

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

David Zítka

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

PET/CT vyšetření karcinomu plic

Bakalářská práce

2022

David Zítko

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **David Zítko**
Osobní číslo: **Z18203**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **PET/CT vyšetření karcinomu plic**
Téma práce anglicky: **PET/CT examination of lung cancer**
Zadávací katedra: **Katedra klinických oborů**

Zásady pro vypracování

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

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
2. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 2. vyd. Praha: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-60-9.
3. KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně*. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-271-0168-9.
4. PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření*. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05319-5.
5. PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika: aplikace ionizujícího záření*. Praha: České vysoké učení technické, 2021. ISBN 978-80-01-06829-8.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Drahomíra Pecinová, Ph.D.**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. dubna 2022**

doc. Ing. Jana Holá, Ph.D. v.r.
děkanka

L.S.

Mgr. Jan Pospíchal, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 14. března 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

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

V Pardubicích dne: 27. 4. 2022

David Zítko v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce, paní RNDr. Drahomíře Pecinové Ph.D., za její trpělivost, vstřícnost a cenné připomínky při vedení mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval paní Bc. Simoně Uhrinové a personálu oddělení nukleární medicíny FNHK, za jejich ochotu a odborné rady, kterými přispěly k vypracování této bakalářské práce.

ANOTACE

Teoretická část bakalářské práce se zabývá základními fyzikálními pojmy, radiační ochranou v nukleární medicíně, PET/CT, anatomíí plic a onemocněním karcinomu plic. Praktická část se věnuje popisu PET/CT vyšetření z praktického hlediska a rozdílům mezi klasickým PET/CT vyšetřením a PET/CT vyšetření karcinomu plic.

KLÍČOVÁ SLOVA

Radiační ochrana, PET/CT, anatomie plic, karcinom plic

TITLE

PET/CT examination of lung cancer

ANNOTATION

The theoretical part of the bachelor thesis deals with basic physical terms, radiation protection in nuclear medicine, PET/CT, lung anatomy and lung carcinoma. The practical part deals with the description of PET/CT examination from the practical point of view and the differences between classic PET/CT examination and PET/CT examination of lung carcinoma.

KEYWORDS

Radiation protection, PET/CT, anatomy of lungs, cancer of lung

OBSAH

Úvod.....	12
1 Cíle a metody práce	13
1.1 Cíl práce	13
1.2 Metody k dosažení cíle.....	13
Teoretická část	14
2 Základní fyzikální pojmy	14
2.1 Rozdělení druhů záření	14
2.2 Radioaktivita	14
2.3 Radioaktivní přeměny	15
2.4 Interakce ionizujícího záření s látkou	17
3 Radiační ochrana v nukleární medicíně.....	19
3.1 Cíle a principy radiační ochrany	19
3.2 Druhy ozáření a zdrojů.....	21
3.3 Radiační limity	21
3.4 Kontrolované a sledované pásmo.....	22
3.5 Radiační ochrana pracovníků	23
3.5.1 Ochrana před vnějším ozářením	23
3.5.2 Ochrana před vnitřní kontaminací	24
3.6 Systém monitorování	24
4 PET	25
4.1 Snímání dat při PET	25
4.2 PET– radiofarmaka	26
4.3 Výhody vyšetření pomocí PET/CT.....	26
5 Anatomie plic.....	27
6 karcinom plic	29
6.1 Nemalobuněčný karcinom plic	29

6.2 Malobuněčný karcinom plic.....	30
Praktická část	32
7 Metodika praktické části	32
8 PET/CT vyšetření – klasické	33
8.1 PET/CT karcinomu plic	42
8.2 Postprocesing	44
9 Diskuze	45
10 Závěr	48
11 Použitá literatura	49
12 Přílohy.....	51

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Aplikační místnost (archiv autora).....	34
Obrázek 2: Laminární box a petomobil (archiv autora)	35
Obrázek 3: Odpočinková kabinka (vlevo) a p. o. kontrastní látky (vpravo) (archiv autora)....	36
Obrázek 4: PET/CT přístroj ve FNHK (archiv autora).....	37
Obrázek 5: Pozice pacienta během PET/CT vyšetření (archiv autora)	38
Obrázek 6: Zaměření lasery pro určení nulového bodu (archiv autora).....	38
Obrázek 7: Ovladovna PET/CT přístroje (archiv autora).....	39
Obrázek 8: Výběr vyšetřovacího protokolu (archiv autora)	39
Obrázek 9: Jódová kontrastní látka (vlevo) a tlakový injektor (vpravo) (archiv autora)	40
Obrázek 10: Řídítka pro plánovací PET/CT vyšetření (archiv autora)	42
Obrázek 11: Různé druhy podkrčníků k plánovacímu PET/CT vyšetření (archiv autora).....	43
Obrázek 12: Připravený vyšetřovací stůl pro plánovací PET/CT vyšetření (archiv autora)	43
Obrázek 13: Fúze PET a CT nasnímaných dat (archiv autora)	44

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

a.	arteria
ALARA	as low as reasonably achievable
cm	centimetr
cm ²	centimetr čtverečný
CT	počítačová tomografie
ED	extensive disease
F-FDG	fluorodeoxyglukóza
FNHK	Fakultní nemocnice Hradec Králové
GM	Geiger-Müllerův
keV	kiloelektronvolt
Kg	kilogram
LD	limited disease
MBq	megabecquerel
mm	milimetr
mmol/l	milimol na litr
mSv	milisievert
NSCLC	non-small cell lung cancer
ONM	oddělení nukleární medicíny
OSL	opticky stimulovaná luminiscence
p.o.	per os
PACS	picture archiving and communication system
PET	pozitronová emisní tomografie
PET/CT	pozitronová emisní tomografie s počítačovou tomografií

Pu	plutonium
RA	radiologický asistent
Ra	radium
RTG	rentgen
SCLC	small-cell lung cancer
SÚJB	státní úřad pro jadernou bezpečnost
TNM	T – primární tumor N – regionální mízní uzliny M – vzdálené metastázy
USA	United States of America
UV	ultraviolet
v.	véna
α	alfa
β	beta
γ	gama

ÚVOD

V České republice jsou druhou nejčastější příčinou úmrtí onkologická onemocnění. Každoročně je zde diagnostikováno více než 6000 nových pacientů s diagnózou bronchogenního karcinomu. Karcinom plic se rozděluje na dva základní typy – nemalobuněčný a malobuněčný karcinom plic. Nemalobuněčný karcinom (NSCLC) je v České republice druhým nejčastějším karcinomem u mužů a šestým u žen. Ačkoliv se tento karcinom vyskytuje spíše u mužů s rozšířením kouření se stále častěji vyskytují i u žen. Většina případů onemocnění je diagnostikována až v pokročilém stádiu nemoci, s čímž souvisí i poměr mezi mortalitou a incidencí, který je u tohoto onemocnění podle údajů z roku 2011 86 %. Hlavním rizikovým faktorem pro vznik karcinomu plic je kouření tabákových produktů, které zvyšují riziko vzniku karcinomu plic a jsou zodpovědné za většinu těchto onemocnění. Dalším rizikovým faktorem je chronická obstrukční plicní nemoc. Malobuněčný plicní karcinom (SCLC) patří k nejagresivnějším maligním nádorům a představuje přibližně 15 % plicních karcinomů. Typickými znaky malobuněčného plicního karcinomu jsou rychlý růst a časné metastázy do vzdálených orgánů a uzlin. Hlavní rizikovým faktorem pro vznik SCLC je jako u nemalobuněčného karcinomu plic kouření cigaret (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016).

Včasná a správná diagnóza zvyšuje pravděpodobnost radikální léčby a prodlužuje dobu přežití. Při diagnostice se využívá kombinace přístrojů pozitronové emisní tomografie (PET) a počítačové tomografie (CT). Ta se uplatňuje u mnoha onkologických indikací, mezi jinými i u karcinomu plic. Díky hybridnímu přístroji PET/CT lze získat funkční i anatomicko-morfologické informace od jednoho pacienta během jednoho vyšetření. Dále hybridní zobrazení prokazatelně zvyšuje diagnostickou přesnost v interpretaci plicních nodulů a plicních mas.

Teoretické část bakalářské práce seznamuje čtenáře se základními fyzikálními pojmy a radiační ochranou v nukleární medicíně. Dále se zabývá stručným popisem PET/CT přístroje, anatomii plic a v neposlední řadě samotným onemocněním karcinomu plic. Praktická část je věnována postupu u klasického PET/CT vyšetření na oddělení nukleární medicíny ve FNHK. Popisuje též výjimky a specifika tohoto vyšetření, které jsou spojeny s karcinomem plic. Bakalářská práce rovněž diskutuje o výhodách a nevýhodách radionuklidového vyšetření karcinomu plic, které jsou porovnávány s dalšími zobrazovacími metodami. Práce mimo jiné i diskutuje o incidenci karcinomu plic u kuřáků.

1 CÍLE A METODY PRÁCE

1.1 Cíl práce

1. V teoretické části práce shrnout informace o základních fyzikálních pojmech, radiační ochraně v nukleární medicíně, PET/CT přístroji, anatomii plic a karcinomu plic.
2. Popsat průběh klasického PET/CT vyšetření karcinomu plic včetně výjimek a specifik u tohoto vyšetření.
3. Přiblížit čtenářům úlohu radiologického asistenta během PET/CT vyšetření karcinomu plic.
4. Srovnat diagnostické zobrazovací metody diagnostiky karcinomu plic
5. Popsat souvislost výskytu karcinomu plic a kouření.

1.2 Metody k dosažení cíle

Teoretické část bakalářské práce seznamuje čtenáře se základními fyzikálními pojmy a radiační ochranou v nukleární medicíně. Dále se zabývá stručným popisem PET/CT přístroje, anatomii plic a v neposlední řadě samotným onemocněním karcinomu plic.

Praktická část se věnuje popisu PET/CT vyšetření z praktického hlediska a rozdílům mezi klasickým PET/CT vyšetřením a PET/CT vyšetření karcinomu plic. Popis vyšetření vznikl na základě vlastního praktického nácviku v rámci praxe na ONM a dále pozorováním a studiem práce radiologických asistentů včetně pořízení vlastní obrazové dokumentace.

TEORETICKÁ ČÁST

2 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ POJMY

Tato kapitola uvádí základní pojmy, které by měl každý radiologický asistent pracující v oboru nukleární medicíny znát.

2.1 Rozdělení druhů záření

„Záření (radiace) je obecně šíření energie prostorem. Po dopadu na libovolný objekt může být část této přenášené energie předána objektu. Takto sdělená energie může způsobovat u ozářených objektů řadu fyzikálních, chemických a biologických změn“ (Podzimek, 2013, s122).

Záření můžeme rozdělit například podle fyzikální podstaty a podle způsobu ionizace. Podle fyzikální podstaty dělíme záření na korpuskulární neboli částicové a elektromagnetické. Mezi korpuskulární záření patří například částice alfa, pozitrony a elektrony. Mezi elektromagnetické záření patří například záření gama, radiové vlny, UV záření a radiové vlny (Podzimek, 2013).

Záření podle způsobu ionizace dělíme na neionizující a ionizující. Ionizující záření dále dělíme na přímo ionizující a nepřímo ionizující. Přímou ionizující záření tvoří nabitě částice. Tyto nabitě částice můžeme rozdělit podle jejich hmotnosti na lehké a těžké nabitě částice. Zástupci lehkých nabitých částic jsou například pozitrony a elektrony. Mezi těžké nabitě částice řadíme například alfa částice a protony. Do nepřímo ionizujícího záření patří částice bez náboje. Tyto částice, jako například neutrony, nebo fotony samy prostředí neionizují, ale po interakci s látkou se uvolní sekundárně nabitě částice (protony, elektrony apod) (Podzimek, 2013).

2.2 Radioaktivita

Radioaktivita je jev, kdy dochází k samovolné přeměně jader atomů určitého prvku na jádra jiného prvku, nebo jádra stejného prvku s jiným energetickým stavem. Během této přeměny je uvolněno ionizující záření. Jádro, které podstupuje přeměnu se nazývá mateřské jádro a jádro, které přeměnou vzniká, dceřiné. Radioaktivitu dále dělíme podle druhu emitovaného záření. Její tři základní druhy označujeme řeckými písmeny α , β , γ (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015).

2.3 Radioaktivní přeměny

Přeměna α

Přeměna alfa je typ radioaktivní přeměny, při které dochází k uvolnění dvou protonů a dvou neutronů z mateřského jádra. Nukleonové číslo prvku se zmenší o 4 a protonové o 2, díky tomu se prvek posune v periodické tabulce o dvě místa vlevo. Částice vytvořená touto přeměnou se nazývá záření α a odpovídá jádru hélia (Podzimek, 2021). Typickými alfa-zářiči jsou radium ^{226}Ra a plutonium ^{239}Pu (Podzimek, 2013).

Energetické spektrum záření alfa je čárové. Částice alfa řadíme do skupiny těžkých nabitých částic. Částice alfa nese dva elektrické náboje, díky čemuž velmi silně ionizuje své prostředí a rychle ztrácí svou energii (Podzimek, 2013). Záření alfa z přírodních zdrojů má ve vzduchu dosah řádově jen několik centimetrů (5-8 cm dle energie) a v tkáni desítky mikrometrů (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018).

Z důvodů své malé pronikavosti jej nelze použít v diagnostice (částice alfa se nedostanou ven z organismu) ani k zevní radioterapii, ale často se používá v radioizotopové terapii (Koranda, 2014). Záření alfa je nebezpečné pouze při vnitřní kontaminaci organismu, protože při dopadu na kůži se absorbuje v horních vrstvách pokožky (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018). Ochranou před zářením alfa je list papíru či oděv, nebo i tenká fólie z plexiskla (Pejchal, Šinkorová, Tichý a kol., 2013).

Přeměna β

Rozlišujeme β^- , β^+ a elektronový záchyt. Na přeměnách beta se podílí slabá interakce (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015).

Přeměna β^-

Přeměna β^- je typ radioaktivní přeměny, při které dochází k emitování elektronu z mateřského jádra. V mateřském jádře dojde vlivem slabé interakce k přeměně neutronu na proton, přičemž se z jádra vyzáří elektron a antineutrino (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015). Nukleonové číslo prvku se nezmění a protonové číslo se zvětší o 1, díky tomu se prvek posune v periodické tabulce prvků o jedno místo doprava. Energetické spektrum záření β^- je spojité. Záření β^- řadíme do skupiny lehkých nabitých částic. (Podzimek, 2013). Dosah záření beta v nukleární medicíně běžně používaných je ve vzduchu přibližně 8 metrů a v tkáni několik milimetrů (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015). Záření β^- se využívá v radioizotopové terapii, například při terapii onemocnění štítné žlázy radioaktivním ^{131}I (Koranda, 2014).

Přeměna β^+

Přeměna β^+ je typ radioaktivní přeměny, při které dochází k emisi pozitronu (kladně nabitá antičástice k elektronu) z mateřského jádra. Tato přeměna se vyskytuje u jader, která mají přebytek protonů. V mateřském jádře dojde k přeměně protonu na neutron, přičemž se z jádra vyzáří pozitron a neutrino (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015). Nukleonové číslo prvku se nezmění a protonové číslo se zmenší o 1, díky tomu se prvek posune v periodické tabulce o jedno místo doleva. Energetické spektrum záření β^+ je spojité. Během průchodu prostředím ztrácí pozitron svou energii a spojí se s elektronem. Tento děj se nazývá anihilace. Výsledkem anihilace jsou dva vyzářené fotony gama záření s energií 511 keV. Toto anihilační záření se používá v pozitronové emisní tomografii (Podzimek, 2013).

Částice beta (elektrony, pozitrony) jsou mnohem lehčí, proto se při stejné energii pohybují mnohem rychleji než částice alfa a jsou přibližně stokrát pronikavější. Při průchodu prostředím mnohem méně ionizují a excitují. K ochraně stačí například plexisklo, či tenký hliníkový plech o tloušťce několika milimetrů (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018).

Elektronový záchyt

Elektronový záchyt je přeměna, při níž dochází k pohlcení elektronu z obalu atomu jádrem. Nejčastěji bývá pohlcen elektron ze slupky K (Podzimek 2021). Volné místo ve slupce po pohlcení elektronu zaujme elektron z vyšší slupky. Při tomto přeskočení elektronu z vyšší slupky dochází k vyzáření přebytečné energie ve formě charakteristického záření (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018). Nukleonové číslo prvku se nezmění a protonové číslo se zmenší o 1, díky tomu se prvek posune v periodické tabulce o jedno místo doleva (Podzimek, 2013).

Přeměna γ

Gama záření vzniká jako doprovodný jev přeměny alfa a beta. Jadernou přeměnou zpravidla nevzniká výsledné jádro ve svém základním energetickém stavu, většinou zůstává ve stavu energeticky buzeném. Aby se jádro dostalo do základního stavu dojde k takzvané deexcitaci, při které se přebytečná energie vyzáří v podobě fotonu gama záření (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015). Jako ochrana před zářením gama se používá olovo, wolfram, nebo silná vrstva betonu (Pejchal, Šinkorová, Tichý a kol., 2013).

2.4 Interakce ionizujícího záření s látkou

U interakce ionizujícího záření s látkou záleží zejména na energii částic, jejich druhu a složení příslušné látky (Podzimek, 2013).

Interakce přímo ionizujícího záření

U přímo ionizujícího záření probíhá předání energie ionizací a excitací. Nalétávající částice předá svoji energii orbitálnímu elektronu. Pokud je energie nalétávající částice větší, než je vazebná energie v elektronovém obalu, dojde k vytržení elektronu z obalu a vytvoří se iontový pár. Tomuto procesu se říká ionizace. K excitaci dochází, pokud nemá částice tak velkou energii, aby vytrhla elektron z obalu, ale pouze mu předá svoji energii a elektron ji využije na přeskok do vyšší energetické hladiny (Podzimek, 2013).

Interakce nepřímo ionizujícího záření

U fotonového záření v nukleární medicíně má smysl uvažovat zejména o dvou následujících interakcích. První interakcí je fotoelektrický jev neboli fotoefekt. K fotoefektu dochází při střetu fotonu s elektronem na vnitřní slupce elektronového obalu. Foton předá veškerou svoji energii elektronu z obalu, který se vyváže ze své orbitální vazby a uvolní tak své místo na vnitřní slupce. Toto volné místo je zaplněno elektronem z vyšší slupky, a proto je fotoefekt doprovázen charakteristickým zářením X, nebo produkcí augerových elektronů (Podzimek, 2013).

Druhou interakcí je Comptonův rozptyl. Jedná se o rozptyl fotonu na volném, nebo slabě vázaném elektronu na vnějších orbitách atomu. Část energie dopadajícího fotonu je předána volnému, nebo slabě vázanému elektronu (vazebná energie je zanedbatelná), zbytek energie se rozdělí mezi uvolněný elektron a rozptýlený foton s jinou (delší) vlnovou délkou. Comptonův jev je v nukleární medicíně nežádoucí, způsobuje ztrátu kvality obrazu (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015).

Poslední interakcí neionizujícího záření je tvorba elektron – pozitronových párů. Tvorba elektron – pozitronových párů vzniká při interakci fotonu s látkou. K této interakci dochází v elektrickém poli jádra, kde nalétávající foton interaguje a zaniká. Díky vysoké energii předané fotonem vznikne dvojice částic elektron a pozitron, které získají i kinetickou energii. Podmínkou pro vznik elektron – pozitronových párů je, aby energie fotonu byla vyšší než 1,022 MeV (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018).

3 RADIAČNÍ OCHRANA V NUKLEÁRNÍ MEDICÍNĚ

Principy, limity a zásady radiační ochrany platí pro všechna pracoviště, kde se pracuje se zdroji ionizujícího záření (nukleární medicína, radioterapie, radiodiagnostika) (Koranda, 2014).

3.1 Cíle a principy radiační ochrany

Hlavním cílem radiační ochrany je zcela vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a snížit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků na společensky přijatelnou mez (Koranda, 2014).

Deterministické účinky jsou účinky prahové. Čím je obdržená dávka vyšší, tím jsou deterministické účinky závažnější. Mají specifický klinický obraz a vznikají za nedlouho po ozáření. Mezi charakteristické deterministické účinky se řadí akutní nemoc z ozáření, lokální poškození organismu a zákal oční čočky (katarakta). Cílem je tedy zajištění takových dávek, které jsou menší než prahové. Jednotlivé orgány a tkáně lidského těla mají různou citlivost. Míra deterministických účinků na daný orgán, nebo tkáň je hodnocena ekvivalentní dávkou, nebo dávkou v tomto orgánu (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015).

Stochastické účinky jsou účinky bezprahové. Čím vyšší je absorbovaná dávka, tím je větší pravděpodobnost vzniku těchto účinků. Mají nespecifický klinický obraz a mohou se projevit až za několik desítek let. Patří sem například leukémie, zhoubné nádory a genetické změny. Cílem je optimalizovat radiační ochranu před ionizujícím zářením. Pravděpodobnost vzniku stochastických účinků v lidském těle je hodnocena efektivní dávkou (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015).

Cíle radiační ochrany pomáhají plnit čtyři základní principy radiační ochrany. Tyto principy se nazývají: princip optimalizace, zdůvodnění, nepřekročení limitů a bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření (Pejchal, Šinkorová, Tichý a kol, 2013).

Princip optimalizace

Každý, kdo provádí činnost v rámci expozičních situací, je povinen dodržovat takovou úroveň radiační ochrany, aby byl splněn princip optimalizace. Optimalizací radiační ochrany se rozumí postupy k dosažení a udržení takové úrovně radiační ochrany, aby riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek (Koranda, 2014).

Tento princip je označován v angličtině jako ALARA (as low as reasonably achievable) a lze přeložit jako „ozáření má být tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout“ (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018). Protože pro lékařské ozáření neplatí limity, je nutné plně dodržovat princip optimalizace. Při vyšetřeních v nukleární medicíně to znamená aplikaci pouze nezbytné množství radioaktivní látky (aktivity), které zajišťuje dostatečnou diagnostickou informaci při co nejnižší radiační zátěži pacienta (Koranda, 2014).

Princip zdůvodnění

U principu zdůvodnění je důležité, aby činnost vedoucí k ozáření byla přínosem a aby byla převážena rizika spojená s ozářením. Z principu zdůvodnění vyplývá velký význam správné lékařské indikace vyšetření (Koranda, 2014).

Princip nepřekročení limitů

Každý, kdo je zodpovědný za ozáření pacienta musí dbát na to, aby nebyly překročeny stanovené limity. Limity ozáření jsou rozděleny do tří skupin: obecné limity (pro obyvatelstvo), limity pro radiační pracovníky a limity pro žáky a studenty (Koranda, 2014).

Princip bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření musí být zabezpečeny tak, aby nad nimi nemohlo dojít za nepředvídatelných podmínek ke ztrátě kontroly (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018).

3.2 Druhy ozáření a zdrojů

Rozlišujeme tři druhy ozáření: **lékařské ozáření, ozáření při práci a ozáření obyvatel** (Koranda, 2014).

Lékařské ozáření je ozáření osob během léčebných a vyšetřovacích postupů. Lékařské ozáření nepodléhá limitům, jelikož je pacient nositelem přínosu vyšetření. Kdyby byly nastaveny limity, tak by mohl být lékař omezen v získávání diagnostických informací a následně by mohl být problém se stanovením diagnózy a léčby (Koranda, 2014).

Ozáření při práci se vztahuje na všechna ozáření radiačních pracovníků, ke kterém došlo během práce, nebo jako důsledek práce (Koranda, 2014).

Do **ozáření obyvatel** patří všechna ostatní ozáření, jako jsou například ozáření z přírodních zdrojů (Podzimek, 2013).

V radiační ochraně jsou důležité také druhy zdrojů, které dělíme na uzavřené a otevřené. Uzavřené zdroje jsou tedy zdroje, které jsou zapouzdřené, tudíž není možný únik radionuklidu do okolí. Uzavřené zářiče se využívají například v brachyterapii, kde se zavádějí do tělesných dutin. V nukleární medicíně se uzavřené zdroje používají zejména pro kontroly kvality detekčních a zobrazovacích systémů. Otevřené zdroje se využívají hlavně v nukleární medicíně a to při diagnostických a léčebných postupech. Otevřené zdroje mohou být ve formě kapalin, aerosolů, nebo plynů (Koranda, 2014).

3.3 Radiační limity

Limit ozáření je kvantitativní ukazatel, který slouží k omezení celkového ozáření fyzické osoby z činnosti v rámci plánovaných expozičních situací. Limity ozáření jsou vyjádřeny pomocí ekvivalentní, nebo efektivní dávky (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015). Rozeznáváme obecné limity, limity pro radiační pracovníky a limity pro žáky a studenty (Pejchal, Šinkorová, Tichý a kol., 2013).

Obecné limity platí pro obyvatele a zahrnují celkové ozáření ze všech radiačních činností s výjimkou profesního, lékařského a havarijního ozáření (Podzimek, 2013). Součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření nesmí přesáhnout 1 mSv za rok, nebo 5 mSv za 5 let po sobě jdoucích. Pro ekvivalentní dávku v oční čočce platí hodnota 15 mSv za rok a průměrná ekvivalentní dávka pro 1 cm² kůže je hodnota 50 mSv za rok (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018).

Limity pro radiační pracovníky jsou limity, které se vztahují na profesní ozáření. Součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření nesmí přesáhnout 20 mSv za rok, nebo 100 mSv za 5 let po sobě jdoucích. Pro ekvivalentní dávku v oční čočce platí hodnota 150 mSv za rok a průměrná ekvivalentní dávka pro 1 cm² kůže je hodnota 500 mSv za rok (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018).

Limity pro žáky a studenty platí pro žáky a studenty, kteří v průběhu svého studia pracují se zdroji ionizujícího záření. Součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření nesmí přesáhnout 6 mSv za rok. Pro ekvivalentní dávku v oční čočce platí hodnota 15 mSv za rok a průměrná ekvivalentní dávka pro 1 cm² kůže je hodnota 150 mSv za rok (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018).

3.4 Kontrolované a sledované pásmo

Technické a organizační podmínky práce se zdroji ionizujícího záření se na pracovištích nukleární medicíny řeší zavedením kontrolovaného a sledovaného pásma (Koranda, 2014).

Kontrolované pásmo se vymezuje všude tam, kde se předpokládá, že by efektivní dávka mohla překročit 6 mSv za rok a ekvivalentní dávka by mohla být vyšší než 3/10 limitu pro oční čočku, kůži a končetiny (Koranda, 2014).

Sledované pásmo se pak vymezuje všude tam, kde se očekává, že by efektivní dávka mohla být vyšší než 1 mSv za rok, nebo že by ekvivalentní dávka mohla být vyšší než 0,1 limitu pro radiační pracovníky pro oční čočku, kůži a končetiny (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018).

3.5 Radiační ochrana pracovníků

Radiační pracovníci nukleární medicíny jsou při práci vystaveni riziku jak vnějšího ozáření, tak vnitřní kontaminace.

3.5.1 Ochrana před vnějším ozářením

Ve všech oblastech, kde se aplikuje ionizující záření, se využívají tři základní způsoby radiační ochrany před vnějším ozářením. Jsou to ochrana **vzdáleností, časem a stíněním** (Pejchal, Šinkorová, Tichý a kol, 2013). V praxi je vhodné používat všechny tři uvedené typy ochrany proti IZ. Ne vždy je toto možné, například u malých dětí, které potřebují při vyšetření na gama kameře asistenci (Koranda, 2014).

Ochrana vzdáleností vychází ze základního pravidla, které říká, že dávkový příkon klesá přibližně s druhou mocninou vzdáleností od zdroje. Na odděleních nukleární medicíny to znamená, že pracovníci musí dodržovat co možná největší vzdálenost od zdrojů záření. Příkladem je používání peánu při manipulaci s radiofarmaky, nebo to, že se pracovníci nesmí zbytečně zdržovat blízko pacientů, kterým bylo aplikováno radiofarmakum (Koranda, 2014).

U **ochrany časem** jde o co možná nejvíce zkrátit dobu, po kterou je pracovník vystavený zdroji záření. Čím déle je pracovník vystaven zdroji záření, tím více roste jeho dávka. Snižování času závisí na zkušenostech, způsobilosti a dovednosti pracovníků (Koranda, 2014).

Ochrana stíněním slouží k významnému zeslabení svazku záření. Ke stínění se využívá stínicí vrstva, která se skládá z vhodného materiálu a je vždy umístěna mezi zdroj záření a pracovníka. Na odděleních nukleární medicíny se využívají například olověné kontejnery, ve kterých se přenášejí radioaktivní látky, nebo stínicí olověné kryty na injekční stříkačky pro aplikaci radiofarmak (Koranda, 2014)

3.5.2 Ochrana před vnitřní kontaminací

„Na pracovišti nukleární medicíny může při práci s otevřenými zářiči dojít také k vnitřnímu ozáření. Radionuklid může vstoupit do metabolismu a podle své chemické povahy se hromadit v určitých orgánech, které jsou pak bezprostředně vystaveny účinkům záření.“ (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015, s. 24)

Ochrana před vnitřní kontaminací spočívá v používání osobních ochranných pomůcek jako jsou gumové rukavice, ochranný oděv a brýle. Dále pak vykonávat v uzavřených prostorách činnosti, při kterých může dojít k úniku radioaktivních látek do ovzduší (například v hermetickém boxu) (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015). S radiační ochranou pracovníků i pacientů dále souvisí také naprostý zákaz konzumace jídla a pití v kontrolovaném pásmu z důvodu rizika vnitřní kontaminace (Koranda, 2014).

3.6 Systém monitorování

Systém monitorování na odděleních nukleární medicíny lze rozdělit do dvou hlavních částí. Je to monitorování pracovníků (osobní dozimetrie), a dále monitorování pracovního prostředí. Speciální část monitorování tvoří monitorování výпустí, které se provádí pouze na odděleních nukleární medicíny, které mají lůžkovou část pro terapii radionuklidy (Koranda, 2014).

Osobní monitorování pracovníků se provádí pomocí osobních dozimetrů. Používají se většinou filmové dozimetry, nebo OSL (opticky stimulovaná luminiscence). Radiační pracovníci, kteří vykonávají práci v kontrolovaném pásmu, jsou povinni tento dozimetr nosit připevněn na oděvu v levé části hrudníku. Pracovníci, kteří manipulují s radionuklidy, jsou vybaveni ještě jedním vedlejším dozimetrem, a to prstovým. Kontrolní vyhodnocení dozimetrů je nastaveno na jeden měsíc, vyhodnocení provádí dozimetrická služba s příslušným oprávněním SÚJB. Pokud dojde k překročení limitů ozáření, dochází k prošetření situace, za které k ozáření došlo, a k nápravným opatřením (Koranda, 2014).

K monitorování prostředí na odděleních nukleární medicíny slouží například GM počítač, nebo proporcionalní detektory, díky kterým lze měřit dávkový příkon gama záření, nebo případné kontaminace povrchů radioaktivní látkou. Každé pracoviště nukleární medicíny má stanoveny hodnoty dávkového příkonu a povrchové kontaminace, které nesmějí být překročeny (Koranda, 2014).

4 PET

PET neboli pozitronová emisní tomografie je přístroj, který slouží v oboru nukleární medicíny k zobrazování fyziologických, nebo biochemických procesů těla pacienta (Podzimek, 2021). První PET skener byl spuštěn v roce 1976 v USA. Díky rychlému vývoji zobrazovací techniky se dnes klasické PET skenery už nevyrábějí. Klasické PET přístroje disponovaly deficitem anatomické struktury, proto se dnes využívá hybridní kombinace PET/CT, která tento deficit eliminuje, protože se v gantry spojují funkce PET a CT, díky kterým lze provést vyšetření za identických časových a geometrických podmínek (Kubinyi, Sabol, Vondrák, 2018).

4.1 Snímání dat při PET

Při vyšetřeních PET se využívají radiofarmaka značené pozitronovými zářiči, u kterých dochází k emisi pozitronu při jejich radioaktivní přeměně. Nejčastěji používaným radiofarmakem na odděleních nukleární medicíny při vyšetřeních PET je ^{18}F -FDG. Emitovaný pozitron, který vznikl při radioaktivní přeměně se v těle pohybuje po klikaté trajektorii, přičemž ztrácí svou kinetickou energii a na konci trajektorie anihiluje s elektronem, díky čemuž vzniknou dva anihilační fotony gama, každý o energii 511keV. Tyto dva anihilační fotony vylétávají z pacienta vždy opačným směrem a dopadají na detektory (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015).

Detektor PET je ve tvaru prstence, který obklopuje pacienta a slouží k detekci jednotlivých anihilačních fotonů vylétávajících z pacienta. Detektor se skládá z velkého počtu scintilačních krystalů, které musí být kvůli vysoké energii anihilačních fotonů složeny z látek s větším atomovým číslem a hustotou, než jsou například scintilační krystaly využívané pro snímání jednofotonových zářičů (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015).

Díky velmi přesné elektronice, která dokáže rozpoznat dva fotony k sobě patřící, vzniká takzvaná přímka odezvy. Přímka odezvy je základním signálem při snímání dat PET. Takto nasbíraná data vstupují do matematické rekonstrukce, jejímž výsledkem je sada transaxialních řezů (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015).

4.2 PET– radiofarmaka

Radiofarmakum je léčivý přípravek, který obsahuje nejméně jeden radionuklid (Seidl, 2012). Radiofarmaka jsou nedílnou součástí na pracovištích nukleární medicíny. Řadíme je do kategorie léčivých přípravků a jsou to chemické nebo biologické sloučeniny, které jsou označené vhodným radionuklidem (Koranda, 2014).

Při vyšetření PET je celosvětově nejpoužívanějším radiofarmakem ^{18}F -FDG, neboli fluorodeoxyglukóza (Ferda, 2015). Jelikož se vyšetření pomocí PET využívá ve většině případů v onkologii, je proto značená glukóza ideálním radiofarmakem, díky tomu, že jej nádory a metastázy ve zvýšené míře akumulují, díky čemuž se dají dobře detekovat (Vorlíček, Abrahámová, Vorlíčková a kol., 2012). Fluorodeoxyglukóza se ale nevyčytává pouze v nádorech, ale například i v orgánech, nebo v jiných částech lidského těla, přičemž se ne vždy musí jednat o nádorové struktury (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015). Nespornou výhodou radiofarmaka ^{18}F -FDG je jeho poločas rozpadu, který je 110 minut, oproti ostatním pozitronovým zdrojům, které mají krátké poločasy přeměny (Seidl, 2012).

Radiofarmakum ^{18}F -FDG se vyrábí v cyklotronu. V cyklotronu dochází k urychlování nabitých částic (deutrony, protony, alfa částice) elektrickým polem. Kolmo na elektrické pole je magnetické pole, díky němuž se urychlené částice stáčejí a pokračují po rozšiřující se kruhovitě spirále. Na konci této dráhy se nachází terčik s nuklidem, který je ozařován, přičemž dochází k jeho přeměně na radionuklid. Tento proces se nazývá transmutace (Kupka, Kubinyi, Šámal, 2015).

4.3 Výhody vyšetření pomocí PET/CT

Hybridní metoda PET/CT poskytuje mnoho výhod. Předností této metody zobrazení je relativně rychlá akvizice dat, díky které vyšetření může podstoupit i pacient, který je v těžkém stavu, neklidný, nebo klaustrofobický. Výhodou PET/CT je také jeho hybridní systém, díky kterému se může například provádět CT angiografie, která je velice důležitá pro posouzení cévního zásobení orgánů při nádorových onemocněních. Další výhodou je vysoké rozlišení, díky kterému jsou struktury, jako například nádory, orgány, nebo plicní parenchym dobře čitelné (Ferda, 2015).

5 ANATOMIE PLIC

Plíce (pulmo) jsou párový orgán, ve kterém dochází k výměně plynů (vydechování oxidu uhličitého a okysličování krve). Na povrchu plic je vazivová blána, která kryje plicní parenchym a nazývá se poplicnice (pleura pulmonalis). Plíce mají tvar kuželu a rozeznáváme na nich několik částí. První částí je baze plic (basis pulmones), která naléhá na bránici (diaphragma). Další částí je plicní hilus (hilum pulmonis), což je místo, ve kterém do plic vstupují průdušky (bronchy) a cévy. Na vrcholu plic se nachází apex pulmonis neboli plicní vrchol, který zasahuje až nad první žebro (Fiala, Valenta, Eberlová, 2015). Plíce jsou dále rozčleněné hlubokými rýhami na laloky. Levá plíce se skládá ze dvou laloků. Tyto laloky se nazývají lobus pulmonis superior a inferior (horní a dolní plicní lalok), které rozděluje fissura obliqua, neboli šikmá rýha. Pravá plíce má kromě šikmé rýhy i rýhu horizontální (fissura horizontalis), díky které vzniká třetí lalok. Pravá plíce se tedy skládá ze tří laloků, které se nazývají lobus pulmonis superior, medius a inferior (horní, střední a dolní plicní lalok) (Gosling, Harris, Humpherson a kol., 2017). Obě plíce se dále dělí na deset segmentů, přičemž v pravém dolním laloku se nachází pět segmentů, ve středním dva segmenty a horním laloku jsou tři segmenty. V levém dolním laloku se nachází pět segmentů, stejně jako v pravém a v levém horním laloku se nachází také pět segmentů. (Fiala, Valenta, Eberlová, 2015). Pravá průduška přechází v pravé plíci na průdušky pro horní, střední a dolní lalok a levá průduška pro horní a dolní lalok. Následně přecházejí jednotlivé větve průdušek na bronchopulmonární segmenty, kterých je deset na každé straně (Fritsch, Kuehnel, 2015). Tyto bronchopulmonární segmenty se dále větví na průdušinky (bronchioli). Nejmenší větve průdušinek se nazývají bronchioli respiratorii neboli respirační, na které navazují plicní sklípky (alveoly). (Fiala, Valenta, Eberlová, 2015). Plicní sklípky jsou obaleny bohatou sítí vlásečnic, mezi nimiž dochází k výměně kyslíku a oxidu uhličitého přes alveokapilární membránu (Křivánková, 2019).

V plicích rozlišujeme dva krevní oběhy. Prvním je malý krevní oběh, díky kterému se do plic dostává z pravé komory srdeční odkysličená krev z celého těla a nově okysličená krev je transportována do levé síně srdeční (Křivánková, 2019). Odkysličenou krev do plic z pravé komory srdeční přivádí plicní tepna (a. pulmonalis), která se dělí pro obě plíce na pravou a levou plicní tepnu (a. pulmonalis dexra et sinistra) (Fritsch, Kuehnel, 2015). Plicní tepny se dále větví až na síť vlásečnic, mezi nimiž dochází k výměně kyslíku a oxidu uhličitého přes alveokapilární membránu. Okysličenou krev z plic odvádí čtyři plicní žíly (v. pulmonalis) do levé srdeční síně. Druhým oběhem je nutriční krevní oběh, který slouží k výživě plic. Výživu zajišťují arterie odstupující z hrudní aorty (Křivánková, 2019).

Proces dýchání se skládá ze dvou fází, kterými jsou nádech (inspirium) a výdech (exspirium). Na obou těchto procesech se podílí svaly, které představují hnací sílu pro ventilaci plic. Na nádechu se podílí bránice a vnější mezižeberní svaly. Při výdechu bránice relaxuje a zapojují se vnitřní mezižeberní svaly a břišní svaly (Pejchal, Šinkorová, Tichý a kol., 2013).

6 KARCINOM PLIC

Rozlišujeme dva základní typy karcinomů plic, kterými jsou nemalobuněčný a malobuněčný karcinom plic (Vorlíček, 2012).

6.1 Nemalobuněčný karcinom plic

Nemalobuněčný karcinom (NSCLC) má tři hlavní podtypy: adenokarcinom, spinocelulární karcinom a velkobuněčný karcinom (Vorlíček, 2012). V České republice je karcinom plic druhým u mužů a šestým u žen nejčastějším maligním nádorem. Bohužel je většina případů onemocnění diagnostikována až v pokročilém stádiu nemoci, s čímž souvisí i poměr mezi mortalitou a incidencí, který je u tohoto onemocnění podle údajů z roku 2011 86 % (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016).

Určit rozsah nádorů a následné rozdělení do stádií pomáhá stanovit takzvaná TNM klasifikace. Písmeno T značí primární tumor, N – regionální mízní uzliny a M – vzdálené metastázy. Jednotlivé kategorie mají své podkategorie, které určují například přítomnost, vlastnosti, nebo velikost nádorů, či metastáz. U primárního nádoru je klasifikace takováto: TX – primární nádor nelze hodnotit, T0 – bez známek primárního nádoru, Tis – karcinom in situ, T1 – T4 popisují velikost nádorů, nebo jeho zásah do okolních struktur. Regionální mízní uzliny se klasifikují: NX – regionální mízní uzliny nelze hodnotit, N0 – regionální místní uzliny jsou bez metastáz, N1 – N3 popisují rozsah metastáz v uzlinách. Vzdálené metastázy klasifikujeme: MX – vzdálené metastázy nelze hodnotit, M0 – vzdálené metastázy nejsou přítomny, M1 – vzdálené metastázy jsou přítomny. Díky TNM klasifikaci můžeme zařadit karcinom plic do jednotlivých stádií, což napomáhá určit způsob léčby. Stádia karcinomu plic jsou: okultní karcinom, 0, IA, IB, IIA, IIB, IIIA, IIIB a IV. Každé stádium se skládá z kombinace TNM klasifikace. Příkladem může být stádium IIB, které je určeno kombinací T3 N0 M0 (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016).

Primárním rizikovým faktorem pro vznik karcinomu plic je kouření tabákových produktů. Tabákové produkty zvyšují riziko vzniku karcinomu plic a jsou zodpovědné za drtivou většinu onemocnění karcinomem plic. Dalším rizikovým faktorem rozvoje je například chronická obstrukční plicní nemoc, která zvyšuje riziko vzniku karcinomu plic (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016).

Symptomy karcinomu plic se projevují většinou až v pokročilých stádiích nemoci. Symptomy mohou být lokální – dušnost, bolest na hrudi, kašel, nebo celkové – pocení, únava, úbytek hmotnosti. Fyzikálním vyšetřením můžeme odhalit další symptomy, například zvětšené uzliny, otok krku, nebo hepatomegalii, která souvisí s pokročilým stádiem nemoci (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016).

Klíčovou záležitostí s bojem proti karcinomu plic je časná diagnostika. Čím dříve se podaří zachytit onemocnění v nízkém stádiu tím více stoupá pravděpodobnost na uzdravení. Primární vyšetřovací metodou je klasické RTG hrudníku, ale toto vyšetření je již v dnešní době vytlačeno zobrazením pomocí CT, pod jehož kontrolou se dá také provést biopsie (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016). Provádí se také bronchoskopické vyšetření pomocí endoskopu, které umožňuje odebrání vzorku, který je pak následně poslán na cytologické, nebo histologické vyšetření (Vorlíček, 2012). Velice důležitou diagnostickou metodou je PET/CT, která dokáže přesně zobrazit metastázy a umožňuje také plánování cílového objemu pro radioterapii (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016).

Léčebné postupy u karcinomu plic se liší podle stádií. Pro pacienty s operabilními nádory (I a II stádia) je řešením resekční výkon. Samotný rozsah výkonu záleží na stádiu nemoci a stavu pacienta, aby výkon zvládl. Během chirurgického zákroku se pacientovi provede i uzlinová disekce. Pokud pacient chirurgický zákrok zamítne, nebo jej ze zdravotních důvodů nemůže podstoupit, podstoupí léčbu zářením. Léčebnou metodou se volí stereotaktická radioterapie, která má srovnatelné výsledky jako chirurgický zákrok. U III stádia se využívá kombinace operace, chemoterapie a záření, jelikož v tomto stadiu je prognóza při uzlinových metastázách velmi špatná a kombinace těchto léčebných postupů zvyšuje šance na uzdravení pacienta (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016).

6.2 Malobuněčný karcinom plic

Malobuněčný plicní karcinom (SCLC) náleží k nejagresivnějším maligním nádorům a představuje přibližně 15 % plicních karcinomů. Typickými znaky malobuněčného plicního karcinomu jsou rychlý růst a časné metastázy do vzdálených orgánů a uzlin (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016).

U malobuněčného karcinomu plic je stejná TNM klasifikace jako u nemalobuněčného karcinomu, v praxi se ale používá jen málo, jelikož stádia a kategorie nemoci měly malý prognostický význam. Proto se v praxi častěji používá dělení na lokalizované stádium – limited disease (LD) a diseminované stádium – extensive disease (ED). Lokalizované stádium zahrnuje I – III stádium, které lze léčit radioterapií. Diseminované stádium je stádium, které se vyznačuje mnohočetnými nádorovými uzly a velkým rozsahem nádoru. Kvůli velkému rozsahu onemocnění nelze pacienta zahrnout do ozařovacího plánu (Novotný, Vitek, Kleibl, 2016).

Rizikovým faktorem pro vznik SCLC je jako u nemalobuněčného karcinomu plic kouření cigaret. U žen, které kouří cigarety je SCLC na druhém místě hned po adenokarcinomu (Novotný, Vitek, Kleibl, 2016).

Příznaky SCLC jsou velmi podobné jako u nemalobuněčného karcinomu plic, ovšem u SCLC se častěji setkáváme s endokrinní, nebo neurologickou symptomatologií (Novotný, Vitek, Kleibl, 2016).

Diagnostika SCLC je stejná jako u nemalobuněčného karcinomu plic (RTG hrudníku, CT, bronchoskopické vyšetření, PET/CT) (Novotný, Vitek, Kleibl, 2016).

Léčba malobuněčného karcinomu plic se málokdy řeší chirurgickým zákrokem. Základní léčbou SCLC je chemoterapie. U lokalizovaného stádia se k chemoterapii ještě přidává ozáření, které prodlužuje život pacienta (Novotný, Vitek, Kleibl, 2016).

PRAKTICKÁ ČÁST

7 METODIKA PRAKTICKÉ ČÁSTI

Metodikou praktické části je popis průběhu PET/CT vyšetření karcinomu plic, jeho specifik a úlohu radiologického asistenta během tohoto vyšetření.

Pro vytvoření praktické části bakalářské práce bylo klíčové popsat průběh a specifika PET/CT vyšetření karcinomu plic. Popis zahrnuje i úlohu radiologického asistenta, která je nedílnou součástí vyšetření. Jednotlivé kroky vyšetření jsou pro lepší představu čtenáře, doplněné o obrázky, které byly pořízeny na oddělení nukleární medicíny FNHK se souhlasem paní náměstkyně pro ošetrovatelskou péči a vrchní sestrou tohoto oddělení. Obrázky slouží jako pomocná osnova, díky které si čtenář může lépe představit jednotlivé kroky, které pacient podstupuje před, během i po PET/CT vyšetření. Popis vyšetření vznikl na základě vlastního praktického nácviku v rámci praxe na ONM a dále pozorováním a studiem práce radiologických asistentů včetně pořízení vlastní obrazové dokumentace.

8 PET/CT VYŠETŘENÍ – KLASICKÉ

Každé vyšetření pomocí PET/CT začíná správnou indikací. Pacient se s žádankou dostaví do kartotéky oddělení nukleární medicíny (ONM), kde je objednan, poučen a na místě obdrží potřebné dokumenty týkající se vyšetření. Druhou možností je, že žádanku k vyšetření zasílá na ONM ošetřující lékař a pacientovi jsou všechny potřebné dokumenty zaslány poštou. Dokumenty obsahují místo, den a čas vyšetření, dále poučení o přípravě před vyšetřením, souhlas s aplikací radiofarmaka ^{18}F -FDG a podání jódové kontrastní látky, amnestický dotazník a popis průběhu samotného vyšetření. Řádně vyplněné je pacient přináší s sebou v den vyšetření a odevzdá je v kartotéce, kde jsou doplněny hodnotami kreatininu, urey a výpočtu glomerulární filtrace z odběru krve. Odběr krve zajišťuje ošetřující, nebo praktický lékař, přičemž hodnoty nesmí být starší, než 7 dní před vyšetřením. Den před vyšetřením ještě probíhá telefonické ověření, zda pacient s vyšetřením počítá. Pacient je také upozorněn, aby se v den vyšetření vyhýbal kontaktu s dětmi a těhotnými ženami a nebral je jako doprovod na vyšetření.

V den vyšetření na PET/CT přichází pacient nalačno (alespoň 6 hodin před vyšetřením nejíst). Je nutné, aby pacient dodržoval zvýšený pitný režim (pouze čistá voda, nikoli slazené nápoje), z důvodů nastartování metabolismu organismu, lepšího vychytávání radiofarmaka a jeho následného vylučování z těla. Pokud pacient splňuje všechny náležitosti, které jsou důležité pro správné provedení vyšetření pomocí PET/CT, tak je pacient vyzván ke vstupu do aplikační místnosti.

Tam si pacienta převezme radiologický asistent (RA), který ho seznámí s dalšími kroky, které se před samotným vyšetřením ještě musejí provést. Prvním krokem je zavedení kanyly, přes kterou pacientovi lékař podá radiofarmakum a kterou mu bude podána jódová kontrastní látka. Kanyla je důležitá k podání i jiných léčivých prostředků, které mohou být potřeba, pokud nastane alergická reakce na kontrastní jódovou látku. Dále je změřena glykémie. Ta by neměla být vyšší než 12 mmol/l, aby nedošlo ke zkrácení vyšetření. Pacient je dále poučen, aby si sundal všechny kovové věci, které by mohly ovlivnit snímání během vyšetření. Pacient také obdrží perorální (p. o.) kontrastní látku, kterou bude během čekání v kabině popíjet. Na ONM FNHK se používají dva druhy kontrastních látek k perorálnímu podání. První p. o. kontrastní látkou, nejčastěji využívanou je Mannitol (jódová kontrastní látka). Avšak pokud má pacient potíže s průjmy, tak se volí jiná kontrastní látka, Micropaque. Micropaque je báriová kontrastní látka, která nesmí být podávána pacientům, kteří prodělali zákrok v oblasti břicha, neboť toto může být spojeno s rizikem perforace střeva. Poté rozhodne lékař, dle údajů v amnestickém dotazníku, zda se během vyšetření bude podávat jódová kontrastní látka, Ultravist.

Lékař poté naaplikuje připravené radiofarmakum ^{18}F -FDG, jehož aktivita se odvíjí od pacientovi hmotnosti. Místní diagnostická referenční úroveň pro pacienta o hmotnosti 70 kg je 370 MBq. Pokud má pacient jinou hmotnost, aplikovaná aktivita se adekvátně upravuje dle místních radiologických standardů. Aktivita podávaná pacientovi je tedy individuálně připravovaná pro každého pacienta.



Obrázek 1: Aplikační místnost (archiv autora)

Radiofarmakum ^{18}F -FDG se vyrábí v cyklotronu mimo FNHK. Na ONM je dováženo na objednávku, podle počtu pacientů, kteří ten den podstupují PET/CT vyšetření. Jakmile je radiofarmakum přivezeno na oddělení, radiofarmaceut ho převezme a přendá do stíněného laminárního boxu. Tam probíhá jeho příprava a rozplňování do stříkaček. Připravená stříkačka s radiofarmakem pro konkrétního pacienta je přendána ze stíněného boxu do wolframového stínění a přepravena na aplikační místnost ve speciálně odstíněném vozíčku (petomobil).



Obrázek 2: Laminární box a petomobil (archiv autora)

Jakmile je pacientovi naaplikováno radiofarmakum, stává se z pacienta silný zdroj záření. Z tohoto důvodu je nezbytně nutné, aby personál dodržoval základní pravidla ochrany před zářením. Všichni pracovníci jsou radiačními pracovníky kategorie A, pravidelně školení v radiační ochraně. Vyšetření probíhá v kontrolovaném pásmu. Důležité je od zdroje záření (pacienta) dodržovat co možná největší vzdálenost, dále zkrátit dobu v blízkosti zdroje na co nejkratší a v neposlední řadě používat osobní ochranné pomůcky.

Po úspěšné aplikaci radiofarmaka je pacient poslán do kabinky, ve které setrvává přibližně 40 až 90 minut, přičemž průběžně popíjí jeden litr p. o. kontrastní látky (Mannitol, nebo Micropaque). Důležité je poučit pacienta, aby si správně rozvrhl dávkování pití kontrastní látky, jelikož její příliš brzké vypití, nebo naopak nedopití může mít vliv na nedostatečně kontrastní zobrazení trávicí trubice. Pacient je po celou dobu pobytu v kabině monitorován personálem ovladovny PET/CT pomocí kamer a jednotlivé kabinky jsou s ovladovnou propojeny interkomem pro komunikaci s radiologickými asistenty. Kabinky jsou dále vybaveny hodinami, křeslem, nebo lůžkem a televizí, pro pohodlí pacienta.



Obrázek 3: Odpočinková kabinka (vlevo) a p. o. kontrastní látky (vpravo) (archiv autora)

Těsně před vyšetřením kontaktuje radiologický asistent z ovladovny pacienta přes interkom a vyzve ho k návštěvě toalety. Při vyšetření je nutné mít prázdný močový měchýř. Jódová kontrastní látka podávaná intravenózně během vyšetření může vyvolávat pocit na močení. Pacientovi je ještě jednou zopakováno, aby si nezapomněl sundat všechny kovové věci.

Jakmile pacient splní všechny pokyny obsluhy ovladovny, je připravený na samotné vyšetření. Radiologický asistent otevře stíněné dveře od kabinky a z dostatečné vzdálenosti navádí pacienta na vyšetřovací stůl PET/CT a edukuje ho o dalším postupu. Pacient si lehá na záda, pod hlavou má polštářek a nohy mu jsou podloženy trojúhelníkovým klínem, ruce natažené za hlavou a podepřené polohovacím válcem. Poté, co je pacient správně uložen následuje zaměření lasery, aby se určil nulový bod pro následný topogram. Lasery se zaměřují přibližně na úroveň očí. Po správném zaměření a uložení nulového bodu se s pacientem projede skrz gantry PET/CT a provede se napojení kanyly na tlakový injektor s jódovou kontrastní látkou.



Obrázek 4: PET/CT přístroj ve FNHK (archiv autora)

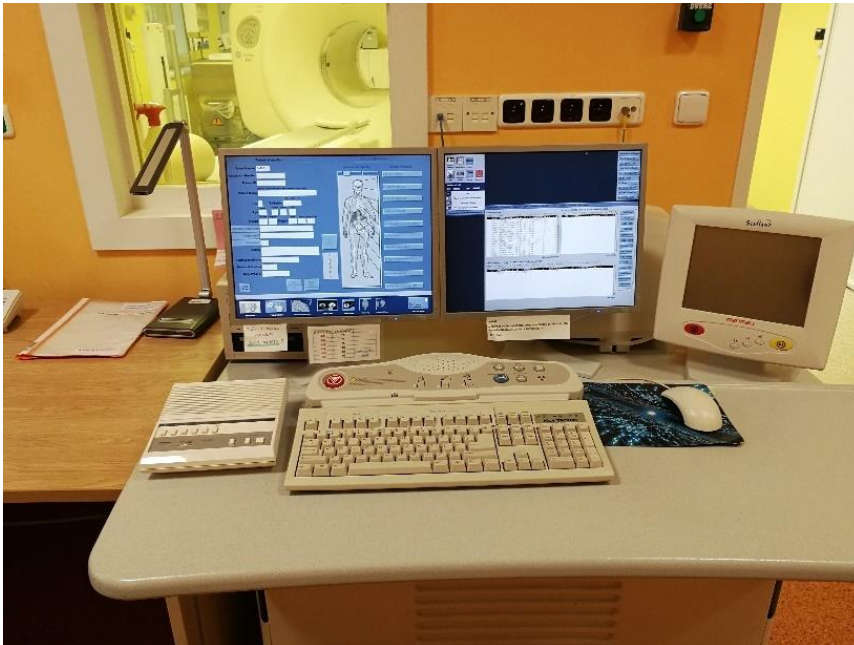


Obrázek 5: Pozice pacienta během PET/CT vyšetření (archiv autora)

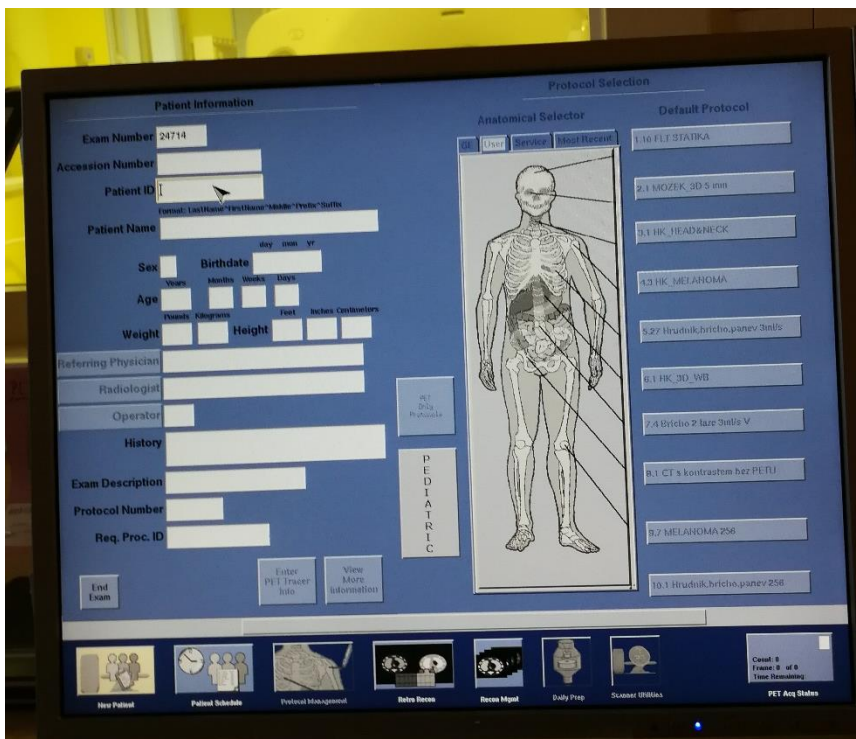


Obrázek 6: Zaměření lasery pro určení nulového bodu (archiv autora)

PET/CT obsluhují dva radiologičtí asistenti. První RA kontroluje pacienty v kabinkách a má na starost správné uložení, připojení na tlakový injektor a propuštění pacienta. Zatímco RA ukládá pacienta, druhý RA obsluhuje ovládací konzoli PET/CT, do které zadává údaje o pacientovi (rodné číslo, věk, váha, výška...) a vybírá správný vyšetřovací protokol.

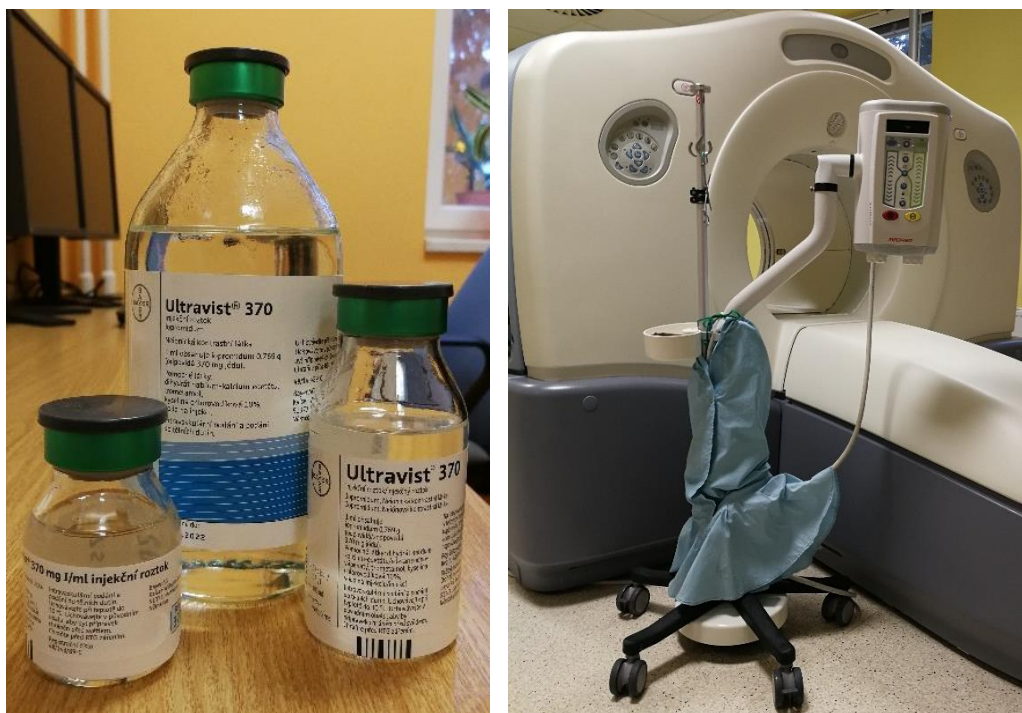


Obrázek 7: Ovladovna PET/CT přístroje (archiv autora)



Obrázek 8: Výběr vyšetřovacího protokolu (archiv autora)

Prvním krokem samotného vyšetření je takzvaný topogram. Topogram je přehledný snímek, na kterém se plánuje rozsah vyšetření celého PET/CT vyšetření. Před samotným PET vyšetřením, se provádí CT a to v rozsahu od baze lební do 1/3 stehen. U CT většinou podávána jódová kontrastní látka (Ultravist), díky které lze lépe odlišit cévní soustavu od jiných struktur. CT se spouští ve venózní fázi, což je 70 až 90 vteřin od spuštění tlakového injektoru. Pokud lékař rozhodl, že se vyšetření bude provádět bez jódové kontrastní látky, tak se pacientovi provádí nativní CT. Po ukončení CT vyšetření následuje PET, který bude probíhat v opačném směru, tedy od nohou po hlavu. Rozsah PET vyšetření je určený takzvanými postelemi. Jeden úsek postele se rovná přibližně 15 centimetrům délky vyšetřované oblasti a snímání dat jednoho úseku trvá 2,5 minuty. Radiologický asistent si na ovládací konzoli, podle prvotního topogramu nastaví potřebný počet postelí, tak aby byla pokryta celá vyšetřovaná oblast, přičemž se jednotlivé postele překrývají, aby nedošlo k výpadku zorného pole. Celé toto nastavení je variabilní, protože každý pacient je jinak vysoký. PET/CT vyšetření zabere přibližně 20 až 30 minut, dle protokolu a výšky pacienta.



Obrázek 9: Jódová kontrastní látka (vlevo) a tlakový injektor (vpravo) (archiv autora)

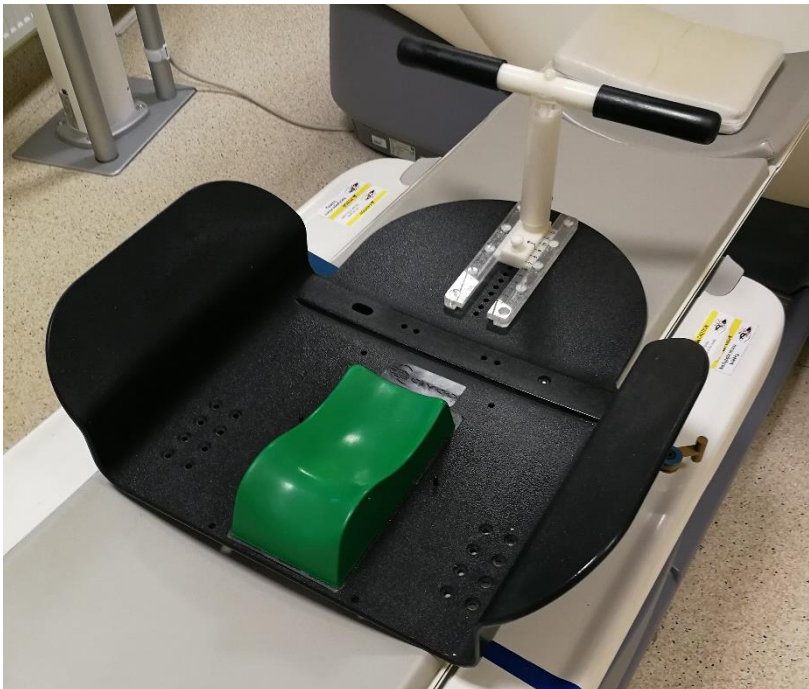
Po dokončení PET/CT vyšetření radiologický asistent odpojí pacienta od tlakového injektoru a propustí ho z vyšetřovacího stolu. Pacient je následně poučen, že se má jít obléknout do kabinky. Poté se všemi svými věcmi přesune do hlavní čekárny k aplikační místnosti, kde mu bude zrušen i. v. vstup. Ještě před vyndáním kanyly se provádí vizuální kontrola stavu pacienta. U pacienta sledujeme, zda nenastala dušnost, zarudnutí, nebo vyrážka v souvislosti s podáním jódové kontrastní látky. Pokud je vše v pořádku je kanyla vyndána. Při tomto úkonu ještě naposledy probíhá edukace ohledně dodržování dostatečného pitného režimu, aby se kontrastní látka a radiofarmakum lépe a rychleji vylučovaly. Radiologický asistent zaznamená do dokumentace čas vytažení kanyly a pacient odchází domů.

8.1 PET/CT karcinomu plic

Vyšetření PET/CT u karcinomu plic se provádí ve většině případů stejně jako výše popsané klasické PET/CT. Jediná výjimka je u malobuněčného karcinomu plic. Tato výjimka spočívá v tom, že se celé vyšetření PET/CT provádí v rozsahu s celou hlavou, jelikož u malobuněčného karcinomu plic jsou časté metastázy do mozku.

Pokud provádíme PET/CT vyšetření karcinomu plic v plánovací poloze pro onkologii, pak musíme před uložením pacienta vyměnit podložku na vyšetřovacím stole za identickou s podložkou, která se nachází na ozařovacích onkologické kliniky FNHK. Na vyšetřovací podložku se připevní takzvaná „řídítka“, která slouží jako držák pro ruce v poloze za hlavou. Na řídítkách je možné upravovat jak výšku, tak míru natažení rukou. Součástí řídítek je podkrčník. Má různé velikosti a je proto velmi důležité pro pacienta zvolit tu správnou, aby vydržel v dané poloze bez hnutí po celou dobu snímání. Kolena se podkládají malým polohovacím válcem. Pozice pacienta musí být pohodlná a zároveň opakovatelná, aby v ní pacient vydržel i po celou dobu ozařování. Pacient je při plánovacím PET/CT vyšetření svlečen do půl těla. Další postup vyšetření probíhá stejně jak jsem se již zmínil v předešlém textu, i s využitím p. o. a i. v. kontrastní látky.

Po dokončení plánovacího PET/CT vyšetření, je důležité zaslat všechna data z vyšetření do uložení ozařoven. Zasláná data budou posléze využita k sestavení ozařovací plán.



Obrázek 10: Řídítka pro plánovací PET/CT vyšetření (archiv autora)



Obrázek 11: Různé druhy podkrčníků k plánovacímu PET/CT vyšetření (archiv autora)

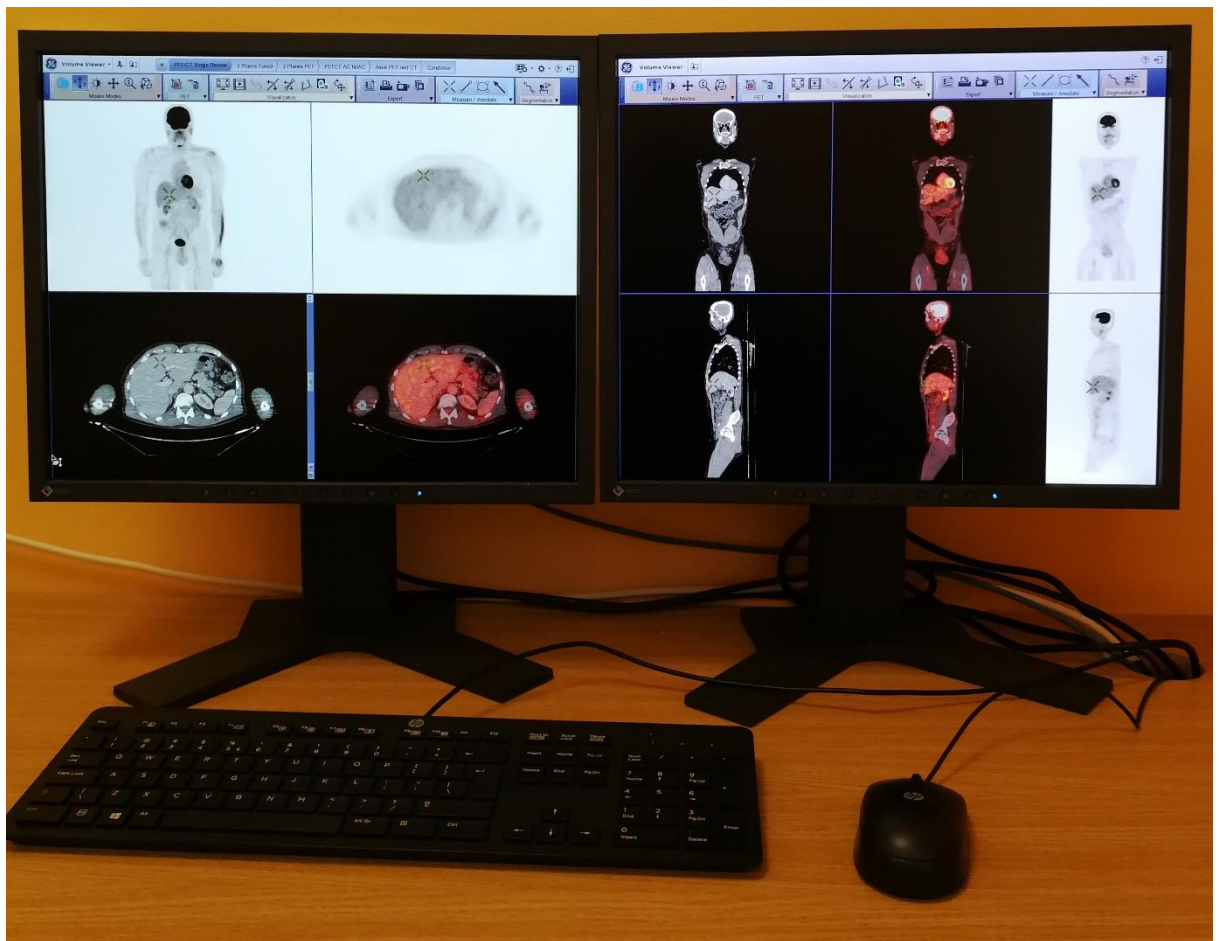


Obrázek 12: Připravený vyšetřovací stůl pro plánovací PET/CT vyšetření (archiv autora)

8.2 Postprocessing

Práce radiologického asistenta s nasnímanými daty daného pacienta končí tím, že po ukončení vyšetření na PET/CT kameře se daná data přenáší do fúzovacího (postprocessingového) počítače, kde dochází k dalšímu zpracování.

Při přenosu dat z PET/CT přístroje na postprocessingový počítač probíhají automatické rekonstrukce. Na postprocessingovém počítači označíme daného pacienta a otevřou se nám příslušné skupiny dat. Příslušné skupiny dat obsahují surová CT data, jejich rekonstrukce a surová data z PET vyšetření společně se skupinou dat s rekonstrukcí na zeslabení záření. Úlohou RA je vybrat CT rekonstrukci s řezy 1,25 mm a PET data s korekcí na zeslabení záření a následně spustit příslušný program na fúzi dat. Dalším úkolem RA je zobrazená data adekvátně nazvat a uložit. Nově vzniklé a uložené snímky posíláme do PACS, kde jsou přístupny všem klinickým pracovištím nemocnice. Poslední úkolem RA je zkontrolovat přeposlaná data v PACS.



Obrázek 13: Fúze PET a CT nasnímaných dat (archiv autora)

9 DISKUZE

Karcinom plic je v České republice druhý u mužů a šestý u žen nejčastější maligní nádor. U tohoto onemocnění je důležitá včasná diagnostika, aby mohla být zahájena správná léčba. Symptomy karcinomu plic se projevují většinou až v pokročilých stádiích nemoci, s čímž souvisí i fakt, že je většina případů onemocněním karcinomu plic diagnostikována v pokročilém stádiu nemoci, od čehož se odvíjí i vysoké procento poměru mezi mortalitou a incidencí, říká (Novotný, Vítek, Kleibl, 2016).

Na téma kouření a rakoviny plic bylo a je prováděno mnoho studií a v odborné literatuře existuje mnoho vědeckých článků. Například (Tindle, Stevenson, Greevy a kol., 2018) říkají, že kouření je v USA spojeno s 80 % až 90 % úmrtí na rakovinu plic. Dle (Ozlü, Bülbül, 2005) je riziko vzniku rakoviny plic 20 až 40krát vyšší u celoživotních kuřáků v porovnání s nekuřáky. Rozsáhlá studie (Sasco, Secretan, Straif, 2004) tvrdí, že kouření je zodpovědné za třetinu úmrtí na rakovinu v mnoha západních zemích světa.

Na diagnostice karcinomu plic se podílí i hybridní metoda PET/CT, kterou se tato práce zabývá. Výhod PET/CT přístroje je několik. První spočívá v hybridním systému, který umožňuje díky fúzi obrazů z nasnímaných dat PET a CT vytvořit přehledný snímek ve vysokém rozlišení, na kterém lze čitelně pozorovat například struktury nádorů, nebo orgánů (Ferda, 2015). Jak jsem již uvedl v praktické části této práce, hybridní přístroj PET/CT lze využívat nejen ke klasické diagnostice karcinomu plic, ale také pro vyšetření v plánovací poloze. Vyšetření v plánovací poloze představuje velký přínos pro onkologii, v čemž vidím další velkou výhodu této zobrazovací metody. Druhou velkou výhodou hybridní zobrazovací metody je skutečnost, že dostáváme z jednoho přístroje současně anatomické snímky (CT) a snímky funkční (PET). Pozitronová emisní tomografie je založena na funkčním (metabolickém) zobrazení, kdežto CT zobrazuje struktury anatomické. Objemy nádorů/lézí na CT a PET zobrazení nemusí být vždy stejné. Z tohoto důvodu je zobrazení PET tak důležité při plánování radioterapie. Navíc, existují časné strukturální změny související s nádorovými onemocněními, například kostí, které nejsou ještě na CT rozlišitelné, avšak na PET jsou již patrné metabolické změny. PET/CT má svůj význam a nezastupitelné místo nejen v časně diagnostice karcinomu plic a při plánování léčby, ale také v následném follow-up pacienta, říká (Ferda, 2015).

Jak již bylo zmíněno u karcinomu plic je důležitá včasná diagnostika. PET/CT přístroj je spíše finální diagnostická metoda, od které se poté odvíjí následná léčba. Jednou z primárních vyšetřovacích metod u karcinomu plic je RTG hrudníku. Na RTG snímku je nádor vidět jako zastínění plicního parenchymu, který může být doprovázený přítomností pleurálního výpotku. Výhodou RTG vyšetření oproti PET/CT je menší radiační zátěž pro pacienta, nízká cena a kratší doba vyšetření, před kterou není vyžadována žádná speciální příprava. Nevýhodou je však jeho rozlišovací schopnost, protože nádory menších velikostí nemusí být na snímku patrné (Malíková, 2019). Autor Neumann (2020) ve své bakalářské práci s názvem význam CT screeningu plic při časném zachytu karcinomu plic uvádí, že u pacienta, který byl součástí jeho výzkumu došlo k odhalení karcinomu plic čistou náhodou. Pacient totiž původně přišel na radiologické oddělení kvůli RTG vyšetření bederní a hrudní páteře. Díky této náhodě se onemocnění odhalilo včas a bylo tak možné začít se správnou, a hlavně včasnou léčbou.

Další možností diagnostiky karcinomu plic je CT. Právě výpočetní tomografie je nejlepší vyšetřovací metodou pro lokalizaci a určení bronchogenního karcinomu plic. Toto vyšetření je indikováno v případě, že RTG snímek neobsahuje dostatek informací pro stanovení diagnózy, nebo u pacientů s podezřením na patologické změny s výsledným negativním RTG nálezem (Ferda, Mirka, Baxa a kol., 2015). Podle (Novotný, Vitek, Kleibl, 2016) lze pod CT kontrolou provádět biopsii, díky které je možné přesně určit povahu nálezu. Biopsie však není jediný způsob, jak lze zjistit více informací o daném nálezem. Další variantou je bronchoskopické vyšetření pomocí endoskopu díky kterému se odebere vzorek, který je pak následně odeslán na cytologické nebo histologické vyšetření (Vorlíček, 2012). Značnou výhodou CT vyšetření oproti PET/CT je bezplatný screening plic. Podle Ministerstva zdravotnictví České republiky (2021) je bezplatný screening plic dostupný od 1. ledna 2021 pro silné kuřáky ve věku 55 až 75 let, kteří kouří minimálně dvacet cigaret denně. Jeho cílem je včasné zachycení a následné vyléčení.

Magnetická rezonance se využívá převážně jen jako doplňkové vyšetření, nebo jako alternativa CT. Poměrně dobře popisuje rozsah tumoru, v případě, že nelze podstoupit postkontrastní vyšetření na CT (Ferda, Mirka, Baxa a kol., 2015).

Pro stanovení dalšího rozsahu nemoci se dále může využít scintigrafie skeletu a ultrazvuk dutiny břišní a retroperitonea. Tyto zobrazovací metody už však neslouží k zobrazení plic a jejich nádorového postižení. UZ se provádí pro metastázy do jater a scintigrafie skeletu slouží pro průkaz kostních metastáz (Ferda, Mirka, Baxa a kol., 2015).

Ze studia vědecké literatury je zřejmé, že souvislost mezi kouřením a karcinomem plic je jasně prokázána. Autoři se odlišují hlavně v pohledu na to, jaká tato souvislost je a jakou roli hrají ostatní nejrůznější další faktory, například genetika.

Z diskuse dále plyne, že všechny zobrazovací metody včetně pozitronové emisní tomografie se doplňují a hrají důležitou roli v diagnostice a procesu léčby onemocnění karcinomem plic.

10 ZÁVĚR

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo popsat základní fyzikální pojmy a principy zobrazování v nukleární medicíně. V práci byly shrnuty informace o oboru nukleární medicíny, pozitronové emisní tomografii, problematice radiační ochrany a o pozitronových radiofarmacích používaných při vyšetření na hybridním přístroji PET/CT. Dále se teoretická část věnovala popisu anatomie plic a druhům karcinomů plic. Tato témata jsou popsána z hlediska patologií a jejich diagnostiky.

Hlavním cílem praktické části bylo popsat vyšetření karcinomu plic pomocí PET/CT. Součástí popisu je i úloha radiologického asistenta, která je během tohoto vyšetření klíčová. Popis se věnuje celému průběhu vyšetření od počátečního objednání pacienta, jeho informování, přípravě před vyšetřením až po samotný průběh PET/CT vyšetření. K dosažení tohoto cíle sloužil praktický nácvik v rámci praxe na oddělení nukleární medicíny ve FNHK. Pro lepší představivost a orientaci byla tato část doplněna vlastními fotografiemi.

Cílem diskuse se bylo zaměřit na diagnostický přínos různých zobrazovacích metod a přínos pozitronové emisní tomografie v záchytu karcinomu plic i při plánování jeho léčby. Další cíl diskuse byl zaměřen na souvislost mezi kouřením a výskytem rakoviny plic u kuřáků. Tohoto cíle bylo dosaženo studiem tuzemských i zahraničních pramenů.

Nukleární medicína je obor, který hraje nezastupitelnou roli v diagnostice a sledování průběhu nádorových onemocnění. Ve spojení s dalšími zobrazovacími metodami pozitronová emisní tomografie tvoří funkční celek, který pomáhá nejen odhalit nádorová onemocnění v raném stádiu, ale i lépe plánovat léčbu a sledovat pacienta během léčby samotné i po ní.

Tato bakalářská práce podtrhuje důležitost včasné diagnostiky karcinomu plic. Zároveň také ukazuje přínos metody PET/CT nejen pro diagnostiku ale zejména v procesu plánování léčby samotného onemocnění.

Závěrem je možno říci, že všechny cíle práce byly splněny.

11 POUŽITÁ LITERATURA

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

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 2. vydání. Praha: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-60-9.

KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíny*. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-271-0168-9.

PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření*. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05319-5.

PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika: aplikace ionizujícího záření*. Praha: České vysoké učení technické, 2021. ISBN 978-80-01-06829-8.

SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-802-4741-086.

PEJCHAL, Jaroslav, Zuzana ŠINKOROVÁ, Aleš TICHÝ, Jiřina VÁVROVÁ, Lenka ZÁRYBNICKÁ a Zdena VILASOVÁ. *Biofyzika pro záchranáře 1. díl*. Hradec Králové: Univerzita obrany, 2013. ISBN 978-807-2313-525.

PEJCHAL, Jaroslav, Zuzana ŠINKOROVÁ, Aleš TICHÝ, Jiřina VÁVROVÁ a Lenka ZÁRYBNICKÁ. *Biofyzika pro záchranáře 2. díl*. Hradec Králové: Univerzita obrany, 2013. ISBN 978-807-2313-549.

FERDA, Jiří. *Inovativní zobrazovací metody*. Praha: Galén, 2015. ISBN 978-807-4921-865.

FIALA, Pavel, Jiří VALENTA a Lada EBERLOVÁ. *Stručná anatomie člověka*. Univerzita Karlova v Praze: Karolinum, 2015. ISBN 978-802-4626-932.

KŘIVÁNKOVÁ, Markéta. *Somatologie: Učebnice pro střední zdravotnické školy*. 2. vydání. Praha: Grada, 2019. ISBN 978-802-7106-950.

FRITSCH, Helga a Wolfgang KUEHNEL. *Color Atlas of Human Anatomy*. 6. vydání. Stuttgart: Thieme Publishing Group, 2015. ISBN 9783135334066.

VORLÍČEK, Jiří. *Onkologie*. Praha: Triton, 2012. ISBN 9788073876036.

NOVOTNÝ, Jan, Pavel VÍTEK a Zdeněk KLEIBL. *Onkologie v klinické praxi: standardní přístupy v diagnostice a léčbě vybraných zhoubných nádorů*. 2. vydání. Praha: Mladá fronta, 2016. ISBN 978-802-0439-444.

VORLÍČEK, Jiří, Jitka ABRAHÁMOVÁ a Hilda VORLÍČKOVÁ. *Klinická onkologie pro sestry*. 2. vydání. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-802-4737-423.

GOSLING, John, Philip HARRIS, John HUMPHERSON, Ian WHITMORE a Peter WILLAN. *Human anatomy color atlas and textbook*. 6. vydání. Edinburgh: Elsevier, 2017. ISBN 9780723438274.

FERDA, Jiří, Hynek MIRKA, Jan BAXA a Alexander MALÁN. *Základy zobrazovacích metod* [online]. Praha: Galén, 2015 [cit. 2022-04-24]. ISBN 9788074921735. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/e-kniha/zaklady-zobrazovacich-metod-861813/#>

Tiskové zprávy: Od nového roku doporučí praktici silným kuřákům bezplatný screening plic. *MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. MZČR, 2021 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/tiskove-centrum-mz/od-noveho-roku-doporuci-praktici-silnym-kurakum-bezplatny-screening-plic/>

MALÍKOVÁ, Hana. *Základy radiologie a zobrazovacích metod* [online]. Praha: Karolinum, 2019 [cit. 2022-04-12]. ISBN 978-80-246-4100-3. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/zaklady-radiologie-a-zobrazovacich-metod-7101/>

TINDLE, Hillary A, Stevenson DUNCAN, Robert A GREEVY, Ramachandran S VASAN, Suman KUNDU, Pierre P MASSION a Matthew S FREIBERG. Corrigendum. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute* [online]. 2018, **110**(10), 1153-1153 [cit. 2022-03-25]. ISSN 0027-8874. Dostupné z: doi:10.1093/jnci/djy113

SASCO, A.J., M.B. SECRETAN a K. STRAIF. Tobacco smoking and cancer: a brief review of recent epidemiological evidence. *Lung Cancer* [online]. 2004, **45**(10), S3-S9 [cit. 2022-03-25]. ISSN 01695002. Dostupné z: doi:10.1016/j.lungcan.2004.07.998

Ozlu T, Bülbül Y. Smoking and lung cancer. *Tuberk Toraks*. 2005;53(2):200-9. PMID: 16100660.

AKADEMICKÉ PRÁCE

NEUMANN, Vojtěch. *České vysoké učení technické v Praze*. Praha, 2020. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.

12 PŘÍLOHY

Příloha 1: Informovaný souhlas, první strana (ONM, FNHK).....	52
Příloha 2: Informovaný souhlas, druhá strana (ONM, FNHK)	53
Příloha 3: Anamnestický dotazník před PET/CT vyšetřením (ONM, FNHK).....	54



Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové – Nový Hradec Králové
Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906
Oddělení nukleární medicíny - 6682
tel./fax: 495 834 542

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

Pacient/ka:
příjmení jméno titul

Rodné číslo: **Pojišťovna:**

Zákonný zástupce:
(otec, matka) příjmení jméno titul

Doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:

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

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

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil 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 ^{18}F -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 (interval nutný 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 (je-li její podání indikováno), jejíž krátkodobá aplikace umožní lepší odlišení zobrazovaných struktur těla. 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 po podání jódové kontrastní látky může objevit zhoršení základního onemocnění 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 nemocným s tyreotoxikózou (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 těžší odlišitelnosti zobrazovaných struktur.

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

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

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

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

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

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

dne: v hodin

Podpis:

Místo aplikace radiofarmaka a kontrastní látky:

kubitální žíla vpravo vlevo

předloktí vpravo vlevo

dorsum ruky vpravo vlevo

flexila vpravo vlevo

jiné

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

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

jmenovka a podpis:



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 vleké 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 vleké 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: