

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Barbora Vokounová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Úloha radiologického asistenta při PET/CT vyšetření u maligního lymfomu

Barbora Vokounová

Bakalářská práce

2018

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Barbora Vokounová**
Osobní číslo: **Z15283**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **Úloha radiologického asistenta při PET/CT vyšetření
u maligního lymfomu**
Zadávací 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. VOTRUBOVÁ, Jana. Klinické PET a PET/CT. Praha: Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-619-9.
2. ADAM, Zdeněk, Marta KREJČÍ a Jiří VORLÍČEK. Speciální onkologie: příznaky, diagnostika a léčba maligních chorob. Praha: Galén, 2010. ISBN 978-80-7262-648-9.
3. KLENER, Pavel. Vnitřní lékařství. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-7262-430-x.
4. VOMÁČKA, Jaroslav. Zobrazovací metody pro radiologické asistenty. 2., doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80-244-4508-3.
5. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 6. vyd. Praha: P3K, 2015. ISBN 978-80-8734-354-8.

Vedoucí bakalářské práce: MUDr. Jan Tilšer

Katedra informatiky, managementu a radiologie

Datum zadání bakalářské práce: 1. prosince 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 7. května 2018


prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.
děkan

L.S.


Věra Záhоровá, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2018

PROHLÁŠENÍ AUTORA

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

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

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

V Pardubicích dne 11. 04. 2018

Barbora Vokounová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala MUDr. Janu Tilšerovi za vedení mé bakalářské práce, trpělivost a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat za pomoc a ochotu zaměstnancům oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové při shromažďování dat do praktické části mé bakalářské práce.

ANOTACE

Téma mé bakalářské práce je Úloha radiologického asistenta při PET/CT vyšetření u maligního lymfomu. Práce je rozdělena na část teoretickou a část praktickou. Teoretická část se věnuje charakteristice oboru radiologického asistenta a oddělení nukleární medicíny, objasňuje radiační ochranu a základní fyzikální pojmy. Dále popisuje nukleární přístrojovou techniku včetně hybridního PET/CT systému, podává stručné pojednání o maligních lymfomech a o roli vyšetření pomocí FDG PET/CT v péči o nemocné s tímto onemocněním.

Praktická část se zabývá stručným popisem úlohy radiologického asistenta, která začíná příchodem pacienta na oddělení nukleární medicíny a končí odesláním upravených snímků do systému.

KLÍČOVÁ SLOVA

Radiologický asistent, nukleární medicína, hybridní PET/CT systém, maligní lymfom

TITLE

The role of the radiological assistant at PET/CT examination of malignant lymphoma

ANNOTATION

The topic of my bachelor thesis is the role of the radiological assistant at PET/CT examination of malignant lymphoma. The thesis is divided into theoretical part and practical part. The theoretical part presents characteristics of the specialty of the radiological assistant and of nuclear medicine, it explains the role of radiation protection and basic physical concepts. In addition, the thesis describes nuclear imaging instrumentation, including the hybrid PET/CT scanner, and provides background information about malignant lymphomas and the role of PET/CT examination in patient management.

The practical part deals with a brief description of the role of a radiological assistant, which begins with the arrival of a patient in the nuclear medicine department and ends with sending the edited pictures to the system.

KEYWORDS

Radiology assistant, nuclear medicine, hybrid PET/CT system, malignant lymphoma

OBSAH

Úvod.....	6
1 Cíl práce.....	7
2 Teoretická část.....	8
2.1 Radiologický asistent.....	8
2.1.1 Radiologický asistent a jeho kompetence v oblasti nukleární medicíny.....	8
2.2 Nukleární medicína.....	9
2.2.1 Historie nukleární medicíny.....	9
2.3 Radiofarmaka.....	10
2.4 Základní fyzikální pojmy a jejich použití v nukleární medicíně.....	11
2.4.1 Atom, nuklid, izotop.....	11
2.4.2 Radioaktivita.....	12
2.4.3 Veličiny a jednotky užívané v nukleární medicíně.....	12
2.4.4 Druhy ionizujícího záření.....	13
2.5 Detekce ionizujícího záření.....	14
2.6 Interakce gama záření s hmotou a jejich význam pro zobrazování.....	14
2.7 Biologické účinky ionizujícího záření.....	15
2.7.1 Deterministické účinky ionizujícího záření.....	15
2.7.2 Stochastické účinky ionizujícího záření.....	16
2.8 Radiační ochrana v nukleární medicíně.....	16
2.8.1 Vymezení kontrolovaného pásma.....	16
2.8.2 Stálé monitorování.....	17
2.8.3 Praktická radiační ochrana při práci v KP.....	18
2.8.4 Likvidace radioaktivního odpadu.....	18
2.9 Zobrazovací metody nukleární medicíny.....	19
2.9.1 Planární zobrazování.....	19
2.9.2 Emisní tomografie.....	21

2.9.3	Hybridní systém PET/CT (PET a CT obraz)	23
2.10	PET/CT s FDG v onkologii	25
2.10.1	Indikace	25
2.10.2	Kontraindikace	25
2.10.3	Příprava pacienta při vyšetření PET/CT s FDG v onkologii	26
2.10.4	Postup vyšetření PET/CT	28
2.10.5	Hodnocení nálezu	28
2.11	Maligní lymfom	30
2.11.1	Dělení lymfomů	31
2.11.2	Staging a restaging	33
3	Praktická část	34
3.1	Samotná úloha radiologického asistenta	34
3.2	Objednání pacienta	34
3.3	Den vyšetření	34
3.3.1	Registrace a poučení pacienta o vyšetření	34
3.3.2	Vyloučení těhotenství	35
3.3.3	Příprava pacienta před vyšetřením	35
3.3.4	Aplikace radiofarmaka	36
3.3.5	Vyšetření pomocí PET/CT	37
4	Diskuze	40
5	Závěr	42
6	Použitá literatura	43
7	Přílohy	45

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 - Vztah účinku a dávky pro deterministické a stochastické účinky (Kupka, 2007, s. 24)	16
Obrázek 2 - Typy kolimátorů (Ullmann, dostupné z http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm)	21
Obrázek 3 - Plánování vyšetření (Votrubová, 2009, s. 46).....	24
Obrázek 4 – Alpha-blending (Votrubová, 2009, s. 42)	25
Obrázek 5 - RTG hrudníku pacienta s Hodgkinovým lymfomem před léčbou (A) a po léčbě (B) (Klener, 2006, s. 473)	32
Obrázek 6 - Aplikáční stůl s pomůckami a křeslo v aplikační místnosti	36
Obrázek 7 - Digestoř pro přípravu radiofarmak a stínící box.....	37
Obrázek 8 - Hybridní PET/CT systém s pumpou pro aplikaci JKL (vlevo) a Ovládací místnost s počítači a ovládním pumpy pro aplikaci JKL (vpravo).....	38
Obrázek 9 - Fúze CT obrazů s PET	39

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CCA – cirka

CNS – centrální nervová soustava

CT – výpočetní tomografie

FDG – fluorodeoxy glukóza

FNHK – Fakultní nemocnice Hradec Králové

GIT – gastrointestinální trakt

HL – Hodgkinův lymfom

HRCT – high – resolution computed tomography

JKL – jodová kontrastní látka

KL – kontrastní látka

KP – kontrolované pásmo

MIP – maximum intensity projection

MPR – multiplanární rekonstrukce

NHL – nehodgkinský lymfom

NRS – národní radiologické standardy

ORL – otorhinolaryngologie

PET – pozitronová emisní tomografie

PET/CT – hybridní systém pozitronové emisní tomografie a výpočetní tomografie

SPECT – jednofotonová emisní tomografie

TZV – tak zvaný

VRT – volume rendering technique

ÚVOD

Má bakalářská práce na téma Úloha radiologického asistenta při PET/CT vyšetření u maligního lymfomu se řadí do oboru nukleární medicíny. Ta se převážně zabývá zobrazovací diagnostikou, při které využívá nejmodernějších technik. Jednou z nich je právě hybridní systém PET/CT, který se skládá z pozitronové emisní tomografie (PET) a výpočetní tomografie (CT). Díky PET/CT je možné provést akvizici anatomických a funkčních dat v průběhu jednoho vyšetření a dále pomocí fúze obrazů zobrazit každou modalitu (PET nebo CT) v jiném odstínu barvy. I pro tyto výhody je PET/CT velmi často indikované vyšetření, na které se posílají pacienti s nádorovým onemocněním.

V onkologické diagnostice se při PET/CT vyšetřeních využívají radiofarmaka, jejichž patologicky zvýšená akumulace v těle pacienta může poukazovat na přítomnost nádorového onemocnění. Nejčastěji užívaným pozitronovým radiofarmakem je ^{18}F -FDG neboli ^{18}F -fluorodeoxyglukosa. Toto radiofarmakum je velice přínosné pro zobrazení nádorové tkáně, protože většina maligních nádorů má vysokou spotřebu glukózy.

Maligní lymfom je zhoubné nádorové onemocnění postihující lymfatickou tkáň. Jedná se o rozmanitou skupinu nádorů s rozdílným klinickým obrazem i léčbou postihující jak mladé, tak i starší osoby. Lymfomy lze obecně rozdělit na dvě základní skupiny – Hodgkinské lymfomy (HL) a nehodgkinské lymfomy (NHL), přičemž nehodgkinské lymfomy se vyskytují častěji. Celková incidence je 2,5 onemocnění HL na 100 000 obyvatel ročně, u NHL je to 5,5 onemocnění na 100 000 obyvatel ročně.

FDG-PET/CT vyšetření má u vybraných lymfomů významnou roli jak při primárním stagingu tohoto onemocnění, tak i při kontrole léčebného účinku terapie neboli restagingu. To je také důvod, proč jsou lymfomy jednou z nejčastějších indikací k tomuto vyšetření.

Radiologický asistent v nukleární medicíně při PET/CT vyšetřeních plní různé úkoly. Stručným popisem úlohy radiologického asistenta při tomto vyšetření se zabývám v praktické části práce. Při shromažďování dat jsem využila možnosti shlédnout práci radiologických asistentů při vyšetření maligních lymfomů na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Hradci Králové.

Při výběru bakalářské práce byl pro mě rozhodující obor nukleární medicína. Tento obor mě velice zaujal svými zobrazovacími metodami a velkým množstvím radiofarmak, které mají využití v diagnostice i terapii.

1 CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této práce je objasnit úlohu radiologického asistenta při PET/CT vyšetření maligních lymfomů s fluorodeoxyglukózou a popsat průběh tohoto vyšetření. Dílčími cíli je popsat obor nukleární medicíny, ke kterému se dané téma vztahuje, příslušnou radiační ochranu na pracovišti, kterou by měl radiologický asistent dodržovat, objasnit základní fyzikální pojmy a veličiny a pojem ionizující záření, které jsou k pochopení dané problematiky potřebné. Dále podat přehledné informace o onemocnění maligním lymfomem a o významu tohoto vyšetření pro pacienty s tímto onemocněním.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Radiologický asistent

V přelomu 19. a 20. století byly uvedeny do provozu první rentgenové přístroje, díky nimž vznikla nová profese radiologický asistent. Po druhé světové válce musel dřívější střední zdravotnický pracovník po složení maturitní zkoušky podstoupit dvouleté nástavbové studium radiologický laborant. Postupem času na vyšších odborných školách při středních zdravotnických školách získal radiologický laborant titul diplomovaného specialisty (DiS.). V současnosti jde o bakalářský titul, který lze získat absolvováním tříletého vysokoškolského pomaturitního studia na univerzitách. Další informace o dosažení odborné způsobilosti k provádění profese radiologického asistenta jsou obsaženy v zákoně č. 96/2004 Sb. *O nelékařských zdravotnických povoláních*. (bakalářská práce Nermuťová, 2014; Vomáčka, 2015)

Radiologický asistent, který patří do skupiny nelékařského zdravotnického personálu, má po úspěšném ukončení bakalářského studia možnost výběru ze tří odvětví (které radiologie nabízí). Jedná se o radiodiagnostiku, radioterapii a nukleární medicínu. Vyšetření, která jsou v jeho kompetenci, vykonává většinou radiologický asistent samostatně. Výsledek je předáván do rukou odborného lékaře, se kterým asistent úzce spolupracuje. Je kladen veliký důraz na kvalitu jeho práce, teoretické i praktické znalosti, neboť charakteristickým znakem tohoto povolání je práce se zdroji ionizujícího záření a práce v silném magnetickém poli. (bakalářská práce Nermuťová, 2014; Vomáčka, 2015)

Radiologičtí asistenti, kteří pracují se zdroji ionizujícího záření jsou zpravidla zařazeni podle radiační ochrany do kategorie A. Zde se předpokládá, že by u nich mohla být efektivní dávka vyšší než 6mSv/rok či ekvivalentní dávka vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži nebo končetiny. (bakalářská práce Nermuťová, 2014)

2.1.1 Radiologický asistent a jeho kompetence v oblasti nukleární medicíny

Jak uvádím výše, profese radiologického asistenta nabízí výběr mezi třemi profesemi. Jednou z nich je nukleární medicína, na jejímž oddělení má radiologický asistent tyto povinnosti:

- Informovat pacienta o průběhu vyšetření, ke kterému byl pacient indikován. O kladech a záporech, které s sebou vyšetření přináší a o možných komplikacích.
- Poskytnout pacientovi ošetrovatelskou péči, být citlivý a ohleduplný.
- Náležitě a pečlivě obsluhovat přístrojovou techniku.

