

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Anna Krunčíková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Úloha radiologického asistenta při PET/CT u karcinomu plic

Anna Krunčíková

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Anna Krunčíková**
Osobní číslo: **Z14122**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **Úloha radiologického asistenta při PET/CT u karcinomu plic**
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:

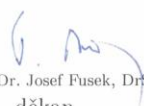
1. KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.
2. MYSLIVEČEK, Miroslav. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. ISBN 978-802-4417-233.
3. NAŇKA, Ondřej a Miloslava ELIŠKOVÁ. Přehled anatomie. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén, 2009, 420 s. ISBN 978-80-7492-206-0.
4. HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.
5. BLAŽEK, Oskar. Radiologie a nukleární medicína. Praha: Avicenum, 1989, 424 s.

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, že jsem tuto práci 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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 2. 5. 2017



Anna Krunčíková

PODĚKOVÁNÍ

Mé velké poděkování patří vedoucímu této bakalářské práce, Ing. Jiřímu Kulířovi. Velice si cením jeho rad a připomínek. Moc děkuji za jeho spolupráci a ochotu. Dále bych velmi ráda poděkovala kolektivu na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové za to, že mi umožnili získat informace a zkušenosti pro tvorbu praktické části mé práce. V neposlední řadě patří poděkování mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá úlohou radiologického asistenta při PET/CT vyšetření u karcinomu plic. Práce má dvě části – teoretickou a praktickou. První část poskytuje informace o nukleární medicíně, radiační ochraně a anatomii plic. Praktická část je zaměřena na popis úlohy radiologického asistenta při tomto vyšetření. Popsaná je příprava vyšetření i samotný průběh.

KLÍČOVÁ SLOVA

Radiologický asistent, pozitronová emisní tomografie, karcinom plic, radiační ochrana

TITLE

The role of radiology assistant during PET / CT in lung cancer

ANNOTATION

This bachelory thesis examines the role of the radiology assistant in examination in lung cancer. The work is divided into two parts – theoretical and practical part. The first part provides information about nuclear medicine, radiation protection and anatomy of the lung. The practical part is focused the role od radiology assistant during this examination. This workdescribes preparation for examination and the course of the examination

KEYWORDS

Radiology assistant, positron emission tomography, lung cancer, radiation protection

OBSAH

0	Úvod.....	12
1	Teoretická část	13
1.1	Radiologický asistent	13
1.1.1	Činnost radiologického asistenta	13
1.2	Stavba atomu	14
1.3	Radioaktivita	14
1.4	Ionizující záření.....	16
1.4.1	Zdroje ionizujícího záření	17
1.5	Nukleární medicína	18
1.5.1	Historie nukleární medicíny.....	18
1.5.2	Druhy vyšetření.....	19
1.6	Radiační ochrana.....	21
1.6.1	Limity radiační ochrany	22
1.6.2	Pásma	22
1.6.3	Veličiny radiační ochrany	22
1.6.4	Biologické účinky ionizujícího záření	24
1.6.5	Radiační ochrana před ionizujícím zářením v nukleární medicíně.....	26
1.6.6	System monitorování	27
1.7	Radiofarmaka	29
1.7.1	Výroba radiofarmak.....	29
1.7.2	Požadavky kladené na radiofarmaka	30
1.7.3	Rozdělení radiofarmak.....	30
1.8	Anatomie plic	31
1.9	Fyziologie plic.....	34
1.10	Patologie vyšetřovaná v NM	35
1.11	Nádory	37

1.11.1	Hodnocení nádorů.....	37
1.11.2	KARCINOM PLIC	37
1.12	PET/CT.....	38
1.12.1	Výpočetní tomografie	38
1.12.2	PET	39
1.12.3	Hybridní zobrazení PET/CT	40
1.12.4	Radiofarmaka pro PET	41
1.12.5	Příprava pacienta.....	43
1.12.6	Radiační ochrana pacientů	43
1.12.7	Radiační ochrana personálu	44
2	Praktická část	45
2.1	Příprava pacienta.....	45
2.2	Příprava radiofarmaka.....	46
2.3	Průběh vyšetření.....	47
2.4	Odchod pacienta.....	52
3	Diskuze	53
4	Závěr	55
5	Použitá literatura	56
6	Přílohy.....	58
6.1	Příloha A	58
6.2	Příloha B.....	60
6.3	Příloha C.....	62
6.4	Příloha D	64
6.5	Příloha E.....	65

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 Pokles dávky a dávkového příkonu (Koranda, 2014, str. 50)	26
Obrázek 2 Osobní dozimetr (autor)	28
Obrázek 3 Schéma generátoru (Koranda, 2014, str. 18).....	30
Obrázek 4 Anatomie plic (Naňka, Elišková, 2009, str. 182)	33
Obrázek 5 PET/CT-plicní karcinom (Kraft, 2012, str. 56).....	41
Obrázek 6 Uspořádání PET/CT (Powsner, 2006, str. 134).....	41
Obrázek 7 Digestoř s automatickým dávkovačem (autor).....	46
Obrázek 8 Stíněný olověný vozík (autor)	46
Obrázek 9 Křeslo pro pacienta v aplikační místnosti (autor)	47
Obrázek 10 Kontrastní látky pro CT (autor).....	47
Obrázek 11 Vybavení pro zavedení periferního žilního katétru (autor).....	48
Obrázek 12 Uložení pacienta (autor)	49
Obrázek 13 Zacentrování laseru (autor)	49
Obrázek 14 Tlakový injektor (autor)	50
Obrázek 15 Ovladovna PET/CT (autor)	51
Obrázek 16 Lehátko pro plánovací PET/CT (autor).....	51

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

RA	Radiologický asistent
NM	Nukleární medicína
IZ	Ionizující záření
RF	Radiofarmakum
PET	Pozitronová emisní tomografie
CT	Výpočetní tomografie

0 ÚVOD

Jako téma bakalářské práce jsem si vybrala úlohu radiologického asistenta při PET/CT u karcinomu plic. Jsem ráda, že jsem si mohla zvolit takové téma, protože bych se v budoucnu chtěla věnovat práci na nukleární medicíně.

Jedná se o celkem novou a stále se rozvíjející hybridní metodu. Jde o velmi složitý a drahý přístroj, na kterém radiologický asistent pracuje sám, nebo ve spolupráci s lékařem. Při jednom vyšetření a při jedné poloze pacienta je možné získat jak anatomický, tak i morfologický obraz tkáně pacienta. Karcinom plic je dnes velmi diskutované téma. Patří mezi nejčastější zhoubná onemocnění u mužů, a co se týče žen, tam se výskyt také zvyšuje, bohužel. Velmi často bývá diagnostikováno až v pokročilejším stádiu. V teoretické části popisuji radiologického asistenta, oddělení nukleární medicíny. Část práce věnuji také radiační ochraně, hybridnímu přístroji PET/CT a radiofarmakům, která jsou používána na oddělení nukleární medicíny. V praktické části popisuji činnost radiologického asistenta při vyšetření karcinomu plic a průběh celého vyšetření od příchodu pacienta až po jeho odchod.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Radiologický asistent

Radiologický asistent je nelékařský pracovník, který pracuje na odděleních radioterapie, nukleární medicíny a radiodiagnostiky. Jeho činnost je velice rozmanitá. V diagnostice je zodpovědný za provedení vyšetření a získání obrazové dokumentace, manipuluje s přístrojem. Může také asistovat radiologovi u složitějších intervenčních zákroků. V radioterapii je jeho úkolem především precizní nastavení pacienta před ozářením. Hlavní součástí povinností RA je správné provedení vyšetření dle standardů, je důležité, aby se vyšetření nemuselo opakovat a nezvyšovala se radiační zátěž pacienta. (11,14)

1.1.1 Činnost radiologického asistenta

Vyhláška č.55/2011Sb. – Vyhláška o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků říká:

„§ 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 optimalizace¹⁴⁾ radiační ochrany, včetně zabezpečování jakosti,

c) vykonávat činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, pokud splní požadavky jiného právního předpisu¹⁵⁾,

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

e) přejímat, kontrolovat a ukládat léčivé přípravky¹⁰⁾, manipulovat s nimi a zajišťovat jejich dostatečnou zásobu,

f) přejímat, kontrolovat a ukládat zdravotnické prostředky¹¹⁾ 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 přípravky¹⁰⁾ 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.“ (17)

1.2 Stavba atomu

Jedná se o nejmenší částici hmoty, kterou už nelze dále chemicky dělit. Atom se skládá z jádra obsahujícího kladně nabitě částice a částice bez náboje, kolem atomového jádra se pohybují elektrony v elektronovém obalu. Atom jako celek je neutrální.

Atomové jádro - kladně nabitě částice jsou protony a neutrony jsou částice bez náboje. Dohromady se tyto částice nazývají nukleony. Počet protonů v jádře udává protonové (atomové) číslo Z . Počet neutronů udává neutronové číslo N . Hmotnostní (nukleonové) číslo pak udává celkový počet nukleonů.

Elektronový obal - v elektronovém obalu se pohybují elektrony po tzv. energetických hladinách (vrstvy), které jsou označeny písmeny K,L,M,N,O, P, Q. Elektrony jsou na svou slupku navázány vazebnou energií. V obalu dochází k vyrážení elektronu ze slupky, k tomu je zapotřebí dodání určité energie.

Excitace - při excitaci dochází k přeskoku elektronu na vyšší energetickou slupku. Dodaná energie musí být vyšší než vazebná energie dané slupky.

Ionizace – při ionizaci je dodána taková energie, že je elektron vyražen z atomu. Poté se atom rozdělí na záporný elektron a kladný iont. (6)

1.3 Radioaktivita

Radioaktivita je jev, při kterém je jádro určitého prvku přeměněno samovolně na jádro prvku jiného za emise vysokoenergetického záření. Tato jádra nazýváme radionuklidy.

Z mateřského jádra vzniká jádro dceřiné. Radioaktivitu můžeme rozdělit na přirozenou a umělou. Přirozená radioaktivita byla objevena francouzským fyzikem H. Becquerelem v roce 1896 a je to samovolná přeměna nestabilních jader na stabilní na rozdíl od umělé, která je vyvolána jadernými reakcemi.

Přirozená radioaktivita

Přirozenou radioaktivitou se rozumí přeměny radionuklidů nacházejících se v přírodě. V souvislosti s tímto se dá také dále hovořit o radioaktivních rozpadových řadách (thoriová, neptuniová, uranová, aktinová). Popisují postupný radioaktivní rozpad nestabilních jader těžkých prvků. Rozpad v těchto řadách probíhá vždy vyzařováním částic α (jádra helia) nebo částic β (elektrony).

Umělá radioaktivita

Tato radioaktivita vzniká přeměnou uměle připravených radionuklidů. Radionuklidy vzniknou vyvoláním vnějším zásahem ozařováním stabilních nuklidů neutrony nebo nabitými částicemi v urychlovačích.

Záření α

Jedná se o proud jader helia, je tvořen dvěma protony a dvěma neutrony. Má vysoké ionizační účinky a malou pronikavost tkáněmi (desítky μm). Díky těmto vlastnostem je toto záření využíváno v terapii. Vzniklý dceřiný prvek se v periodické tabulce posune o dvě místa doprava, oproti mateřskému prvku má nukleonové číslo o 4 jednotky menší a protonové menší o 2 jednotky. Toto záření lze odstínit listem papíru nebo slabou vrstvou hliníkové fólie.

Záření β^-

Přeměna neutronu na proton zůstávající v jádře za současné emitace elektronu s malou částicí neutrinem. Posun v periodické tabulce je o jedno místo vpravo. Jev nastává u jader s přebytkem neutronů. Záření je vhodné pro terapii, jelikož dosah ve tkáni je několik mm.

Záření β^+

Jde o přeměnu protonu na neutron, který zůstává v jádře, a kladně nabitý pozitron s neutrinem. Ty jsou emitovány z jádra. Pozitron se poté spojí s elektronem a vznikají dvě kvanta

anihilačního záření o energii 511 keV. Dosah pozitronů v tkáni je cca 2 mm. Toto záření vzniká u jader s přebytkem protonů. V periodické tabulce nastane posun o jedno místo vlevo.

Elektronový záchyt

Probíhá u jader s nedostatkem neutronů. Dochází k zachycení elektronu z valenční vrstvy atomu, je spojen s protonem a vzniká neutron za současné emise gama záření a neutrina. Na chybějící místo ve valenční vrstvě přeskočí elektron z vyšší vrstvy, při tomto jevu se uvolňuje kvantum RTG záření.

Izomerní přechod

Jsou přeměňována jádra, která jsou v metastabilním stavu spolu s emisí gama záření. Příkladem je ^{99m}Tc , které se přemění na ^{99}Tc a γ záření. ^{99m}Tc je nejpoužívanější radionuklid v NM. (6,12)

1.4 Ionizující záření

Ionizující záření je tok hmotných částic nebo fotonů elektromagnetického záření, jejichž schopností je ionizovat atomy nebo excitovat jádra. Je to průvodní jev jaderných procesů, kde se jádro nebo obal atomu dostanou do excitovaného stavu, a je energeticky nestabilní. Do stabilního stavu se dostane vyzářením energie, a to ve formě fotonů nebo částice elektromagnetického záření. Jednotkou ionizujícího záření je elektronvolt (eV).

Z hlediska interakce záření s hmotou můžeme záření rozdělit na dvě skupiny. Hlavním faktorem, který ovlivňuje toho rozdělení je přítomnost náboje.

Přímo ionizující záření je záření, jehož kvanta nesou elektrický náboj. Patří sem záření alfa, beta a protonové záření. Elektrony jsou zářením přímo vyraženy nebo vytrhány.

Nepřímo ionizující záření představuje záření, které elektrický náboj nenese. Dochází k předání energie nabitým částicím a ty následně ionizují atomy v látce. (4)

1.4.1 Zdroje ionizujícího záření

Vyhláška č.422/2016 o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje rozděluje zdroje IZ do 5 kategorií dle závažnosti radioaktivity.

1. Nevýznamné zdroje IZ – generátor záření, který emituje záření s energií pod 5 keV
2. Drobné zdroje IZ – uzavřený radionuklid; generátor záření, který nespadá do kategorie nevýznamných nebo významných zdrojů ionizujícího záření
3. Jednoduché zdroje IZ – zdroj ionizujícího záření, který nespadá do kategorie nevýznamných, drobných, významných ani velmi významných zdrojů
4. Významné zdroje IZ – urychlovač částic, zdroj IZ určený k radioterapii protony, neutrony a jinými těžkými částicemi, generátor zařízení k lékařskému ozáření
5. Velmi významné zdroje IZ – jaderné reaktory (19)

Ionizační komora

Ionizační komora je založená na principu ionizace plynu. Ionty vytvořené ionizačním zářením se pohybují k elektrodám, které jsou nabity opačně, a tak vzniká ionizační proud. Toto zařízení má malou citlivost pro gama záření. Ionizační komory se využívají jako hlavní součást měřičů aktivity, které používají pro kontrolu aktivity RF předtím, než se aplikují pacientům

GM detektor (Geiger-Müllerův detektor)

Skládá se z trubice (Geigerovy trubice), která je naplněná plynem – argonem, jedná se o inertní plyn (plyn, který za určitých podmínek nepodléhá chemickým reakcím). Je zde měřen ionizační proud. Zařízení má vysokou účinnost pro záření beta.

Proporcionální xenonový detektor

Měří ionizační proud na základně principu ionizace plynu – xenonu. Tento detektor má vysokou účinnost pro gama a beta záření.

Scintilační detektor

Detekuje ionizační záření na principu excitace elektronu do vyššího energetického stavu. Návrat elektronu do původního stavu je doprovázen světelným zábleskem. Skládá se ze scintilačního krystalu (pro detekci gama záření se používá jodid sodný aktivovaný thaliem), za ním je fotonásobič, který převede záblesk ze scintilačního krystalu na elektrický signál.

Signál je slabý, ale díky soustavě dynod na fotonásobiči se signál zvětší a stává se měřitelným. Zesílené elektrické impulzy se dále dostávají do amplitudového analyzátoru. Tady se zhodnotí velikost impulsu, který odpovídá energii detekovaného fotonu. (4,7)

1.5 Nukleární medicína

NM je samostatný lékařský obor zabývající se diagnostikou a terapií pomocí radionuklidových zdrojů ionizujícího záření ve formě otevřených radioaktivních zářičů. Otevřené radioaktivní zářiče se podávají ve formě radiofarmak, což se je farmakum označené určitým radionuklidem. Mohou to být kapaliny, tuhé látky, aerosoly nebo plyny.

RF jsou aplikována přímo do těla pacienta většinou intravenózně, to znamená, relativně neinvazivní metodou.

Při diagnostických vyšetřeních jde o zachycení elektromagnetického záření, které RF emitují při své přeměně. Toto záření se zachycuje vnějšími detektory. Jedná se o gama záření, záření vznikající při anihilaci pozitronů a charakteristické rentgenové záření.

Terapie se provádí pomocí alfa a beta záření. Nejvíce využívaná je v léčbě štítné žlázy, kde se používá jód (^{131}I).

Za velkou výhodou NM se považuje to, že se jedná o minimálně invazivní vyšetření s nepříliš vysokou radiační zátěží pro pacienta. (6)

1.5.1 Historie nukleární medicíny

1895 – objev paprsků x

1903 – Marie Curie, Pierre Curie a Henri Bequerel získali Nobelovu cenu na objev radioaktivity

1913 – György Hevesy objevil indikátorový princip (1943 získal Nobelovu cenu)

19136 – Carl David Anderson objevil pozitron

30. léta 20. století – objev umělé radioaktivity

1946 – léčba nádoru štítné žlázy radioaktivním jódem

1973 – Martin Reivich, David Kuhl a AbassAlavi z Pensylvánské univerzity – první koncepce PET

Srpen 1976 – první humánní FDG-PET vyšetření mozku (Pensylvánská univerzita)

1979 – GodfreyBewboldHoundsfield a Allan MacLeodCormack – objev a konstrukce PC

1998 – první prototyp PET/CT

2001 – PET/CT připraveno ke komerčnímu využití

2001 – první PET v České republice v nemocnici Na Homolce

2003 – zahájen provoz PET/CT v nemocnici Na Homolce (15)

1.5.2 Druhy vyšetření

Scintigrafie (radioizotopová diagnostika)

Jedná se o ústřední metodu NM. Do organismu pacienta je aplikováno radiofarmakum a je sledována jeho distribuce. Vyšetření je prováděno na scintilační gamakameře. Jsou dva druhy scintigrafie – statická a dynamická. Gamakamera je složena z detektorů a vyhodnocovacího zařízení (počítač). Detektor je složen ze scintilačního krystalu, souboru fotonásobičů a kolimátorů.

Scintilační krystal je z jodidu sodného, který je aktivovaný thaliem. Scintilační krystal má obdélníkový tvar. Na scintilační krystal naléhají fotonásobiče, což jsou součástky sloužící k přeměně scintilačního záblesku na elektrický signál. Také ho výrazně zesílí pro jeho lepší zpracování.

Kolimátor je stínící clona z olova nebo wolframu, která filtruje a propouští pouze fotony letící v žádaném směru. Výsledná kvalita scintigrafického obrazu závisí právě i na vlastnostech kolimátoru. Kolimátory můžeme dělit dle počtu, velikosti a konfigurace otvorů (paralelní, konvergentní, divergentní, pinhole), dle energie gama záření (pro vysoké, střední a nízké energie) a dle rozlišovacích schopností (s vysokou senzitivitou, s vysokým rozlišením, s ultra vysokým rozlišením). Nejčastěji používaný kolimátor v NM je paralelní, pro nízké energie s vysokým rozlišením.

- Statická scintigrafie

Po provedení statické scintigrafie získáme prostý dvourozměrný obrázek (scintigram) dané vyšetřované oblasti. Statická scintigrafie podává informaci o rozložení radiofarmaka ve tkáni, uložení, tvaru a struktuře orgánu, na který se zaměřujeme.

- Dynamická scintigrafie

Výsledkem dynamické scintigrafie je graf. Zajímá nás závislost aktivity na čase. Například u vyšetření ledvin touto metodou se dá zjistit, jak RF projde ledvinami a chceme vidět jejich funkci (indikacemi mohou být např: ledvinové kameny, vývojové poruchy, cysty, vysoký tlak)

Scintilační gamakamera je přístroj snímající fotony záření. Tyto fotony jsou převáděny na elektrické impulsy, díky kterým se pak vytvoří obraz distribuce RF.

Emisní tomografie

Umožňuje zobrazení distribuce RF v organismu ve třech rovinách.

Druhy emisní tomografie:

- Spect (Single photon emission computerised tomography) – jednofotonová počítačová tomografie
- PET – pozitron emisní tomografie
- Hybridní SPECT/CT
- Hybridní PET/CT
- Hybridní PET/CT/MR

- SPECT

Jednofotonová emisní tomografie využívá radionuklidy, které emitují pouze jeden foton na přeměnu. Nejčastěji využívaný radionuklid je ^{99m}Tc . Základem tohoto přístroje je tzv. detekční hlava (detektor). Existují přístroje s jedním detektorem, ale v dnešní době se více prosazují dvouhlavé kamery. Detektory jsou otočné. K systému také náleží lůžko pro pacienta. SPECT kamera může provádět i celotělové statické i dynamické akvizice. Při vyšetření na této kameře dochází ke snímání množství rovinných projekcí v mnoha různých úhlech. Následuje výpočetní rekonstrukce, ze které vyjde sada příčných řezů. Při vyšetření pacient leží ve stejné poloze a detektory kolem něho rotují.

Rychlost rotace se nastaví dle přání vyšetřujícího lékaře (např.: 6 stupňů po 30 vteřinách). Výsledkem vyšetření jsou obrázky ve třech rovinách na rozdíl od dvourozměrného obrazu ze scintigrafického vyšetření. SPECT bývá spojen ještě s jednou zobrazovací modalitou, pak se tento přístroj nazývá hybridní SPECT/CT. (6)

PET a PET/CT je popisováno v kapitole 1.11.

1.6 Radiační ochrana

Cíl radiační ochrany – zcela vyloučit deterministické účinky a omezit účinky stochastické na rozumně dosažitelnou úroveň

Pro dosažení cíle jsou stanoveny tři principy: princip zdůvodnění, princip optimalizace, princip limitování

Princip zdůvodnění – je důležité dbát na to, aby přínos vyšetření převážil rizika, která s sebou tato vyšetření nesou.

Princip optimalizace – tímto principem je rozuměno takové dodržení úrovně radiační ochrany, aby riziko ionizujícího záření bylo tak nízké, jak je rozumně dosažitelné (z hlediska technického vybavení pracoviště a z hlediska ekonomického). Tento princip je také označován jako princip ALARA (“As Low As Reasonably Achievable“).

Princip limitování – limit je hodnota dávky, jejíž překročení ve stanovených případech není přípustné. Každý radiační pracovník je povinen se limity řídit a dodržovat je.

Obecně se může ozáření rozdělit do tří skupin:

- Pracovní ozáření – zahrnuje veškeré ozáření radiačních pracovníků, které vzniklo jako důsledek jejich práce
- Lékařské ozáření – ozáření osob, které je součástí vyšetření nebo terapie, jež podstupují
- Ozáření obyvatel – do této skupiny patří veškerá další ozáření

Pro pracovní ozáření a ozáření obyvatel platí všechny tři principy radiační ochrany, ale pro lékařské ozáření platí pouze princip zdůvodnění a princip optimalizace, to znamená, že lékařské ozáření nepodléhá limitům. (4,6,18)

1.6.1 Limity radiační ochrany

- obecné limity pro obyvatele
- limity pro radiační pracovníky
- limity pro studenty – platí pro studenty ve věku 16–18 let – pro mladší osoby platí limity obecné a pro starší osoby platí limity radiačních pracovníků
- limity pro zvláštní případy – platí pro ty osoby, které doma pečují o pacienty, jimž byl aplikován radionuklid, nebo s nimi přicházejí do kontaktu (děti 1 mSv za rok, dospělí 5 mSv za rok)

Do těchto limitů se nepočítá lékařské ozáření, dále ozáření z přírodních zdrojů a také ozáření při likvidaci jaderných havárií, které mají své speciální směrnice. (6)

1.6.2 Pásma

Sledované pásmo je prostor, kde se očekává překročení obecných limitů. Požadavky zde nejsou tak přísné jako v pásmu kontrolovaném. Pracovat zde mohou radiační pracovníci kategorie A a B. Na nukleární medicíně pracují ve většině případů radiační pracovníci zařazení do kategorie A.

Kontrolované pásmo je vymezený prostor tam, kde je předpoklad, že by mohla být efektivní dávka vyšší než 6 mSv za rok. V tomto pásmu mohou pracovat pouze odborně způsobilí radiační pracovníci, kteří jsou poučeni o možných rizicích a mají osobní dozimetry. Jelikož se v kontrolovaném pásmu pracuje s otevřenými zářiči, je zde zakázáno kouřit, jíst a pít. Vzhledem k velikosti kontrolovaného pásma a činnosti, při které pracovníci toto pásmo nemohou opustit, je zde možno pít (tekutiny musí být v uzavíratelné lahvi), ale jen ve zvláště vymezeném prostoru pro konzumaci, kde je možnost provést kontrolu povrchové kontaminace osob a stanovit opatření vylučující kontaminaci potravin. (4,13)

1.6.3 Veličiny radiační ochrany

Aktivita je fyzikální veličina udávající počet samovolných přeměn za čas. Jednotkou je becquerel (Bq). Jeden becquerel znamená jeden rozpad za sekundu. Dříve se používala jednotka currie (Ci), dnes je používána v USA. Převodní vztah je $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$.

Energie je veličina charakterizující přenos záření. Postupně klesá v průběhu šíření ionizujícího záření prostorem. Základní jednotkou je Joule (J), nebo je vyjádřena v násobcích elektronvoltů jako eV, keV (kilo elektronvolty), MeV (mega elektronvolty).

$$1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

Polčas rozpadu znamená dobu, za kterou se přemění polovina atomárních jader. Označujeme $T_{1/2}$.

Absorbovaná dávka - označená písmenem D je energie IZ, která je absorbovaná v jednotce hmotnosti ozařované látky v určitém místě. Jednotkou je gray (Gy).

Dávkový příkon určuje dávku, která je obdržena ozařovanou látkou v daném místě za jednotku času. Jednotkou je gray za sekundu, značí se $\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$.

LET znamená lineární přenos energie, jež označuje přenos E na jednotku dráhy. Má souvislost s pronikavostí IZ ve tkáni. Je to podíl změny energie (dE) na vzdálenost (dl), kterou částice prošla v daném prostředí. Nízký LET pozorujeme u beta, gama a RTG záření, naopak vysoký LET má záření alfa.

Kerma charakterizuje energii předanou nepřímo ionizujícím zářením elektronům a protonům (nabitým částicím). Jednotkou kermy je gray (Gy).

Ekvivalentní dávka podává informaci o absorbované dávce, přičemž zohledňuje biologický účinek daného typu záření. Je to součin střední absorbované dávky a radiačního váhového faktoru W_R . jednotkou je 1 Sievert (Sv).

Efektivní dávka je veličina udávající souhrnnou informaci o absorbované dávce, radiosenzitivitě ozářené tkáně a typu záření. Vypočítá se součinem ekvivalentní dávky H_T a tkáňového váhového faktoru W_T . Jednotkou je jeden Sievert, což je $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Tato veličina určuje rizika vzniku stochastických účinků. (4,6,13)

1.6.4 Biologické účinky ionizujícího záření

Pro popis biologických účinků ionizujícího záření je nutné definovat fyzikální veličinu absorbovanou dávkou (označujeme D), což je množství energie absorbované v materiálu na jednotku její hmotnosti. Jednotkou je Gray (Gy). V praxi se spíše užívá miligray (mGy) a mikrogray (μGy), poněvadž jednotka gray je poměrně velká. Čím vyšší absorbovanou dávkou dostane organismus, tím se zvyšuje závažnost biologických účinků. Velice závisí na radiosenzitivitě daných tkání a rozložení energie uvnitř organismu. Účinky IZ na živou hmotu jsou rozděleny na přímé a nepřímé.

Přímý účinek IZ znamená, že došlo k absorpci energie uvnitř objemu buňky. Ionizující záření může vyvolat zlomy molekuly DNA.

Při nepřímém účinku IZ dochází k radiolýze vody. Voda je velice důležitou složkou živé tkáně. Radiolýza znamená rozklad vody. Při tomto procesu vznikají volné vodíkové a hydroxylové látky. Při přítomnosti kyslíku pak vzniká peroxid vodíku (H_2O_2). Všechny tyto látky jsou velice reaktivní, vstupují do reakcí a mohou způsobit změnu DNA.

Poškození DNA ionizujícím zářením vede ke smrti (zániku) buňky. Nebo je změněná cytogenetická informace, dojde k mutaci. Mutace gametická je zodpovědná za genetické účinky. A mutace somatická může způsobit nádorové onemocnění. Dochází i k případům, kdy po interakci živé hmoty s ionizujícím zářením, nedochází k žádným účinkům. Nastane-li poškození DNA, v buňce jsou zahájeny biochemické procesy, které mohou napravit poškození. Je-li organismus ozářen vysokou dávkou, zaniká mnoho buněk a organismus není schopen poškozené buňky opravit nebo nahradit a jako mutované buňky se dělí dál.

Biologické účinky můžeme dělit na stochastické a deterministické.

- Stochastické účinky

Tyto účinky nezávisí na prahové dávce. S vyšší dávkou roste riziko jejich vzniku. Účinky mohou mít dlouhou dobu latence (i desítky let), pak hovoříme o pozdních účincích. Klinický obraz účinků je nespecifický, to znamená, že je nelze odlišit od změn, které jsou vyvolané např. onkoviry nebo chemickými látkami. V praxi se jedná o nádorové onemocnění.

- Deterministické účinky

Účinky závisí na prahové dávce a objeví se právě po jejím překročení. Platí, že se zvyšující se dávkou se zvyšuje i závažnost poškození. Lze je bezpečně rozeznat, jelikož mají svůj specifický klinický obraz. Deterministické účinky můžeme dělit na časný (dermatitida, ulcerace, sterilita, akutní nemoc z ozáření) a pozdní (chronická dermatitida, katarakta).

Dermatitida vzniká po překročení dávky 3 Gy. Při dávkách 3-4 Gy se objevuje erytém v průběhu několika hodin. Jsou-li dávky vyšší, může dojít i ke vzniku puchýřů a odumírání kůže.

Ulcerace nastává po dávce 5 Gy. Typická je tvorba vředů.

Sterilitu dělíme na dočasnou a trvalou. K dočasné sterilitě dochází při překročení dávky 0,3 Gy a k trvalé po dávce 3 Gy.

Akutní nemoc z ozáření (ANO) je deterministický účinek, který se projevuje po jednorázovém a celotělovém ozáření dávkou vyšší než 1 Gy. Rozeznáváme tři fáze-prodromální (reverzibilní poškození nervových buněk do 24 hodin), latentní (bezpříznakové období), manifestní (období klinického rozvoje nemoci). Pokud po třetí fázi nenastane smrt, navazuje na ni rekonvalescence. Po dávce 1-8 Gy dochází ke vzniku dřeňové (hematologické) formy ANO, při které můžeme pozorovat nespecifické příznaky (zvracení, nauzea, apatie, bolesti hlavy, průjem). Tuto formu dokáží lékaři vyléčit. Do 3 dnů od ozáření klesají lymfocyty, pokud začnou klesat i granulocyty, hrozí riziko infekce. Hlavním znakem je poškození kostní dřeně, což poznáme dle snížení počtu bílých a červených krvinek. Po dávce 8-30 Gy vzniká gastrointestinální forma nemoci. Je poškozena především výstelka tenkého střeva. Tato forma se léčí pouze paliativně, protože zcela ji lékaři nedokáží vyléčit. Poslední třetí formou akutní nemoci z ozáření je CNS/kardiovaskulární, ta nastává po dávce nad 30 Gy. Zde jsou především poškozeny cévy a průchodnost kapilár. Dávka nad 100 Gy vede k přímé smrti, neboť jsou poškozeny mozkové buňky.

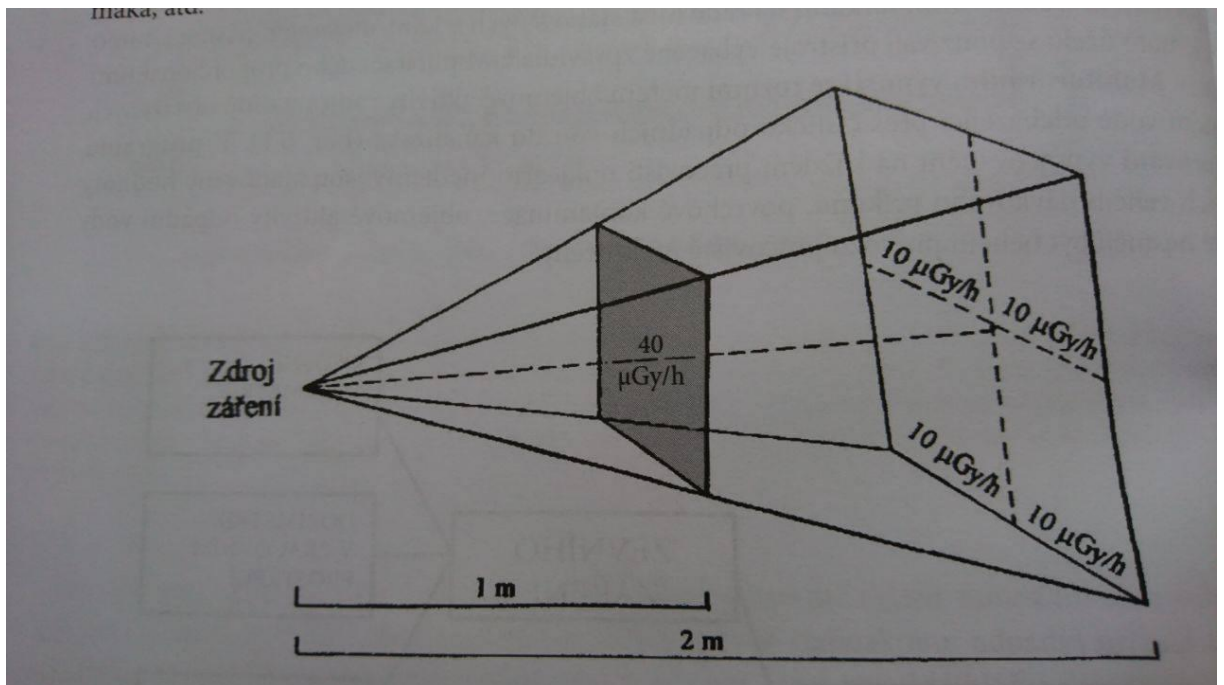
Katarakta neboli šedý zákal nastává po jednorázovém ozáření dávkou 1,5-2 Gy. (4,6,7,13)

1.6.5 Radiační ochrana před ionizujícím zářením v nukleární medicíně

Ochrana vzdáleností

Jedná se o pravidlo, při kterém by měli pracovníci dodržovat co možná největší vzdálenost od zdroje. To znamená, aby se pracovníci snažili držet odstup od pacienta, který má naaplikované RF, pokud to samozřejmě situace umožňuje (pacient je mobilní, atd.) uložit pacienta a jít do ovladovny. Dávkový příkon RTG a γ záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje.

(4)



Obrázek 1 Pokles dávky a dávkového příkonu (Koranda, 2014, str. 50)

Ochrana časem

Dávka pro pracovníka roste s dobou, kterou daný pracovník tráví v blízkosti zdroje ionizující záření. Proto je důležité co nejvíce tuto dobu zkracovat, to je však závislé na zkušenostech a dovednostech, také na kvalifikaci pracovníka. Důležité je také krátit dobu, kterou pracovníci tráví s naaplikovaným pacientem. (4)

Ochrana pomocí použití stínících prostředků

Ke stínění je použita vrstva vhodného materiálu, který dokáže zeslabit svazek záření. Vrstva materiálu je umístěna mezi zdroj IZ a pracovníka. Pro zeslabení RTG a γ záření je vhodné olovo (RF ve stříkačkách jsou umístěny v olověných krytech a radioaktivní látky jsou přenášeny v olověných kontejnerech, pro použité stříkačky a jehly po aplikaci RF jsou také připraveny speciální kontejnery). B β záření se dá odstínit lehkým materiálem s nízkým protonovým číslem, jako je plexisklo. (4)

V praxi by se měly použít všechny tři typy ochrany proti IZ. Problémem ale může být pacient s naaplikovaným RF (je zdrojem záření), který nespolupracuje nebo je nepohyblivý a vyžaduje pomoc při ukládání na lůžko. Další problémy nesou také malé rozměry vyšetřoven. S ochranou před IZ souvisí také zákaz konzumace stravy v kontrolovaném pásmu (to by mohlo vést k vnitřní kontaminaci). (4)

V rámci radiační ochrany pracovníků musejí pracovníci kategorie A podstupovat lékařské prohlídky, které provádí oprávněný lékař. Prohlídka vstupní se provádí, když je pracovník zařazen do kategorie A. Poté pracovník podstupuje jednou ročně periodickou prohlídku a v případě že došlo ke změně zdravotního stavu pracovníka nebo u něho byl překročen limit ozáření, podstoupí prohlídku mimořádnou. (4)

1.6.6 Systém monitorování

Je to systém sloužící ke kontrole kontaminace pracovního prostředí a osob zde se pohybujících.

K **osobnímu monitorování** jsou používány osobní dozimetry, nejčastěji je to dozimetr filmový (filmový dozimetr detekuje IZ pomocí fotochemické reakce a obsahuje halogenidy stříbra, povrch materiálu po vyvolání zčerná a míra ztmavnutí je přímo úměrná množství IZ.) nebo je dozimetr elektronický. Pracovníci nosí dozimetry připevněny na oděvu v oblasti hrudníku vlevo. Kontrolní období je jeden měsíc, dozimetr je poslán k vyhodnocení a pracovník dostává jiný. Pracovníci, kteří připravují a aplikují radiofarmaka, jsou opatřeni ještě navíc prstovým dozimetrem, který je také zasílán na vyhodnocení jednou za měsíc.

Důležitá je také kontrola vnitřní kontaminace, ke které může dojít vdechováním vzduchu, v němž se může nacházet radiojód – ^{131}I (používaný v terapii) nebo méně používaný pro testy

in vitro ^{125}I . Pro měření vnitřní kontaminace se používá scintilační detektor přiložený k oblasti štítné žlázy. (4,6)



Obrázek 2 Osobní dozimetr (autor)

Monitorování pracovního prostředí se provádí na stanovených místech v kontrolovaném pásmu i mimo něj a to tak, že se měří dávkový příkon gama záření nebo se měří plošná aktivita. Sledována je také kontaminace povrchů. Monitorování je prováděno systémy různých detektorových sond, ty odesílají data do počítače. (4,6)

Důležitá je dále **likvidace radioaktivního odpadu**, ten vzniká na pracovištích nukleární medicíny jak v pevném, tak i v kapalném skupenství. Pevný radioaktivní odpad představuje stříkačky, jehly, lahvičky a tento odpad je dělen podle radionuklidů a umístěn do vymírací místnosti, kde se čeká, až jejich aktivita klesne pod stanovenou uvolňovací úroveň, poté s ním může být zacházeno jako s běžným odpadem. Výjimkou jsou odpady s radionuklidy, které mají dlouhý poločas přeměny (^{137}Cs), ty jsou likvidovány specializovanými firmami, které tento odpad odvázejí na speciální úložiště radioaktivního odpadu. Do kapalného radioaktivního odpadu se řadí především moč vylučovaná pacienty, kteří se podrobují terapii ^{131}I , jehož poločas rozpadu je 8 dní. Moč je odváděna do vymíracích nádrží, kde je před vypuštěním do obecní kanalizace skladována. (4,6)

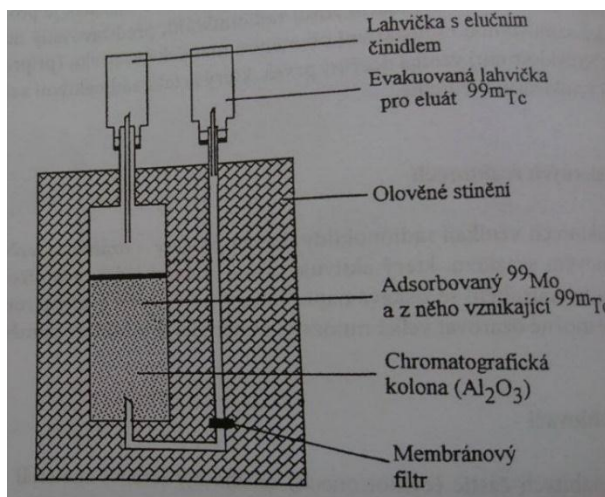
1.7 Radiofarmaka

Radiofarmakum je léčivá látka, která je složená z biologicky nebo chemicky aktivní látky (farmakum) a jednoho nebo více radionuklidů, což jsou zdroje ionizujícího záření. Aplikují se na pracovištích nukleární medicíny a důvodem pro jejich aplikaci je diagnostika nebo terapie. Farmakum se zvolí dle specifické distribuce a chování v lidském těle tak, aby mělo vztah k danému orgánu nebo tkáni. Radionuklid se naváže na nosič (farmakum). Pro ideální RF platí, že by mělo být snadno dostupné, za přiměřenou cenou a mělo by mít dostatečně vysokou měrnou aktivitu. (5)

1.7.1 Výroba radiofarmak

Pro výrobu RF vhodných pro oddělení NM jsou použity tři způsoby:

- Výroba v jaderných reaktorech – zde neutrony vznikající při štěpení obohaceného ^{235}U ozařují neradioaktivní prvky nebo dochází k separaci štěpných produktů obohaceného ^{235}U . Prvním způsobem vzniká ^{99}Mo , ^{131}I , ^{135}Sm , ^{133}Xe . ^{99}Mo a ^{131}I se dají získat i druhým způsobem.
- Výroba v urychlovači částic (cyklotron) – zde se kladně nabitě částice urychlují elektrickým polem. Působením magnetického pole dojde k zakřivení jejich dráhy a pohybují se tak po ještě větší spirále, jejíž poloměr se zvětšuje, dokud nenarazí na připravený terč s vhodným nuklidem. Zde se dají získat radionuklidy ^{111}In , ^{67}Ga , ^{81}Rb , ^{18}F , ^{123}I a jiné. Takové cyklotrony najdeme v Brně nebo např. v Pettenu v Holandsku.
- Eluční generátory – v tomto zařízení se mateřský radionuklid přemění na dceřiný radionuklid, který je vhodný pro použití v NM. Mateřský radionuklid má delší poločas rozpadu a přemění se na radionuklid s kratším poločasem rozpadu. Nejběžnějším používaným generátorem je ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátor. Skládá se z olovené stínící nádoby, ve které je skleněná kolona, která obsahuje oxid hlinitý s absorbovaným ^{99}Mo , jehož $T_{1/2}$ je 66 hodin. β^- rozpadem se ^{99}Mo přeměňuje na $^{99\text{m}}\text{Tc}$ a je vymýváno elucí sterilním fyziologickým roztokem. Nabírá se do olovem stíněné sterilní vakuové lahvičky. Tento generátor lze používat dva týdny. Poté je firmou, která se tímto zabývá, vyměněn za nový. Další používané generátory: ^{68}Ge – ^{68}Ga (^{68}Ga je pozitronový zářič, který se používá pro PET zobrazení neuroendokrinních nádorů), ^{81}Rb – $^{81\text{m}}\text{Kr}$ (tento generátor je uložený přímo vedle pacienta v oloveném krytu, $^{81\text{m}}\text{Kr}$ je vymýváno proudem vzduchu, pacient vdechuje plyn a můžeme pozorovat rozložení radioaktivity jeho plic pod gamakamerou), generátor ^{90}Sr – ^{90}Y (^{90}Y se používá k radiační synovektomii, což je terapeutická aplikace RF do kloubů) (4,5)



Obrázek 3 Schéma generátoru (Koranda, 2014, str. 18)

1.7.2 Požadavky kladené na radiofarmaka

Radionuklidová čistota – znamená podíl aktivity radionuklidu a celkové radioaktivity RF. Vyjadřuje se v procentech. Jako radionuklidové nečistoty můžeme označit další radionuklidy, ať už téhož prvku nebo prvků dalších. Radionuklidovou čistotu můžeme stanovit pomocí spektrometrie.

Radiochemická čistota – je poměr celkové radioaktivity radionuklidu a radionuklidu přítomného v RF v určité chemické formě, vyjádřený v procentech. Tyto požadavky musí vyhovovat po celou dobu použitelnosti RF. Měření se provádí pomocí chromatografie.

Chemická čistota – vyjadřuje poměr hmotnosti látky v určité chemické formě a celkové hmotnosti látek v zářiči.

Apyrogenita - RF nesmí obsahovat látky, které vyvolávají horečku (pyrogenní látky)

Sterilita – RF nesmí obsahovat žádné choroboplodné zárodky. (4,5)

1.7.3 Rozdělení radiofarmak

Dle podání

- parenterální RF (pravé roztoky, koloidní disperze, suspenze) – v praxi nejvíce využívané, aplikují se intravenózně, subkutánně, intralumbálně a pro terapii to může být intraartikulárně nebo intraperitoneálně
- perorální RF – emulze, roztoky, tuhé látky (může být podána potrava označená RF)
- inhalační RF – aerosol, plyn

Dle použití

- terapeutické použití – např: ^{131}I -jodid sodný (terapie štítné žlázy, $T_{1/2} = 8,04$ dne), ^{53}Sm -EDTMP (terapie bolesti kostních metastáz, $T_{1/2} = 1,90$ dne)
- diagnostické zobrazování – např: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -technecistan sodný (zobrazení štítné žlázy, žaludku, slinných žláz a mozku), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA (zobrazení ledvin a mozku), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DMSA (zobrazení ledvin), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -medronát (zobrazení kostí), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO (zobrazení mozku), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -aerosoly (zobrazení plicní ventilace), ^{18}F -fluorid sodný (zobrazení kostí), ^{18}F -fluorodeoxyglukosa (zobrazení srdečního svalu a různých nádorů), ^{111}In -pentetreotid (zobrazení neuroendokrinních nádorů, $T_{1/2} = 2,83$ dne) (4,5)

1.8 Anatomie plic

Plíce jsou párový orgán, který je součástí dýchací soustavy člověka. Dýchací systém je soubor orgánů zajišťující výměnu plynů mezi vnějším prostředím a krví. Dýchací soustavu představují dýchací cesty a plíce. Dýchací cesty lze rozdělit na horní a dolní. Do horních cest dýchacích patří dutina nosní a nosohltan. Dolní cesty dýchací začínají hrtanem, pokračují průdušnicí a končí průduškami. (2,8,10)

Horní cesty dýchací:

- Dutina nosní (cavum nasi)

Je to dutina uvnitř zevního nosu a je to první oddíl dýchacích cest. Je rozdělena na dvě poloviny přepážkou (septum nasi). Celá dutina nosní je kryta sliznicí. S dutinou nosní jsou spojeny vedlejší dutiny nosní (sinusy). Největší dutina nosní je maxilární v horní čelisti, další jsou frontální v čelní kosti, sphenoidální v kosti klínovité a ethmoidální v kosti čichové. Tyto dutiny jsou často místem zánětu (sinusitidy).

- Nosohltan (nasopharynx)

Nosohltan je horní část hltanu. Zde se kříží trávicí a dýchací cesty. Z pravého a levého středního ucha vede na boční stěně Eustachova trubice.

Dolní cesty dýchací:

- Hrtan (larynx)

Hrtan je trubice vyztužená chrupavkami, je 6 centimetrů dlouhá, přes hrtan prochází vzduch do průdušnice a pak pokračuje do plic. Hrtan je složen z párových a nepárových chrupavek, párové chrupavky jsou hlasivkové. Nepárové chrupavky jsou štítná chrupavka, prstencová chrupavka a hrtanová příklopka (epiglottis). Chrupavky jsou spojeny v celek pomocí kloubů a vazů. Hrtan je pohyblivě zavěšen jazylkou pod čelistí. Dutina hrtanu je pokryta sliznicí. V podslizničním vazivo se lehko šíří zánět, při alergické reakci se může vazivo zduřet, a to může vést až k zadušení.

- Průdušnice (trachea)

Trachea je trubice dlouhá asi 12-13 centimetrů, která spojuje hrtan a průdušky plic. Nachází se před jícnem, zepředu je kryta štítnými chrupavkami, které mají tvar půlměsíce. Sliznice průdušnice je pokryta epitelem s řasinkami, které dokáží vycytat nečistoty z vdechovaného vzduchu. Za pomoci hlenu tyto nečistoty vytlačují ven z průdušnice. Po vstupu průdušnice do hrudníku se dělí na pravou a levou průdušku, k rozvětvení dochází ve výši 4. až 5. hrudního obratle.

- Průdušky (bronchi principales)

Průdušky jsou krátké trubice, které vznikly rozvětvením průdušnice a pokračují až k rozdělení na lalokové bronchy, zanořující se do plic. Pak dochází k mnohonásobnému rozdělení na drobné průdušinky (bronchioly). Stěna bronchiolů je tvořena vazivem, sliznicí a snopečky hladké svaloviny. Tímto vzniká bronchiální strom, ten s okolním vazivem tvoří pružný plicní skelet. (2,8,10)

Plíce:

Plíce jsou uloženy v hrudní dutině, zabírají její převážnou část, mají kuželovitý tvar. Dochází zde k výměně plynů mezi krví a vzduchem. Vrcholky, které převyšují kostí klíční, se nazývají plicní hroty. Plicní báze jsou obloukovité plochy, kterými plíce naléhají na bránici. Na povrchu plic se nachází jemná vazivová blána-poplicnice. Dutina hrudní je vystlána pohrudnicí. Mezi těmito blánami je úzká štěrbina, která je vyplněná čirou tekutinou. Tato tekutina pomáhá při dýchacích pohybech tím, že snižuje tření mezi poplicnicí a pohrudnicí.

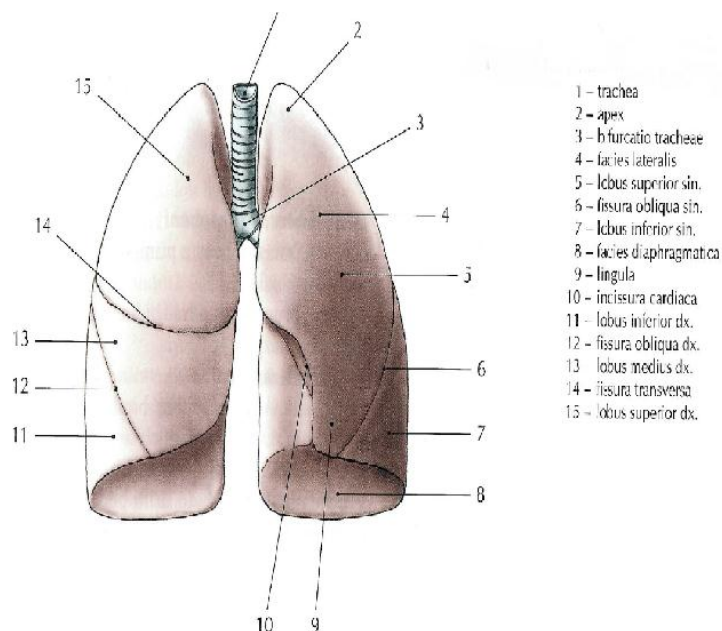
Plíce jsou zářezy rozděleny na laloky. Pravá plíce má tři laloky na rozdíl od levé, která má dva. Laloky jsou od sebe odděleny hlubokými zářezy (fisurami). Dále se plíce dělí do segmentů. Segment je nejmenší stavební a funkční jednotkou plic. Každý segment má svou cévu a obsahuje vlastní průdušku.

U novorozenců a dětí v raném věku je barva plic narůžovělá. Postupem času dostávají plíce šedý nádech, tato změna je způsobena vdechováním prachu a částeczek sazí. Hmotnost plic je proměnlivá a závisí na aktuálním naplnění vzduchem, prokrvení a na množství tekutiny v inetersticiálním vazivu. Průměrná hmotnost plic u muže je kolem 780 g a u žen se váha pohybuje kolem 640 g.

Mezihrudí (mediastinum) je prostor mezi pravou a levou plicí, kde je uloženo srdce. Tento prostor je vyplněn řídkým vazivem. Jsou v něm uloženy některé orgány (průdušnice, jícen, srdce v osrdečníku a velké cévy vystupující a vstupující do srdce). Sahá od sternu k páteři.

Plicní stopka (hilus pulmonis) označuje místo vstupu cév a bronchů do plic.

Krevní zásobení plic je dvojitý – nutritivní (výživný) krevní oběh a malý krevní oběh. Nutritivní krevní oběh vyživuje plicní parenchym a stěny bronchů. Tepnami přivádí okysličenou krev přímo z hrudní aorty. Díky malému plicnímu oběhu dochází k výměně dýchacích plynů mezi vzduchem v plicních sklípcích a krví. (2,8,10)



Obrázek 4 Anatomie plic (Naňka, Elišková, 2009, str. 182)

1.9 Fyziologie plic

Plicní ventilace je proces, při němž dochází k pohybu dýchacích plynů (kyslík a oxid uhličitý) do plic a z plic pomocí změny tlaku v plicích. Pokud člověk vdechne 500 ml vzduchu, do plicních alveolů se dostane pouze 350 ml, zbytek vdechnutého vzduchu zůstává v dýchacích cestách (tento vzduch je součástí mrtvého anatomického prostoru – 150 ml).

Při plicní perfúzi dochází k přívodu krve k plicním sklípkům a tím dochází k prokrvení plic. Sklípky jsou velmi dobře prokrvovány hustou sítí drobných vlásečnic.

Plicní difuze znamená přestup dýchacích plynů přes stěny plicních sklípků.

Vdech představuje aktivní proces, kdy se objem dutiny hrudní zvětšuje na základě stahů mezižeberních svalů a bránice. Při vdechu je vzduch dopravován do plicních sklípků. Bránice a mezižeberní svaly se stáhnou, zvětší se objem dutiny hrudní směrem dopředu a nahoru. Pokud mají pacienti potíže s dýcháním, jako je astma nebo selhávání levého srdce, pomáhají si tím, že zaujmou polohu vsedě a mají fixované horní končetiny, tak mohou při dýchání využít i pomocné vdechové svaly (malý a velký prsní sval).

Výdech je naopak pasivní proces, kdy svaly relaxují. Při ochabnutí vdechových svalů se v plicích zvýší tlak a je vyšší než tlak atmosférický a na základě tlakové rozdílu putuje vzduch z oblasti s vyšším tlakem do oblasti s tlakem nižším. Pokud se člověk fyzicky namáhá, stává se výdech dějem aktivním a zapojeny jsou výdechové svaly.

U žen převládá dýchání žebry (dýchání zajišťuje činnost žeber). Dýchání brániční převládá u dětí a mužů. Brániční dýchání je třeba cvičit.

Dohromady tvoří vdech a výdech dechový cyklus. Ten se opakuje 12 - 16krát za minutu. Dechový (respirační) objem znamená, že se za klidového dýchání (eupnoe) při dechovém cyklu v plicích vymění průměrně 500 ml vzduchu. Dítě má dechovou frekvenci 20-26 vdechů za minutu v klidu. Při fyzické námaze dechová frekvence stoupá. Trénovaní sportovci mají dechovou frekvenci nižší (kolem 14 vdechů za minutu).

Dechový objem je objem vzduchu z nádechu nebo výdechu.

Minutová ventilace je prodýchaný objem vzduchu za jednu minutu.

Vitální kapacita je maximální množství vzduchu, který může člověk vydechnout po největším možném nádechu. Velikost vitální kapacity plic závisí na věku, pohlaví, zdravotním stavu a na trénovanosti. Lze ho považovat za orientačního ukazatele výkonnosti plic (ženy – 3,2 litrů, muži – 4,2 litrů).

Dechový objem, minutovou ventilaci i vitální kapacitu plic jsou parametry, které lze změřit pomocí spirometrie.

Reziduální (zbytkový) vzduch je zbytek vzduchu, který zůstává v plicích i po maximálním výdechu. Je to asi 1,5 litru vzduchu.

Dýchání je řízeno dýchacím centrem v prodloužené míše (součást mozkového kmene). Řízení dýchání se musí neustále přizpůsobovat změnám. Tyto změny jsou registrovány různými receptory. Informace z receptorů jsou vedeny nervovými vlákny do mozkového kmene. Všechna dýchací centra v mozkovém kmeni jsou pod vlivem kůry mozkové. Člověk může vůlí ovlivnit rytmus i hloubku dýchání. (12)

1.10 Patologie vyšetřovaná v NM

Plicní embolie

Je velmi častý stav, který může ohrozit život pacienta, dochází při něm k ucpání arterie pulmonalis nebo k ucpání některých jejích větví. Cévy jsou ucpány vmetkem neboli trombem, což je krevní sraženina, která nejčastěji vzniká v dolních končetinách. Plicní embolie je charakterizovaná dušností, bolestí na prsou, poklesem krevního tlaku a zvýšením srdečního tepu. Mezi rizikové faktory vzniku plicní embolie patří:

- omezení hybnosti dolních končetin, zvláště po operacích, v těhotenství nebo při dlouhém cestování
- velký vliv na vznik má také porucha srážlivosti krve, která může být získaná nebo vrozená, také ji podporuje užívání hormonální antikoncepce (to je nebezpečné ve spojení s kouřením, protože kouření způsobuje zužování cév)

V nukleární medicíně se pro diagnostiku plicní embolie využívá vyšetření ventilačně/perfúzní scintigrafie plic.

Chronická obstrukční choroba bronchopulmonální

Základem této nemoci je chronická bronchitis, což znamená, že na průduškách je trvale nebo opakovaně zvýšená sekrece hlenu, ten ucpává bronchy, a to celé vede ke ztížení pasivního výdechu. Pro diagnostiku se používá ventilačně/perfúzniscintigrafie plic.

Plicní infekce

- **tuberkulóza (TBC)** – infekční bakteriální onemocnění plicní tkáň je při něm postižena zánětem, poté podléhá rozpadu a je nahrazena dutinami, člověk je při TBC celkově vyčerpaný, trpí nutkavým kašlem, zduřelými uzlinami, horečkou a vykašláváním krve
- **zápal plic (pneumonie)** – zánětlivé onemocnění, zánětem je postižen plicní parenchym, patří mezi nejčastější zánětlivá onemocnění
- **bronchopneumonie** – typ povrchového zápalu plic bakteriálního původu, člověk se cítí vyčerpaný, malátný a trpí bolestmi svalstva

Pro diagnostiku plicních infekcí se v nukleární medicíně používá scintigrafie se značenými leukocyty.

Sarkoidoza

Sarkoidoza je multisystémové granulomatózní zánětlivé onemocnění bez jasného původu. Postižen může být jakýkoliv orgán, ale nejvíce nemoc zasahuje právě plíce. Pro diagnostiku je použita scintigrafie s ⁶⁷Ga-citrátem nebo PET/CT vyšetření. (1)

1.11 Nádory

Název nádor označuje stav buněk, které abnormálně a neregulovatelně rostou a nemohou se navrátit do svého původního stavu. Příčiny nádorů jsou různé a mohou se vzájemně propojovat. Jedna příčin může být dědičnost, životní styl, vliv prostředí. Další příčinou mohou být takzvané kancerogeny, což jsou látky chemické, fyzikální a také biologické. Mezi kancerogeny se například řadí uhlovodíky s aromatickým jádrem, které jsou obsaženy v dehtu a cigaretovém kouři. Patří sem i některé druhy virů jako papilomaviry, určité retroviry, hepatitida B a C. Každý lidský organismus má ve své genetické výbavě onkogeny, které se podílejí na růstu a dělení každé buňky. Kancerogeny pozmění tyto onkogeny a buňky se pak začnou nekontrolovatelně dělit a vzniká skupina nádorových buněk. S takovými buňkami si často organismus sám neporadí a nedokáže je zlikvidovat. Nádorové buňky produkují odlišné proteiny, neboť byl pozměněn jejich genom. Rozeznáváme 4 základní skupiny nádorů: mezenchymové, epitelové, z nervové tkáně a ostatní. Nádory mohou být benigní (nezhoubné), ty jsou dobře ohraničené, rostou pomalu, dají se dobře operativně odstranit a nemetastazují, čímž neovlivňují celkový stav pacienta. Na druhé straně nádory maligní (zhoubné) rostou rychle, nejsou dobře ohraničené a destruuji své okolí. Metastazují, a tak ovlivňují celkový stav pacienta. (1)

1.11.1 Hodnocení nádorů

K hodnocení nádorů používáme TNM klasifikaci. Je to nejvíce používaný způsob klasifikace nádorů.

T (tumor) – určuje rozsah primárního nádoru

N (nodus) – udává informaci o postižení regionálních lymfatických uzlin nádorem

M (metastáza) – informuje o přítomnosti či nepřítomnosti metastáz (1)

1.11.2 KARCINOM PLIC

Karcinom je maligní epitelový nádor, který je laicky nazývaný rakovina. Tvoří asi 80 % všech maligních nádorů. Rozlišujeme karcinom z krycího (hlavně dlaždicový karcinom) nebo žlázoového (adenokarcinom) epitelu. Tyto nádory metastazují lymfatickou cestou a nejprve napadají hlavně regionální mízní uzliny. Výskyt pozorujeme hlavně u starších lidí. (1)

Karcinom plic je nádorové onemocnění, při kterém dochází k neregulovatelnému růstu buněk v plicní tkáni a bez včasné léčby začíná metastazovat do okolní tkáně a dalších částí těla. Histologicky se rozlišují dva typy: malobuněčný a nemalobuněčný karcinom. Toto rozdělení je velice důležité pro výběr léčby, neboť malobuněčný karcinom má lepší odezvu na léčbu ozařováním nebo chemoterapií, na rozdíl od nemalobuněčného, který je často léčen tak, že je chirurgicky odstraněn. Z 90 procent se jedná o bronchogenní karcinom, to znamená, že vychází ze sliznice bronchů, nejčastěji velkých bronchů. Nejprve ucpe nitro bronchu, kam se rozrůstá a poté pokračuje i kolem bronchů. Může vytvářet uzlovitá ložiska, jejichž vlastností je nekrotický rozpad. Karcinom plic je označován jako kuřácká rakovina, protože postihuje hlavně kuřáky. Dále velice často postihuje hlavně muže ve věku od 50 do 60 let. 80 procent nemocných bývají kuřáci. Na vzniku karcinomu plic se ale podílejí i jiné faktory. Ke vzniku přispívá rodinná dispozice, expozice radonu, špatné životní ovzduší a azbest. Mezi prvoční příznaky toho karcinomu patří nechutenství a hubnutí, poté se přidává kašel a bronchopneumonie, což je typ zápalu plic, který má bakteriální původ a tvoří ložiska zánětů. Pro léčbu karcinomu je nutné určit typ buněk a zvážit celkový stav pacienta. Častá je chirurgická léčba, ta se provádí u nemalobuněčného karcinomu a pro posouzení, zda bude tato strategie úspěšná, je potřeba provést počítačovou tomografii a pozitron emisní tomografii. Díky těmto vyšetřením se určí rozsah poškození. Tam, kde se vyloučí chirurgický zákrok, je ve většině případů indikovaná kombinovaná léčba ozařováním a chemoterapií. U pacientů v pokročilém stádiu se volí paliativní léčba, která nevede k uzdravení pacienta, ale má za úkol zvýšit kvalitu života nemocného. (1)

1.12 PET/CT

1.12.1 Výpočetní tomografie

Dynamická metoda vyšetření s dobrou prostorovou rozlišovací schopností. Jde o zobrazovací metodu, jež využívá průřezové obrazy struktur tkáně lidského těla, které jsou poté rekonstruovány počítačovou technikou podle rozdílné absorpce rentgenového záření v mnoha úhlových projekcích. Výpočetní tomograf je vztažná soustava rentgenky a detektoru, která se otáčí kolem pacienta. Detektor zaznamená absorpci, která je v každém úhlu rozdílná. Rozlišují se dvě kategorie přístrojů. Inkrementový přístroj poskytuje CT vyšetření s vysokým prostorovým rozlišením. Přístroj provede měření a pak se posune, to znamená, že mezi prostorem, který je vyšetřený, se nachází nevyšetřený prostor. Do druhé kategorie řadíme helikální CT přístroj, helix znamená šroubovice.

Pacient projíždí CT a vztažná soustava okolo něho opisuje právě šroubovici. Dále se rozlišuje několik řad CT přístrojů a toto rozdělení souvisí z historickým vývojem těchto přístrojů, konkrétně se jedná o to, jak vypadá svazek rentgenového záření. V první kategorii měl svazek tvar podobný tužce, a to znamenalo celkem značnou dobu pro provedení vyšetření. Dnes se nejvíce využívá třetí kategorie, kde svazek záření má tvar širokého vějíře. Jedná se o multidetektorové přístroje, neboť mají až 128 řad, které obsahují 600 až 800 detektorů. Získávají se axiální řezy (obrazy). Díky vyšetření se získá 3D obraz (délka, šířka, hloubka). Mezi nedílné součásti CT se řadí: gantry, stůl pro pacienta a ovládací část s PC. Jako přídatné součásti jsou označovány: pumpa pro aplikaci kontrastní látky, flat panel, CT skiaskopie. Vyšetření probíhá tak, že se prozáří vyšetřovaná oblast z mnoha úhlů ($0-360^\circ$) a je detekována intenzita záření, která je převedena na elektrický signál. Intenzitou se rozumí charakter tkáně čili míra absorpce záření. Naměřená intenzita se převádí pomocí výpočtu změny intenzity vstupní na rentgence a výstupní na detektoru. Naměřená hodnota získá dle intenzity číselnou hodnotu, která je charakterizována odstínem šedi, těch je 4096. Rozeznat tyto odstíny pomáhá tzv. Hounsfieldova stupnice. Celá škála šedi se včlení do určitého úseku této škály, tedy do okna CT obrazu. (14,15)

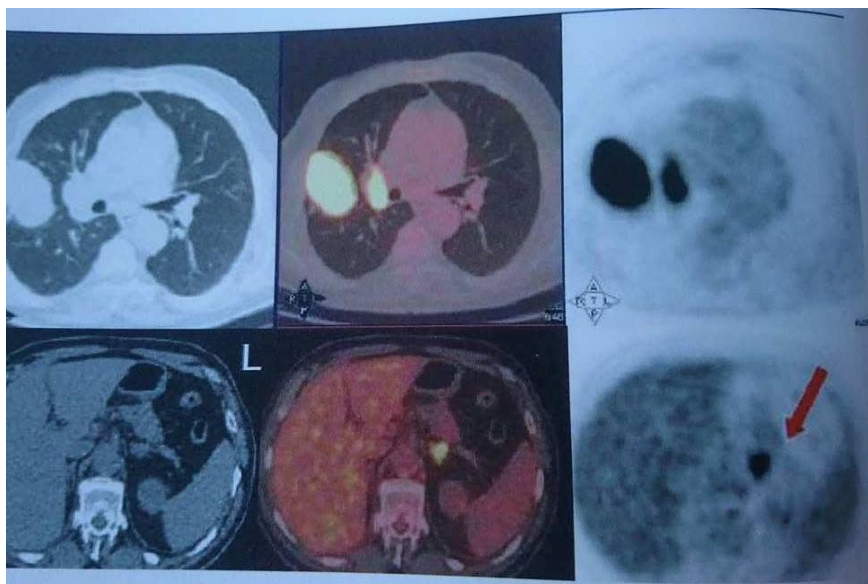
1.12.2 PET

Pozitron emisní tomografie představuje nejnákladnější a nejsložitější zobrazovací metodu nukleární medicíny. Současně se tyto přístroje konstruují jako hybridní PET/CT, které vypadá jako klasický tunel s polohovacím lůžkem. Na rozdíl od SPECT se zde nepoužívají vyměnitelné kolimátory, poněvadž je zde kolimace elektronická. Při PET vyšetření je zobrazena distribuce pozitronových radionuklidů. Vyšetřovanému pacientovi je aplikován beta (pozitronový) zářič, po aplikaci si pozitron, značený e^+ hledá svoji anti částici, což je elektron, značený e^- . Dochází k anihilaci, tedy k zániku pozitronu a elektronu. Z místa, kde došlo k této anihilaci, se vyzáří anihilační záření, jedná se vlastně o gama záření ve formě dvojice fotonů. Tyto fotony se od sebe odrazí pod úhlem 180 stupňů a oba mají energii 511 keV. Dvojice fotonů snímá PET kamera, proto je ve tvaru kruhu, který je nepohyblivý. Jednou z vlastností fotonů vzniklých anihilací elektronu a pozitronu je to, že se pohybují rychlostí světla, proto je může PET kamera detekovat prakticky současně. Snímání dat se nazývá akvizice. (14)

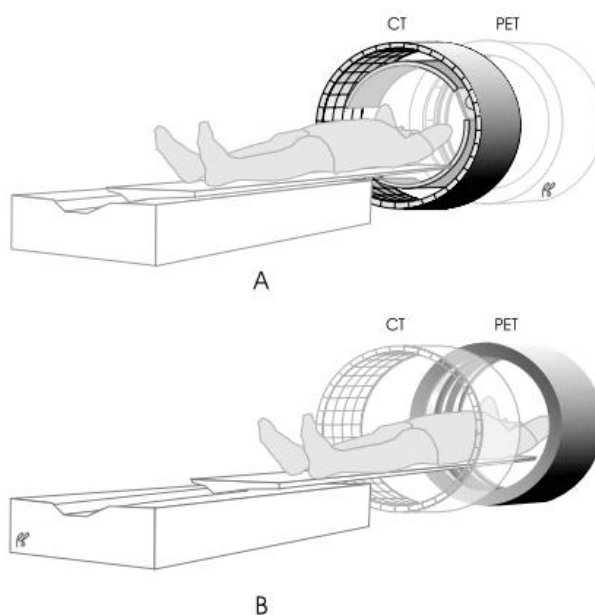
PET detektor se skládá z velkého počtu scintilačních krystalů v prstencovém uspořádání. Krystaly jsou v kontaktu s fotonásobiči, které snímají záblesky po scintilaci krystalu a gama záření. Jelikož má anihilační záření poměrně vysokou energii, musel se tomu podřídit i materiál scintilačního krystalu. Místo obvyklého jodidu sodného aktivovaného thaliem je zde použita germaniová sůl bismutu (BGO) nebo fluor barnatý ve sloučenině jako LSO a GSO. Tyto materiály mají větší hustotu a vyšší účinnost detekce v oblastech s vyšší energií gama záření. Velmi výkonný hardware (součást příslušenství PET kamery) zrekonstruuje obraz PET vyšetření. Velmi důležitá je také dostatečná kvalita obrazu, zvláště u popisu malých lézí, ta je závislá na kvalitě samotné akvizice a parametrech rekonstrukce. (15)

1.12.3 Hybridní zobrazení PET/CT

Pozitron emisní tomografie podává informaci o funkci, ale informace o poloze je více nebo méně omezená. Nemluvě o chybějící informaci o struktuře a morfologii (stavbě). Proto v dnešní době dochází ke spojení nukleární medicíny s jinou zobrazovací modalitou. Tímto způsobem vzniklo PET/CT. CT má velice přesnou anatomickou lokalizaci, to je jeden z důvodů, proč je CT jedna z nejvíce používaných modalit pro hybridní systémy. Při PET/CT vyšetření dochází k fúzi obrazů, to znamená současné zobrazení dvou vzájemně registrovaných objemů. Při zobrazení CT se používá šedá škála odstínů a pro PET je vhodné zvolit jinou barevnou škálu. Používá se často monochromatická barevná tabulka zobrazující rozdíly v dosahovaných aktivitách. Hybridní PET/CT se skládá z PET skeneru a plnohodnotného diagnostického CT. Snímání pacienta probíhá postupně, jako první je proveden toposcan, kdy rentgenka je v předem určené pozici, nerotuje kolem pacienta a ten projíždí gantry. Toposcan je zpravidla předozadní projekce, díky ní se získá anatomická mapa, na které se volí oblast zájmu. Po toposcanu probíhá klasické CT vyšetření, na které navazuje snímání dat pomocí PET skeneru. CT vyšetření probíhá zpravidla s podáním jodové kontrastní látky. Velikou výhodou pro fúzi obrazů je získání dat při jednom uložení pacienta, pak je fúze velmi snadná a probíhá díky dobrému hardwérovému uspořádání. Při hodnocení výsledků vyšetření na konzoli je možné prohlížet PET a CT vyšetření odděleně. (15)



Obrázek 5 PET/CT-plicní karcinom (Kraft, 2012, str. 56)



Obrázek 6 Uspořádání PET/CT (Powsner, 2006, str. 134)

1.12.4 Radiofarmaka pro PET

Existuje zhruba přes 600 radionuklidů, které lze využít pro pozitron emisní tomografii, poněvadž při radioaktivní přeměně produkují pozitrony. Pro své dobré chemické vlastnosti jsou v praxi nejvíce využívány: ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F , ty se vyrábí v cyklotronech. Mají poměrně krátký poločas přeměny. Právě výroba v cyklotronech je nevýhoda těchto radionuklidů, protože se jedná o celkem nákladnou produkci. Na druhé straně vysoká kvalita získaného obrazu a nízká radiační zátěž pacientů je velikou výhodou.

Fluor-deoxy-glukóza FDG

FDG je nejvíce používaný radionuklid vůbec, používá se pro zhruba 95 % PET/CT vyšetření. Značí se pomocí pozitronového zářiče ^{18}F . Při postižení organismu nádorem ztrácejí buňky schopnost využívat jiné energetické zdroje a tím se stávají závislé na glukózovém metabolismu. Proto je právě vhodné užití fluordeoxyglukózy, lehce se na tyto buňky dokáže navázat. ^{18}F FDG je preferováno pro vyšetření maligního melanomu, tumorů plic, non-hodgkinských lymfomů, Hodgkinovy choroby, ale i pro diagnostiku nádorů GIT, nádorů hlavy a krku, gynekologických nádorů, sarkomů a dalších. ^{18}F -FDG může detekovat většinu karcinomů. Problém při použití tohoto radiofarmaka nastává, pokud je zvýšená hladina glukózy v krvi, to pak nelze vyšetření provést, vysoká hladina glukózy v krvi zhoršuje akumulaci FDG v buňkách nádoru.

U diabetiků je nutné provést kompenzaci diabetu. Řešením není ani podání inzulínu těsně před vyšetřením, jelikož by se většina radiofarmaka vychytala v kosterním svalstvu. To by vytvořilo nežádoucí efekt.

V organismu je více anatomických struktur a orgánů, vykazujících vyšší metabolismus glukózy, to znamená, že se v těchto místech více akumuluje FDG. Fyziologickou akumulaci radiofarmaka lze pozorovat v šedé kůře mozkové a v močových cestách. Srdce může vykazovat nízkou a zároveň i vysokou akumulaci. Zvýšená akumulace v gastrointestinálním traktu je vidět u žaludku, ve stěně tenkého a tlustého střeva. V období menstruace je zvýšená akumulace v děložní sliznici, tu také vykazuje prsní žláza v období laktace. Po námaze pacienta před vyšetřením je na kosterním svalstvu také zjevná akumulace, z tohoto důvodu je nutné, aby se pacient 3 dny před vyšetřením vyhýbal jakékoliv fyzické námaze. U dětí lze pozorovat zvýšenou akumulaci v brzlíku, který je v tomto období zodpovědný za vznik T-lymfocytů, ty jsou důležité pro obranyschopnost organismu. Děti mají také zvýšenou akumulaci v růstových ploténkách (epifyzární štěrby), ty umožňují růst kostí do délky. Fyziologická distribuce se dá správně zhodnotit právě fúzí s CT obrazem.

Dalšími RF pro PET vyšetření jsou:

^{18}F -cholin

Toto radiofarmakum zobrazuje hepacelulární karcinom nebo karcinom prostaty a jeho metastázy. Akumuluje se v tumorech, které nevyužívají glukózu.

¹⁸F-FLT (fluorothymidin)

Fluorothymidin dokáže odlišit okolní zánětlivé změny od maligní plicní tkáně. Také se využívá pro detekci gliomů mozku.

¹⁸F-DOPA

Pomocí tohoto radiofarmaka se může detekovat neuroendokrinní tumor a také se může hodnotit dopaminový metabolismus v bazálních gangliích v mozku. (5,15)

1.12.5 Příprava pacienta

Před každým PET/CT vyšetřením dostává pacient dokumenty s požadavky, které je nutno provést před vyšetřením. Předpokladem správně provedeného PET/CT vyšetření je lačnění, a to nejméně 6 hodin před samotným vyšetřením. Lačněním se předejde komplikacím v podobě zvracení po podání jodové kontrastní látky, zvýšené akumulaci FDG ve fyziologických strukturách a nízké akumulaci FDG v nádorových buňkách. Hladina glykémie v krvi je dalším faktorem ovlivňujícím kvalitu vyšetření. Její vyšší hladina může snížit akumulaci radiofarmaka a tím zmenší kvalitu kontrastu mezi okolím a nádorem. Z tohoto důvodu se před aplikací FDG změří hladina glykémie a rozhodne se o dalším postupu. Dále je pacientům doporučován zvýšený příjem tekutin v den vyšetření. Tím se sníží radiační zatížení pacienta a může se také předejít nefropatii při podání jodové kontrastní látky. Pít by se mělo až do začátku vyšetření.

Pokud pacient prokáže těžkou alergii na jodové kontrastní látky, použijí se pouze v nejnútnejších indikacích za přítomnosti anesteziologa.

Kontraindikací pro toto vyšetření je těhotenství pacientky, to platí u jakéhokoliv vyšetření využívající ionizující záření. (3,4,6,15, 18)

1.12.6 Radiační ochrana pacientů

Je nutné zamyslet se nad radiační ochranou pacientů při PET/CT vyšetření, neboť už samotné CT je největším přispěvatelem k ozáření populace.

CTDI (CT Dose index) je parametr CT vyšetření, který určuje dávku absorbovanou v ozářeném objemu jedné vrstvy, udává se v mGy. Jelikož není dávka v objemu distribuována homogenně, měří se CTDI v centru a v periferiích obvodu. Tímto měřením získáme CTDI_w-vážený index.

Je-li vynásoben pitch^{-1} (poměr velikosti posunu stolu na jednu rotaci rentgenky a celkové kolimaci svazku), vyjde parametr CTDI_{vol} -objemový index ($\text{CTDI}_w \times \text{pitch}^{-1} = \text{CTDI}_{\text{vol}}$). Jedná se o parametr závisující na způsobu filtrování, geometrii skeneru, použité voltáži, kolimaci záření a posunu stolu. Hodí se pro porovnání dávky u různých protokolů snímání. **DLP** (Dose-LenghtProduct) je také parametr CT vyšetření. Používá se pro odhad dávky pacienta. Tento odhad zahrnuje délku rozsahu snímání. Parametr je získán vynásobením CTDI_{vol} a délky snímání v centimetrech.

Z důvodu existence rozdílů v senzitivitě jednotlivých orgánů není tento parametr dostačující pro určení rizika pacienta. Vhodné je převedení na efektivní dávku v mSv. Ta také souvisí s podáním radiofarmaka, a hlavně na použitém radionuklidu, na jeho aktivitě, chemických vlastnostech a způsobu podání (při intravenózním podání může RF uniknout mimo cévu, a to zásadně mění dozimetrickou situaci). V praxi se zaznamenává hodnota DLP, aktivita a druh podaného RF tak, jak to určuje legislativa, to postačí k výpočtu možné efektivní dávky. (15)

1.12.7 Radiační ochrana personálu

Ochrana personálu při CT vyšetření je jednoduchá, jelikož je tento problém vyřešen tím, že pracovní místo obsluhy je stavebně odděleno od místa, kde se nachází přístroj, za použití odpovídajícího materiálu. Větší komplikací je PET vyšetření. Anihilační záření pozitronů má vysokou pronikavost. Pracoviště jsou vybavena speciálními manipulátory nebo automaty pro plnění stříkaček radiofarmakem. Wolfram má vyšší absorpční schopnosti než olovo, proto je použit pro stínící materiál, ve kterém je stříkačka uložena, i přesto není stínění stříkačky stoprocentní. Kromě stínění je zapotřebí dále omezit dobu expozice záření. Tomu ale moc nenapomáhají situace, kdy je potřeba pomoci pacientovi (nejčastěji při polohování), který je už v tento moment sám zdrojem záření. Samozřejmě pro ochranu personálu je jeho dokonalá kázeň, edukace a pečlivé osobní monitorování. V případech kontaminace prostoru vyšetřovny RF postačí zamořený prostor uzavřít na určitý čas, neboť zde používaná radiofarmaka mají kratší poločasy přeměny. (3,15)

2 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části své bakalářské práci se věnuji vyšetření pacientů s karcinomem plic. Popisuji celé vyšetření i pokyny, které pacient dostává před i po vyšetření.

2.1 Příprava pacienta

Samotná příprava pacienta je nedílnou součástí vyšetření, je důležitá pro jeho správné provedení. Pacient se musí připravit jak na CT vyšetření s podáním jodové kontrastní látky, tak i na podání RF před PET vyšetřením. Bez této přípravy není možné dostat nezkraslené výsledky.

Pacient se musí minimálně dva dny vyvarovat fyzické námahy (sportování, práce okolo domu, nošení těžkých nákupů), pokud toto nedodrží, dojde k akumulaci RF ve svalch. Další důležitou věcí je lačnění nejméně 6 hodin před vyšetřením. Tento pokyn se netýká tekutin, příjem tekutin ve vyšší míře je naopak vhodný a ideální je neslazená čistá voda nebo hořký čaj. Nemělo by se pít nic slazeného ani mléko. Léky, které pacient pravidelně užívá, si vezme tak, jak je zvyklý. Pokud pacient bere léky na cukrovku (PAD, inzulin), musí dodržet pokyny, které mu přišly poštou nebo je dostal od indikujícího lékaře. Podání jodové kontrastní látky může vyvolat alergickou reakci (kopřivka, potíže s dýcháním, kýchání, ale i život ohrožující stavy). Problém s podáním kontrastní látky mohou mít pacienti s onemocněním ledvin, se selháním srdce, epilepsií a řadou dalších nemocí. Proto je informovanost o předešlých reakcích na kontrastní látku u pacienta nutná. Jestliže je známá dřívější alergická reakce, můžeme použít jinou kontrastní látku nebo nasadit premedikaci kortikoidy (Prednison). Dále s sebou musí pacient přinést výsledky odběru krve na hladinu kreatininu a urey, ty nesmí být starší než 14 dní. Vyšetřovací místnost musí být vybavená základními kortikoidy, histaminiky a resuscitačními léky.

V dokumentech, které jsou pacientovi zaslány, se dozvídá, že si má s sebou přinést 1,5 litru neslazené vody kvůli podání perorálního kontrastu. Další dokumenty jako informovaný souhlas a anamnestický dotazník přinese pacient vyplněný. Všechny tyto dokumenty jsou součástí přílohy této práce.

2.2 Příprava radiofarmaka

Jelikož radiofarmaka používaná pro PET vyšetření mají vysoké energie, vyžadují speciální zacházení. Přípravu RF na odděleních nukleární medicíny zajišťují farmaceuti. RF natahují do stříkačky ve speciálních olověných digestořích pomocí automatického dávkovače. Při přípravě RF zohledňují váhu a výšku pacienta, kterou spolu s rodným číslem zadají do systému ovládacího panelu, dle zadání je natažena potřebná dávka radiofarmaka. Stříkačka je vložena do wolframového krytu a toto celé farmaceut vloží do silně stíněného olověného vozíku a převezde jej do aplikační místnosti. Pro PET/CT vyšetření karcinomu plic je použita flurdeoxyglukoza značená radionuklidem ^{18}F . Fluor má poločas přeměny 109 minut. Aktivita se pohybuje kolem 370 MBq na 70 kg hmotnosti pacienta.



Obrázek 7 Digestoř s automatickým dávkovačem (autor)



Obrázek 8 Stíněný olověný vozík (autor)

2.3 Průběh vyšetření

Pacient se jde po příchodu na oddělení nukleární medicíny nahlásit do kartotéky, kde dostane dokumenty k vyplnění. Vyplňuje informovaný souhlas, hlavně kvůli podání jodové kontrastní látky, a dále vyplňuje anamnestický dotazník. Pacienta si přebírá radiologický asistent, který v ten den má službu na aplikační místnosti.



Obrázek 9 Křeslo pro pacienta v aplikační místnosti (autor)

Pacienta poučí o tom, aby si sundal vše kovové, u žen to znamená i vrchní část spodního prádla. Pacientovi připraví kontrastní látku per os. Nejčastěji je to micropaque (300ml kontrastní látky + 700 ml vody), který se musí naředit, nebo manitol, který přijde z lékárny už naředěný.



Obrázek 10 Kontrastní látky pro CT (autor)

Pacientovi RA změří glukometrem glykémii. Vydezinfikuje místo vpichu a oranžovou jehlou provede vpich, aby získali kapku krve, kterou nanese na papírek, jenž dá vyhodnotit. Obecně známým pravidlem je, že by hladina glykémie neměla přesáhnout 10 mmol/l. Pokud v praxi tato situace nastane, posadí pacienta na dětskou čekárnu a nechá mu do žíly kapat fyziologický roztok, zhruba po hodině by měla hladina glykémie klesnout a může se provést vyšetření. Poté pacientovi zavede kanylu, nejčastěji používá modrou, protože na toto vyšetření chodí často onkologičtí pacienti a ti mají už tak špatné žíly, proto se snaží být co nejšetrnější. Nejlepší místo aplikace je do kubitální žíly na levé ruce. Na kanylu napojí dětský set zakončený trojcestným kohoutem. Vedle na stůl si připraví stříkačku, do které natáhne fyziologický roztok.



Obrázek 11 Vybavení pro zavedení periferního žilního katétru (autor)

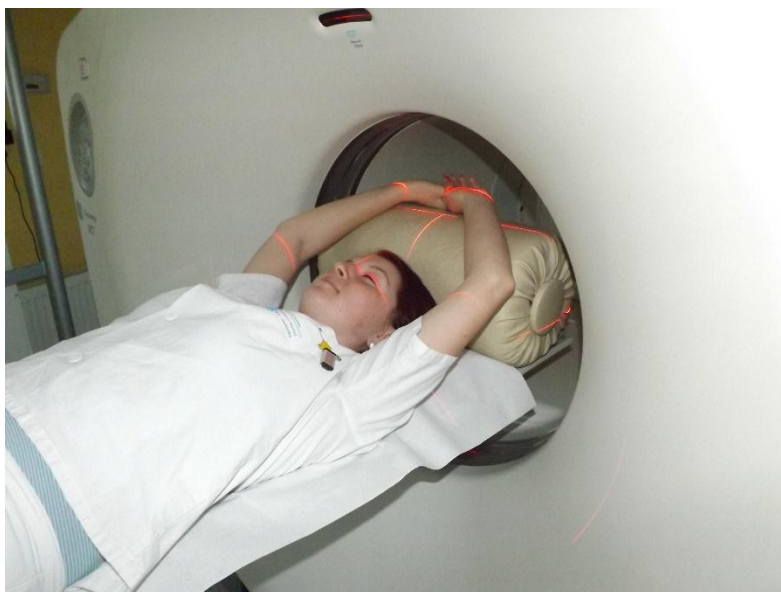
V tuto chvíli do aplikační místnosti přichází lékař a dle potřeby hovoří s pacientem o jeho zdravotním stavu. Naaplikuje radiofarmakum, které obvykle bývá ve 3 mililitrech, následuje proplach fyziologickým roztokem.

Aplikace probíhá asi 60-90 minut před samotným vyšetřením. Po aplikaci RF odchází do boxu, kam si s sebou nese lahev se zředěnou kontrastní látkou. V tomto boxu čeká zhruba 45 až 60 minut na vyšetření. Po celou dobu je sledován radiologickými asistenty na kamerách. Pomocí mikrofónů může personál s pacientem komunikovat, po příchodu do boxu je pacient informován o tom, aby popíjel kontrastní látku, v klidu odpočíval a dle potřeby si chodil na toaletu, která je součástí každého boxu. Těsně před vyšetřením je poslán na toaletu, aby se vymočil, protože FDG se také částečně vylučuje močí, a poté sundal všechno oblečení s kovem i kovové předměty (šperky, hodinky, atd). Přichází do vyšetřovny. RA ho poučí o tom, jak se má uložit na lehátko a pokládá se na záda. Hlava směřuje do gantry a ruce jsou za hlavou opřené o válec. Pod nohy pacient dostane klín, kvůli pohodlí a znehybnění.



Obrázek 12 Uložení pacienta (autor)

Výškou stolu RA najede na 130. Lasery zacentruje do očního koutku, při tomto úkonu pacienta požádá, aby si zavřel oči. Teď je nutné zjistit, zda je napojená kanyla v pořádku a to tím, že ji propláchne fyziologickým roztokem. Do třicetného kohoutu napojí tlakový injektor na kontrastní látku. Zvolí rychlost podání kontrastní látky a zpoždění, po kterém se spustí CT vyšetření. Uložení a nastavení musí RA provádět co nejrychleji, pacient je zdrojem záření.



Obrázek 13 Zacentrování laseru (autor)



Obrázek 14 Tlakový injektor (autor)

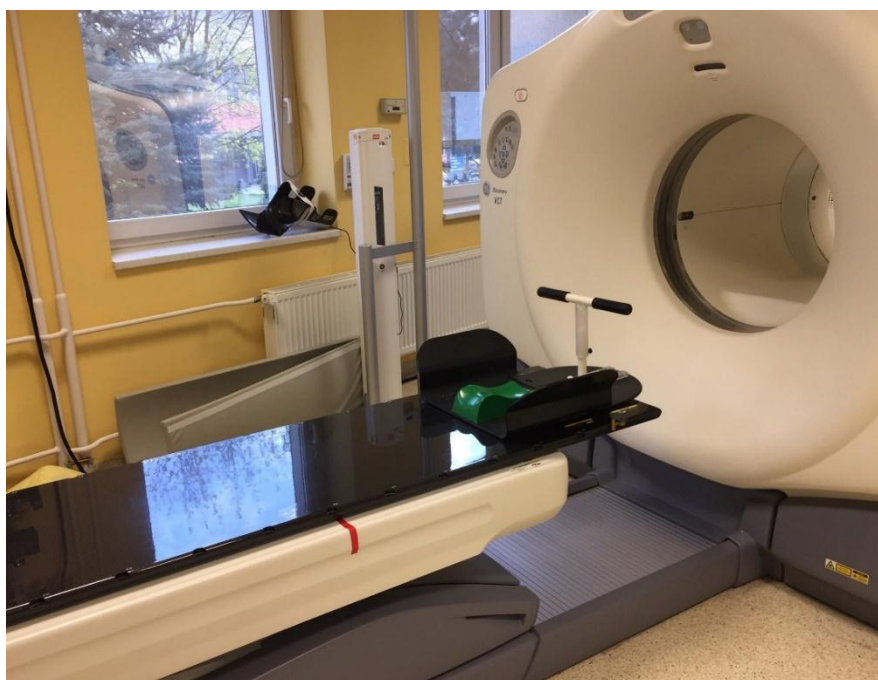
RA odchází do ovladovny a provede toposcan, což je anatomická mapa, podle které naplánuje vyšetření. Samotné vyšetření se provádí od báze lební do dvou třetin stehen. Důležité je dát si pozor, aby neozářil oční čočku, proto vyšetření plánuje těsně pod očnice. Nad ně se bude vyšetření provádět pouze z indikace lékaře. Nejprve je provedeno CT vyšetření, které samotné trvá osm vteřin a dělá se od hlavy k nohám. Po CT následuje PET vyšetření. PET vyšetření se provádí od nohou k hlavě. U malobuněčného karcinomu plic se doplňkově provádí i vyšetření mozku. Toto vyšetření se rozděluje na takzvané postele, z nichž jedna trvá 2,5 minut. Většinou je 7 postelí a jedna postel zaujímá 15 cm těla pacienta.

Po skončení jedné postele následuje další a je mezi nimi překryv, aby nedocházelo k tomu, že na těle budou nevyšetřená místa.



Obrázek 15 Ovladovna PET/CT (autor)

Toto vyšetření může také sloužit k naplánování radioterapie. Pro tyto účely je místo normálního lehátka pro pacienty použita černá rovná deska velice podobná té, která se používá při ozařování na odděleních radioterapie. Pacient je uložen tak, jak si bude lehat na každé ozáření, jsou použity stejné fixační pomůcky jako klín pod nohy a pro ozařování právě v oblasti plic nebo i při ozařování prsou jsou použita říditka.



Obrázek 16 Lehátko pro plánovací PET/CT (autor)

2.4 Odchod pacienta

Po ukončení vyšetření je pacient vyvezen z gantry a je vyzván k odchodu zpátky do boxu, kde se může obléknout. RA ho instruuje tak, aby se vrátil do aplikační místnosti, kde mu bude vyndán žilní katétr. Také ho informuje o tom, jak by se měl v následujících dnech chovat. V dalších 24 hodinách by se měl vyvarovat kontaktu s těhotnými ženami a malými dětmi. Měl by dodržovat zvýšený pitný režim, aby urychlil vyplavování radiofarmaka a kontrastní látky z těla. Pokud se pacient chystá v blízké době cestovat leteckou dopravou, bude mu vystaveno potvrzení o tomto vyšetření a aplikaci radioaktivní látky, poněvadž detektory na letištích nebo hraničních přechodech mohou zachytit zbytek radioaktivity v těle pacienta.

3 DISKUZE

Cílem této bakalářské práce je seznámit čtenáře s problematikou vyšetření karcinomu plic pomocí PET/CT. Vysvětlit jakou roli při tomto vyšetření má radiologický asistent. Dále je vedlejším cílem popsat karcinom plic a radiační ochranu v nukleární medicíně.

Karcinom plic se nachází na druhé příčce příčin úmrtí u mužů, incidence tohoto onemocnění stoupá také u žen. Největším rizikovým faktorem pro vznik tohoto karcinomu je samozřejmě kouření (aktivní i pasivní). U kuřáků se jedná od nejčastější nádor vůbec. Poměr mužů a žen, postižených tímto onemocněním, se udává v poměru 3:1. Úmrtnost u mužů na karcinom plic mírně klesá, na rozdíl od populace žen, kde naopak roste. Karcinom plic bývá diagnostikován už ve věku 35 let. Nejčastější výskyt je mezi 55. a 80. rokem života. Asi největší problém karcinomu plic je jeho časné odhalení. Ve většině případů se karcinom diagnostikuje až v pokročilém stadiu. Také se najdou pacienti, kteří vůbec nejsou léčeni. Zhruba 80% karcinomů tvoří nemalobuněčný bronchogenní karcinom, který má větší možnost chirurgického odstranění než malobuněčný karcinom, protože ke vzniku metastáz dochází později. Malobuněčný karcinom má vyšší senzitivitu k chemoterapii a radioterapii. Prevencí vzniku karcinomu plic je nekouřit (nejlépe vůbec nezačít), vyhýbat se pasivnímu kouření. Svou roli také hrají kancerogeny, špatné ovzduší, genetická dědičnost v rodině a špatný životní styl (špatné složení stravy, málo pohybu). Podle mého názoru je informovanost o této problematice v obyvatelstvu celkem dostačující, ale přesto incidence onemocnění celkově neklesá. Osobně považuji za největší problém neustálý nárůst kuřáků v populaci.

Za důležitou součást onkologické léčby považuji moderní kombinaci pozitron emisní tomografie a výpočetní tomografie, jež umožňuje akvizici anatomických i funkčních dat. Mezi hlavní indikace pro PET/CT vyšetření karcinomu plic patří: diagnostika solitárních ložisek v plicích; posouzení rozsahu (staging) nemalobuněčného karcinomu; kontrola po neoadjuvantní léčbě, která probíhá před hlavní léčbou (nejčastěji chirurgickou); kontrola efektivity léčby. Dříve se více využívalo vyšetření plic pomocí scintigrafie s ^{99m}Tc -MIBI nebo s ^{67}Ga . V porovnání obrázky se scintigrafie mají horší diagnostickou úroveň než z PET/CT, pokud je tedy možnost, pacienti jsou odesíláni právě na vyšetření pomocí PET/CT. V České republice napočítáme 14 hybridních PET/CT přístrojů a 2 hybridní PET/MR přístroje. PET/CT ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové je jediný v Královéhradeckém kraji. První PET kamera byla instalována v Nemocnici Na Homolce v Praze roku 1999. Ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové se PET/CT využívá od roku 2009.

Dle mého názoru je největší nevýhodou PET/CT vyšetření pořizovací cena a cena samotného vyšetření. Pořizovací cena PET/CT přístroje se pohybuje od 50 do 80 mil. Kč. Jeho cena se odvíjí od příslušenství přístroje. Cena samotného vyšetření stojí od 30 do 50 tis. Kč. Cena vyšetření se odvíjí od množství použitého radiofarmaka.

Při PET/CT vyšetření zastávají radiologičtí asistenti velice důležitou roli. Jejich činnost začíná už při příchodu pacienta na oddělení. RA je zodpovědný za podání informací pacientovi o tom, co ho v následujících hodinách čeká. Provádí zavedení periferního žilního katétru, bez kterého nelze vyšetření provést. Přes něj je aplikováno radiofarmakum a kontrastní látka. RA odebírá kapilární krev pro stanovení hladiny glykémie v krvi. Připravuje kontrastní látku pro CT vyšetření. Na vyšetřovně pak odpovídá za správné uložení pacienta. Radiologický asistent by měl umět vše pacientovi srozumitelně vysvětlit, při ukládání pacienta musí být velice stručný a rychlý, jelikož pacient je po podání radiofarmaka zdrojem záření. Jak jsem se mohla sama během své praxe přesvědčit, mohou nastat situace, kdy je stručné a rychlé jednání s pacientem velice obtížné. Tyto případy mohou nastat, pokud je pacient nedoslýchavý, hůře vidí nebo je špatně pohyblivý a je odkázán na naši pomoc.

Jelikož se na oddělení nukleární medicíny pracuje s otevřenými zářiči, je radiační ochrana velice důležitá a je nutné, aby ji všichni zaměstnanci stručně dodržovali. Na rozdíl od terapeutického a diagnostického oddělení je zde pacient zdrojem záření.

4 ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se pokusila shrnout poznatky o činnostech a povinnostech radiologického asistenta, o karcinomu plic a jeho vyšetření. Byla bych ráda, kdyby tato práce pomohla přiblížit alespoň část práce radiologického asistenta studentům tohoto oboru, aby si dokázali představit jejich možné budoucí povolání. V práci jsem použila své vlastní poznatky z praxe. A velikou pomocí mi byly i cenné rady od velice zkušených pracovníků na oddělení nukleární medicíny. Dále jsem také čerpala z odborné literatury a z vlastních poznámek z přednášek od vyučujících. Musím uznat tu skutečnost, že i přes spoustu přednášek s danou tématikou-pro mě byly stěžejní informace získané při odborné praxi na oddělení nukleární medicíny, která proběhla v rámci studia na fakultě zdravotnických studií.

Práci jsem si rozdělila na teoretickou a praktickou. V teoretické části jsem zmínila radiační ochranu, popisovala jsem radiologického asistenta, oddělení nukleární medicíny a přístroje, které se zde nacházejí. Navázala jsem praktickou částí, kde jsem popsala činnost RA u vyšetření karcinomu plic pomocí PET/CT přístroje. Toto vyšetření vyžaduje pečlivou přípravu, proto jsem se věnovala i jejímu popisu.

Vyšetření, které popisuji ve své práci, se provádělo na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové. Měla jsem možnost je provádět za dohledu zkušené radiologické asistentky. Právě pracovníkům NM ve FNKH patří mé veliké poděkování za poskytnuté rady a informace.

5 POUŽITÁ LITERATURA

1. **BÁRTOVÁ, Jarmila.** *Patologie pro bakaláře.* 4. vyd. Praha: Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0794-8
2. **HAVLÍČEK, Karel, Zuzana ČERVENKOVÁ a Vít BLANAŘ.** *Anatomické listy.* Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015. ISBN 978-80-7395-920-3.
3. **HUŠÁK, V.** *Radiační ochrana pro radiologické asistenty.* 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0
4. **KORANDA, Pavel.** *Nukleární medicína.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
5. **KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK.** *Radiofarmaka.* Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2012. ISBN 978-80-7464-183-1.
6. **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.
7. **MYSLIVEČEK, Miroslav.** *Nukleární medicína.* 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007, 131 s. ISBN 978-802-4417-233.
8. **NAŇKA, Ondřej, Miloslava ELIŠKOVÁ a Oldřich ELIŠKA.** *Přehled anatomie.* 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-612-0.
9. **POWSNER, Rachel A. a Edward R. POWSNER.** *Essential nuclear medicine physics.* 2nd ed. Malden, Mass.: Blackwell Pub., 2006. ISBN 978-1-4051-0484-5.
10. **ROKYTA, Richard, Dana MAREŠOVÁ a Zuzana TURKOVÁ.** *Somatologie I. a II.: učebnice.* Vyd. 3. Praha: Eurolex Bohemia, 2006. Učebnice pro SZŠ a VZŠ. ISBN 80-86861-59-7.
11. **SEIDL, Zdeněk.** *Radiologie pro studium i praxi.* Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.
12. **TROJAN, Stanislav.** *Lékařská fyziologie.* Vyd. 3., dopl. a rozš. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-7169-788-5.
13. **ULLMANN, Vojtěch.** *Jaderná a radiační fyzika.* Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.
14. **VOMÁČKA, Jaroslav, Josef NEKULA a Jiří KOZÁK.** *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty.* V Olomouci: Univerzita Palackého, 2012. ISBN 978-80-244-3126-0.
15. **VOTRUBOVÁ, Jana.** *Klinické PET a PET/CT.* Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-619-9.

Internetové zdroje:

16. [online]. Copyright © ČSNM ČLS JEP 2010 [cit. 24.04.2017]. Dostupné z: <https://www.csnm.cz/article/show/links/pet-centres>
17. 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. 24.04.2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-55>
18. Lékařské ozáření - Radiační ochrana - Úvod - SÚJB. [online]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/lekarske-ozareni/>
19. 422/2016 Sb. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © [cit. 02.05.2017]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>

6 PŘÍLOHY

6.1 Příloha A

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

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny - 6682

tel./fax: 495 834 542



PROTOKOL O VYŠETŘENÍ PET/CT

Příjmení a jméno pacienta:

Rodné číslo: Pojišťovna:

Hmotnost: kg Výška: cm

Datum vyšetření:

Rozsah vyšetření: **trup** celé tělo mozek srdce jiná oblast:

CT bez kontrastu

CT i.v. kontrast

CT p.o. kontrast

Glykémie:

Provedl (razítko, podpis):

čas	mmol/l	čas	mmol/l	čas	mmol/l	čas	mmol/l

Radiofarmakum: ¹⁸F-FDG

¹⁸F-FLT

Jiné:

Čas aplikace:

Aplikoval/a:
jmenovka a podpis

Čas zahájení scanu:

Vyšetření provedl/a:
jmenovka a podpis

Další medikace:

Léčivo	Množství, způsob podání	Ordinace lékaře		Provedl
		čas	jmenovka a podpis	jmenovka a podpis
Micropaque CT gst. sus. (300 ml do 700 ml H ₂ O)	ml, p.o.			
Iomeron 400 inj. sol. (30 ml do 1000 ml H ₂ O)	ml, p.o.			
Manitol 10% sol. (200 ml do 800 ml H ₂ O)	ml, p.o.			
Iomeron 400 inj. sol.	ml, i.v.			
Ultravist 370 inj. sol.	ml, i.v.			
Omnipaque 350 inj. sol.	ml, i.v.			
Hydrocortison 100 mg inj.plv.sol.	mg, i.v.			
Diazepam 5 mg tbl.	tbl., p.o.			
Dithiaden 2 mg tbl.	tbl., p.o.			
Telebrix 35 inj. sol. (10 ml do 1000 ml H ₂ O)	ml, p.o.			

CTDi vol	mGy
DLP	mGy/cm

6.2 Příloha B



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

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny – 6682

tel./fax: 495 834 542

Příprava pacienta na PET/CT vyšetření trupu při diagnostice nádorů a zánětů

Vážená paní, vážený pane,
vyšetření, ke kterému jste byl(a) objednána(a), je poměrně náročné na správnou přípravu. Abychom vyšetření mohli provést co nejlépe, prosím, pozorně si prostudujte následující pokyny. Nejprve si pozorně přečtěte a vyplňte přiložený informovaný souhlas s vyšetřením PET/CT s jódovou kontrastní látkou a vyplňte anamnestický dotazník.

Alespoň 2 dny před vyšetřením je nutné vyloučit větší svalovou zátěž (těžší fyzická práce, posilovna, vzpírání, ruční řezání dřeva, nošení těžších nákupů a zavazadel, jízda na kole a pod.). **6 hodin před vyšetřením** je potřeba **hladovět**, ale je nutné v této době více pít pouze čistou vodu či hořký čaj bez jakýchkoliv sladidel. Je velmi důležité nepít v této době nic s obsahem cukru, též nepít mléko. Vyvarujte se žvýkaček, bonbonů či ústních pastilek.

Vzhledem k tomu, že bude provedeno CT vyšetření s jódovou kontrastní látkou, je **NUTNÉ** si s sebou přinést výsledky sérové hodnoty urey a kreatininu a odhadu glomerulární filtrace, které **NESMÍ** být starší 7 dnů před termínem vyšetření na PET/CT! Odběr krve ke zjištění těchto hodnot provede praktický či ošetřující lékař.

Výsledky MUSÍ být v tištěné formě!

Pokud trpíte cukrovkou (diabetes mellitus), příprava probíhá následovně:

Diabetik pouze na dietě: hladoví 6 hodin před vyšetřením, více pije (alespoň 1 litr), a to pouze čistou vodu bez sladidel, či hořký čaj. Po vyšetření, v průběhu dne, více pije!

Diabetik na perorálních antidiabeticích (PAD) - vyjma biguanidů (viz níže): hladoví 6 hodin před vyšetřením a **již neužívá ranní dávku PAD!** V této době více pije (alespoň 1 litr), ale pouze neslazené nápoje: čistou vodu či hořký čaj. S sebou na vyšetření si vezme jídlo a PAD. Až po vyšetření na PET/CT si vezme PAD a nají se. Po vyšetření, v průběhu dne, více pije!

Diabetik, který užívá PAD – biguanidy, tedy tyto léky: Adimet, Avandamet, Eucreas, Competact, Diareg, Ebymect, Efficib, Eucreas, Glibomet, Glubrava, Glucomerck, Glucophage, Gluformin, Icandra, Janumet, Jentaducto, Komboglyze, Langerin, Metfirex, Metformin, Metfogamma, Normaglyc, Ristfor, Siofor, Stadamet, Synjardy, Velmetia, Vipdomet, Vokanamet, Xigduo, Zomarist. **užije poslední dávku tohoto léku 24 hodin před vyšetřením. 6 hodin před vyšetřením hladoví** a v této době průběžně více pije – alespoň 1 litr neslazených tekutin (voda, hořký čaj). Po vyšetření, v průběhu dne více pije a pokračuje v obvyklém užívání PAD.

Diabetik na inzulínu - večer před vyšetřením si normálně aplikuje dávku bazálního (depotního) inzulínu. Před vyšetřením hladoví 6 hodin a zároveň si **neaplikuje ranní dávku bolusového inzulínu**. Více pije (alespoň 1 litr), a to pouze čistou vodu bez sladidel, či hořký čaj. S sebou na vyšetření si vezme jídlo a bolusový inzulín a až po vyšetření na PET/CT si aplikuje dávku bolusového inzulínu a nají se. Po vyšetření, v průběhu dne více pije.

Před vyšetřením bude všem pacientům odebrána kapilární krev z prstu na ruce a vyšetřena glykémie (hladina krevního cukru). Vysoké glykemie limitují vyšetření!

Pokud má pacient s cukrovkou dlouhodobě vysoké hladiny glykémie, je nutné nejprve provést kompenzaci diabetu na spádovém interním oddělení či u spádového diabetologa.

Hospitalizovaným pacientům v nemocnici se 6 hodin před vyšetřením nesmí podávat žádné infuze s glukózou/dextrózou či parenterální výživa, po tuto dobu je nutno vypnout inzulinovou pumpu. Jinak platí předchozí informace.

Odeslal – li Vás lékař na PET/CT pro podezření na **infekční endokarditidu** či **sarkoidózu (zejména k vyloučení postižení srdce)** je nutno 24 – 12 hodin před vyšetřením dodržet dietu bohatou na tuky (např. maso, , masový vývar, tvrdé sýry, vejce,...) s vyloučením cukrů včetně polysacharidů (knedlíky, pečivo, těstoviny, rýže, brambory...). 12 hodin před vyšetřením je nutno lačnit, v tuto dobu je nezbytné více pít.

Užívání léků před vyšetřením **se nemění**, proto dál berte obvyklé léky. Výjimkou jsou perorální antidiabetika (PAD), u nich postupujte, jak je uvedeno výše. V případě nejasností nás neváhejte kontaktovat.

Vyšetření se doporučuje provést:

- nejdříve za 14 dní po ukončení chemoterapie.
- nejdříve za 2-3 měsíce po ukončení radioterapie (ozáření). Platí pouze pro ozářenou část těla, vzdálená místa mohou být vyšetřována kdykoliv.
- nejdříve za 6 – 8 týdnů po operaci. Platí pouze pro operovanou oblast, vzdálená místa mohou být vyšetřována kdykoliv.

Prosím, **přineste si s sebou** výsledky z předchozích zobrazovacích vyšetření, jako je CT, MR, UZ, scintigrafie, PET, PET/CT, nejlépe na CD či DVD – pokud je již Vás lékař neodeslal do systému e-PACS.

Kontraindikací vyšetření je těhotenství – vyšetření se provádí pouze v případě ohrožení života pacientky. Vyšetření lze provést u kojící matky, ale po vyšetření je nutno vynechat první kojení a odstříknuté mléko zlikvidovat. Také je nutné omezit těsný kontakt s kojencem.

Datum a hodinu, na kterou jste objednáni, v maximální možné míře respektujte, protože radioaktivní látka (^{18}F -FDG), užitá při vyšetření PET/CT, má velmi krátký poločas přeměny (109 minut), je velmi drahá a je pro Vás speciálně vyrobena v cyklotronu.

Pokud se Vám datum a čas vyšetření nehodí, je nutné přebjedit se co nejdříve, aby termín mohl být využit pro jiného pacienta a nedocházelo k velkým finančním ztrátám za nepoužitou radioaktivní látku, kterou nelze použít pro jiného pacienta vzhledem k jeho 6-ti hodinové přípravě.

Vyšetření je kromě vpichu do žíly na horní končetině zcela nebolestivé, trvá však poměrně dlouho. Počítejte s tím, že na odd. nukleární medicíny strávíte **nejméně 3 hodiny**.

Výjimečně může dojít k výpadkům dodávek radioaktivní látky ^{18}F -FDG z cyklotronu. Za těchto okolností bychom Vás ihned telefonicky kontaktovali, abyste k vyšetření nejezdili zbytečně.

Po příchodu na PET/CT vyšetření nám, prosím, oznamte, zda máte cukrovku, klaustrofobii (chorobný pocit strachu před uzavřenými prostory) nebo zda jste těhotná.

Jako doprovod na vyšetření s sebou, prosím, neberte těhotné ženy a malé děti.

Po ukončení vyšetření je vhodné více pít, radioaktivita se rychleji vyloučí z těla. Radioaktivita se z těla vyloučí do druhého dne. Po tuto dobu nedoporučujeme pobývat v blízkosti těhotných žen a malých dětí.

Pokud druhý den jedete do zahraničí či plánujete cestu letadlem, vyzvedněte si u nás potvrzení o aplikaci radioaktivní látky. Citlivé detektory na letištích či hraničních přechodech by mohly ještě druhý den po vyšetření zachytit zbytky radioaktivity ve Vašem těle.

V případě nejasností či pochybností, prosím neváhejte se zeptat pracovníků oddělení nukleární medicíny, telefon 495 834 542. Oddělení nukleární medicíny se nachází v areálu Fakultní nemocnice Hradec Králové, budova číslo 23 – přízemí vlevo.

6.3 Příloha C



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

Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906

Oddělení nukleární medicíny - 6682

tel./fax: 495 834 542

Souhlas pacienta/ky – zákonného zástupce s vyšetřením PET/CT s nitrožilní aplikací radiofarmaka ^{18}F -FDG a jódové kontrastní látky

Pacient/ka:
příjmení jméno titul

Rodné číslo: Pojišťovna:

Zákonný zástupce:
(otec, matka) příjmení jméno titul

Doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:

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

Plánovaný výkon: **PET/CT s nitrožilní aplikací radiofarmaka a jódové kontrastní látky**
Radiofarmakum: **^{18}F -FDG (fludeoxyglukosa)**

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Vás ošetřující lékař vyšetření na našem oddělení. Vyšetření se provádí na moderním přístroji PET/CT. Tato metoda umožňuje velmi podrobně zobrazit změny na vnitřních orgánech pomocí radioaktivní látky. Často je součástí vyšetření i nitrožilní podání jódové kontrastní látky s cílem dosažení kvalitnějšího zobrazení.

Před vyšetřením prosím vyplňte krátký anamnestický dotazník.

Popis výkonu:

Do žíly Vám bude zavedena kanylka (hadička), během zavádění můžete pocítit mírnou bolest obdobně jako při odběru krve. Podání radiofarmaka ^{18}F -FDG se provede do zavedené kanylky a není spojeno s nežádoucími účinky. V indikovaných případech se před vyšetřením podává ještě kontrastní roztok perorálně (pije se) k lepšímu zobrazení střev. Po cca 1 hodině (nutný interval k dostatečné akumulaci radiofarmaka) následuje vlastní vyšetření na přístroji PET/CT. Vyšetření se provádí vleže a trvá 20 - 40 minut.

Bezprostředně před uložením do přístroje se zavedená nitrožilní kanylka spojí s automatickým dávkovačem jódové kontrastní látky, jejíž krátkodobá aplikace výrazně zvyšuje hodnotu prováděného vyšetření. Kontrastní látka je rychle vylučována ledvinami, takže je prakticky všechna vyloučena do jedné hodiny po jejím podání. Po vyšetření je vhodné podpořit její vylučování pitím dostatečného množství tekutin.

Podání nitrožilní kontrastní látky může být spojeno s mírnými průvodními pocity, mezi něž patří sucho v ústech a pocit tepla v těle. Vzácně může na jódovou kontrastní látku vzniknout i nežádoucí alergická reakce. Vznik alergické reakce nelze předem předvídat. Projevy alergické reakce mohou být kýchání, pocit dušnosti, kožní reakce (např. kopřivka), ale ojedinele i těžké život ohrožující stavy. Vyšší rizika jsou u nemocných s astmatem a mnohočetnou přecitlivělostí (polyvalentní alergie).

Vzácně se zhoršení základního onemocnění může objevit po podání jódové kontrastní látky u nemocných se srdečním selháním, s pokročilým poškozením funkce ledvin, feochromocytomem, myasthenií gravis, paraproteinemií, epilepsií a u některých osob trpících cukrovkou.

Abychom snížili riziko alergické reakce na minimum, podáváme velice kvalitní přípravek, který je na celém světě považován za bezpečný, a u něhož je výskyt nežádoucích alergických reakcí vzácný. Podání kontrastní látky provádíme v souladu s doporučením výrobce a jsme připraveni při výskytu případných nepříznivých účinků kontrastní látky poskytnout odpovídající péči k jejich odstranění či zmírnění.

Jódovou kontrastní látku nelze podat osobám s těžkou poruchou funkce ledvin nebo léčících se pro tyreotoxikózu (zvýšená funkce štítné žlázy). Osobám, které v minulosti prodělaly nežádoucí reakci na nitrožilně podanou jódovou kontrastní látku, lze kontrastní látku podat jen po speciální přípravě. U ostatních osob se podání kontrastní látky považuje za bezpečné.

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

Alternativou je provedení vyšetření jen s aplikací radiofarmaka bez podání kontrastní látky, ale za cenu snížení přínosu vyšetření.

Po vyšetření není nutné omezení obvyklého způsobu života, nedochází ke změně pracovní způsobilosti, není třeba měnit Váš léčebný režim. Pro dočasnou přítomnost radioaktivní látky v těle se doporučuje v den vyšetření omezit kontakt s dětmi a těhotnými ženami.

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

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

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

Souhlasím s plánovaným PET/CT vyšetřením s podáním jódové kontrastní látky

Souhlasím s plánovaným PET/CT vyšetřením bez podání jódové kontrastní látky
(zaškrtněte zvolenou odpověď)

dne: v hodin

Podpis:

Místo aplikace radiofarmaka a kontrastní látky:

kubitální žíla vpravo vlevo

předloktí vpravo vlevo

dorsum ruky vpravo vlevo

flexila vpravo vlevo

jiné

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

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

jmenovka a podpis:

6.4 Příloha D

Vážená paní, vážený panedostavte se, prosím, na vyšetření PET/CT na Oddělení nukleární medicíny Fakultní nemocnice v Hradci Králové, budova číslo 23 (naproti chirurgické klinice)

dne v hodin

Pozorně si přečtěte přiložené dokumenty, řiďte se jimi a pečlivě vyplňte anamnestický dotazník a souhlas pacienta/ky s vyšetřením.

V den vyšetření si sebou přineste:

- VYPLNĚNÝ ANAMNESTICKÝ DOTAZNÍK
- VYPLNĚNÝ SOUHLAS PACIENTA/KY
- LABORATORNÍ VÝSLEDKY (UREA, KREATININ, GLOMERULÁRNÍ FILTRACE)
- 1,5l NESLAZENÉ NEPERLIVÉ VODY

Prosíme, abyste alespoň 6 hodin před vyšetřením nic nejedli a nepili slazené nápoje či mléko!!!

DOPORUČENÍ:

vzhledem k nižší teplotě vyšetřovny PET/CT doporučujeme pohodlné teplejší a volnější oblečení bez kovových ozdob a zipů

PROSÍME:

ŠPERKY ZANECHTE DOMA

Nemůžete-li se na vyšetření dostavit, dejte nám to co nejdříve vědět na telefonní číslo **495 834 542**.

6.5 Příloha E

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



Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906
Oddělení nukleární medicíny – 6682
tel./fax: 495 834 542

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

Příjmení a jméno pacienta:

Rodné číslo: Pojišťovna:

Mám alergii na jód (v potravě, lécích, dezinfekci)	ANO	NEVÍM	NE
Měl/a jsem již alergii na nitrožilně podané kontrastní látky	ANO	NEVÍM	NE
Mám sennou rýmu	ANO	NEVÍM	NE
Mám astma	ANO	NEVÍM	NE
Mám vleklé onemocnění ledvin se sníženou funkcí ledvin	ANO	NEVÍM	NE
Mám cukrovku (diabetes mellitus)	ANO	NEVÍM	NE
Mám onemocnění krve, krevetvorby nebo mnohočetný myelom	ANO	NEVÍM	NE
Podstoupil/a jsem operaci	ANO	NEVÍM	NE
Kdy a jakou?			
Podstoupil/a jsem cytostatickou léčbu (chemoterapii)	ANO	NEVÍM	NE
Kdy byla ukončena?			
Podstoupil/a jsem léčbu zářením (radioterapii)	ANO	NEVÍM	NE
Kdy byla ukončena?			
Užívám antirevmatika (léky jako např. Ibalgin, Brufen, Ibuprofen, Nimesil, Aulin,...) nebo kortikosteroidy	ANO	NEVÍM	NE
Užívám streptomycin nebo neomycin	ANO	NEVÍM	NE
Mám vysoký krevní tlak (arteriální hypertenzi)	ANO	NEVÍM	NE
Mám srdeční nedostatečnost (srdeční měštnání)	ANO	NEVÍM	NE
Mám vleklé onemocnění jater	ANO	NEVÍM	NE
Mám zvýšenou funkci štítné žlázy (hypertyreózu)	ANO	NEVÍM	NE
Jsem těhotná, mám podezření na těhotenství, kojím	ANO	NEVÍM	NE

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

Datum:

Podpis pacienta – zákonného zástupce: