobulinu v plazmě - přítomnost této bílkoviny v plazmě u pacientů bez štítné žlázy vypovídá o přítomnosti rezidua tumoru.
2. Sonografie krku – zobrazuje přítomnost rezidua tumoru na krku nebo uzlinových metastáz.
3. Celotělová scintigrafie pomocí ^{99m}Tc-MIBI
4. ^{18}FDG PET/CT – adenokarcinom štítné žlázy ztrácí schopnost akumulovat radiojód za stimulace TSH, ale stává se metabolicky aktivnější a detekovatelný.

Pacienti s diferencovaným karcinomem štítné žlázy mají ve srovnání s jinými maligními onemocněními velmi dobrou prognózu. V současné době jsou onemocnění, lépe a včasně detekovatelná a je k dispozici popsaný způsob terapie. Proto více než 90 % nemocných neumírá na tuto nemoc (3, 12, 17).

Faktory umožňující posouzení rizika, kterým je pacient vystaven:

1. stadium podle TNM klasifikace – u nemocných s náhodně diagnostikovaným onemocněním je velmi dobrá prognóza
2. pohlaví – horší prognóza je u mužů nežli u žen
3. věk – prognóza se u dospělých pacientů s vyšším věkem v době diagnózy zhoršuje (3, 12, 17)

9.3.1 Charakteristika ^{131}I

Radionuklid ^{131}I je smíšený zářič beta gama s fyzikálním poločasem přeměny 8,04 dne. K léčbě se využívá záření beta. Maximální dosah záření beta v měkké tkáni je 2,4 mm. Krátký dosah záření beta ve tkáni umožňuje lokalizované ozáření cílových tkání bez účinku na okolní tkáň. Přítomnost pronikavého záření gama umožňuje sledovat zevní detekcí biokinetiku ^{131}I v těle, ale bohužel přispívá k radiační zátěži jiných pacientů, personálu na oddělení nukleární medicíny a jedinců z obyvatelstva, proto musíme věnovat pozornost ochranným opatřením.
Radiojód se podává perorálně ve formě želatinových kapslí nebo izotonického roztoku. Aktivita radiofarmaka se volí tak, aby se dosáhlo plánované dávky v cílovém orgánu a zároveň se ozářilo co nejmenší množství okolní tkáně. Před každou terapeutickou aplikací je třeba měřit aktivitu želatinových kapslí a roztoků na měřiči aktivit se studnovou ionizační komorou (12, 17).

9.3.2 Biokinetika radiojódu v těle

Po aplikaci se radiojódu dostává z gastrointestinálního traktu do krve, ve štítné žláze se shromáždí kolem 30 %. Nevychytaný radiojód se vylučuje močí, v malém množství stolicí, potem a respirací. Biologický poločas vylučování radiojódu ze štítné žlázy je okolo 80 dní. Při hypertyreóze se ve štítné žláze akumuluje 20 až 80 % aplikované aktivity. Biologický poločas eliminace radiojódu je od 10 dnů do 65 dnů. Během 48 hodin po aplikaci se z těla pacienta vyloučí 40 – 70 % aplikované aktivity. Při karcinomu štítné žlázy je akumulace radiojódu ve zbytcích tkáně od desetin % do 25 – 30 %. Biologický poločas eliminace radiojódu ve štítné žláze je velmi individuální. Během 48 hodin po aplikaci se z těla vyloučí až 95 % podané aktivity (3, 12, 17).

9.3.3 Průběh hospitalizace

Před vlastní hospitalizací pacienta:

- musí mít potvrzení o diagnóze karcinomu štítné žlázy (biopsie, histologie)
- podstoupení tyreoidektomie (chirurgické odstranění štítné žlázy)
- 6 týdnů pauza (vyvolání hypotyreózy a zvýšení hladiny TSH), po tuto dobu snížení příjmu jodu v potravě a lécích na minimum (pacient před vlastním nástupem do nemocnice obdrží potřebné informace)

1. Příjem pacienta:
    - v den příjmu vstupní vyšetření lékařem, ultrasonografie a odběry krve,
    - ubytování na samostatný jednolůžkový pokoj
    - informování o dodržování zásad (používat zásadně jen nemocniční oblečení a ručníky, kapesníky na jedno použití, denně se musí sprchovat, muži i ženy musí močit vsedě, po použití toalety 2x spláchnout, řádně si mýt ruce atd.).
2. Provedení akumulačního testu.
3. Scintigrafie štítné žlázy.
4. Podání terapeutické dávky radiojódu.
5. Izolace na pokoji 5 dní, kontrola stavu nemocného a přeměřování úrovně ionizujícího záření ve vzdálenosti 1 m od pacienta.
6. Kontrolní celotělová scintigrafie ^{131}I po hospitalizaci před odchodem domů.
7. Zhodnocení efektu léčby po 6 týdnech v ambulanci nukleární medicíny (12, 17).

Praktická část

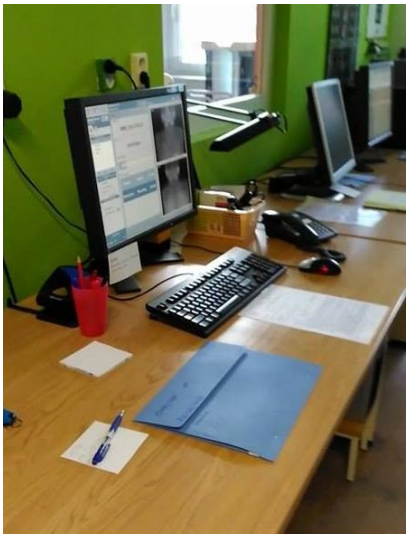
10 Zobrazovací metody

V praktické části bakalářské práce se věnuji zobrazení případných metastáz nádorů štítné žlázy. Do této části zahrnu všechny pokyny, které dostává vyšetřovaný pacient a celý postup těchto vyšetření.

10.1 Celotělová scintigrafie s ^{131}I

Vyšetření slouží k prokázání nebo vyloučení metastáz diferencovaného karcinomu štítné žlázy. Toto vyšetření nevyžaduje žádnou speciální přípravu pacienta. Provádí se těsně před propuštěním pacienta domů po týdenní hospitalizaci. Pacient prodělá terapii štítné žlázy ^{131}I, což je beta a zároveň gama zářič. Záření beta je využito při léčbě a složka gama záření poslouží k popisované scintigrafii. Proto se před vyšetřením neaplikuje žádné radiofarmakum.

Vyšetření je specifické tím, že se provádí pomocí radiofarmaka se střední energií a pro jeho zobrazení je nutné na gamakameře vyměnit kolimátor pro nízké energie za kolimátor pro střední energie. RA v ovladovně zadá základní údaje o pacientovi do počítače a zvolí daný typ vyšetření.



Fotografie 1 Ovladovna (zdroj:1)

Pozveme pacienta do vyšetřovny a ověříme si jeho jméno a rok narození. Požádáme ho o odložení všech kovových předmětů. Pacienta edukujeme a informujeme o průběhu vyšetření. Pokud RA ví, že pacient trpí klaustrofobií, věnuje větší pozornost komunikaci s pacientem a jeho požadavkům tak, aby vyšetření co nejlépe absolvoval.

Pacient si lehne na stůl do polohy na zádech, a pokud to stav pacienta umožňuje, vyšetřujeme ho bez použití polštářku pod hlavou, aby se oblast krku rozvinula. RA spouští celotělový scan, který trvá přibližně 20-25 minut podle délky pacienta. Po celou dobu vyšetření kontroluje RA stav pacienta. Toto vyšetření doplňujeme SPECT/CT.

Fotografie 2 Gama kamera, na které se provádí SPECT/CT (zdroj:1)

SPECT/CT je hybridní metoda, spojující SPECT a CT vyšetření. Díky SPECT/CT můžeme získat morfologický a metabolický obraz tkáně během jednoho vyšetření. CT zabudované do hybridních kompletů poskytují anatomické zhodnocení vyšetřované oblasti. SPECT poskytuje funkční informaci a objasňují etiologii morfologicky nejednoznačných CT obrazů. Pacienta musíme uložit tak, abychom mohli současně provést obě dvě metody v krátkém sledu.

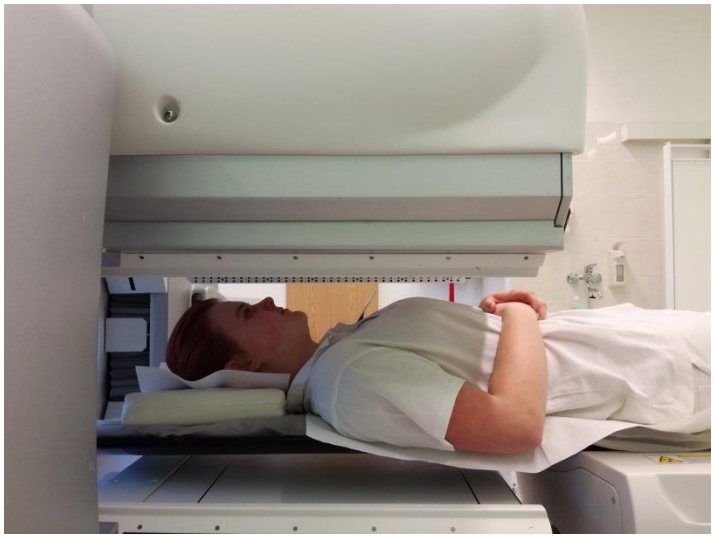
Na gantry gamakamery jsou umístěny hlavy s kolimátory, v těle gantry je zabudovaná rentgenka a detektor.

Fotografie 3 Kolimátory (zdroj:1)

Na vyšetřovacím stole jsou žlutě vyznačená místa, podle kterých přesně ukládáme pacienta, aby bylo možné provést vyšetření.

Fotografie 4 Žluté značení (zdroj:1)

Po celotělové scintigrafii, musíme změnit polohu pacienta. Ukládáme ho hlavou do přístroje.



Fotografie 5 Uložení pacienta (zdroj:1)

Upozorníme nemocného, že se kolem něj budou hlavy otáčet (nejdřív rychle, potom pomalu) a že nesmí dojít k žádnému pohybu pacienta. Zkontrolujeme, aby z vyšetřovaného stolu nic nepřekáželo rotaci hlav, např.: oděv pacienta nebo prostěradlo, kterým je pacient zakryt. V protokolu změníme uložení pacienta – jeho rotaci vzhledem ke gantry, zvolíme matici 64 x 64 nebo 128 x 128 dle přání lékaře, čas snímání (obvykle 20 vteřin) a po kolika stupních se budou hlavy otáčet (většinou 3°). Gamakamery nemají plnohodnotné CT, ale low dose CT, což je technika se sníženou dávkou záření. U mladých nebo velice hubených pacientů můžeme hodnoty CT ještě snížit.

Na ovladači kamery odstartujeme vyšetření a odcházíme do ovladovny, dveře místnosti musíme zavřít.

Fotografie 6 Ovladač kamery (zdroj: 1)

Na obrazovce se nám objeví žluté linie, podle kterých můžeme změnit rozsah CT vyšetření, který zkontroluje lékař. Spouštíme vlastní CT vyšetření, které trvá jen pár minut, a do dokumentace zaznamenáváme hodnoty daného CT vyšetření pro případné dopočítání radiační zátěže pacienta. Po skončení tomografie navazuje automaticky SPECT, který už trvá poněkud déle. Otevřeme dveře do vyšetřovny a zkontrolujeme pacienta. Upozorníme, že vyšetření stále nekončí, i když popojíždí se stolem směrem ven – nastavení na navazující SPECT. Pacient musí nadále zůstat nehybný.

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

Vyšetření je prováděno zhruba rok od ukončení léčby pro karcinom štítné žlázy. Používá se jako kontrolní vyšetření jednou za dva roky a jeho pravidelnost určuje endokrinolog. V aplikační místnosti se aplikuje pacientovi intravenózně radiofarmakum. Poučí a edukuje se o průběhu vyšetření, odchází do čekárny a na WC. Mezitím si RA v ovladovně zadá pacientovi údaje do počítače, zvolí protokol vyšetření a pozve pacienta do vyšetřovny. Důležité je sundání všech kovových předmětů. RA uloží pacienta na vyšetřovací stůl, aby obě hlavy kamery snímaly horní mediastinum a krk. RA na počítači nastaví zvětšení vyšetření a zaznamená si údaje o poloze stolu a může spouštět první statický obrázek. Při tomto vyšetření musí RA hlídat 1000 kcts (kilocountes). Po dosažení 1000 kcts RA zastavuje akvizici a poznamená si čas.

Právě údaje o poloze stolu a času vyšetřování je nesmírně důležitý pro nastavení druhého statického obrázku. Mezi prvním a druhým statickým obrázkem se provede celotělová scintigrafie, která se doplňuje SPECT/CT. Vyšetření SPECT/CT probíhá stejným způsobem, jako u celotělové scintigrafie s ^{131}I. Po ukončení vyšetření je pacient vyzván, aby se oblékl a mezitím ho RA dále edukuje. Pacient by měl mít zvýšený příjem tekutin, aby se radiofarmakum rychleji vylučovalo z těla a nezatěžovalo vylučovací systém. Měl by se vyhýbat kontaktu s dětmi a těhotnými ženami v průběhu 24 hodin.

Fotografie 7 Celotělová scintigrafie s ^{99m}Tc-MIBI (zdroj: 1)

11 DISKUZE

Práce radiologického asistenta (RA) na oddělení nukleární medicíny je velice rozmanitá. Zodpovídá za správné provedení vyšetření pacientů, za práci s přístrojovou technikou, rozplňování radiofarmak, ukládání radioaktivního odpadu. Důležitou náplní jeho práce je edukace a komunikace s pacienty. Radiologický asistent objednává pacienty na vyšetření, aplikuje některá radiofarmaka nebo asistuje lékaři při aplikaci.

Problematika, kterou se zde zabývám, má v současné době stále praktický význam. Incidence karcinomu štítné žlázy, se v posledních letech zvyšuje u mladší populace. Terapie pomocí radiojódu a navazující vyšetření jsou tedy pořád aktuální.

V mé bakalářské práci se věnuji celotělové scintigrafii po terapii diferencovaného karcinomu štítné žlázy s využitím SPECT/CT vyšetření.

Připomínám obecné záležitosti stran nukleární medicíny, radionuklidů, radiofarmak, radiační ochrany a přístrojového vybavení. Dále shrnuji informace o štítné žláze, určitých patologických jevech týkajících se štítné žlázy a terapii pomocí radiojódu.

V poslední části popisuji dvě akvizice, při kterých se využívá SPECT/CT a které jsem si vyzkoušela sama provést prakticky v praxi na oddělení nukleární medicíny.

V diskuzi jsou uvedeny postupy terapie radiojódem ze 4 nemocnic v České republice.

11.1 Léčba radiojódem

FN České Budějovice

Pacient přichází po operativním odstranění štítné žlázy. Po přijetí na lůžkové oddělení se provádí 3-4 dny měření štítné žlázy pro výpočet potřebného množství radiojódu k terapii. Většinou 6. den je ústy podána léčebná dávka radiojódu v kapsli. První 2 dny po léčebné dávce je zákaz návštěv. Po poklesu radioaktivity v těle pod stanovenou hodnotu je možné propuštění pacienta domů obvykle 6 dnů po podání léčebné dávky. Po provedené léčbě radiojódem pro karcinom štítné žlázy, je další trvalé sledování prováděné v ambulantní části na oddělení nukleární medicíny.

FN Motol

Ošetřující lékař doporučí přijetí na oddělení nukleární medicíny, kde nemocného podrobně vyšetří a rozhodne se o nejvhodnějším a nejúčinnějším léčení štítné žlázy. Délka pobytu na oddělení nukleární medicíny je individuální, obvykle trvá1 až 2 týdny. Přesná doba závisí na zdravotním stavu pacienta a vyloučení radiojódu z těla. Ve výjimečných případech je po podání terapeutické dávky radiojódu potřeba hospitalizace prodloužit z radiačně ochranných důvodů.

FN Hradec Králové

Po obdržení zvacího dopisu, se pacient dostaví na lůžkové oddělení nukleární medicíny, kde bude přijat a seznámen s průběhem hospitalizace. Je provedena vstupní sonografie, scintigrafie ŠŽ, akumulační test a nabrány krevní vzorky. V úterý se podává terapeutická dávka. Podmínkou pro propuštění je pokles radioaktivity z těla pacienta pod hodnotu doporučenou Státním úřadem pro jadernou bezpečnost. Délka hospitalizace činí 1 týden a nemocný odchází domů poslední den po celotělové scintigrafii.

Krajská zdravotní nemocnice Ústí nad Labem

Příjem pacienta na lůžkové oddělení bývá v neděli odpoledne. V pondělí je podána terapeutická dávka radiojódu. Po 5 dnech se provádí kontrolní měření a po dalších 5 dnech se pacientovi odeberou vzorky krve a je propuštěn domů. Celková hospitalizace trvá 2 týdny.

Jak je patrné, postupy při hospitalizacích se v různých nemocnicích liší, ale výsledek je stejný. Na odděleních nukleární medicíny se snaží pomoci nemocným s diferencovanými karcinomy štítné žlázy. Svůj důležitý význam mimo jiné mají i vyšetření jako je celotělová scintigrafie pomocí ^{131}I a ^{99m}Tc-MIBI se SPECT/CT po proběhlé terapii radiojódem. Napomáhají lékařům při dlouhodobé dispenzarizaci pacienta.

12 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo přiblížit práci radiologického asistenta na oddělení nukleární medicíny u zobrazení karcinomu štítné žlázy pomocí SPECT/CT. V průběhu psaní bakalářské práce jsem používala odbornou literaturu. Dále jsem čerpala ze svých praktických zkušeností, které jsem získala v průběhu plnění odborné praxe na oddělení nukleární medicíny na pracovištích DIMED, s.r.o. a FNHK. Přínosem ke psaní mi také byly ochota a cenné rady od velmi vlídných zaměstnanců na daných pracovištích.

Na závěr bych chtěla ještě zmínit, že práce radiologického asistenta není stereotypního typu, naopak je velmi různorodá. Při své práci se setkáváme s nejmodernější zobrazovací technikou po boku špičkových odborníků.

13 Seznam použitých zdrojů

1. BÁRTOVÁ, Jarmila. *Patologie pro bakaláře*. 4. vyd. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0794-8.
2. KIM, Chun K. a Katherine A. ZUKOTYNSKI. *SPECT and SPECT/CT: a clinicalguide*. ISBN 9781626231511.
3. KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
4. KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK. *Radiofarmaka*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012. ISBN 978-80-7464-183-1.
5. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-54-8.
6. NAŇKA, Ondřej, Miloslava ELIŠKOVÁ a Oldřich ELIŠKA. *Přehled anatomie*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-612-0.
7. ROKYTA, Richard. *Fyziologie*. Třetí, přepracované vydání (první vydání v nakladatelství Galén). Praha: Galén, 2016. ISBN 978-80-7492-238-1.
8. SEIDL, Zdeněk. Radiologie *pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.
9. SOBIN, L. H., M. K. GOSPODAROWICZ and C. WITTEKIND. *TNM klasifikace zhoubných novotvarů*. 7. vyd. 2009, česká verze. Praha: ÚZIS ČR, 2011. ISBN 978-80-904259-6-5.
10. TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Vyd. 3., dopl. a rozš. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-788-5.
11. ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.
12. VLČEK, Petr a Jan NEUMANN. Karcinom štítné žlázy: pooperační sledování nemocných. Praha: Maxdorf, 2002. ISBN 80-85912-50-3.
13. VOMÁČKA, Jaroslav, Josef NEKULA a Jiří KOZÁK. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2012. ISBN 978-80-244-3126-0.
14. VOTRUBOVÁ, Jana. *Klinické PET a PET/CT*. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-07262-619-9.

Internetové zdroje:

15. [online] MPSV ČR. Národní soustava povolání: Radiologicky asistent, [cit. 20.03.2017]. Dostupné z: http://katalog.nsp.cz/karta_p.aspx?id_jp=15090
16. 55/2011 Sb. Vyhláška o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků. Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © [cit.20.04.2017]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-55
17. http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/MP_terapie_stitne_zlazy.pdf

Zdroje fotografií:

1. FNHK oddělení nukleární medicíny