- Znat celý a správný postup vyšetření, aby bylo možné jeho plynulé provedení a nedošlo ke zbytečným chybám.
- Akceptovat a provádět zobrazovací postupy na základě indikace lékaře, předávat mu informace.
- Respektovat provozní řád daného pracoviště.
- Spolupracovat s ostatním zdravotnickým personálem, být k nim vstřícný a příjemný.

Vyhláška č. 55/2011 Sb. o činnostech zdravotnických pracovníků informuje o činnosti radiologického asistenta, konkrétně úsek sbírky §7. (bakalářská práce Nermuťová, 2014)

2.2 Nukleární medicína

Nukleární medicína je lékařský obor, který se pomocí radiofarmak (otevřených radioaktivních zářičů) zabývá léčebnými a diagnostickými účely. (Mysliveček, 2007)

Pravděpodobně nejvýznamnější součástí nukleární medicíny jsou neinvazivní zobrazovací metody, pomocí nichž se zkoumají biochemické a fyziologické děje v těle pacienta, a také se lokalizují patologické změny. Poté, co pacientovi aplikujeme radiofarmakum, detekujeme jeho distribuci pomocí scintilační kamery, jejíž detektory jsou umístěny v blízkosti těla. Tato metoda se nazývá scintigrafie a jsou zde používány radionuklidy emitující gama záření. Další zobrazovací metody jsou prováděny na pozitronových kamerách, kde jsou k diagnostice využívány pozitronové zářiče. (Mysliveček, 2007; bakalářská práce Nermuťová, 2014)

Dále se provádí nezobrazovací vyšetření pomocí scintilační sondy, dávající informaci o množství radiofarmaka v oblasti zájmu.

Dále existují i metody in vitro, kdy se pacient nedostane do kontaktu s radioaktivní látkou a pracuje se pouze se vzorkem jeho krve. Díky radioaktivní látce je možné stanovit koncentraci např. protilátek nebo hormonů v krvi. Aktivita radionuklidu ve vzorku se opět detekuje pomocí scintilačních detektorů. (Mysliveček, 2007)

Poslední důležitou součástí je terapie pomocí otevřených zářičů. Ta se podle druhu onemocnění a spolupráce pacienta provádí buď ambulantně nebo za hospitalizace. (Seidl, 2012)

2.2.1 Historie nukleární medicíny

Všechno začalo v roce 1913, kdy maďarský chemik György Hevesy objevil tzv. indikátorový nebo také stopovací princip. Podstatou tohoto principu je, že radioaktivní i stabilní izotopy téhož prvku reagují chemicky shodně. Ovšem radioaktivní izotopy čili radionuklidy jsou na rozdíl od stabilních izotopů „viditelné“ díky pronikavému záření gama. Proto sloučeniny

označené radioaktivními prvky je možné pozorovat a měřit jejich množství pomocí detekce gama záření. V roce 1943 dostal G. Hevesy za tento objev Nobelovu cenu za chemii. (bakalářská práce Nermuťová, 2014; Kupka, 2007)

Doba, kdy se radioaktivní indikátory v nukleární diagnostice začaly využívat, sahá do třicátých a čtyřicátých let dvacátého století. Lékaři z Bostonu aplikovali radionuklidy jódu ^{128}I a ^{131}I pro zkoumání fyziologie a diagnostiku onemocnění štítné žlázy. Zanedlouho byl vytvořen vysoce směrově citlivý detektor, který umožňoval zjistit akumulaci jódu v hmatném uzlu štítné žlázy. Díky pohybu detektoru nad oblastí štítné žlázy a následnému zaznamenávání výsledků na papír vznikl první sken štítné žlázy. Následně byl tento primitivní přístroj vylepšen použitím scintilačního detektoru a začal být prospěšný pro rutinní vyšetření štítné žlázy. V dalších 50 letech nukleární medicína prohlubovala své dovednosti v oblasti přístrojové techniky, radiofarmacie a rozšířila se do všech klinických oborů. (bakalářská práce Nermuťová, 2014; Kupka, 2007)

Na začátku třetího tisíciletí je nukleární medicína oborem, ve kterém probíhá významný transport poznatků molekulární biologie a genetiky do klinické praxe. Pomocí zobrazování náležitého radiofarmaka lze metodou in vivo vyšetřit reakci antigenu a protilátky, funkci transportní či metabolické cesty, enzymové či receptorové vazby. K rozvoji oboru přispěly i nové poznatky o radiofarmacích, uplatňujících se v diagnostice i v terapii. (bakalářská práce Nermuťová, 2014; Kupka, 2007)

2.3 Radiofarmaka

Jsou to léčivé přípravky, které obsahují biologicky aktivní nebo chemické látky mající účinnou složku radionuklid, který je zdrojem ionizujícího záření. Právě přítomností radionuklidu se radiofarmaka liší od ostatních léčiv. Na pracovištích nukleární medicíny se tato radiofarmaka aplikují z diagnostických nebo terapeutických důvodů. V diagnostice je důležité, aby radiační zátěž byla co nejmenší, a přitom se zachovala kvalita obrazu. Proto se využívají gama zářiče s krátkým poločasem rozpadu. V terapii se na rozdíl od diagnostiky aplikují alfa či beta zářiče, aby radiační účinek v tkáni byl co nejvyšší. Podle způsobu aplikace dělíme radiofarmaka na tři skupiny:

- Inhalační (radioaktivní plyny $^{81\text{m}}\text{Kr}$, aerosoly $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$).
- Perorální (roztoky, koloidy, emulze, tuhé látky např. ^{131}I).
- Parenterální (roztoky, koloidní disperze, suspenze např. $^{99\text{m}}\text{Tc}$). (Koranda, 2014)

Radionuklidy používané v nukleární medicíně jsou připravovány uměle v jaderném reaktoru či cyklotronu. Kromě těchto primárních zdrojů radionuklidů existuje i sekundární zdroj, který je významný pro některé krátkodobé radionuklidy. Jedná se o radionuklidový generátor. V něm samovolnou radioaktivní přeměnou mateřského prvku (který je připraven v jaderném reaktoru nebo cyklotronu) vzniká radioaktivní dceřiný prvek, vhodný pro použití v nukleární medicíně. (Koranda, 2014)

Radiofarmaka se na odděleních nukleární medicíny připravují v laboratořích pro přípravu radiofarmak, a to těmito způsoby:

- Značením neaktivního kitu radionuklidem.
- Úpravou objemové aktivity (tzn. ředěním) u hromadně vyráběných radiofarmak.
- Inkubací biologického materiálu s roztokem radionuklidu v náležité chemické formě – slouží zejména ke značení krvinek. (Koranda, 2014)

Nejčastěji užívaným radionuklidem pro scintigrafické zobrazování je metastabilní technecium ^{99m}Tc , nejčastějším radionuklidem pro pozitronovou emisní tomografii je fluor ^{18}F (poločas rozpadu 110 minut) a nejčastěji užívaným pozitronovým radiofarmakem je tímto nuklidem značená 2- ^{18}F -fluoro-2-deoxy-glukóza (FDG). (Seidl, 2012)

Množství aplikovaného radiofarmaka je vždy individualizováno pro konkrétního pacienta, resp. nejčastěji v závislosti na jeho hmotnosti.

2.4 Základní fyzikální pojmy a jejich použití v nukleární medicíně

2.4.1 Atom, nuklid, izotop

Atom je nedělitelná částice hmoty, sestavena z těžkého jádra a elektronového obalu. V jádru jsou částice bez náboje – neutrony a kladně nabitě částice – protony. Společně se jim říká nukleony. V elektronovém obalu, který je kolem jádra, se nacházejí záporně nabitě částice – elektrony. Množství protonů v jádře je shodné s počtem elektronů v obalu, a tudíž je atom elektricky neutrální (náboje se vzájemně vyruší). Soubor atomů se stejným počtem protonů i neutronů se nazývá nuklid. Ten je vystihován protonovým číslem Z udávajícím počet protonů v jádře, a nukleonovým číslem A neboli součtem počtu neutronů a protonů. Nuklidy, které mají stejný počet protonů, ale odlišný počet neutronů, se nazývají izotopy, např. ^{12}C , ^{13}C a ^{14}C . Mohou být buď stabilní nebo nestabilní, nestabilní se nazývají radionuklidy. (Kupka, 2007)

2.4.2 Radioaktivita

Radioaktivita je samovolná přeměna jader nestabilních izotopů jednoho chemického prvku v jádra izotopů jiného prvku, za současného uvolňování energie ve formě ionizujícího záření. Každý radionuklid je charakterizován typem přeměny, poločasem přeměny a energií záření. Objev učinil roku 1896 p. H. Becquerel při studiu fluorescence. (Kupka, 2007)

Rozlišujeme radioaktivitu přirozenou a umělou. U přirozené radioaktivity se přeměňují radionuklidy, nacházející se v přírodě. Naopak u umělé dochází k přeměně uměle připravených radionuklidů, které lze vyrobit ozařováním neutrony nebo nabitými částicemi v urychlovačích. Radionuklidy všech farmak užívaných v nukleární medicíně jsou vyráběny uměle. (Kupka, 2007)

2.4.3 Veličiny a jednotky užívané v nukleární medicíně

Jednou z nejčastěji užívaných veličin v nukleární medicíně je aktivita, která značí počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Jednotkou je Becquerel ($\text{Bq} = \text{s}^{-1}$). V nukleární medicíně se aktivity radionuklidů pro diagnostické účely pohybují v rozmezích kBq – GBq. Aktivita vyjadřuje množství radionuklidu. Před každou aplikací radiofarmaka pacientovi musí aktivita tohoto radiofarmaka být individuálně stanovena. (Kupka, 2007)

Energie emitovaného záření je další z důležitých veličin. V soustavě SI je její jednotkou joule (J), avšak v běžné praxi se užívají vedlejší jednotky elektronvolt (eV), kiloelektronvolt (keV) a megaelektronvolt (MeV). V nukleární medicíně jsou k diagnostice vhodné radionuklidy emitující fotonové záření o energii od 30 keV do několika set keV. Záření o menší energii je více pohlcováno tkání, záření o příliš vysoké energii prochází stíněním detektorů a přepážkami kolimátorů, a snižuje kvalitu diagnostických obrazů. Optimální energie záření gama pro scintigrafii je 100–200 keV. Na energii záření beta pro léčebné účely nejsou žádná omezení. (Myslivoček, 2007)

Absorbovaná dávka (D) je definována jako množství energie ionizujícího záření absorbované jednotkou hmotnosti ozářené látky v daném bodě. Její jednotkou je 1 Gy (gray) a platí $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$. V terapii otevřenými zářiči je důležité dosáhnout vysokých dávek v cílové tkáni a současně šetřit tkáň okolní, tj. vybírat radionuklidy, které vedou k vysoké absorbované dávce v místě akumulace radiofarmaka v cílové tkáni, ale nikoli ve vzdálenějších oblastech. Proto se terapeutické aplikace provádí pomocí otevřených zářičů, které emitují záření s velkou ionizační schopností a zároveň mají velmi krátký dolet v tkáni (alfa, beta minus částice). (Kupka, 2007)

Ekvivalentní dávka je součin radiačního váhového faktoru (pro beta a gama záření má hodnotu 1, pro alfa až 20) a střední absorbované dávky v ozářené tkáni či orgánu. Jedná se o biofyzikální dozimetrickou veličinu vyjadřující skutečnost, že biologický účinek záření nezávisí jen na množství energie absorbované tkání, ale i na typu záření. Její jednotkou je 1 Sv (Sievert). Je užívána v radiační ochraně (objevuje se např. v limitech pro ozáření oční čočky). (Koranda, 2014)

Efektivní dávka je součet ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních a orgánech, vážených příslušnými tkáňovými váhovými faktory. Díky ní je možné porovnávat radiační zátěž osob z hlediska pravděpodobnosti vyvolání stochastických účinků při ozáření z nejrůznějších zdrojů – rentgenových vyšetření, radiofarmak v nukleární medicíně či z přírodního pozadí. Jednotkou efektivní dávky je také 1 Sv. (Ullmann, 2009; Kupka, 2007)

2.4.4 Druhy ionizujícího záření

V nukleární medicíně se setkáváme se třemi základními druhy ionizujícího záření:

- Záření α (alfa).
- Záření β (beta).
- Záření γ (gama).

K přeměně alfa dochází jen u radioaktivních izotopů prvků, jejichž protonové číslo Z je větší než 82. Při této přeměně jsou emitovány kladně nabitě částice alfa, což jsou jádra ${}^4\text{He}$ složená ze dvou protonů a dvou neutronů ($2p + 2n$). V tkáni je dosah částice α velmi krátký a vzhledem k velkému biologickému účinku a vysoké ionizační schopnosti lze použít pro terapii zhoubných nádorů. (Koranda, 2014)

Přeměna beta se dělí na:

- Přeměna β^- , která je doprovázená emisí elektronů z atomového jádra.
- Přeměna β^+ , která je doprovázená emisí pozitronů z atomového jádra (pozitron má opačný elektrický náboj ale stejnou hmotnost jako elektron).

Při přeměně β^- či β^+ se v atomovém jádře přemění jeden proton na neutron nebo naopak. Potom tedy protonové číslo dceřiného prvku je v případě β^- přeměny o 1 vyšší, u β^+ přeměny o 1 nižší. Zářiče β^- se využívají pro terapii nádorových i jiných onemocnění, jelikož dosah elektronů činí řádově milimetry (převážná část se absorbuje v cílové tkáni). Zářiče β^+ emitují pozitrony, které reagují s elektronem z obalu jiného atomu ve tkáni za současného vyzařování

elektromagnetického záření. Tomuto jevu se říká anihilace. Vznikají dva anihilační fotony (každý o energii 511 keV), které odlétají z místa anihilace opačným směrem. Na principu současné detekce této dvojice vysokoenergetických fotonů je založena pozitronová emisní tomografie (PET). (Koranda, 2014)

Gama přeměna se uskutečňuje tehdy, kdy se po proběhlé jaderné přeměně dceřiné jádro nachází ve vzbuzeném (excitovaném) stavu a přechází z něj pak do základního energetického stavu. Při tomto přechodu dochází k vyzáření přebytečné energie ve formě elektromagnetického vlnění – fotonů γ . Gama záření má stejně jako záření vycházející z rentgenky povahu elektromagnetického záření, skládá se z fotonů (kvant). Zářiče γ emitují z jader atomů fotony γ . V nukleární medicíně se využívají v diagnostice jak při vyšetřeních in vivo, tak při vyšetření in vitro. (Koranda, 2014)

2.5 Detekce ionizujícího záření

Pro detekci ionizujícího záření v nukleární medicíně se uplatňují scintilační detektory a ionizační komory, dále pak Geiger-Müllerovy počítače a proporcionální detektory. (Myslivoček, 2007)

Ionizační komora je založena na principu ionizace plynové náplně pod vlivem ionizujícího záření. V nukleární medicíně je ionizační komora hlavní součástí měřičů aktivity, pomocí nichž se kontroluje aktivita radiofarmaka před aplikací pacientům. Na obdobném principu jsou založeny Geiger-Müllerovy počítače a proporcionální detektory, užívané v detektorech povrchové kontaminace. (Koranda, 2014)

Scintilační detektor je složen ze tří částí: scintilačního krystalu, fotonásobiče a elektronické aparatury včetně počítače. Nejčastější látkou ve scintilačních krystalech, které se používají v nukleární medicíně pro detekci záření γ je jodid sodný aktivovaný thaliem – NaI (Tl). Při interakci fotonového ionizujícího záření se scintilačním krystalem dojde ke vzniku záblesků (scintilací) viditelného světla. Fotonásobič, který je přilepen na krystal, převádí fotony tohoto světla ze scintilačního krystalu na elektrický signál. Scintilační detektory jsou významnou součástí scintilačních sond, gamakamer i PET skenerů. (Myslivoček, 2007)

2.6 Interakce gama záření s hmotou a jejich význam pro zobrazování

Fotony rentgenového, gama či anihilačního záření v závislosti na jejich energii mohou projít tkání bez toho, aniž by došlo k jejich rozptylu či absorpci. Jiná možnost je, že budou úplně absorbovány fotoefektem. To znamená, že předají veškerou svoji energii elektronům

v atomovém obalu a samy zaniknou. V neposlední řadě může nastat jen částečná absorpce díky Comptonově rozptylu. Při něm foton předá elektronu jen část své energie a sám pokračuje s nižší energií a se změněnou trajektorií. Pro nukleární zobrazování je žádoucí nulová interakce v těle pacienta a interakce fotoefektem ve scintilačním krystalu. Rozptýlení fotonu Comptonovým rozptylem je vždy nežádoucí - přispívá k obrazovému šumu, zvyšuje radiační zátěž pacienta. (Kupka, 2007)

2.7 Biologické účinky ionizujícího záření

Jsou dvojího druhu: deterministické, jejichž podstatou je eliminace živých buněk ve tkáni, a stochastické, jejichž podstatou je změna genetické informace, aniž by došlo k jejich usmrcení, viz Obrázek 1.

2.7.1 Deterministické účinky ionizujícího záření

Účinek ozáření se objeví, pokud dávka překročí určitý práh. Jednotlivé tkáně mají svoji prahovou dávku (např. spermie 0,3 Gy, kůže 3 Gy, plíce 5 Gy). Říkáme tedy, že deterministické účinky jsou prahové a lze je charakterizovat takto:

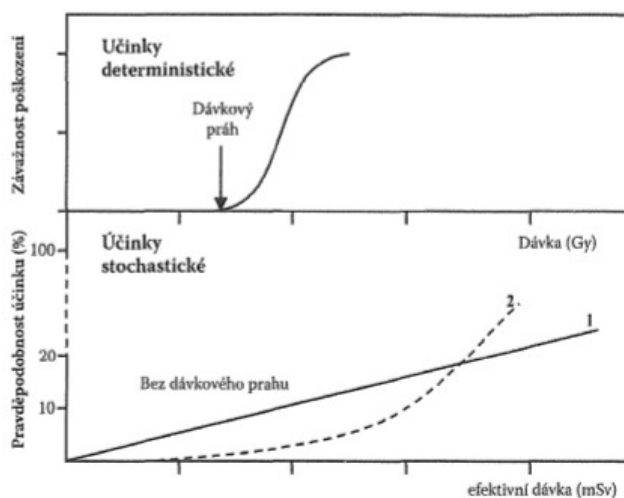
- S rostoucí dávkou se zvyšuje závažnost nežádoucích účinků a poškození.
- Jejich klinický obraz je specifický.
- Jelikož při dávce, která bude pod prahem vzniku deterministických účinků, účinky nenastanou, je radiační ochrana relativně jednoduchá.
- Můžeme se s nimi setkat hlavně v radioterapii prováděné pomocí uzavřených zářičů a lineárních urychlovačů, dále v nukleární medicíně při léčbě pomocí otevřených zářičů.
- V diagnostických aplikacích se vždy pohybujeme hluboko pod dávkovým prahem.

K deterministickým účinkům patří akutní nemoc z ozáření, zákal oční čočky a lokální poškození organismu. Akutní nemoc z ozáření nastává po jednorázovém ozáření celého těla dávkou 1 Gy a vyšší. Podle stupně ozáření a velikosti celotělové dávky se objevují nejdříve symptomy podmíněné poruchou krvetvorných orgánů (3-4 Gy), při zvyšujících se dávkách symptomy z oblasti trávicího ústrojí (6-10 Gy) a v konečné řadě poruchy centrálního nervového systému (od 50 Gy). Zákal oční čočky neboli katarakta může vzniknout po určité době latence už při jednorázové dávce 1 Gy. Lokální poškození organismu zahrnuje poškození kůže, kdy od dávky cca 3 Gy může dojít k radiační dermatitidě (erytém, při vyšších dávkách puchýře, vředy). Dalším lokálním poškozením je postižení fertility (plodnosti), ke kterému dochází po ozáření pohlavních žláz. (Seidl, 2012; Kupka, 2007)

2.7.2 Stochastické účinky ionizujícího záření

Charakteristika:

- Na rozdíl od deterministických účinků jsou bezprahové (náhodné).
- S dávkou se zvyšuje pravděpodobnost výskytu, ne závažnost účinku.
- Vznikají v důsledku poškození DNA v buněčném jádře.
- Řadíme sem nádory a dědičné poruchy.
- Pozdní účinky (až desítky let), mohou se objevit, ale také nemusí. (Seidl, 2012)



Obrázek 1 - Vztah účinku a dávky pro deterministické a stochastické účinky (Kupka, 2007, s. 24)

2.8 Radiační ochrana v nukleární medicíně

Na všech pracovištích nukleární medicíny je nakládáno s otevřenými zdroji ionizujícího záření, kde vždy existuje radiační riziko pro personál. Proto je na všech pracovištích vymezeno kontrolované pásmo, které má své náležitosti (případně může být vymezeno i sledované pásmo).

2.8.1 Vymezení kontrolovaného pásma

Tam, kde by mohla být efektivní dávka vyšší než 6 mSv/rok (nebo ekvivalentní dávka vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži nebo končetiny) se vymezuje kontrolované pásmo. V nukleární medicíně se jedná o všechna pracoviště – laboratoře, ambulantní a lůžkové úseky. Jde tedy například o laboratoř, kde se připravují radiofarmaka, nebo o místnost, kde se radiofarmaka aplikují pacientům. V porovnání s požadavky na sledované pásmo, jsou nároky na kontrolované pásmo přísnější. Smějí zde pracovat pouze kvalifikovaní radiační pracovníci kategorie A, informovaní o rizicích práce a vybavení osobními dozimetry. Ve sledovaném

pásmu se předpokládá, že za běžného provozu či za předvídatelných odchylek od obvyklého provozu může dojít k překročení obecných limitů. (Kupka, 2015; Hušák, 2009)

2.8.2 Stálé monitorování

Pro dodržení radiační ochrany na pracovišti je třeba zajistit stálé monitorování pracovníků, pracoviště a jeho okolí. Tím je zajištěno, že nebudou překročeny radiační limity, tj. hranice, jejíž překročení je v daných situacích nepřípustné. Limity dělíme na obecné limity, limity pro radiační pracovníky a limity pro učně a studenty. Na rozdíl od ostatních radiologických oborů je v nukleární medicíně podstatné, že se limity vztahují na dávky jak ze zevního ozáření (zdroje mimo tělo), tak i vnitřního ozáření (z radionuklidů, které se dostaly do těla při vnitřní kontaminaci). (Koranda, 2014; Kupka, 2007)

Obecné limity se vztahují na obyvatele. Platí, že efektivní dávka nesmí být větší než 1 mSv/rok a 5 mSv/5 let, ekvivalentní dávka v oční čočce 15 mSv/rok a průměrná ekvivalentní dávka v 1cm² kůže nesmí přesáhnout 50 mSv/rok. (Koranda, 2014; Kupka, 2007)

Limity pro radiační pracovníky nebo také profesní ozáření stanovují, že efektivní dávka nesmí přesáhnout 20 mSv/rok. Také ekvivalentní dávka v oční čočce nesmí být vyšší než 50 mSv/rok a současně 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a průměrná dávka v 1cm² kůže nesmí překročit 500 mSv/rok. (Koranda, 2014; Kupka, 2007)

Pro studenty, kteří při svém vzdělávání přicházejí do styku s ionizujícím zářením jsou stanoveny následující limity: efektivní dávka nesmí přesáhnout 6 mSv/rok, ekvivalentní dávka v oční čočce 15 mSv/rok a průměrná ekvivalentní dávka na kůži 150 mSv/rok. (Koranda, 2014; Kupka, 2007)

Při monitorování personálu nukleární medicíny musí být pracovníci kategorie A opatřeni osobními dozimetry detekující záření beta a gama. Jedním z nich je osobní dozimetr a pracovníci jej nosí na levé straně vně pracovního oděvu v oblasti hrudníku. Po uplynutí jednoho měsíce se dozimetr posílá k vyhodnocení do CSOD (Celostátní služby osobní dozimetrie) v Praze. Při vyhodnocování dozimetrů se posuzuje osobní dávkový ekvivalent, jenž se dále převádí na efektivní dávku, kterou je vyjádřen radiační limit pro pracovníky. Dalším osobním dozimetrem je prstový termoluminiscenční dozimetr, který nosí pracovníci, jejichž ruce jsou vystaveny zvýšené expozici. (Kupka, 2007)

Měření kontaminace povrchů radioaktivními látkami a dávkového příkonu záření gama (nejen v kontrolovaném pásmu) je součástí monitorování pracoviště a jeho okolí. Využívají se k tomu

přístroje vybavené GM počítači nebo proporcionálními detektory. (Koranda, 2014; Kupka, 2015)

2.8.3 Praktická radiační ochrana při práci v KP

Stejně jako v radiodiagnostice nebo radiační terapii, je i v nukleární medicíně důležité dbát na radiační ochranu pracovníků. Na pracovištích, kde je využíváno ionizujícího záření, je třeba dodržovat metody ochrany před vnějším ozářením – ochrana vzdáleností, časem a stíněním.

Ochrana časem se zakládá na skutečnosti, že dávka, kterou pracovník obdrží roste s dobou, po kterou je vystaven zdroji záření. Je tedy třeba omezovat čas nutný pro zacházení s radiofarmaky i čas kontaktu se zářícími pacienty. Svůj smysl tedy má i střídání pracovníků vykonávajících úkony (příprava radiofarmak, práce u scintilačních kamer), při kterých je vyšší vystavení ionizujícímu záření. (Mysliveček, 2007)

Ochrana vzdáleností vychází z předpokladu, že množství dávky klesá se čtvercem (druhou mocninou) vzdálenosti od zdroje. Tudíž je třeba, aby pracovníci byli při své práci od zdroje záření co nejdále. Nepobývali v blízkosti pacientů zbytečně dlouho, udržovali si od nich dostatečnou vzdálenost a při zacházení s otevřenými zářiči (radiofarmaky) používali pinzety, kleště apod. (Mysliveček, 2007)

Ochrana stíněním se uskutečňuje tak, že se používá stínící vrstva vhodného materiálu, která se vkládá mezi pracovníka a zdroj záření. K dostupným materiálům patří olovo, které zeslabuje svazek rentgenového a gama záření. Například olověné kontejnery na přenášení radioaktivní látky, olověné kryty na injekční stříkačky při aplikaci radiofarmak apod. K odstínění beta záření se uplatňuje plexisklo či hliník. (Mysliveček 2007)

Na oddělení nukleární medicíny musí být kromě ochrany před vnějším zářením zajištěna také ochrana před vnitřní kontaminací. Tudíž pracovníci musí při práci s radiofarmaky používat rukavice a v kontrolovaném pásmu nesmí jíst, pít, ani kouřit. Také zde nesmí pracovat těhotné a kojící ženy. Dále je nad pracovníky kategorie A zajištěn lékařský dohled. Jedná se o prohlídky vstupní (uskutečňuje se vždy před zařazením pracovníka do kategorie A), periodické (jednou ročně), mimořádné (při změně zdravotního stavu pracovníka či při překročení limitů ozářením) a výstupní. (Mysliveček, 2007)

2.8.4 Likvidace radioaktivního odpadu

Na odděleních nukleární medicíny vznikají pevné i kapalně radioaktivní odpady, které nelze likvidovat jako běžný odpad. Kapalně radioaktivní odpady (např. moč pacientů, kterým bylo

aplikováno radiofarmakum k diagnostickému vyšetření) se ředí vodou a vypouští do běžné kanalizace tak, aby se nepřesáhly uvolňovací úrovně pro daný radionuklid. Výjimkou jsou kapalné odpady vznikající po terapeutickém podání ^{131}I , který se vylučuje močí a jeho poločas rozpadu je 8 dní. Je tedy nezbytné, aby byl kapalný odpad z lůžkového oddělení odváděn do speciálních vymíracích nádrží v čisticí stanici. Tam se před vypuštěním do městské kanalizace skladuje po určitý čas. (Koranda, 2014; Hušák, 2009)

Pevné radioaktivní odpady (stříkačky, jehly apod.) se podle použitého radionuklidu roztřídí do označených kontejnerů a umístí se do vymírací místnosti. Tam se uchovávají do doby, kdy jejich aktivita poklesne pod danou uvolňovací úroveň. Poté se změří jejich aktivita a likvidují se jako běžný odpad. U radioaktivních odpadů s dlouhým poločasem rozpadu např. několik let se o likvidaci starají autorizované firmy. (Koranda, 2014)

2.9 Zobrazovací metody nukleární medicíny

Scintigrafické metody dělíme na planární – zobrazující jednu projekci, a tomografické, které umožňují tvorbu řezů v mnoha projekcích.

2.9.1 Planární zobrazování

Planární zobrazení poskytují běžné scintilační kamery (gamakamery). Pomocí nich je zobrazována distribuce radiofarmaka v těle pacienta a toto vyšetření se nazývá scintigrafické. Detektor gamakamery je sestaven ze scintilačního krystalu, souboru fotonásobičů, světlovodiče a kolimátoru. (Kupka, 2007)

Scintilační krystal je jodid sodný aktivovaný thalliem $\text{NaI}(\text{Tl})$ a nad ním je rozloženo 60-90 fotonásobičů, které jsou s krystalem propojeny pomocí světlovodiče. Ten ulehčuje převod světelných fotonů ze záblesků v krystalu na fotokatodu fotonásobiče. „*Foton záření gama vyvolá v krystalu scintilaci, světelné fotony se šíří všemi směry a dopadají na fotokatomy jednotlivých fotonásobičů. Nejvíce světelných fotonů se dostane do fotonásobiče, který je nejbližší místu interakce fotonu gama s krystalem (místo záblesku); na jeho výstupu vznikne impulz, jehož amplituda je větší než amplituda impulzů ze vzdálenějších fotonásobičů. Pomocí počítačových obvodů se vyhodnotí výstupní signály všech fotonásobičů, čímž vznikne impulz označovaný Z přiváděný do amplitudového analyzátoru. Dále se stanovují souřadnice X a Y místa, v němž došlo v krystalu ke scintilaci.*“ (Kupka, 2007, s.37) Pro akvizici, zpracování a záznam takto získaných signálů se používají počítače. Jelikož počítač dokáže zpracovávat jenom údaje v digitální podobě, je elektronická aparatura kamery vybavena analogově-digitálním převodníkem. (Kupka, 2007)

Součástí gamakamer jsou i kolimátory, které umožňují získání kvalitnějšího obrazu absorbováním fotonů nežádoucího směru ještě před dopadem na scintilační krystal. Jedná se o clony z olova či wolframu, obsahující malé otvory, které zakrývají zorné pole detektoru. Kolimátory se rozdělují podle konfigurace a počtu otvorů, podle energie záření, a dle rozlišovací schopnosti a citlivosti, viz Obrázek 2. (Koranda, 2014)

Dělení kolimátorů:

1. Podle konfigurace a počtu otvorů

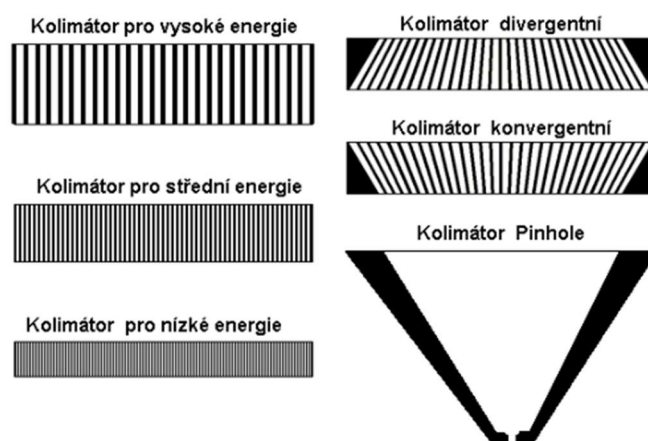
- Kolimátory s paralelními otvory – Nejčastěji používaný typ, tvořený několika tisíci otvory, které jsou kolmé ke scintilačnímu krystalu a k sobě rovnoběžné. Obraz objektu vytvářený v detektoru má reálnou velikost zobrazované oblasti, nezávisle na vzdálenosti objektu od kolimátoru.
- Kolimátor Pinhole – Má pouze jeden otvor, který tvoří zvětšený a převrácený obraz. Velikost obrazu ale závisí na vzdálenosti zobrazovaného objektu od otvoru kolimátoru a otvoru od scintilačního krystalu.
- Kolimátor divergentní – Poskytuje zmenšení obrazu díky rozbíhajícím otvorům, které směřují do určitého bodu.
- Kolimátor konvergentní – Poskytuje zvětšení obrazu pomocí sbíhajících otvorů, které také směřují do určitého bodu.

2. Podle energie záření

- Pro nízké energie – do 160 keV např. ^{201}Tl , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{123}I .
- Pro střední energie – do 300 keV např. ^{111}Ga , ^{67}Ga .
- Pro vysoké energie – do 400 keV (^{131}I).

3. Podle rozlišovací schopnosti a citlivosti

- Kolimátory s vysokou senzitivitou (HS – high sensitivity) – Poskytují zvýšenou účinnost detekce záření na úkor zhoršení rozlišovací schopnosti zobrazení.
- Kolimátory s vysokým rozlišením (HR – high resolution) – Umožňují vyšší rozlišení a nižší detekční účinnost.
- Kolimátory s ultra vysokým rozlišením (ultra HR) – Za výrazně snížené detekční účinnosti získáváme velmi vysokou rozlišovací schopnost. (Koranda, 2014)



Obrázek 2 - Typy kolimátorů (Ullmann, dostupné z <http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>)

2.9.2 Emisní tomografie

Tomografie je zobrazovací metoda, při níž jsou zobrazovány řezy z třírozměrného objektu ve vybrané rovině. Při normálním projekčním zobrazování těchto třírozměrných objektů do roviny obrazu vznikají nedostatky jako např. zkreslení, snížení kontrastu, či dochází k překrývání zobrazovaných struktur. Cílem tomografie je zvýšení kontrastu a zobrazení rovinného řezu bez projekčního zkreslení, dále je možné ji využít pro kvantifikaci zobrazených parametrů (množství radiofarmaka v cílové tkáni). V nukleární medicíně je toto zobrazování nazýváno emisní tomografie, protože záření je zde vyzařováno ze zdroje uvnitř organismu. (Kupka, 2007)

V emisní tomografii je využíváno dvou odlišných technik:

- Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (single photon emission computed tomography, SPECT).
- Pozitronová emisní tomografie (positron emission tomography, PET).

U SPECT se nejčastěji používají rotační scintilační kamery, jejichž součástí jsou jedna nebo více detekčních hlav. Ty v průběhu vyšetření zaznamenávají projekce zkoumané oblasti z odlišných úhlů díky rotaci kolem dlouhé osy pacientova těla. V PET se užívají multidetektorové systémy skládající se z mnoha malých detektorů. Detektory jsou obdobně jako u CT seřazeny do jedné nebo více kruhových vrstev. (Kupka, 2007)

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie – SPECT

SPECT rozšiřuje možnosti zobrazení podobně jako CT. V mnoha směrech se ale tyto dvě zobrazovací techniky od sebe liší. Zatímco CT zachycuje strukturu vnitřních orgánů a expoziční doba je kolem 1 sekundy, SPECT zobrazuje distribuci radiofarmaka a funkci vnitřních orgánů, a celé vyšetření zabere přes 10 minut. Když jsou projekční data nahromaděna v paměti počítače,

je možno aplikovat algoritmy filtrované zpětné projekce či iterativní rekonstrukce – tuto metodu rekonstrukce obrazu mají CT a SPECT společnou. (Kupka, 2007)

U SPECT vyšetření se využívají shodná radiofarmaka jako v planární scintigrafii a aplikují se obdobné vyšetřovací postupy. Jelikož dynamická SPECT se v praxi neprovádí (distribuce radiofarmaka by se příliš rychle měnila a obraz by nešel správně rekonstruovat), jsou většinou SPECT vyšetření statická. (Kupka, 2007)

Pozitronová emisní tomografie – PET

Druhou technikou emisní tomografie je PET, která se od SPECT odlišuje jak radiofarmaky, které se při vyšetření aplikují, tak i způsobem detekce záření. U PETu jsou radiofarmaka značená pozitronovými zářiči emitujícími při své radioaktivní přeměně pozitron. Pozitron je kladně nabitá antičástice elektronu a při svém pohybu pozbývá svou kinetickou energii. Po úplné ztrátě kinetické energie dochází k tzv. anihilaci. To znamená, že pozitron interaguje s elektronem a vznikají dva anihilační fotony záření gama o energii 511 keV, které se z místa anihilace pohybují opačným směrem. I tímto se SPECT „jednofotonová“ tomografie odlišuje od pozitronové „dvoufotonové“ tomografie. (Kupka, 2007)

Princip detekce je tedy založen na detekci anihilačního záření (ne na detekci samotných pozitronů) pomocí scintilačních detektorů (řádově až desítky tisíc). Ty jsou uspořádány do prstenců, které se při vyšetření kolem pacienta neotáčejí. Kvůli vysoké energii anihilačních fotonů není pro zobrazování PET vhodný scintilační krystal jodidu sodného NaI (Tl) (na rozdíl od planární scintigrafie a SPECT). Tudíž se pro jejich detekci využívají např. krystaly LSO (lutecium oxyorthosilikát) či GSO (gadolinium oxyorthosilikát), které mají lepší vlastnosti a díky nimž je délka scintilace kratší. (Myslivoček, 2007)

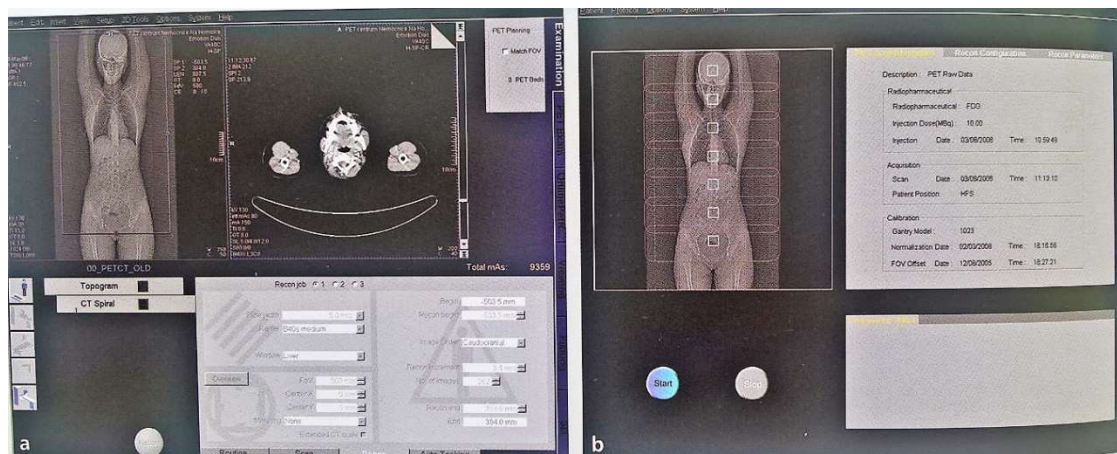
Detektory jsou zapojené do tzv. koincidenčního obvodu, který registruje jen impulsy, které na jeho vstup přišly současně. Jestliže dojde mezi detektory k anihilaci a oba dva fotony letící opačným směrem dopadnou současně na detektory, na koincidenčním obvodu se objeví impuls a registruje se. Pokud na detektor dopadne pouze jeden foton, nic se nezaznamená. (Koranda, 2014; Votrubová, 2009; Kupka, 2007)

Na rozdíl od planární scintigrafie nebo SPECT nejsou detektory vybaveny mnohootvorovými olověnými kolimátory. Je zde elektronická kolimace, umožňující výrazně vyšší citlivost v porovnání se SPECT. K vysoké citlivosti, která je přibližně 100krát větší než u SPECT, dále přispívá rozdílný způsob akvizice. To znamená, že se shromažďují data nerotujícím systémem

PET po dobu akvizice ze všech projekcí současně. V neposlední řadě má PET lepší prostorovou rozlišovací schopnost, než je tomu u SPECT (PET 2-3 mm, SPECT 10 mm a více). (Myslivoček, 2007)

2.9.3 Hybridní systém PET/CT (PET a CT obraz)

Hybridní PET/CT systém se skládá z PET skeneru a plnohodnotného diagnostického CT skeneru. Při akvizici dat pomocí CT je důležité správně použít akviziční parametry, které ovlivňují kvalitu naměřených dat. Mezi ně patří expozice, počet datových stop, kolimace, rychlost posunu stolu a rychlost otáčky rotoru gantry o 360°. Expozice je založena na nastavení napětí (kV) a proudu (mAs) na rentgence. Běžnými hodnotami napětí jsou 80, 100, 120, 130 a 140 kV. Proud je korigován pomocí expoziční automatiky. Akvizice dat se provádí postupně oběma modalitami, aniž by byla změněna poloha pacienta, přičemž se zpočátku uskuteční akvizice tzv. topogramu. Při něm vyšetřovací lůžko s pacientem projíždí skrz CT gantry skeneru a rentgenka setrvává v předem zvolené pozici (nerotuje). Pomocí vytvořeného obrazu je možné stanovit oblast zájmu, která se pak dále podrobně vyšetřuje pomocí CT a PET, viz Obrázek 3. Samotné získávání CT dat probíhá tedy ze zvolené oblasti zájmu a po jejich získání se vyšetřovací lůžko s pacientem posune hlouběji do gantry PET skeneru, kde jsou opět ze stejné oblasti zájmu nasnímána emisní PET data. Na rozdíl od CT, kdy jsou data získávána nepřetržitě, se získávání PET dat uskutečňuje v přesných pozicích označovaných jako „*postele*“ („*beds*“). Po dobu asi 3 minut jsou shromažďována data z objemu pacienta o délce axiálního zorného pole (většinou 15-20 cm) a pak se automaticky lůžko s pacientem posune a probíhá snímání další pozice. Aby byl na konci vyšetření kvalitně zachycen celý objem pacienta, musí se jednotlivé snímání pozice „*postele*“ částečně překrývat, kvůli snížené citlivosti PET skeneru na okrajích axiálního zorného pole. Gantry hybridního přístroje není možné sklánět a snímání je uskutečňováno ve stejném sklonu, protože hloubka společného gantry je větší než u samotného CT. (Votrubová, 2009)



a) plánování CT

b) plánování PET

Obrázek 3 - Plánování vyšetření (Votrubová, 2009, s. 46)

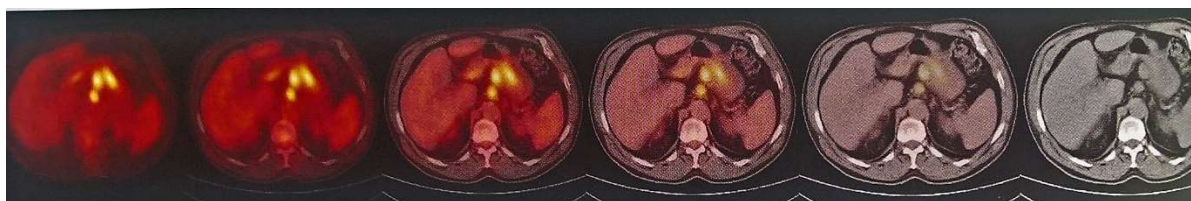
Velice snadná fúze CT a PET obrazů, zajištěná z velké části samotným hardwarovým uspořádáním, kdy jsou při jednom uložení pacienta na vyšetřovací stůl získány obrazy z CT i z PET, patří k jedné z obrovských výhod hybridních PET/CT skenerů. (Votrubová, 2009)

Samotná emisní data zcela neodpovídají skutečné distribuci radiofarmaka ve tkáních, neboť anihilační záření je při průchodu tělem pacienta v různé míře zeslabováno (absorbováno) tkáněmi pacienta. Toto nerovnoměrné zeslabení lze vykompenzovat korekcí pomocí mapy absorpčních koeficientů jednotlivých tkání. V době hybridních PET/CT přístrojů jsou tyto mapy vytvořeny ze získaných CT řezů. Po korekci původních emisních dat pomocí těchto korekčních map jsou tedy k dispozici data korigovaná na absorpci záření tkáněmi pacienta. Při vyhodnocování obrazů má lékař k dispozici jak původní (nekorigovaná) emisní data, tak i data korigovaná na absorpci. Porovnáním nekorigovaných a korigovaných obrazů je například možno odhalit některé obrazové artefakty. (Votrubová, 2009)

Pro rekonstrukci emisních dat byla v minulosti využívána pouze filtrovaná zpětná projekce (FBP), ovšem hvězdicové artefakty v okolí ložisek s vysokou akumulací radiofarmaka mohou znesnadnit detekci drobných ložisek v blízkosti větších. FBP byla tedy nahrazena iterativními metodami, z nichž nejrozšířenější je OSEM (ordered subset maximalization expectation). (Votrubová, 2009)

Na počítačových konzolích je při vyhodnocování skenů možné použít zobrazovací nástroje jako je filtrování, zvětšování, oříznutí či definice oblastí zájmů. Také umožňují zobrazení řezů na sebe kolmých a šikmých. (Votrubová, 2009)

Při fúzi jsou obrazy z PET i CT zobrazeny v jiné barevné škále. Obvykle je pro CT objemy použita škála šedi, pro PET monochromatická nebo jiná barevná tabulka vystihující odlišnost v aktivitách. Jedním způsobem, jak využít funkci fúze je v určité vrstvě jednoho vyšetření promítat druhé vyšetření v oblasti, která je volně pohyblivá kolem kurzoru. Druhým způsobem je prolínání obrazů pomocí metody počítačové grafiky tzv. alpha-blending, viz Obrázek 4. Jde o překrytí PET obrazů přes CT snímky a změně jejich transparency. Ve výsledku je možné měnit míru zastoupení toho daného obrazu, nahlížet na PET a CT vyšetření zvlášť nebo zkoumat různý podíl anatomické a metabolické informace na hybridních obrazech ve všech možných rovinách. Hybridní PET/CT skenery mají využití jak v diagnostice, tak i například v plánování radioterapie pro stanovení izodóz. (Votrubová, 2009; Kupka, 2007)



Obrázek 4 – Alpha-blending (Votrubová, 2009, s. 42)

2.10 PET/CT s FDG v onkologii

2.10.1 Indikace

K vyšetření PET/CT jsou indikováni pacienti, u kterých nebylo možné dojít k diagnostickému závěru při využití konvenčních zobrazovacích modalit. Dále to jsou pacienti s potvrzeným nádorovým onemocněním, u kterého je předpoklad zvýšené akumulace radiofarmaka a u kterých je uskutečňován celotělový staging onemocnění. V neposlední řadě to jsou pacienti chodící na kontroly při anebo po ukončení léčby, kde jsou sledovány změny v metabolismu glukózy, které ukáží, zda se rozsah onemocnění zvětšuje, zmenšuje, zcela mizí, či zda nedochází k návratu onemocnění. (Votrubová, 2009)

Indikace k vyšetření je záležitostí indikujícího lékaře. Při vyšetření musí být ale zároveň splněn i princip zdůvodnění, kdy očekávaný přínos vyšetření pro pacienta musí být větší než riziko. Odpovědnost za zdůvodnění vyšetření s použitím ionizujícího záření společně nese indikující lékař i aplikující odborník. (Votrubová, 2009)

2.10.2 Kontraindikace

Kontraindikace pro PET/CT vyšetření jsou stejné, jako kontraindikace kteréhokoli vyšetření užívající ionizujícího záření. K nejvýznamnějším patří těhotenství, které je pro PET/CT vyšetření absolutní kontraindikací. V případě FDG je také důležité vyloučit hyperglykémii, aby

nedošlo ke zhoršení kontrastu v akumulaci mezi nádorem a tělním pozadím. V neposlední řadě je to klaustrofobie či neschopnost pacienta ležet na vyšetřovacím stole v dané poloze po delší dobu. Dále jsou zde kontraindikace stran podání JKL – pacienti s alergií na JKL se vyšetřují buď bez podání JKL, anebo pacient podstoupí dlouhodobou protialergickou přípravu za pomoci anesteziologů. Kontraindikací k podání JKL je i renální nedostatečnost. (Votrubová, 2009)

2.10.3 Příprava pacienta při vyšetření PET/CT s FDG v onkologii

Aby vyšetření proběhlo tak, jak má a šlo dobře zhodnotit, je potřeba dodržet určitou přípravu pacienta před hybridním PET/CT vyšetřením. Některé nároky na přípravu jsou důležité pro PET i pro CT vyšetření (např. lačnění), další jsou specifické (např. antialergická příprava). Patří sem dostatečná hydratace, lačnění, vyloučení fyzické aktivity, dodržení dostatečně nízké hladiny glukózy v krvi (kompenzovaná glykemie). Dále zavedení intravenózní kanyly, a v případě potřeby i protialergická příprava pacienta před i.v. podání JKL. V neposlední řadě je nutné zajistit, aby se pacient k vyšetření dostavil včas vzhledem ke krátkému poločasu rozpadu ^{18}F (110 minut). (Votrubová, 2009)

Hydratace

Pacient by měl dodržovat pitný režim před i po vyšetření. Důležité je, aby pil pouze neslazené nápoje (nejlépe vodu), než dojde na samotné vyšetření. Dostatečná hydratace snižuje radiační zátěž a napomáhá ke správné distribuci radiofarmaka. Díky hydrataci lze předejít i možné nefropatii po intravenózní aplikaci kontrastní látky. (Votrubová, 2009)

Lačnění

Aspoň 6 hodin před vyšetřením by pacient neměl nic jíst, aby bylo možné co nejlépe provést a zhodnotit vyšetření PET/CT. Látková přeměna glukózy se tím pádem udrží na základních hodnotách a nedojde ke zvýšené akumulaci FDG ve svalech a stěně střeva, a k nepravdivě nízké akumulaci FDG v nádorových buňkách. (Votrubová, 2009)

Fyzické šetření před vyšetřením

Distribuce FDG může být podobným způsobem negativně ovlivněna i větší fyzickou zátěží, kdy se radiofarmakum dostává do kosterní svaloviny a snižuje diagnostickou výtěžnost. (Votrubová, 2009)

Glykémie

Vysoká hladina glukózy v krvi má za následek zmenšení kontrastu mezi nádorem a pozadím. Tudíž je pro nádorovou diagnostiku důležité měření glykémie ještě před aplikací radiofarmaka FDG. Každé pracoviště má stanovenou horní hranici glykémie, kdy při jejím překročení se vyšetření neprovádí. (Votrubová, 2009)

Intravenózní kanyla

Kanyla se zavádí ještě před samotnou aplikací radiofarmaka. Velikost kanyly se volí podle toho, jaký bude průtok jodové kontrastní látky. Pomocí této kanyly se aplikuje radiofarmakum i jodová kontrastní látka. Má-li pacient zaveden centrální žilní katetr, můžeme tímto způsobem aplikovat kontrastní látku, ne však radiofarmakum, které by mohlo způsobit artefakty v oblasti klíčku a hrudníku. (Votrubová, 2009)

Kontrola renálních funkcí a protialergická příprava

Před podáním kontrastní látky je dobré si ověřit alergickou anamnézu, včetně údajů o tom, zda měl pacient v minulosti reakci na JKL a podle toho postupovat. Pacienty s vážnou alergickou reakcí na JKL vyšetřujeme jen v nejnútnejším případě, a to za přítomnosti anesteziologa. U méně vážných alergií se podává Prednison 12-18 h a pak 6-9 hodin před aplikací JKL. Pacient s renální nedostatečností musí být vyšetřen bez podání JKL. (Votrubová, 2009)

Příprava střeva na CT vyšetření

Pro snadnější odlišení střevních kliček od okolních struktur a pro umožnění validního zhodnocení šíře střevní stěny je před CT vyšetřením pacientovi obvykle podána perorálně kontrastní látka, kterou frakcionovaně popijí po dobu 60-90 minut před vyšetřením. Dle indikace se využívá jak pozitivních, tak negativních kontrastních látek, které se naředí vodou, aby vznikl 1-2 litrový roztok. Jako pozitivní perorální KL je nejčastěji používána jodová KL, ovšem je zde možnost využít i baryové suspenze. Negativními KL jsou roztoky manitolu nebo sorbitolu. Pro hybridní zobrazování jsou výhodnější negativní KL z důvodu menšího výskytu artefaktů. (Votrubová, 2009)

Aplikace radiofarmaka

Radiofarmakum (nejčastěji FDG) se podává do periferní žíly 60-90 min. před vyšetřením. Upřednostňujeme podání kanylou, kterou je potřeba nejprve propláchnout fyziologickým roztokem. Aplikovaná aktivita radiofarmaka je většinou kolem 370 MBq/70 kg hmotnosti

pacienta. Pacient je mezi aplikací FDG a vlastním zobrazováním v klidu, aby nedošlo ke zvýšené akumulaci radiofarmaka v kosterním svalstvu. (Votrubová, 2009)

Aplikace kontrastní látky

V případě potřeby kontrastního CT se přetlakovým injektorem rychlostí 1-6 ml/s podává 80-100 ml JKL těsně před vyšetřením nebo zároveň se spuštěním skenování. JKL zlepšuje kontrast CT obrazů a zviditelňuje cévní struktury. (Votrubová, 2009)

2.10.4 Postup vyšetření PET/CT

Pacient je uložen na záda na vyšetřovací stůl hlavou směrem do gantry a ruce má položené za hlavou. Jako první je vytvořen CT topogram, díky kterému určíme rozsah snímání pro PET/CT – většinou od baze lební do horní třetiny stehien. V případě potřeby je možné doplnit vyšetření hlavy a končetin. Zároveň se také v gantry naplánuje axiální rozsah CT vyšetření a počet jednotlivých sekvencí pro PET vyšetření. (Votrubová, 2009)

Podle vybraného protokolu se provede CT vyšetření s aplikací JKL nebo bez ní. CT vyšetření bez aplikace JKL se provádí u pacientů alergických na JKL, u pacientů, kde se očekává léčba či vyšetření radiojódem a u pacientů se zvýšeným rizikem poškození ledvin. V ostatních případech je pro plnohodnotné vyšetření intravenózní podání JKL vhodné. Podle typu přístroje, typu zavedené kanyly a požadované indikace se nastaví rychlost podání JKL a čas zahájení snímání. (Votrubová, 2009)

Poté co je dokončeno CT vyšetření se vyšetřovací stůl posune hlouběji do gantry a následuje snímání PET kamerou. U hybridních PET kamer je axiální zorné pole cca 15 cm a jednotlivé „postele“ či sekvence se překrývají. Je vyšetřováno 5 až 7 „postelí“ dle požadovaného rozsahu a výšky pacienta, a jedna „postel“ je snímána 3 až 5 min. (Votrubová, 2009)

Nakonec je, jak už zde bylo zmíněno, na počítači zhotovena fúze CT a PET obrazů, kdy je pro každý z objemů využita jiná barevná škála.

2.10.5 Hodnocení nálezu

Analýza PET/CT obrazu se zakládá na zhodnocení anatomických a morfologických poměrů, zhodnocení distribuce radiofarmaka v těle vyšetřovaného pacienta a na diagnostice ložisek s patologicky zvýšenou akumulací radiofarmaka. Látkovou přeměnu glukózy lze posuzovat semikvantitativně díky měření SUV („*standardized uptake value*“) a kvalitativně, kdy je srovnávána akumulace oblasti se zvýšenou či sníženou akumulací radiofarmaka oproti okolním tkáním či referenčním orgánům. (Votrubová, 2009)

Semikvantitativní hodnocení pomocí SUV

Semikvantitativní ukazatel akumulace radiofarmaka ve tkáních (SUV) je bezrozměrná veličina charakterizována jako poměr mezi objemovou aktivitou tkáně a celkovou aplikovanou aktivitou vztaženou na váhu pacienta. (Votrubová, 2009)

Je-li v určité tkáni naměřen $SUV = 1$, pak v tomto místě je průměrná akumulace radiofarmaka (při předpokladu homogenního rozptýlení veškeré aplikované aktivity v těle). Bude-li $SUV > 1$, jedná se o zvýšenou akumulaci v dané tkáni, a při $SUV < 1$ je akumulace snižena oproti průměrné akumulaci v celém těle. (Votrubová, 2009)

Abychom mohli validně použít SUV, musíme znát řadu parametrů. V první řadě se jedná o hmotnost pacienta, kdy může dojít k nadhodnocení SUV u těžších pacientů, protože tuk velmi málo akumuluje $^{18}\text{F-FDG}$. Dále zvýšená hladina glukózy v krvi snižuje akumulaci $^{18}\text{F-FDG}$ a podhodnocuje SUV. Dále záleží na času mezi aplikací radiofarmaka a začátkem vyšetření, kdy běžná doba mezi aplikací a vyšetřením je 60 minut. A v neposlední řadě i fyzikální efekty jako je například způsob rekonstrukce dat, které směřují k rozdílným hodnotám SUV i u stejného pacienta. (Votrubová, 2009)

Kvalitativní hodnocení obrazu

V běžné praxi se nejdříve hodnotí PET část, potom následuje hodnocení fúzovaných PET/CT obrazů, a nakonec samotné CT.

Nejdříve je vyšetřující nasměrován do místa předpokládané patologie pomocí nahromaděného radiofarmaka v tzv. horkém ložisku. To je zřetelné při hodnocení PET části vyšetření, a proto je nejlepší začít hodnocením této části. Potom následuje zhodnocení fúzovaných PET/CT obrazů, kdy se objasní místa fyziologicky zvýšené akumulace radiofarmaka podle anatomického podkladu. Nakonec je využito běžných a speciálních CT rekonstrukcí (HRCT, MPR, MIP, VRT) k ozřejmění metabolismu v tvarově abnormálních lézích. Nutné je si dávat pozor na pozitivní FDG-PET obraz u čerstvých či hojících se zlomenin. (Votrubová, 2009)

Fyziologická distribuce FDG

Hodnota hladiny glukózy v krvi výrazně ovlivňuje akumulaci $^{18}\text{F-FDG}$. Jak už zde bylo řečeno, FDG je fyziologicky akumulováno v kosterním svalstvu po fyzické námaze. Dále bývá FDG vždy akumulováno v šedé hmotě mozkové a v močových cestách. U myokardu je patrná různá úroveň akumulace v závislosti na metabolickém stavu. Zvýšená akumulace FDG v oblasti hlasivek je patrná u pacientů, kteří po aplikaci radiofarmaka hovoří. Vysoká akumulace

v oblasti ORL může být také ve slinných žlázách a Waldeyerově okruhu. Fyziologicky zvýšený metabolismus glukózy se může vyskytnout také v gastrointestinálním traktu, a to zejména ve stěně žaludku, v pyloru, v kardií a fundu, ve stěně tenkého a tlustého střeva. Co se týče obvyklého nálezu u dětí, bývá zvýšená akumulace radiofarmaka v růstových ploténkách kostí a v thymu. Někdy může být fyziologická distribuce radiofarmaka ve slinných žlázách, žaludku, ledvinách, močovém měchýři a ve střevech považována za patologická ložiska. Pro správné zhodnocení se využívá fúze s CT obrazem. (Votrubová, 2009)

Akumulace FDG u maligního lymfomu

Některé druhy lymfomů mají vysoký metabolismus glukózy, a proto je jejich diagnostika a sledování pomocí FDG-PET a PET/CT velice užitečná. Při stanovování stadia onemocnění má PET vyšší senzitivitu oproti CT nebo MRI. Zatímco Hodgkinův lymfom výrazně akumuluje ^{18}F -FDG, u neHodgkinova lymfomu je akumulace FDG proměnlivá v závislosti na typu lymfomu. Indolentní NHL mají akumulaci nízkou, agresivní formy NHL zase akumulaci velmi vysokou. (Klener, 2006)

2.11 Maligní lymfom

Maligní (zhoubný) lymfom se projevuje nádorovým zvětšením mízních (lymfatických) uzlin a jinými symptomy, na rozdíl od zduření lymfatických uzlin, které má obvykle infekční nezhooubný původ a jeho léčba je úplně odlišná. (Trněný a Haber, 2006 [online])

Maligní lymfom je tedy nádorové onemocnění vznikající z jednoho typu bílých krvinek tzv. lymfocytů. Lymfocyty jsou jedním z více druhů bílých krvinek, tvořící společně s mízními uzlinami a ostrůvky lymfocytů lymfatickou tkáň. Lymfocyty se dělí na B a T lymfocyty a mají za úkol bránit tělo před infekcemi a cizorodými organismy. (Trněný a Haber, 2006 [online])

Stejně jako u ostatních nádorů jsou hlavní příčinou vzniku lymfomu získané genetické změny. V tomto případě se jedná o změny v lymfocytech, které způsobují nekontrolované množení se nádorové populace lymfocytů. Další příčinou vzniku může být oslabení imunitního systému (vyšší výskyt lymfomů u nemocných AIDS) či infekce. Například se může jednat o infekci virem Epstein-Barrové (EBV), vedoucí ke vzniku některých lymfomů pomocí zabudovaného genetického kódu v buňkách, nebo také o bakteriální infekci např. *Helicobacter pylori*. (Trněný a Haber, 2006 [online])

Lymfomy se vyskytují jak u dětí, tak i u dospělých. Většina lymfomů se vyskytuje u mužů a žen stejně, některé typy se častěji vyskytují u mužů. Mohou se také vyskytovat na různých

místech lidského těla a manifestovat se různými příznaky. Například se projevují zvětšením mizních uzlin a tím i možnými otoky při zablokování odtoku lymfy lymfatickými cévami či útlaku žil zvětšenými uzlinami. Celkovými příznaky může být únava, horečky, nechutenství, pocení a další. Ovšem tyto příznaky se mohou, ale také nemusí vyskytnout. (Trněný a Haber, 2006 [online])

Pro diagnostiku některých lymfomů je vyšetření pomocí PET velice přínosné. Aby byly vyloučeny falešně pozitivní nálezy, které mohou vzniknout kvůli nízké specificitě, jsou nálezy na PET porovnávány s ostatními zobrazovacími metodami a s klinickými známkami onemocnění.

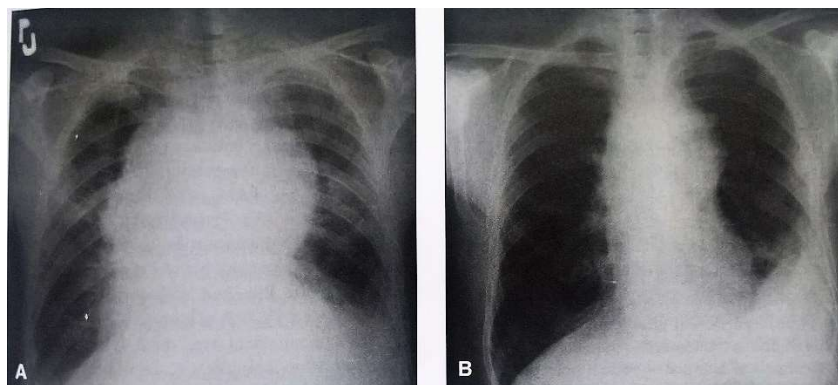
2.11.1 Dělení lymfomů

Obecně se lymfomy dělí na Hodgkinův lymfom (HL, 45 %) a ostatní lymfomy, které patří do skupiny nehodgkinských lymfomů (NHL, 55 %). Ty se dále dělí na B-lymfomy a T-lymfomy. (Votrubová, 2009)

Hodgkinův lymfom (HL)

Hodgkinův lymfom, Hodgkinova choroba či také maligní lymfogranulom představuje systémové nádorové onemocnění, které má v dnešní době pomocí moderní léčby velké procento vyléčení. Nejčastější výskyt je mezi 20. a 30. rokem života, méně častý je výskyt po 50. roku života. Co se týká patogeneze, mají na rozvoj onemocnění největší vliv genetické vloh a poruchy imunity. Charakteristickým znakem HL je přítomnost buněk, které vznikly maligní přeměnou zralých bílých krvinek (lymfocytů) řady B – tzv. buňky Reedové-Sternberga. Postiženy jsou nejčastěji uzliny v oblasti krku a mediastina. V počátku je většinou postižena jedna lymfatická uzlina, z které se onemocnění dále šíří do okolních uzlin. Dále dochází k průniku do krevního oběhu a šíření. (Klener, 2006; Votrubová, 2009)

Klinický obraz Hodgkinovy choroby závisí na tom, v jakém stádiu se choroba nachází. Většinou je její projev nebolestivý a zahrnuje zvětšení mizní uzliny nebo uzlin ingvinálních, v oblasti axil a krku. Pro určení diagnózy se využívá bioptické vyšetření uzliny. Ke zhodnocení rozsahu onemocnění je dnes rutinně využíváno PET/CT s FDG. (Klener, 2006)



Obrázek 5 - RTG hrudníku pacienta s Hodgkinovým lymfomem před léčbou (A) a po léčbě (B) (Klener, 2006, s. 473)

Terapie HL využívá dva léčebné způsoby, radioterapii a chemoterapii, kdy chemoterapie je považována za hlavní léčebnou metodu. Radioterapie je volbou pro méně pokročilá stádia. U pacientů s rozsáhlým postižením mediastina se využívá kombinace obou léčebných postupů, viz Obrázek 5. (Klener, 2006)

Je-li nemoc zachycena a léčena včas, je prognóza tohoto onemocnění dobrá. Horší prognóza bývá u pacientů s rozsáhlým postižením mediastina, u žen a starších pacientů. V průběhu onemocnění mohou také nastat komplikace v podobě infekcí, které mohou zhoršit stav pacienta. (Klener, 2006; Votrubová, 2009)

Nehodgkinské lymfomy (NHL)

Nehodgkinské lymfomy (NHL) mají specifický klinický průběh, biologické chování a histogenetický původ, čímž se odlišují od Hodgkinova lymfomu. Jedná se o velmi různorodou skupinu chorob, kdy nejčastější výskyt je ve věku mezi 20.-40. rokem života. Etiologie NHL není zcela jasná, ovšem je zde určitý vztah k poruchám imunitního systému a chromozomálním aberacím. Výskyt NHL bývá ve formě uzlinové i mimouzlinové neboli extranodální, přičemž asi 40 % NHL se objevuje jako mimouzlinové postižení v kůži, CNS a GIT. (Klener, 2006; Adam, 2010)

NHL se dělí na B-lymfomy pocházející z B-lymfocytů (tvořící většinu NHL) a T-lymfomy z T-lymfocytů. Dále je zavedeno dělení na pomalu rostoucí tzv. indolentní NHL a rychle rostoucí tzv. agresivní NHL. Toto dělení je z klinického pohledu velice důležité z důvodu rozdílné léčby. (Klener, 2006)

Nejčastějším typem indolentních NHL tvořící 22 % všech indolentních lymfomů je folikulární lymfom, který se v 60 % případů později přemění na velkobuněčný B-lymfom. Dalšími indolentními NHL jsou například lymfocytoplazmoidní lymfom, lymfom z malých lymfocytů

a lymfomy marginální zóny (MALT). Některé druhy pomalu rostoucích NHL mohou být mnoho let sledovány bez terapie. U pacientů s jasnými příznaky nemoci se zahajuje chemoterapie. (Votrubová, 2009)

Do skupiny agresivních NHL patří lymfomy s rychlejším růstem, ovšem více než 40 % případů je vyléčitelných. Nejčastějším typem je difuzní velkobuněčný B-lymfom (DLBCL), dále pak periferní T-lymfom, Burkittův lymfom, lymfom z plášťových buněk a jiné. Byl prokázán klinický přínos FDG při zobrazování agresivních lymfomů, neboť agresivní typy NHL vysoce akumulují FDG. (Votrubová, 2009)

Zobrazování nehodgkinských lymfomů pomocí FDG-PET/CT je nejčastěji prováděno u nemocných s DLBCL a jinými agresivními NHL, a také u folikulárního lymfomu.

Konkrétní léčba NHL závisí na typu lymfomu, prognostických ukazatelích a věku pacienta. Prognóza bývá stanovena na základě stanovení mezinárodního prognostického indexu (IPI – International Prognostic Index). Jde o klinické údaje jako je věk, celkový stav nemocného, klinické stadium a počet postižených mimouzlinových oblastí. Léčebný postup opět uplatňuje radioterapii a chemoterapii, ale také imunoterapii či kombinovanou chemoterapii. (Klener, 2006; Votrubová, 2009)

2.11.2 Staging a restaging

U zmíněných maligních lymfomů je prováděn staging pomocí FDG-PET/CT před terapií, kdy význam metody tkví v celotělovém snímání a ve vypátrání pozitivních lymfatických uzlin. Podle zjištěného rozsahu onemocnění lze nastavit odpovídající terapii. Poté může být v průběhu terapie prováděn na PET/CT tzv. interim staging, kdy například po 2-4 cyklech chemoterapie proběhne kontrola účinku dosavadní léčby. Nakonec je proveden finální restaging po ukončení terapie, kdy se hodnotí účinek léčby a metabolická odpověď na léčbu je považována rozhodující. PET má oproti konvenčnímu zobrazování výhodu ve schopnosti odlišit živou nádorovou tkáň od nekrózy a fibrózy v reziduální mase. Tu lze odlišit pomocí morfologických vyšetřovacích metod až za dlouhou dobu po ukončení léčby. (Votrubová, 2009)

Dále je zobrazení pomocí FDG-PET/CT užitečné i během dalšího sledování nemocných, zejména v případě podezření na relaps základního onemocnění.

3 PRAKTICKÁ ČÁST

V této části bakalářské práce bude podrobněji popsána samotná úloha radiologického asistenta při PET/CT vyšetření pacientů s maligním lymfomem.

3.1 Samotná úloha radiologického asistenta

Radiologický asistent má na oddělení nukleární medicíny mnoho úloh. V zájmu radiační ochrany pracovníků je vhodné, když radiologičtí asistenti jednotlivé úlohy na pracovišti střídají v pravidelných intervalech, tj. střídají práci v kartotéce, v aplikační místnosti při aplikaci radiofarmak, a ve vyšetřovnách při scintigrafiích či PET vyšetřeních. Takovému střídání je však možné pouze tehdy, je-li oddělení nukleární medicíny dostatečně velké a má-li dostatek zaměstnanců.

3.2 Objednání pacienta

Indikující lékař vystaví a odešle žádanku k vyšetření PET/CT na oddělení nukleární medicíny, a v ideálním případě seznámí pacienta se základními informacemi o přípravě a průběhu vyšetření. Poté, co je žádanka schválena lékařem oddělení, je pacient písemně pozván k vyšetření. Na žádance nesmí chybět jméno, příjmení a rodné číslo pacienta, kód zdravotní pojišťovny, telefonický kontakt a diagnóza. Při posílání písemné pozvánky k PET/CT vyšetření je pacientovi současně zaslán anamnestický dotazník, formulář informovaného souhlasu a poučení o přípravě k vyšetření. Je žádoucí, aby pacient pokyny o přípravě k vyšetření dodržoval a tyto dokumenty v den vyšetření přinesl s sebou.

3.3 Den vyšetření

3.3.1 Registrace a poučení pacienta o vyšetření

Pacient, který je objednaný na PET/CT vyšetření jde nejprve ke kartotéce určené pro PET/CT, kde proběhne registrace. Tady je úlohou radiologického asistenta ověřit pacientovu identitu a zkontrolovat shodu osobních údajů pacienta – jméno, příjmení, rodné číslo – s údaji v nemocničním informačním systému.

Když je pacient zaregistrován, vezme si od něj radiologický asistent dokumenty, které si pacient přečetl, vyplnil a podepsal. V případě, že je pacient nezletilý, podepisuje informovaný souhlas jeho zákonný zástupce. Je nutné se ujistit, že pacient opravdu tyto dokumenty o vyšetření četl, rozumí jim a dodržel přípravu před vyšetřením. V případě, že má pacient nějaké dotazy, radiologický asistent mu na ně odpoví a pro jistotu ho může znovu informovat o samotném

průběhu vyšetření pomocí PET/CT, o aplikaci kontrastní látky při CT a radiofarmaka pro vyšetření PET. Nakonec se opět radiologický asistent ujistí, že vyšetřovaný všemu rozumí.

3.3.2 Vyloučení těhotenství

Přijde-li na vyšetření pacientka ve fertlním věku, je nezbytné, aby podepsala prohlášení, že není těhotná. V případě, že by těhotná byla, nelze vyšetření provést. Pokud si ovšem není jistá, může jí lékař indikovat laboratorní testy pro graviditu. Pokud jde na vyšetření kojící matka, je třeba po vyšetření jednou mléko odstříknout a znehodnotit, protože je třeba jedno kojení po vyšetření vynechat. Také by neměla po vyšetření být v těsné blízkosti s kojencem, resp. dle doporučení omezit s ním kontakt během následujících 24 hodin na nejvýše 5 hodin.

3.3.3 Příprava pacienta před vyšetřením

Po vyzvání radiologickým asistentem pacient přichází do aplikační místnosti, kde znovu proběhne aktivní identifikace pacienta, viz Obrázek 6. Zde radiologický asistent zkontroluje dodržení pacientovy přípravy před vyšetřením, popsané v teoretické části této práce, tj. dotazem zjistí, zda pacient přichází nalačno, zda ráno nepil sladké nápoje, a zda dodržel svalový klid.

Také vyšetřovaného posadí na aplikační křeslo, kde mu zkontroluje hladinu glykémie. Radiologický asistent má na aplikačním stolku připravený glukometr s testovacím proužkem. Píchnutím do břicha prstu odebere vzorek krve, který je přenesen na testovací proužek a vložen do glukometru. Získanou hodnotu, která by měla být do 10 mmol/l, zapíše do pacientovy dokumentace. Je-li tato hranice překročena, klesá kvalita vyšetření a při vysokém překročení hodnot nelze vyšetření provést.

Měl by také pacientovi doporučit pacientovi zvýšený příjem tekutin po celý den, díky kterému se bude radiofarmakum vylučovat rychleji z organismu, a také ho poučit o tom, že je v den vyšetření po aplikaci radiofarmaka velmi žádoucí omezit kontakt s dalšími osobami, zejména s těhotnými ženami a s dětmi.



Obrázek 6 - Aplikační stůl s pomůckami a křeslo v aplikační místnosti

Jsou-li všechny podmínky pro provedení PET/CT vyšetření splněny, radiologický asistent zavede pacientovi kanylu pro aplikaci radiofarmaka a jodové kontrastní látky. Kanyla se zavádí jak pro snadnější aplikaci, tak pro zajištění žilního vstupu při možných komplikacích. Po zaškrcení paže škrtdlem a krátkém zacvičení asistent identifikuje vhodnou žílu (většinou v oblasti kubity), dezinfikuje místo vpichu a zavede kanylu. Do dokumentace zapíše čas a místo zavedení a kanyly (zapisuje se i čas vytažení kanyly po skončení vyšetření).

Dále radiologický asistent pacientovi připravuje perorální roztok k popíjení. Většinou onkologických pacientů je kromě intravenózního podání FDG a JKL podáván i perorální kontrast. V případě rentgen-negativního kontrastu podáváme roztok manitolu, v případě rentgen-kontrastního kontrastu používáme roztok s baryem, např. Micropaque CT. Radiologický asistent také pacientovi přidělí v prostoru oddělené čekárny kabinku, kde bude během čekání před vlastním vyšetřením pomalu popíjet kontrastní látku po dobu 40-60 minut.

Kontrolu alergické anamnézy cílenou zejména na případné reakce po předchozím podáním JKL, kontrolu laboratorních hodnot renálních funkcí a rozhodnutí o podání JKL, event. premedikaci před jejím podáním, provádí již lékař.

3.3.4 Aplikace radiofarmaka

Radiologický farmaceut připraví v digestoři příslušné množství radiofarmaka (o objemu okolo 3 ml), aplikovaná aktivita se určuje podle hmotnosti vyšetřovaného (370MBq na 70 kg), viz Obrázek 7. Stříkačku s radiofarmakem uloží do připraveného stínícího boxu, s kterým zajede k pacientovi, který je připraven k aplikaci. Štítek se jménem a identifikačními údaji pacienta, s

radiofarmakem, jeho aktivitou a časem aplikace, který je vygenerován při přípravě individuální dávky v digestoři, je součástí dokumentace o vyšetření.



Obrázek 7 - Digestoř pro přípravu radiofarmak a stínící box

Před samotnou aplikací radiofarmaka je znovu zkontrolována funkčnost kanyly. Poté je do ní aplikováno radiofarmakum, a nakonec se opět kanyla propláchne fyziologickým roztokem. Čas aplikace radiofarmaka je zapsán do příslušné dokumentace. Zavádění kanyly, aplikace radiofarmaka i vytažení kanyly po vyšetření se provádí za aseptických podmínek.

Po aplikaci FDG se pacient odebere do své kabinky v čekárně, kde vyčká na vlastní vyšetření. Prostor kabinky je monitorován (kamera, mikrofon), takže radiologický asistent může pacienty z ovládací místnosti PET/CT kontrolovat a mluvit s nimi. K dispozici je i toaleta.

3.3.5 Vyšetření pomocí PET/CT

Asi za 45-60 minut po aplikaci radiofarmaka by měl mít pacient již vypitý roztok s kontrastní látkou. Radiologický asistent ho pomocí mikrofonu vyzve, aby se zašel na toaletu vymočít, vysvlékl se do spodního prádla a odložil si všechny kovové předměty. Asistent mezitím připraví pumpu pro aplikaci kontrastní látky s jodovou kontrastní látkou a s fyziologickým roztokem, který pak slouží pro proplach kanyly. Připojí lahvičky s kontrastní látkou a s fyziologickým roztokem k pumpě a doplnění pumpy provádí pomocí ovládacího panelu přístroje. Poté připraví vyšetřovací lůžko přístroje pro pacienta tím, že ho dezinfikuje a položí

na něj čistý papír. Radiologický asistent poté v ovládací místnosti zadá základní údaje o pacientovi do systému PET/CT skeneru, tj. celé pacientovo jméno, rodné číslo a pohlaví. Dále zvolí příslušný protokol pro dané vyšetření, viz Obrázek 8.

Pacient je vybídnut, aby vstoupil do vyšetřovny a je uložen na vyšetřovací stůl. Při vyšetření maligního lymfomu je pacient uložen na záda, ruce má položené za hlavou z důvodu získání kvalitnějších CT obrazů břicha a hrudníku. V případě Hodgkinských lymfomů je poloha pacienta vleže na zádech s přitaženými horními končetinami z důvodu možné následné radioterapie. Po uložení pacienta je lůžko PET/CT systému zasunuto do gantry přístroje. Radiologický asistent napojí pacienta na pumpu pomocí kanyly a opouští vyšetřovnu a dále pracuje v ovládací místnosti, aby nedošlo ke zbytečnému zvyšování radiační zátěže.



Obrázek 8 - Hybridní PET/CT systém s pumpou pro aplikaci JKL (vlevo) a Ovládací místnost s počítači a ovládáním pumpy pro aplikaci JKL (vpravo)

V ovládací místnosti radiologický asistent spustí příslušný vyšetřovací protokol. Nejprve je spuštěna akvizice tzv. topogramu, podle kterého pak radiologický asistent určí oblast zájmu, tj. požadovaný rozsah vyšetření. V případě lymfomů je oblast zájmu obvykle od baze lebni do horní třetiny stehen. Pro část vyšetření pozitronovou emisní tomografií je počet snímaných „postelí“ zvolen samotným přístrojem dle vyšetřované oblasti a délky pacienta. Potom radiologický asistent spustí proces snímání, v případě kontrastního CT vyšetření současně ovládá i pumpu s kontrastní látkou podle zvoleného protokolu. Zároveň po celou dobu snímání kontroluje stav pacienta, zvláště při aplikaci kontrastní látky.

Jakmile je vyšetření u konce, pacient opouští lůžko a jde se do kabinky obléct. Protože doba snímání a oblékání obvykle přesahuje 30 minut, není nutná další observace z důvodu nežádoucích reakcí po JKL a je možno pacientovi vytáhnout kanylu. Poté, pokud není třeba konzultace s lékařem, odchází pacient poučený o tom, jak se po zbytek dne chovat, domů. Radiologický asistent po vyšetření likviduje papír z vyšetřovacího lůžka, dezinfikuje ho a

odchází zpět do ovládací místnosti, kde vyčká na dorekonstruování PET obrazů. Poté zhotoví fúzi CT obrazů s PET obrazy a vzniklé fúzované snímky PET/CT pak upraví a posílá do systému PACS lékařům, viz Obrázek 9. Tento proces se nazývá postprocessing. Úloha radiologického asistenta tímto končí.



Obrázek 9 - Fúze CT obrazů s PET

4 DISKUZE

Bakalářskou práci, v které jsem popsala úlohu radiologického asistenta při PET/CT vyšetření u maligního lymfomu, jsem rozčlenila na část teoretickou a část praktickou. Při jejím zpracování jsem čerpala a porovnávala poznatky získané během praxe a studia a využila informace z odborné literatury o daném tématu.

V teoretické části je popsán obor nukleární medicíny, který se zabývá jak diagnostikou, tak i terapií pomocí otevřených radionuklidových zářičů. Jelikož se zde pracuje se zdroji ionizujícího záření, musí se pracovníci tohoto oddělení řídit zásadami radiační ochrany a účastnit se pravidelných školení. Radiologický asistent pracující na oddělení nukleární medicíny se řadí mezi pracovníky skupiny A. Je nutné, aby znal chod na pracovišti a svědomitě prováděl vyšetření pomocí přístrojů, které musí umět výborně ovládat. Nukleární medicína využívá k diagnostice mnoho metod. Jednou z nich je hybridní zobrazovací přístroj PET/CT, který podává anatomickou i metabolickou informaci. Široké uplatnění nachází zejména v onkologii, včetně zobrazování lymfomů.

U onemocnění maligním lymfomem, ať už se jedná o HL nebo NHL, je důležitá včasná a správná léčba, aby pacient měl větší naději na vyléčení. Onemocnění HL je díky dnešní moderní léčbě ve vysokém procentu vyléčitelné. Indolentní NHL mohou zůstat delší dobu bez léčby, aniž by došlo k rozvoji nemoci, ovšem pacienti s tímto onemocněním mají menší šanci na vyléčení než pacienti s agresivními typy NHL. Ty bez léčby velmi rychle progredují, ale pravděpodobnost vyléčení je zde vyšší.

Na přístroji PET/CT patří vyšetření maligních lymfomů k nejčastěji prováděným vyšetřením. Pro stanovení stádia FDG avidních lymfomů a hodnocení efektu jejich terapie je PET/CT nejlepší volbou, i když existují i jiné metody, jako například magnetická rezonance (MRI) či počítačová tomografie (CT). Ty ovšem neposkytují takové informace jako PET/CT a jejich výsledky mohou být nepřesné.

Rutinně používaným radiofarmakem pro vyšetření těchto lymfomů pomocí PET/CT je ^{18}F -FDG. Tyto lymfomy jsou charakteristické vysokou akumulací glukózy, tedy i ^{18}F -FDG. Proto je toto radiofarmakum pro toto vyšetření vhodné. Při studiu literatury jsem se dozvěděla, že se v minulosti používala k hodnocení účinku terapie a k dlouhodobému sledování HL a NHL metoda galiové scintigrafie. Také jsem narazila na článek, kde je porovnáváno zobrazení s ^{18}F -FDG se zobrazením galiovou scintigrafií. Jedná se o článek nemocnice Shin Kong Wu Ho-Su Memorial Hospital v Taiwanu. Článek uvádí, že i přes přijatelné výkony galiové scintigrafie

má ^{18}F -FDG lepší senzitivitu i přesnost v zobrazování maligního lymfomu před léčbou. (Oncology Reports [online])

V praktické části jsem podrobně popsala průběh a úlohu radiologického asistenta při PET/CT vyšetření u maligního lymfomu. S hybridním systémem PET/CT jsem se setkala až při sběru dat pro praktickou část mé práce, a to na oddělení nukleární medicíny ve FNHK. Bohužel jsem tedy neměla možnost porovnat chod tohoto pracoviště s jinými. Myslím si ale, že způsob registrace pacienta, jeho příprava a poučení před vyšetřením je na jiných pracovištích s PET/CT obdobná. Stejně tak i provedení vyšetření. Rozdíly mohou být např. ve velikosti a organizaci pracoviště.

5 ZÁVĚR

FDG – avidní lymfomy mají v indikacích k PET/CT vyšetření významné zastoupení. Pacienti s tímto onemocněním jsou na něj posíláni z důvodu primárního stagingu i pro kontrolu léčebného účinku, tzv. restaging. V obou případech se hodnotí intenzita akumulace FDG, kterou mají tyto lymfomy vysokou.

Cílem teoretické části bylo vysvětlit kdo je a čím se zabývá radiologický asistent, jaké zastává role na oddělení nukleární medicíny a ozřejmit radiační ochranu, kterou by měl dodržovat. Dále popsat obor nukleární medicíny a přístroje v ní používané, hlavně hybridní systém PET/CT. A nakonec stručně a výstižně popsat problematiku maligního lymfomu.

Při vypracovávání praktické části bylo mým hlavním cílem co nejlépe popsat úlohu radiologického asistenta při PET/CT vyšetření u maligního lymfomu. Radiologický asistent hraje při tomto vyšetření důležitou roli, neboť jeho úlohou je nejen uložení pacienta a obsluha hybridního zařízení PET/CT, ale také například kontrola přípravy pacienta před vyšetřením, informování pacienta o průběhu vyšetření, spolupráce s lékařem a účast na řešení případných komplikací. Snažila jsem se proto důkladně popsat běžný postup začínající příjmem a poučením pacienta, dále aplikaci radiofarmaka a kontrastní látky a končící samotným snímáním a zpracováním získaných obrazů.

Dle mého názoru se mi povedlo oba dva cíle splnit. Díky tématu mé bakalářské práce jsem se dostala k přístroji PET/CT a rozšířila si znalosti o jeho funkci a o daném vyšetření. Dále jsem se dozvěděla nové informace o onemocnění maligním lymfomem.

6 POUŽITÁ LITERATURA

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína: [učební text]. Praha: P3K, c2007. ISBN 978-80-903584-9-2.

MYSLIVEČEK, Miroslav. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007-. ISBN 978-80-244-1723-3.

SEIDL, Zdeněk. Radiologie pro studium i praxi. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.

ULLMANN, Vojtěch. Jaderná a radiační fyzika. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.

VOTRUBOVÁ, Jana. Klinické PET a PET/CT. Praha: Galén, c2009. ISBN 978-80-7262-619-9.

KLENER, Pavel. Vnitřní lékařství. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Karolinum, c2006. ISBN 80-7262-430-x.

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

VOMÁČKA, Jaroslav, Josef NEKULA a Jiří KOZÁK. Zobrazovací metody pro radiologické asistenty. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2012. ISBN 978-80-244-3126-0.

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

ADAM, Zdeněk, Marta KREJČÍ a Jiří VORLÍČEK. Speciální onkologie: příznaky, diagnostika a léčba maligních chorob. Praha: Galén, c2010. ISBN 978-80-7262-648-9.

TRNĚNÝ, Marek a Jan HABER. Pacient a rodina: Maligní lymfomy. Linkos [online]. 26.9.2006, [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/pacient-a-rodina/onkologicke-diagnozy/lymfomy-c81-85/maligni-lymfomy/>.

NERMUŤOVÁ, Kateřina. Úloha radiologického asistenta při PET/CT stagingu a restagingu u pacientů s kolorektálním karcinomem. Pardubice, 2014. 80 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Fakulta zdravotnických studií. Vedoucí práce Ing. Jiří Kulíš.

SHEN, Y., A. KAO, R. YEN. "Comparison of 18F-fluoro-2-deoxyglucose positron emission tomography and gallium-67 citrate scintigraphy for detecting malignant lymphoma" [online]. Taiwan: Oncology Reports 9, no. 2 (2002): 321-325. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3892/or.9.2.321>

7 PŘÍLOHY

Příloha A – Protokol o vyšetření PET/CT	46
Příloha B – Pozvánka k vyšetření PET/CT.....	48
Příloha C – Informace pro pacienta o přípravě na vyšetření	49
Příloha D – Souhlas pacienta/ky s vyšetřením PET/CT a aplikací KL a radiofarmaka	51
Příloha E – Anamnestický dotazník před vyšetřením PET/CT	53

Příloha A – Protokol o vyšetření PET/CT

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

Příloha B – *Pozvánka k vyšetření PET/CT*



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)
- 1,5 l 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**.



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) objedná(n)a, je poměrně náročné na správnou přípravu. Abychom vyšetření mohli provést co nejlépe, prosím, pozorně si prostudujte následující pokyny. Nejprve si pozorně přečtete a vyplňte příložený 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 antidiabetících (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, Jentadueto, 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 Váš 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 přeobjednat 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.

Příloha D – Souhlas pacienta/ky s vyšetřením PET/CT a aplikací KL a radiofarmaka



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 ¹⁸F-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: ¹⁸F-FDG (fludeoxyglukosa)

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Váš ošetřující lékař vyšetření na našem oddělení. Vyšetření se provádí na moderním přístroji PET/CT. Tato metoda umožňuje velmi podrobně zobrazit 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 kanyla (hadička), během zavádění můžete pocítit mírnou bolest obdobně jako při odběru krve. Podání radiofarmaka ¹⁸F-FDG se provede do zavedené kanyly 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 kanyla 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 ojediněle 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 nezamítl/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:

Příloha E – Anamnestický dotazník před vyšetřením PET/CT

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



Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906
 Oddělení nukleární medicíny – 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, krvetvorby 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 městnání)	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: